



**LA GESTIÓN DEL RIESGO  
Y LA RESTAURACIÓN  
DE ECOSISTEMAS ACUÁTICOS**

**Popayán  
2015**

***La gestión del riesgo y la restauración de  
ecosistemas acuáticos continentales***

ISBN 978-958-46-6593-5

**Compiladoras**

María Cristina Gallego Ropero  
Victoria Eugenia Ceballos Sarria  
Lorena Alvear-Narváez

**Autores**

© 2015, Adriana Agudelo, Nilsa Lorena Alvear  
Narváez, José Ramón Diez, Juan Manuel Diez, Javier  
E Fernández, Luis Jorge González, Guillermo León  
Vásquez Zapata, Andrés Narváez, Juan Pablo Paz  
Concha, Liliana Recaman Mejía, Gabriel Roldán  
Pérez, Mónica Patricia Valencia Rojas, Hernán  
Varona, Leonidas Zambrano Polanco, Hildier  
Zamora González.

**Fotografía de carátula**

Leonidas Zambrano

El presente documento es de libre consulta. Pero para  
el uso de la información que aquí se encuentra debe  
ser citada la respectiva fuente

Popayán, Colombia  
Abril  
2015

## Tabla de contenido

	Pág.
“La restauración fluvial desde una perspectiva funcional del ecosistema” <i>José Ramón Díez</i>	111
“Planeación y Gestión de los Recursos Hídricos e Hidrobiológicos. Caso: ordenamiento de las corrientes Guachicono bajo, Mazamorras y Quebrada los huevos” <i>Luis Jorge González</i>	14
"Protocolo para la restauración de humedales como alternativa para la gestión integral de los servicios ecosistémicos” <i>Leonidas Zambrano</i>	62
“La gestión del riesgo: retos, sinergias y pactos para la planificación del territorio” <i>Andrés Narváez Zuñiga</i>	64
“Vulnerabilidad de las lagunas de páramo a procesos degradativos de origen antrópico” <i>Monica Patricia Valencia</i>	66
“Gestión del Recurso Hídrico para aplicación en Planes de Manejo Ambiental (PMA) de humedales” <i>Guillermo León Vasquéz</i>	70
“Análisis de calidad biológica de los ríos. Estudio de caso: Río Molino” <i>Hilddier Zamora</i>	70
“Implantación de Regímenes Ecológicos de Caudal para una Gestión Hídrica en Colombia verdaderamente ambiental: análisis de la situación actual” <i>Juan Manuel Díez</i>	71
“Propuesta para un manejo integral de los recursos hídricos e hidrobiológicos en Colombia” <i>Gabriel Roldán</i>	72
“Aspectos de Contaminación y Control del Recurso Hídrico en cultivo de Trucha” <i>Javier Fernández</i>	87
“De la ciudad al campo. Experiencias de gestión del riesgo, municipio de Popayán”	

## **“Gestión del Riesgo y Restauración de Ecosistemas Acuáticos Continentales”**

<i>Hernán Varona</i>	100
“Gestión Institucional en Humedales de la meseta de Popayán. Estudio de caso: Humedal Las Guacas”.	
<i>Juan Pablo Paz</i>	106
“Experiencias en restauración fluvial”	
<i>Jose Ramon Diez</i>	108
“Manejo adaptativo del territorio para el ordenamiento de cuencas alto andinas”	
<i>Liliana Recaman Mejía</i>	111
“Proyecto Ciudadano y Comunitario de educación ambiental: Gestión comunitaria del riesgo, cuencas del municipio de Popayán”	
<i>Lorena Alvear Narváez, Liliana Recaman Mejía</i>	1210
“Restauración fluvial: guía metodológica”	
<i>Jose Ramón Diez</i>	123

# PRESENTACIÓN

Las investigaciones presentadas en este libro, hacen parte de una recopilación de experiencias relacionadas con la gestión del riesgo y la restauración de ecosistemas acuáticos continentales, con el fin de generar un documento de referencia sobre saberes y experiencias sobre los Ecosistemas Acuáticos Continentales, para reflexionar y llamar la atención sobre las acciones de Gestión, con especial énfasis en la conservación y restauración de estos invaluables e irremplazables recursos naturales.

Para esta recopilación se congregaron investigadores nacionales y extranjeros, representantes de Instituciones, Universidades y Comunidades, quienes trabajan en torno al Recurso Hídrico y la Gestión del riesgo, permitiendo el intercambio, la divulgación y actualización de conocimientos de diferentes escuelas, sobre la situación socioambiental de los ecosistemas acuáticos continentales, reflexionando en la necesidad de procesos integrales de gestión ambiental y del riesgo tendientes a contrarrestar la amenaza, reducir la vulnerabilidad existente y fortalecer la resiliencia del territorio frente a procesos de distintos orígenes que pueden dar lugar a emergencias y desastres, dándole especial énfasis a la conservación y restauración de estos invaluables e irremplazables recursos naturales.

*PhD María Cristina Gallego Roperó*  
Coordinadora  
Maestría en Recursos Hidrobiológicos Continentales  
Universidad del Cauca

# AUTORES<sup>1</sup>

## **JOSÉ RAMÓN DIEZ**

Biólogo y Doctor cum laude en Ecología Fluvial por la Universidad del País Vasco.

Es profesor en los Máster de Biodiversidad, Funcionamiento y Gestión de Ecosistemas y Gestión del Paisaje, Patrimonio, Territorio y Ciudad, de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad del País Vasco, en el Máster de Formación de Profesorado en el campus de Gipuzkoa y forma futuros profesores en pregrado de educación primaria.

Es miembro del departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y miembro del Patronato de la Reserva de la Biosfera de Urdaibai, miembro fundador del CIREF (Centro Ibérico para la Restauración Fluvial). También es socio de otras asociaciones científicas, tales como el Colegio Oficial de Biólogos del País Vasco, la AIL Asociación Ibérica de Limnología y la Fundación Nueva Cultura del Agua.



## **LUIS JORGE GONZÁLEZ MUÑOZ.**

Magister en Consultoría Ambiental y Gestión del Recurso Hídrico de la Fundación Universitaria Iberoamericana.

Profesor titular del departamento de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca; profesor de la Maestría en Recursos Hidrobiológicos Continentales.

Investigador y consultor ambiental

Sus líneas de investigación son Riegos y drenajes, control de inundaciones, hidráulica fluvial, hidrometría, impacto ambiental de obras hidráulicas.

<sup>1</sup> Se presenta a los autores principales de los artículos.

**LEÓNIDAS ZAMBRANO POLANCO**

Biólogo, Especialista en Evaluación Ambiental de la Universidad Santiago de Cali. Magister en Biología Vegetal de la Universidad Autónoma de México.

Profesor titular del departamento de Biología de la Universidad del Cauca, profesor de la Maestría en Recursos Hidrobiológicos Continentales.

Investigador y consultor ambiental

Su línea de investigación es la gestión integral del recurso hídrico.



**ANDRES NARVÁEZ ZUÑIGA**

Geógrafo. Magister en Gestión del Riesgo y Desarrollo. Desde hace 9 años trabaja en el Servicio Geológico Colombiano y el Observatorio Geológico y Sismológico de Popayán.

**MÓNICA PATRICIA VALENCIA**

Bióloga, Doctora en Ciencias Ambientales de la Universidad del Cauca. Investigadora asociada al grupo de Estudios Ambientales de la Universidad del Cauca.

Actualmente se desempeña como asesora de investigaciones del Colegio Mayor del Cauca.

Sus líneas de investigación son: análisis de vulnerabilidad y gestión del riesgo, aprovechamiento y preservación de recursos hídricos, cambio climático.



## **“Gestión del Riesgo y Restauración de Ecosistemas Acuáticos Continentales”**



### **GUILLERMO LEÓN VÁSQUEZ ZAPATA**

Biólogo, Magister en Acuicultura de la Universidad de Alabama, Doctor en Ciencias de la Universidad del Valle.

Profesor titular del departamento de Biología de la Universidad del Cauca, cofundador y profesor de la Maestría en Recursos Hidrobiológicos Continentales. Profesor de la Universidad Santiago de Cali.

Investigador y consultor ambiental.

Sus líneas de investigación hacen énfasis en: Calidad de aguas con énfasis en aspectos físico-químicos, ictiología y gestión ambiental.

### **HILLDIER ZAMORA GONZÁLEZ**

Biólogo, Magister en Biología con Énfasis en Ecología Animal de la Universidad de Los Andes

Profesor titular del departamento de Biología de la Universidad del Cauca, cofundador y profesor de la Maestría en Recursos Hidrobiológicos Continentales.

Su línea de investigación es la Limnología con énfasis en fauna acuática, indicación con base en macroinvertebrados acuáticos y gestión ambiental.



### **JUAN MANUEL DIEZ**

Ingeniero Forestal y Doctor en Ecohidrología.

Es profesor de la Universidad de Vaoladolid y desde 1998 ha realizado diferentes estancias en la Universidad del Cauca y esta vez haciendo una estancia de 6 meses en el departamento de Hidráulica en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca



**GABRIEL ALFONSO ROLDAN PÉREZ**

Licenciado en Biología y Química. Doctor de la Universitat Kassel.

Su línea de investigación es la Limnología Neotropical.

Es autor de numerosas publicaciones científicas y reconocido conferencista; actualmente es vicerrector de investigaciones de la Universidad Autónoma de Oriente, Río Negro, Antioquía.



**JAVIER ERNESTO FERNÁNDEZ MERA**

Doctor en Ingeniería de la Universidad del Valle  
Profesor titular del departamento de Ingeniería Ambiental de la Universidad del Cauca, profesor de la Maestría en Recursos Hidrobiológicos Continentales.

Investigador y consultor ambiental

Sus líneas de investigación son calidad y potabilización de aguas, tratamiento de aguas residuales y manejo de residuos sólidos, control de contaminación piscícola; actualmente es profesor activo del departamento de Ingeniería Ambiental de la Universidad del Cauca, Popayán.



**HERNÁN VARONA SILVA**

Arquitecto.

Asesor de la Oficina de riesgo del municipio de Popayán



## **“Gestión del Riesgo y Restauración de Ecosistemas Acuáticos Continentales”**



**JUAN PABLO PAZ**

Ecólogo, Especialista en Manejo Ambiental de Cuencas Hidrográficas y Magister en Recursos Hidrobiológicos Continentales de la Universidad del Cauca. Docente de planta adscrito a Ingeniería Forestal de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad del Cauca

**LORENA ALVEAR-NARVÁEZ**

Bióloga, Candidata a Doctora en Ciencias Ambientales de la Universidad del Cauca.

Sus líneas de investigación son: educación ambiental, gestión ambiental urbana.



**LILIANA RECAMAN MEJÍA**

Ecóloga, Especialista en Gerencia de Proyectos y Candidata a Doctora en Ciencias Ambientales de la Universidad del Cauca. División Ambiental de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán SA ESP y Coordinadora Técnica Fundación Procuencia río Las Piedras.



## **“La restauración fluvial desde una perspectiva funcional del ecosistema”**

José Ramón Díez.  
Universidad del País Vasco, España.  
[joseramon.diez@ehu.es](mailto:joseramon.diez@ehu.es)

La caracterización ecológica de los ríos puede llevarse a cabo sobre la base de su estructura y funcionamiento (Allan y Castillo 2007). La estructura de los ecosistemas la conforman aquellas características del medio abiótico que forman el propio ecosistema, así como las comunidades de organismos que lo habitan. Por funcionamiento de los ecosistemas se entienden los procesos que ocurren en los mismos, y que están determinados tanto por el medio abiótico como por los organismos. En el caso de los ecosistemas fluviales, la estructura está determinada por la forma y las dimensiones del cauce, la calidad química del agua, la diversidad de hábitats y las distintas comunidades biológicas que se establecen en los mismos. Mientras que el funcionamiento está relacionado con procesos como el transporte y retención de sedimentos, nutrientes o materia orgánica, o por la fotosíntesis de algas y otros productores primarios, por poner unos ejemplos.

Entre estructura y funcionamiento existen interacciones obvias. Por ejemplo, el caudal transportado por el río y sus variaciones temporales determinan la configuración geomorfológica y la estructura del hábitat fluvial. El tipo y la cantidad de materiales que llegan al sistema determinan sus características químicas. Asimismo, la biota responde a las dos características anteriores y a elementos históricos, a veces muy lejanos, que son característicos de la cuenca, y puede modificar en buena medida su propio entorno, como cuando retiene nutrientes depurando las agua.

Estructura y funcionamiento son aspectos claves en las actuaciones de restauración fluvial, la cual suele ser definida como el conjunto de actividades encaminadas a devolver al ecosistema fluvial precisamente ambas, estructura y funcionamiento. Para lograr esos objetivos es necesario partir de un buen conocimiento de la situación inicial y de las características perdidas. Sin embargo, en regiones como Europa y en otros muchos ámbitos del Planeta, transformadas profundamente desde hace miles de años, es una tarea imposible.

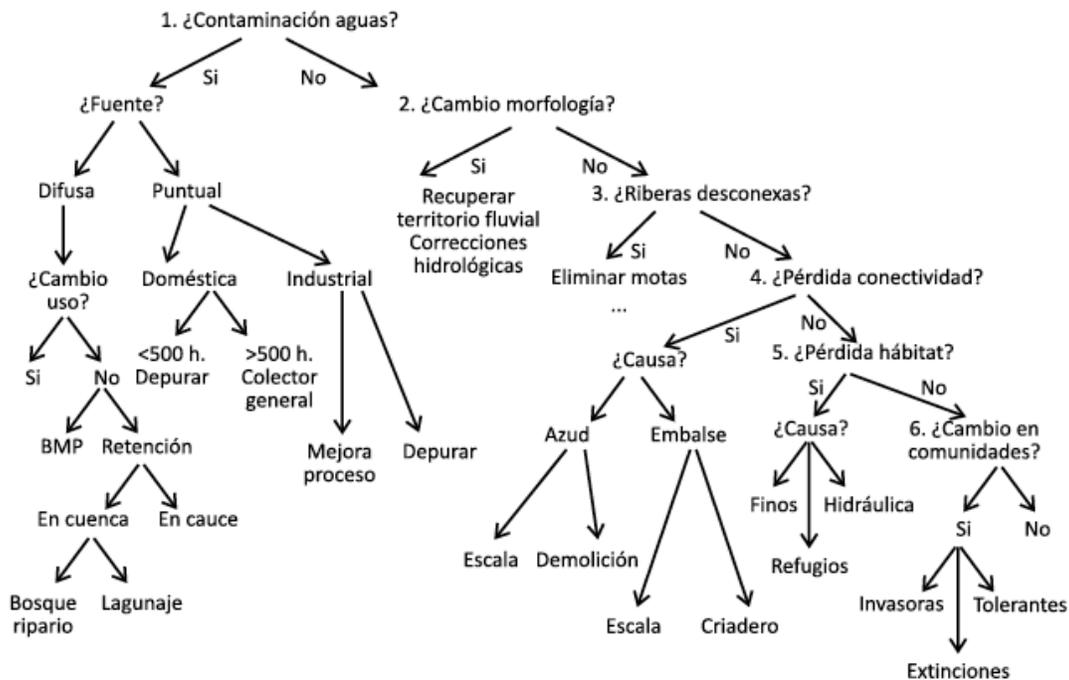
Por este motivo, a la hora de acometer un proyecto de restauración es necesario aplicar una perspectiva funcional que maximice los servicios del ecosistema y minimice los posibles riesgos producto de la transformación a realizar. En la práctica, este planteamiento exige aplicar la filosofía del

## “Gestión del Riesgo y Restauración de Ecosistemas Acuáticos Continentales”

médico de urgencias: actuar rápido, antes de que el deterioro sea irreversible, y centrarse en lo más importante, dejando de lado detalles menores.

En todo caso, hay una serie de prioridades a la hora de evaluar un ecosistema fluvial o de restaurarlo: la calidad del agua y el régimen de caudales son requisitos de partida, seguidos de cerca por los aspectos geomorfológicos, la conectividad, y finalmente las comunidades.

Aunque no es posible establecer un marco cerrado, en la figura adjunta se muestra una clave dicotómica que establece una serie de prioridades para evaluar o restaurar un río, y que propone diferentes soluciones ante problemáticas típicas de los ecosistemas fluviales transformados. En general, la primera cuestión es conocer el estado físico-químico de las aguas. Si hay problemas de calidad de las aguas, hay que buscar las fuentes de contaminación, y ver si son puntuales o difusas. Si la contaminación es puntual, se deberá determinar si es de origen doméstico o industrial, y conocer las características de la fuente de vertido ya que de ellas depende la posible solución. Cuando no existe contaminación, conviene analizar las posibles alteraciones de la forma del cauce, y si las hubiera, analizar las posibles soluciones. Posteriormente, y de manera sucesiva, se debería abordar el estado de las riberas, la pérdida de conectividad a lo largo del continuo fluvial, la pérdida de hábitat en el interior del dominio fluvial y, por último, las alteraciones detectadas en las comunidades biológicas.



Esquema de clave dicotómica, orientativa para el chequeo de problemas y la adopción soluciones a aplicar en un tramo de río (Tomado de Elozegi A. y Díez, JR. (2011).

***Referencias***

Elosegi, A. y Díez, J.R. La perspectiva funcional en la restauración y rehabilitación de ríos: ejemplos desde la Península Ibérica. La restauración ecológica en la práctica: memorias del I Congreso Colombiano de Restauración Ecológica. Eds.: Vargas Ríos y Reyes B. (págs... 573-582).

## **“Planeación y Gestión de los Recursos Hídricos e Hidrobiológicos. Caso: ordenamiento de las corrientes Guachicono bajo, Mazamorras y Quebrada los huevos”**

Luis Jorge González Muñoz.  
Programa de Ingeniería Ambiental. Universidad del Cauca.  
[ljgonza@unicauca.edu.co](mailto:ljgonza@unicauca.edu.co)

Olga Cadena. Profesora Facultad de Ciencias Contables y Administrativas. Universidad del Cauca.  
Hildier Zamora González. Profesor Facultad de Educación, Departamento de Biología  
Paulo Mauricio Espinosa Echeverry. Profesor Facultad Ingeniería Civil Departamento de Ing. Ambiental y Sanitaria  
Claudia Valencia C. Especialista en SIG

### **INTRODUCCIÓN**

La Universidad del Cauca a través del Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería Civil con la colaboración de los Departamentos de Ingeniería Ambiental y sanitaria, Biología y Economía, en convenio con la Corporación Autónoma Regional del Cauca C.R.C. adelantó el estudio del proyecto “Ordenamiento de Las Corrientes Guachicono bajo, Mazamorras y la quebrada Los Huevos, ubicadas al sur del Departamento del Cauca.

Es necesario contar con la información actualizada y precisa de la distribución regional y local de las disponibilidades de agua y la distribución territorial del uso de la misma en las cuencas, con el propósito de ordenar las áreas con mayores peligros de desabastecimiento para que las entidades adelanten acciones de planificación y regulación del recurso hídrico.

El proyecto consistió en conseguir la información secundaria de estudios realizados en el área, el reconocimiento de la misma, el inventario de los diferentes aprovechamientos del recurso hídrico como acueductos, localización e identificación de vertimientos de las aguas servidas en las cabeceras municipales del Bordo, Sucre y el corregimiento de Piedra sentada, la realización de talleres para efectuar un diagnóstico participativo con las comunidades involucradas en el uso del agua, con el propósito de motivar y socializar la realidad del recurso hídrico para caracterizar los actores sociales. Dentro de los talleres se consideró la prospectiva de los recurso hídricos.

Como el índice de escasez está involucrada la calidad del agua, se tomaron muestras de agua de las diferentes corrientes para hacer los análisis físicos químicos, bacteriológicos y de tipo biológicos, a la vez que se hicieron los aforos líquidos correspondientes

Se hizo un balance hídrico teniendo en cuenta la altitud media de las cuencas, una clasificación climática para las altitudes medias de la cuenca por el método de Thornthwaite y una general del área por el método de Caldas Lang, ya que la metodología basada en una relación de la precipitación y evapotranspiración lo permiten.

Obtenida la oferta y demanda de agua de las cuencas en estudio, se determinó finalmente el índice de escasez a cada una de ellas, no pudiendo aplicarse a la cuenca Guachicono bajo, por carecer esta de una demanda del recurso hídrico.

Finalmente se obtuvieron diferentes mapas temáticos y se llegaron a unas conclusiones y recomendaciones con el propósito de facilitar la toma de decisiones sobre el ordenamiento del recurso hídrico.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar las investigaciones de oficina y de campo necesarias para el planeamiento del uso, el manejo sostenible, el aprovechamiento, la protección y la conservación de los recursos de aguas superficiales en las cuencas de las corrientes Guachicono bajo, Mazamorras y la quebrada Los Huevos, que permitan proyectar una producción óptima y sostenida para lograr el mejoramiento de la calidad de vida de la comunidad involucrada de acuerdo con sus necesidades.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Considerar los aspectos ambientales, comunitarios y socio económicos relevantes en las cuencas para lograr un buen conocimiento de la situación actual de las corrientes superficiales.
- Formular un diagnóstico técnico y participativo de la situación de las corrientes superficiales Guachicono y la quebrada Los Huevos.
- Identificar las problemáticas ambientales en la cuenca que determinan las características de las corrientes superficiales.
- Establecer la prospectiva en función de las acciones y proyectos que el hombre pueda emprender de acuerdo con las condiciones que ofrecen las diferentes corrientes superficiales.
- Formular el plan de ordenación y manejo del recurso hídrico de la cuenca Guachicono bajo, Mazamorras y la quebrada Los Huevos

## **3. UBICACIÓN DE LAS CORRIENTES GUACHICONO BAJO, MAZAMORRAS Y LOS HUEVOS**

El sistema de drenaje de las corrientes Guachicono bajo, Mazamorras y Los Huevos, conforman las cuencas respectivas, las cuales hacen parte de la cuenca del río Patía. El río Guachicono drena en una dirección NE, para desembocar en el río Patía. El río Guachicono recibe por su margen izquierda el río Mazamorras que drena en una dirección SE en la localidad del corregimiento de Guachicono y por la margen izquierda la quebrada Los Huevos, que drena en dirección ESE.

#### **4. INVENTARIO DE ESTRUCTURAS DE APROVECHAMIENTO DE RECURSOS HIDRICOS**

Con el propósito de conocer la demanda de agua de uso doméstico, se hizo un inventario de los acueductos ubicados en la cuenca, para lo cual se georeferenciaron y se llenó una ficha destacando las características principales. A manera de ejemplo se presenta la correspondiente al acueducto de Sucre

##### **4.1 ACUEDUCTOS CUENCA DEL RÍO MAZAMORRAS**

###### **4.1.1 Nombre del Acueducto: Sucre**

MUNICIPIO: Sucre  
COORDENADAS: 2° 2' 10.5"N - 76° 54' 16.7"W  
VEREDA: Cabecera Municipal de Sucre  
TIPO DE CAPTACIÓN: Fondo  
NOMBRE DE LA CORRIENTE: Quebrada Las Minas  
NÚMERO DE FAMILIAS BENEFICIADAS : 400  
NÚMERO DE HABITANTES: 2000  
EXISTE TRATAMIENTO DE AGUAS: no  
COMPONENTES DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO:  
TANQUE ALMACENADOR: sí                      ESTADO: Bueno  
TANQUE DE ALMACENAMIENTO: sí            ESTADO: Bueno  
SEDIMENTADOR: sí                              ESTADO: Bueno  
TUBERÍA DE CONDUCCIÓN: sí                ESTADO: Bueno  
PROBLEMAS PRINCIPALES DEL ACUEDUCTO:  
Derrumbes, se arrastra tramos de tubería.

No hay voluntad de pago del servicio por lo tanto no se ha puesto a funcionar la planta de tratamiento, lo cual hace que el agua sea de mala calidad. El arrastre de sólidos tapa la tubería.

**Figura 4.1** Bocatoma

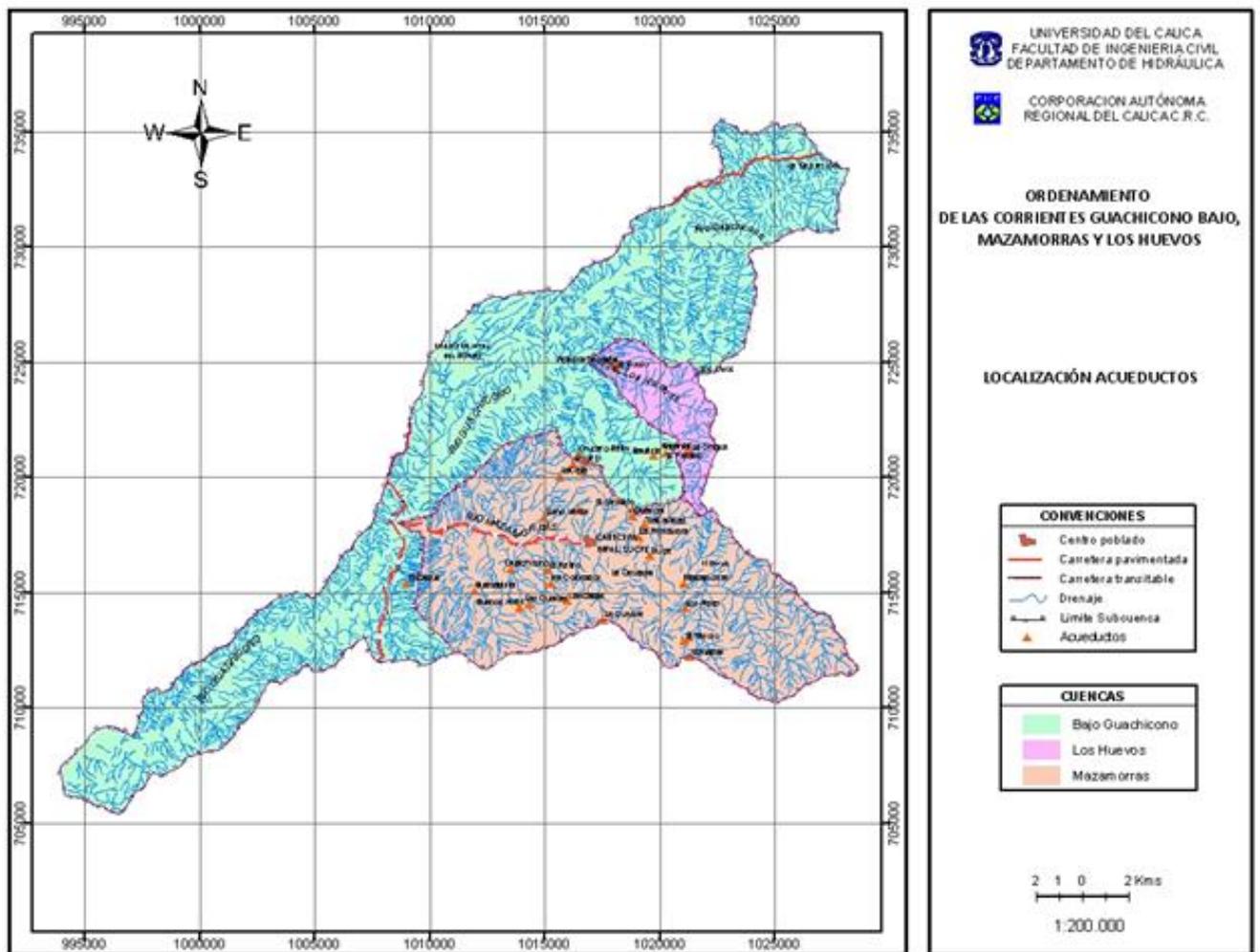


**Figura 4.2** Tanque de almacenamiento



La Figura 4.3 muestra la ubicación georeferenciada de las captaciones para acueductos veredales en el área de estudio.

**Figura 4.3** Localización acueductos



## “Gestión del Riesgo y Restauración de Ecosistemas Acuáticos Continentales”

A manera de ejemplo se presenta la relación de los acueductos inventariados, para un total de 26

### INVENTARIO ACUEDUCTOS MUNICIPIO DE SUCRE

No.	Nombre acueducto	Coordenadas	Vereda	Tipo de bocatoma	Nombre de la corriente	No. De familias beneficiadas	No. De habitantes	cobertura	Estructura organizativa	Suministro De agua Anual (mes)	Tratam. Del agua	Sistema compuesto
1	Sucré	2° 2' 10.5"N 76° 54' 16.7"W	Cabecera municipal	Fondo	Q. Las minas	400	2000	total	Asociación de usuarios	Escasa 7-8-9 P	no	Tanques, desarenador
2	La Ceja	2° 4' 3.7"N 76° 56' 23.5"W	La ceja	Dique toma	Santana	80	350	Parcial	Junta Accion Comunal	Escasa 7-8-9 OTRO.	no	Tanques, desarenador
3	La Esmeralda	2° 3' 16"N 76° 55' 57.2"W	La Esmeralda	Fondo	Quebrada el Cajón	23	90	Total	Junta Accion Comunal	Escasa 7-8-9 S.D.	no	Tanques, desarenador
4	Quiteto	2° 4' 20.6"N 76° 56' 4.7"W	Quiteto	Dique toma	Crucero	38	300	Parcial	Junta Accion Comunal	Escasa 7-8-9 P	no	Tanques, desarenador
5	Crucero bello y Betania	1-2° 4' 34.2"N 76° 55' 57"W 2-2° 4' 10"N 76° 55' 52.9"W 3-2° 4' 23.4"N 76° 55' 46.4"W	Crucero Bello	Dique toma	La Palma, El Recuerdo, La Mata de Guadua	130	600	Parcial	Junta Accion Comunal	Escasa 7-8-9 P	no	Tanques, desarenador
6	Salvavidas	2° 2' 54.3"N 76° 54' 23.8"W	Salvavidas	Fondo	El Ortigo	12	60	Parcial	Junta Accion Comunal	Escasa 7-8-9 OTRO.	no	Tanques, desarenador
7	La Primavera	2° 2' 37.1"N 76° 54' 33"W	La Primavera	Fondo	El silencio	25	50	Total	Junta Accion Comunal	Escasa 7-8-9 P	no	Tanques, desarenador
8	Las Guacas	2° 1' 2"N 76° 57' 6.2"W	Las Guacas	Fondo	Caparosal	12	60	Total	Junta Accion Comunal	Escasa 7-8-9 P	no	Tanques, desarenador
9	Guachicono la Nueva	2° 1' 52.6"N 76° 57' 32.1"W	Guachicono	Dique toma	El Jagual	154	775	Total	Junta Accion Comunal – Asociación de usuarios	Escasa 7-8-9 S.D.	No	Sedimentador
10	El Zaque-Guachicono “La Vieja”	2° 1' 31.7"N 76° 59' 59.7"W	El Zaque	Fondo	La Senda	150	600	Parcial	Junta Accion Comunal	Escasa 7-8-9 OTRO	no	Tanques almacenador, sedimentador
11	La Cumbre-Santa Ines-Tequendama	2° 0' 40.2"N 76° 55' 22.7"W	La Cumbre-Santa Ines-Tequendama	Fondo	Peñablanca, Lerma	90	380	Parcial	Junta Accion Comunal	Escasa 7-8-9 P	no	Tanques almacenador, sedimentador
12	Los Colorados	2° 1' 31.8"N 76° 56' 36.1"W	Los colorados	Fondo	La Tigresa	18	90	Parcial	Asociación de Usuarios	Escasa 7-8-9 OTRO	no	Tanques almacenador, sedimentador
13	Llano verde	2° 3' 5"N 76° 56' 45.7"W	Llano verde	Fondo	El Jigua	34	130	Parcial	Junta Accion Comunal	Permanente	no	Tanques almacenador, sedimentador
14	Buena Vista	2° 1' 21.4"N 76° 58' 24.3"W	Buena vista	Sin identificar	Quebrada Buena Vista	18	90	Parcial	Junta Accion Comunal	Escasa 7-8-9 S.D.	no	Tanques almacenador, sedimentador

De la misma manera se hizo el inventario para las cuencas Los huevos y Guachicono

### **5.3 VERTIMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES EN LA ZONA URBANA DEL CORREGIMIENTO DE PIEDRASENTADA, MUNICIPIO DEL BORDO Y SUCRE**

#### **5.3.1 Corregimiento de Piedrasentada**

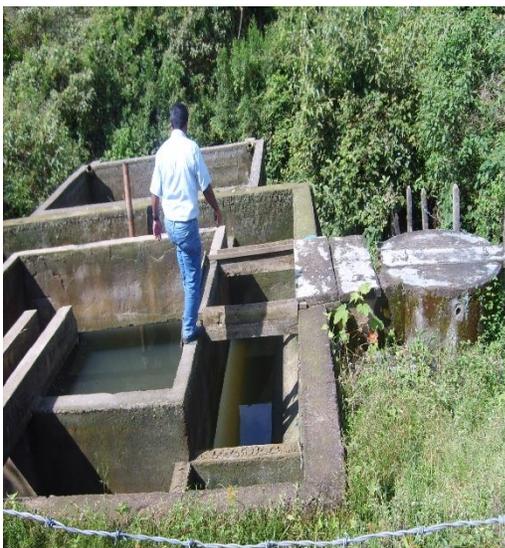
##### **5.3.1.1 Localización**

**LATITUD: 2°10'23.1" N**

**LONGITUD: 76°54'2.1" W**

**5.3.1.2 Descripción del área de vertimientos.** A la salida al corregimiento de Piedra Sentada se pudo observar, que el sitio de vertimiento de las aguas servidas llega a un pozo séptico por medio de un canal (Figura 5.60). Este pozo es muy deficiente en el tratamiento de las aguas servidas, teniendo en cuenta que se forman larvas, olores y otras bacterias en el fondo del pozo, generando zancudos, los cuales llegan a las casas cercanas aledañas al pozo incluyendo la escuela que se encuentra ubicada en este sector, causando enfermedades. El sitio está en medio de una zona árida y de rastrojo con árboles a sus alrededores como: Mano de Oso, Mestizo, Sangregado y Pendo entre otros. (Figura 5.1)

**Figura 5.1 Pozo séptico Piedrasentada**



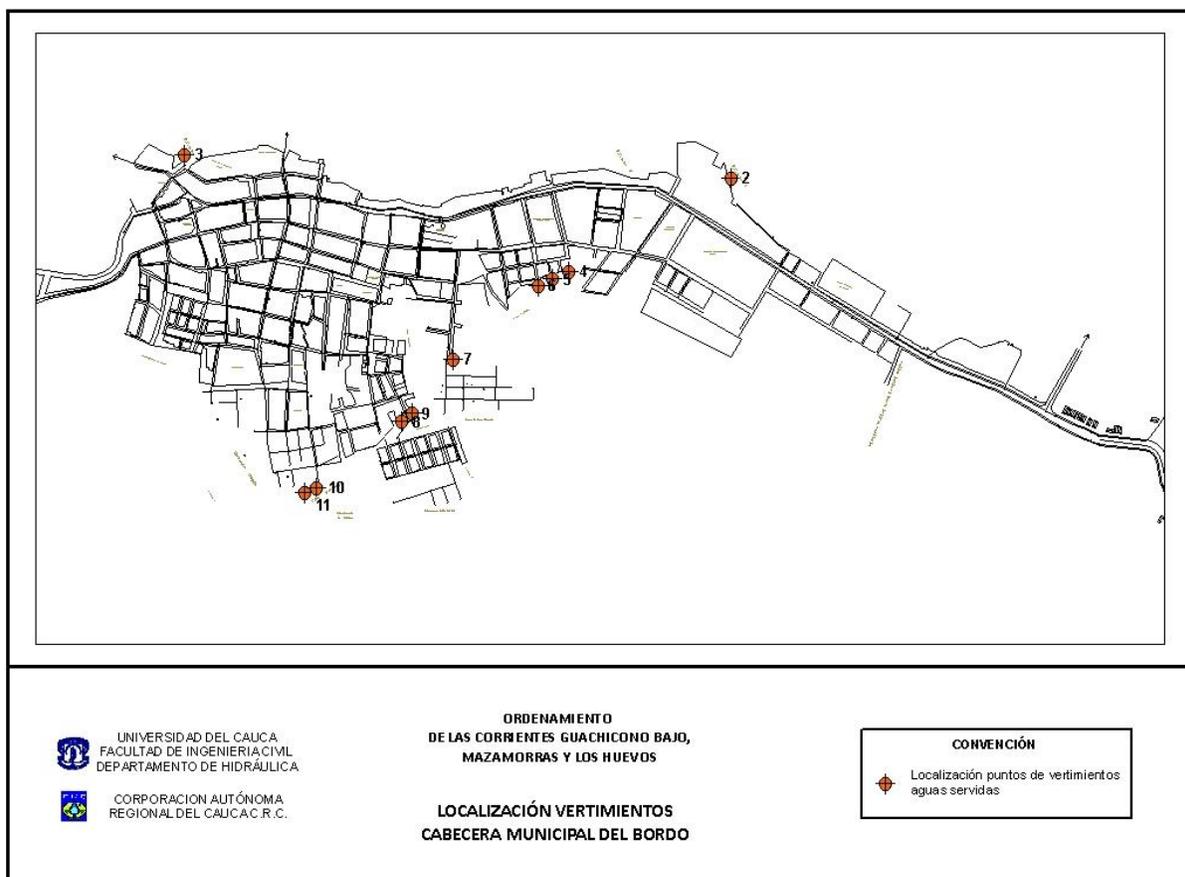
**Figura 5.2**



Para las tres cabeceras municipales se inventariaron los vertimientos de aguas residuales.

De la misma manera como se inventariaron los acueductos se georeferenciaron los sitios de vertimientos de aguas residuales.

La Figura 5.3 muestra la ubicación de los sitios de vertimiento de aguas residuales en la cabecera municipal del Bordo.



## 6. MORFOMETRÍA DE LAS CUENCAS

La determinación de los parámetros morfométricos se hizo para todas las cuencas, ya que son determinantes de la Hidrología,

### 6.1 MORFOMETRÍA CUENCA RÍO MAZAMORRAS

#### 6.1.1 Características Generales

**6.3.1.1 Área.** El área de la cuenca de la corriente Mazamorra, que abastece el acueducto del municipio de Sucre es:

$$\text{Área} = 120.963.654,92 \text{ m}^2 = 120,96 \text{ Km}^2$$

**6.3.1.2 Longitud del cauce principal de la Cuenca Mazamorra.** La longitud máxima de un río es una característica útil para ciertas aplicaciones hidrológicas. La longitud axial del río Mazamorra es: **Longitud del cauce principal:** 24.333,76 m =24,33 Km.

6.3.2 Parámetros de forma. La forma de la cuenca, cumple un papel importante en las corrientes de los ríos, ya que controla la velocidad con que el agua llega al cauce principal cuando sigue su curso, desde el origen hasta el punto considerado.

6.3.2.1 *Coefficiente de compacidad*

$$I_c = \frac{0.28P}{\sqrt{A}} \quad (\text{Ec. 6.21})$$

Donde

P= Perímetro de la cuenca (Km) = 56,73

A= Área de la cuenca (Km<sup>2</sup>) = 120,96

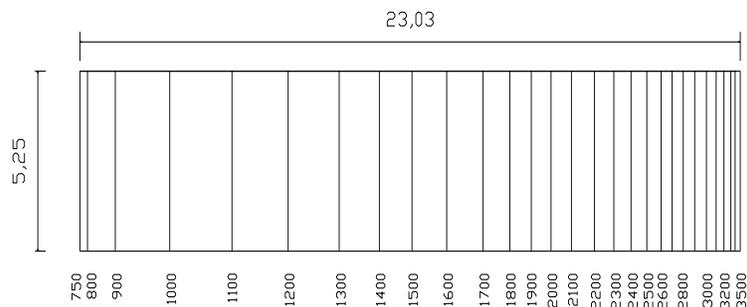
Ic= Coeficiente de compacidad = 1.44

La cuenca del Río Mazamorra es oval redonda - oval oblonga.

6.3.2.2 *Rectángulo equivalente.* Se supone que el escurrimiento en una cuenca dada es aproximadamente el mismo, en condiciones climatológicas idénticas, que sobre un rectángulo de la misma superficie, con el mismo índice de compacidad y la misma repartición hipsométrica y considerando que la distribución del suelo, vegetación y densidad de drenaje son respetadas en las diferentes áreas comprendidas entre curvas de nivel.

La Figura 6.1 corresponde al rectángulo equivalente de la corriente Mazamorra

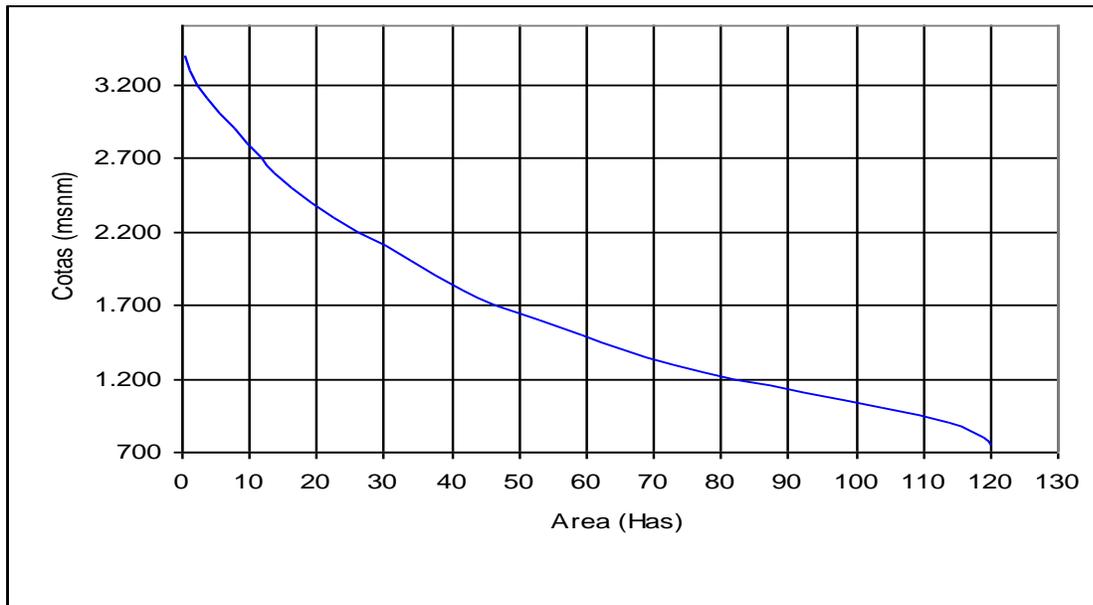
**Figura 6.1** Rectángulo equivalente



**6.3.3 Parámetros de relieve**

6.3.3.1 *Curva hipsométrica.* Los valores de área comprendidos en las diferentes altitudes se presentan en el Cuadro 6.4 y la representación gráfica de la distribución altitudinal de la cuenca está representada en la Figura 6.5

**Figura 6.2** Curva hipsométrica cuenca corriente Mazamorra



6.3.3.2 *Altura media de la cuenca.* La altura media de una cuenca tiene influencia capital sobre el régimen hidrológico, puesto que la tiene sobre las precipitaciones que alimentan el ciclo terrestre de las aguas y además se verifica una buena correlación entre la altura media y otros índices morfométricos de las cuencas de una región determinada. El cálculo se hizo por el método área-elevación.

$A_i =$  Área entre curvas de nivel o cotas =  $m^2$

$E_i =$  Promedio de las curvas de nivel que delimitan  $A_i$  en m

Luego,  $\sum (A_i * E_i) = 199.235.314.689$

$A_t =$  Área total de la cuenca =  $120.963.655 m^2$

$h (m) = 1.647$

La altura media de la cuenca de la corriente Mazamorra es de 1647 m.s.n.m.

6.3.3.3 *Pendiente de la cuenca de la Corriente Mazamorra.* La pendiente media de la cuenca se obtuvo por el criterio de Alvord

$$S_m = \frac{D * L}{A_t} \quad (\text{Ec. 6.1})$$

Donde

D= Diferencia de alturas entre cotas (curvas de nivel) consecutivas = 100 m

L= Longitud de las curvas de nivel = 614.789,82 m

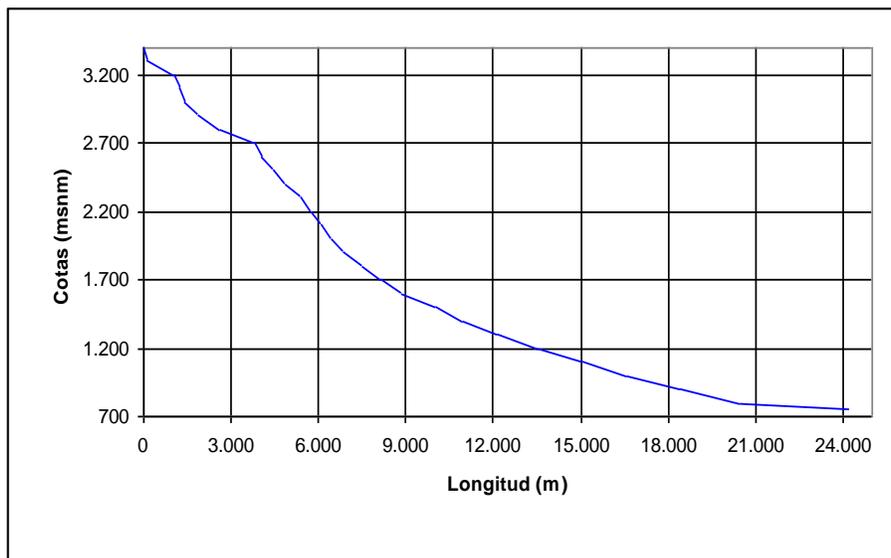
At:=Área total de la cuenca = 120.963.654,92 m<sup>2</sup>

$$Sm = \frac{D * L}{At} = 0.51 = 51\% \quad (\text{Ec. 6.2})$$

6.3.4 Parámetros relativos a la red de drenaje. Las diferentes corrientes de agua en una cuenca constituyen la red de drenaje, las cuales se clasifican en tres clases dependiendo del tipo de escurrimiento, involucrando características físicas y condiciones climáticas.

6.3.4.1 *Pendiente de la corriente principal.* Para calcular la pendiente de la corriente se empleó el método de Taylor –Schwarz

**Figura 6.3** Perfil del río Mazamorra



6.3.4.2 *Densidad de drenaje de la red hidrográfica.* Este parámetro está relacionado con la magnitud de las precipitaciones y la pendiente de la superficie del suelo. Para valores grandes de densidad de drenaje, corresponden mayor abundancia de escurrimiento y valores importantes de erosión.

$$Dd = \frac{Lr}{A} \quad (\text{Ec. 6.3})$$

Donde:

Dd= Densidad de drenaje = 4,37 Km/Km<sup>2</sup>

Lr: Longitud total de todas las corrientes = 528,30 Km

A: Área de la cuenca = 120,96 Km<sup>2</sup>

Se consideran valores de 0.5 Km/Km<sup>2</sup> para cuencas con drenaje pobre y hasta 3.5 km/Km<sup>2</sup> para cuencas con un buen drenaje. La cuenca de la corriente Mazamorra tiene un buen sistema de drenaje.

6.3.4.3 *Tiempo de concentración.* Se considera uno de los datos más importante en el análisis de los escurrimientos de agua y se define como el tiempo que tarda en llegar por escorrentía superficial a la sección de salida de la cuenca o hasta un punto de interés, la gota de lluvia caída en el extremo hidráulicamente más alejado de la cuenca. Al cabo de este tiempo toda la cuenca está aportando caudales al río y el caudal es máximo en el punto considerado. Para el cálculo se utilizó la fórmula de Kirpich.

$$T_c = \left[ \frac{0.87 * L^3}{\Delta H} \right]^{0.385} \quad (\text{Ec. 6.4})$$

Donde:

L = Longitud del cauce principal de la cuenca = 24,33 Km

ΔH = Diferencia de nivel, entre la salida de la cuenca y el punto hidráulicamente más alejado= 2750 m

Tc= Tiempo de concentración = 1.79 Horas

En el Cuadro 6.5 se resume los parámetros morfométricos y fisiográficos de las cuencas Guachicono bajo, Mazamorra y Los Huevos

**Cuadro 6.1** Resumen parámetros morfométricos cuencas Guachicono, Mazamorra y Los Huevos

Parámetro	Guachicono bajo	Mazamorra	Los Huevos
Área (Km <sup>2</sup> )	337.55	120.96	16.84
Longitud(Km)	55.83	24.33	10.4
Índice de compacidad		1.44	1.55
Forma		Oval redonda- Oval oblonga	Oval oblonga- rectangular oblonga
<b>Rectángulo equivalente:</b>			
Longitud		23.03	9.61
Altura		5.25	1.75
Altura media de la cuenca (m)		1647	1560
Pendiente de la cuenca (%)	38.7	51	46
Pendiente de la corriente principal (%)	0.30	1.30	1.5
Densidad de drenaje		4.37	4.02

Tiempo de concentración (horas)		1.79	0.83
Sinuosidad	1.33		

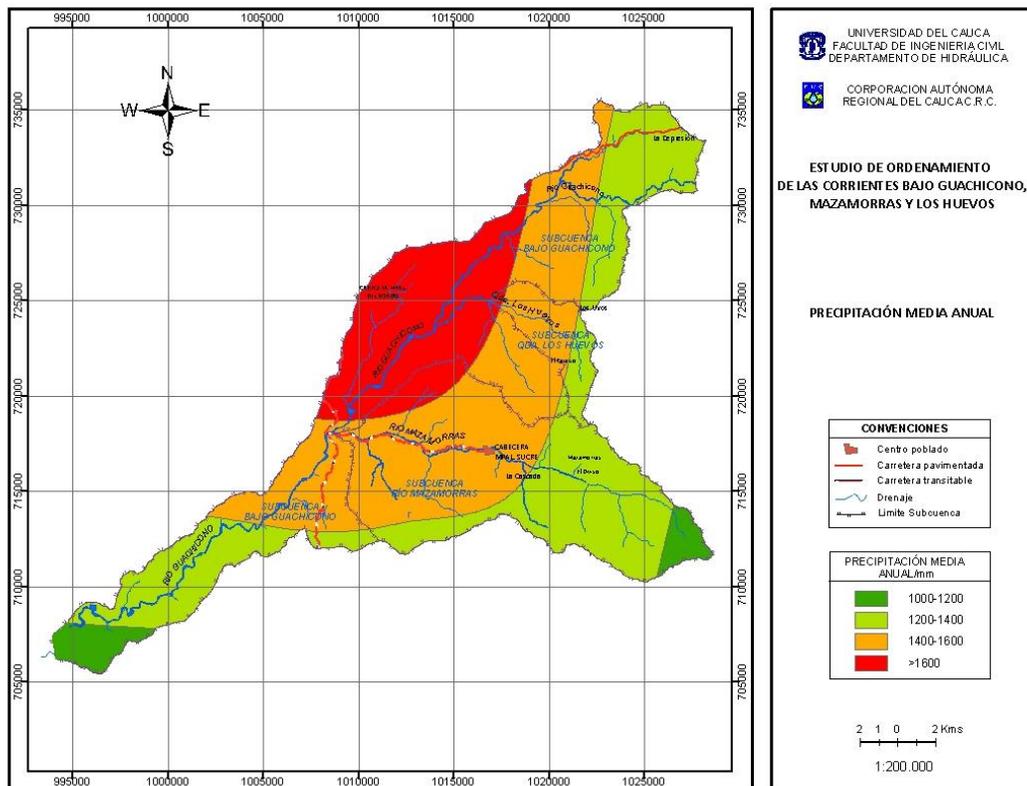
**7. OFERTA DE AGUA. RECURSOS HÍDRICOS DISPONIBLES**

**7.1 PRECIPITACIÓN MEDIA**

Es el promedio aritmético de los volúmenes de lluvia caídos anualmente en un período de n años. Se refiere a la variación de la precipitación con el tiempo. La lluvia constituye el elemento básico para los diferentes estudios de Ingeniería y determinante de los recursos hídricos de un área determinada.

Para el área de estudio, correspondiente a las cuencas de Bajo Guachicóno, Los Huevos y Mazamorras, se calcularon las precipitaciones medias por el método de las Isoyetas, empleando los registros de precipitación de las estaciones ubicadas en el área de influencia directa e indirecta y se utilizó el programa Arc Gis. La Figura 7.1 corresponde a la Isoyetas medias anuales para la cuenca Mazamorras, Guachicóno bajo y Los Huevos.

**Figura 7.1** Precipitación media en mm



**Cuadro 7.1** Cálculo de la precipitación media anual en mm, cuenca río Mazamorra

Isoyeta	Área (has)	Precipitación (mm)	Área (has)	% Área	Precipitación Ponderada
1100-1200	533.64	1150	533.64	4.4115968	5 073.34
1200-1300	2078.97	1250	2 078.97	17.1867	21 483.38
1300-1400	3074.91	1350	3 074.91	25.420076	34 317.10
1400-1500	3232.46	1450	3 232.46	26.722605	38 747.78
1500-1600	2459.51	1550	2 459.51	20.332627	31 515.57
1600-1700	716.88	1650	716.88	5.926395	9 778.55
			12 096.37	100.00	140 915.72
				<b>Media (mm)</b>	<b>1 409.16</b>

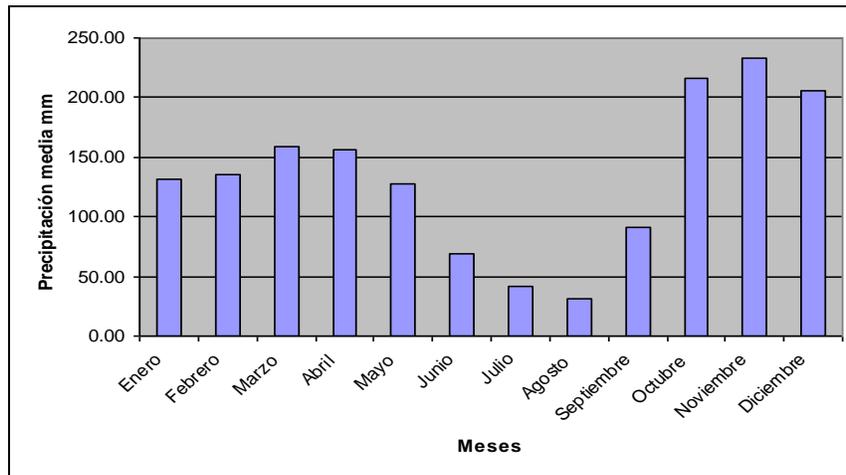
En el Cuadro 7.2 se resumen las precipitaciones medias mensuales en mm para la cuenca Mazamorra.

**Cuadro 7.2** Precipitaciones medias mensuales calculadas Cuenca río Mazamorra

Meses	Precipitación Media mensual (mm)
Enero	131.06
Febrero	135.03
Marzo	159.29
Abril	156.62
Mayo	127.25
Junio	68.78
Julio	42.20
Agosto	30.94
Septiembre	91.08
Octubre	216.20
Noviembre	232.49
Diciembre	205.14
Totales	<b>1 409.16</b>

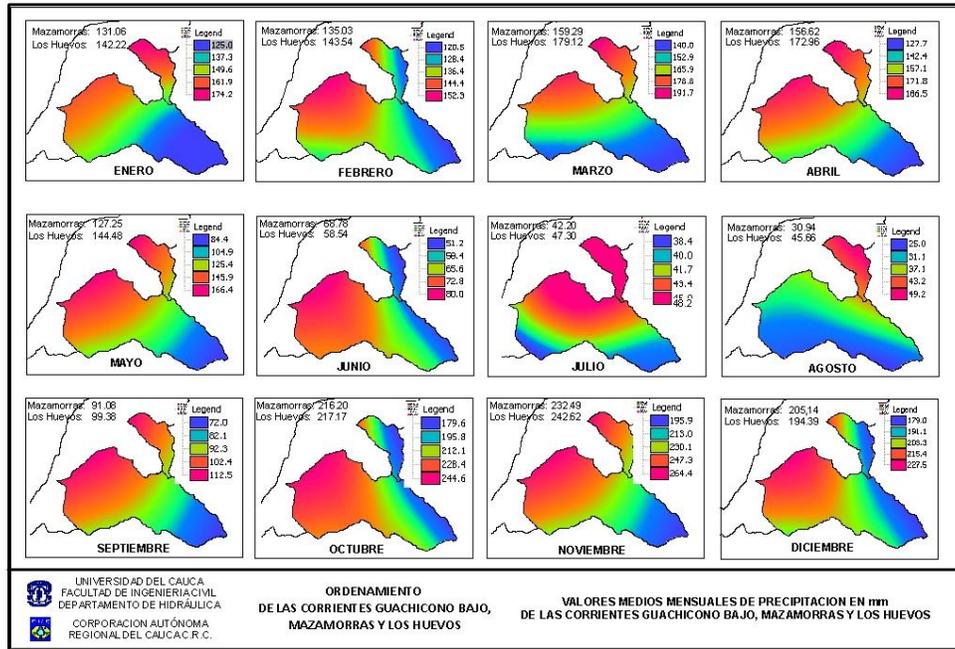
La Figura 7.2 es la representación gráfica de los valores correspondientes a las precipitaciones medias mensuales en la cuenca del río Mazamorra

**Figura 7.2** Distribución de la precipitación media mensual cuenca río Mazamorra



La Figura 7.5 muestra las Isoyetas medias mensuales correspondientes a las cuencas de la quebrada los Huevos

**Figura 7.5** Isoyetas media mensual cuenca quebrada Los Huevos y Mazamorras



## 8. CAUDALES SUPERFICIALES

Para conocer los caudales medios de las corrientes Guachicono bajo, Mazamorras y Los Huevos, se procedió a determinar la existencia de estaciones hidrométricas en cada uno de ellos encontrándose que el río Guachicono es el único que posee registros de caudales en las estaciones Puente Fierro y Guachicono. Para los restantes ríos se generaron caudales por el método del Servicio de Conservación de suelos de los estados Unidos, basado en las lluvias y la relación suelo cobertura (CN).

A manera de ejemplo se presentan los cálculos hidrológicos para la estación Puente Fierro en el río Guachicono, que cuenta con registro de caudales.

Para conocer el régimen de caudales del río en esta sección, se procedió a hacer el análisis de frecuencia de los caudales medios para 20 años de registro adquiridos en el IDEAM y construir las curvas de frecuencia y duración de caudales. Esta es una curva de frecuencia acumulada que expresa el porcentaje de tiempo total, durante el cual un caudal determinado es igualado o superado.

La construcción de estas curvas para un determinado punto de un río da una garantía que el proyecto de ingeniería que vaya a ser uso del recurso hídrico, tiene un porcentaje alto de seguridad que no va a

fracasar por deficiencias en los aportes de agua, ya que se basa en los registros históricos de caudales, lo cuales muestran su comportamiento.

A continuación se relacionan los caudales correspondientes al río Guachicono en las dos estaciones

**8.2.1 Caudal medio río Guachicono.** La Figura 7.6 corresponde a una panorámica del río Guachicono, en el sitio de la estación Puente Fierro

**Figura 8.1** Panorámica del río Guachicono. Estación hidrométrica Puente Fierro



El Cuadro 8.1 presenta el análisis de frecuencia y duración de los caudales en la estación Puente Fierro

- **RÍO GUACHICONO**

Estación = Puente Fierro

Código = 5202703

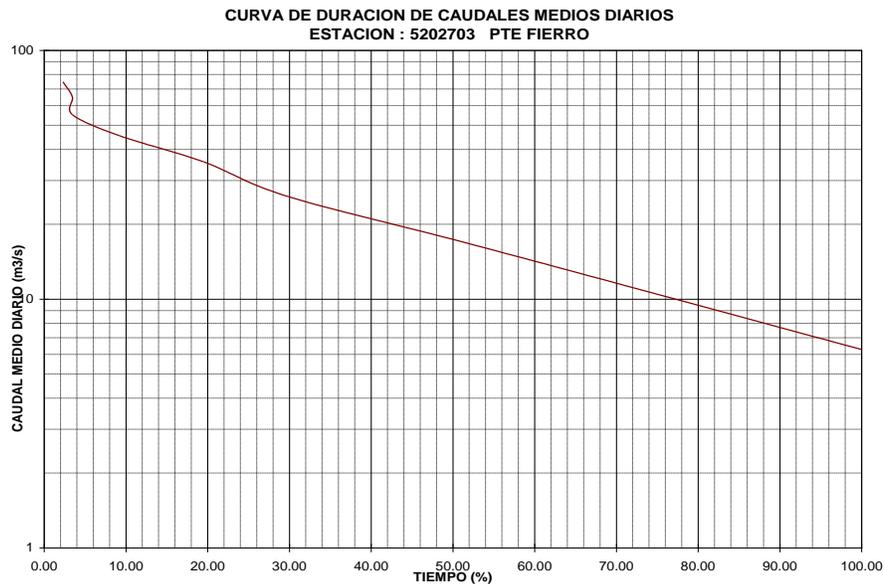
Altitud = 900 m.s.n.m.

**Cuadro 8.1** Análisis de frecuencia y duración de caudales. Estación Puente Fierro

		Nodatos:	87.00					
		Máximo:	84.53					
		Mínimo:	6.27					
			Decimal	Entero				
		Númerodeclases:	7.400	8				
		Rango	9.782			<b>PUENTE FIERRO</b>		
Nº	Clases		Marcaclase	Frecuencia	Frec.Relat.	Frec.Acuml	%Tot.tiem.	
1	6.27 - 16.06		11.16	40	0.4598	1.0000	100.00	
2	16.06 - 25.84		20.95	21	0.2414	0.5402	54.02	
3	25.84 - 35.62		30.73	9	0.1034	0.2989	29.89	
4	35.62 - 45.40		40.51	9	0.1034	0.1954	19.54	
5	45.40 - 55.18		50.29	5	0.0575	0.0920	9.20	
6	55.18 - 64.97		60.07	0	0.0000	0.0345	3.45	
7	64.97 - 74.75		69.86	1	0.0115	0.0345	3.45	
8	74.75 - 84.53		79.64	2	0.0230	0.0230	2.30	
				Suma:	87			

La representación gráfica de los porcentajes de permanencia de los caudales medios mensuales y los límites inferiores de cada clase correspondientes son presentados en la Figura 8.2

**Figura 8.2** Curva de frecuencia y duración de caudales medios mensuales, río Guachicono. Estación Puente Fierro.



**8.2.1.1 Disponibilidades de agua corriente Guachicono. Puente Fierro.** Para calificar el estado de la cuenca y la variabilidad de los caudales disponibles en la estación Puente Fierro del río Guachicono, se tiene el índice de variabilidad dada por:

$$Iv = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[ \sum_{i=1}^n (\log Q_i - \overline{\log Q})^2 \right]} \quad (\text{Ec. 8.1})$$

Donde:

$\log Q_i$  = Logaritmos de los caudales

$\overline{\log Q}$  = Media de los logaritmos de los caudales

$n$  = Número de caudales

De la curva de frecuencia y duración de caudales del río Guachicono en la estación Puente Fierro, se obtuvieron los caudales para diferentes porcentajes de tiempo. El Cuadro 8.2 presenta el cálculo del índice de variabilidad

**Cuadro 8.2** Cálculo del  $Iv$ . Estación Puente Fierro

Nº	Porcentaje	Caudal (Qi)	Log Qi	$(\log Q - \overline{\log Q})^2$
	(%)	(m <sup>3</sup> /s)		
1	10	45	1,653	0,193
2	20	35	1,544	0,109
3	30	26	1,415	0,041
4	40	21	1,322	0,012

5	50	17	1,230	0,000
6	60	15	1,176	0,001
7	70	12	1,079	0,018
8	80	9,5	0,978	0,056
9	90	7,8	0,892	0,103
10	95	7	0,845	0,136
			1,214	0,074
$Z = (1/n) \sum (\text{Log } Q_i) =$		1,214		
$W = (1/(n-1)) \left( \log Q - \overline{\log Q} \right)^2 =$		0,074		
$I_V = \sqrt{W} =$		<b>0,273</b>		

De acuerdo a las curvas de frecuencia y duración de caudales para la estación puente Fierro, se tienen los siguientes suministros:

- 1. Estudios de suministro de agua potable:** Garantiza tener un caudal seguro durante el funcionamiento del acueducto especialmente en épocas de verano. Se toma en la curva de duración el caudal para el 90% del tiempo el cual es igual 7.7 m<sup>3</sup>/s y de este se capta el 80% como garantía de suministro de agua o sea 6.16 m<sup>3</sup>/s
- 2. Aprovechamientos hidroeléctricos:** Se utiliza en los diferentes estudios para calcular la capacidad del embalse de generar energía de acuerdo al caudal confiable. Si se quiere generar una cantidad constante mínima durante todo el tiempo, se toma el caudal igualado o excedido el 100% del tiempo, que para Puente Fierro sería de 6.27 m<sup>3</sup> / s
- 3. Estudios de riego.** Corresponde al caudal entre el 75 y 80% del tiempo igual a 11.5 y 9.5m<sup>3</sup>/s respectivamente. Si el valor obtenido es mayor que la demanda, no se requiere de almacenar agua en un embalse, sino una captación o derivación lateral. En lo que corresponde a prospectiva se hará referencia a los diferentes proyectos.

**8.2.1.2 Disponibilidades de agua corriente Guachicono. Estación Guachicono.** La Figura 7.8 corresponde a una panorámica del río Guachicono, en el sitio de la estación Guachicono.

**Figura 8.3** Panorámica del río Guachicono



**Caudal medio río Mazamorra.** La Figura 8.4 corresponde a una panorámica del río Mazamorra, en el sitio de la estación de medición de caudales y de la calidad del agua.

**Figura 8.4** Panorámica del río Mazamorra



- **Cálculo de relación suelo cobertura CN**

Mediante los mapas de suelos y cobertura suministrados por la CRC se procedió a determinar el valor del CN para la cuenca del río Mazamorra. Como las características del área cambian en una cuenca, tales como los suelos, la cobertura o uso del suelo y la pendiente del terreno, es necesario obtener un valor de CN ponderado, El Cuadro 7.9 presenta el cálculo del caudal medio por escorrentía superficial del río Mazamorra

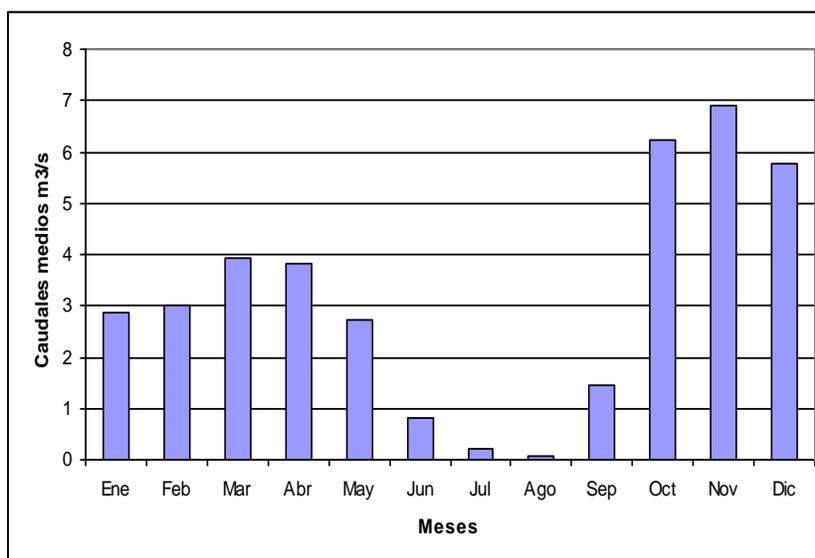
**Cuadro 8.3** Cálculo del caudal medio río Mazamorra

Meses	P mensual (mm)	Pe (cm)	Q (m <sup>3</sup> /s)
Enero	13.106	6.11240552	2.85252901
Febrero	13.503	6.42856801	3.00007529
Marzo	15.929	8.42006501	3.92946437
Abril	15.662	8.19643093	3.82509913
Mayo	12.725	5.81196706	2.71232081
Junio	6.878	1.736253	0.81027217
Julio	4.22	0.46701679	0.21794676
Agosto	3.094	0.13916224	0.06494404
Septiembre	9.108	3.14370989	1.46710221

Octubre	21.62	13.375755	6.24217897
Noviembre	23.249	14.8443586	6.92754488
Diciembre	20.514	12.3892812	5.78181272
P anual mm.	1409.16	Q medio	<b>3.15260753</b>

La Figura 8.5 es la representación gráfica de los valores correspondientes a los caudales medios mensuales del río Mazamorra.

**Figura 8.5** Caudales medios mensuales río Mazamorra



## 9. DEMANDA DE AGUA

### 9.1 GENERALIDADES

La demanda de agua en una cuenca, está representada por la cantidad de agua necesaria para desarrollar diferentes actividades sociales y económicas donde se requiere de este recurso. Según la resolución 0865 de 22 de julio de 2004 donde se adopta la metodología para el cálculo del índice de escasez y se dan las pautas correspondientes, se hace referencia para el cálculo de la demanda de agua que el país no cuenta con un sistema de información continua y sectorial de uso de agua, ni ha contabilizado históricamente el agua usada de fuentes superficiales y subterráneas. Se presentan varios escenarios y para el área de estudio corresponde al escenario cuando no existe información y se deben estimar potencialmente el volumen de agua demandada a nivel sectorial.

La demanda de agua la determina el fin que se le vaya a dar al recurso hídrico. A continuación se presentan como guía los valores o la forma de estimar dichas necesidades.

- **Producción de energía.** La generación de potencia, la capacidad del equipo generador y las demandas de carga, están íntimamente relacionados con la cantidad de agua disponible y la magnitud del almacenamiento. La potencia está dada por:

$$P_{\eta} = (\gamma * Q * H) * \eta \quad (\text{Ec. 8.1})$$

Donde:

$P_{\eta}$  = Potencia útil o nominal, Kg. m/s

$\gamma$  = Peso específico del agua, kg/m<sup>3</sup>

$Q$  = Caudal medio, m<sup>3</sup>/s

- **Actividades domésticas.** Una población o comunidad necesita de agua para abastecer sus necesidades de consumo de agua potable y uso doméstico. Esta demanda requiere ser proyectada en el tiempo. El volumen o demanda mensual está dado por:

$$V_m = P_s * d.bruta * n \quad (\text{Ec. 8.2})$$

Donde:

$V_m$  = Demanda medio mensual, litros

$P_s$  = Población servida (habitantes)

$d.bruta$  = Demanda bruta residencial en litros por habitante por día

$n$  = Número de días del mes

Para el cálculo correspondiente se debe tener en cuenta la norma RAS-001

- **Actividades agrícolas.** Los cultivos requieren de agua para efectuar los procesos fisiológicos, de transpiración, transformación de tejidos y alcanzar el apropiado desarrollo de las plantas. No solo los cultivos sino todo tejido vegetal requiere de agua para su permanencia dentro de estos también se encuentran los propios bosques reguladores de agua. La demanda está dada por:

$$Q = \frac{27.8 * A * L}{F_R * H * e} \quad (\text{Ec. 8.3})$$

Donde:

$Q$  = caudal en l/s

$A$  = área a regar en has

$L$  = lámina de agua a aplicar, cm

$F_R$  = frecuencia de riego, días

$H$  = tiempo diario de riego, horas

$e$  = eficiencia de la aplicación, decimal

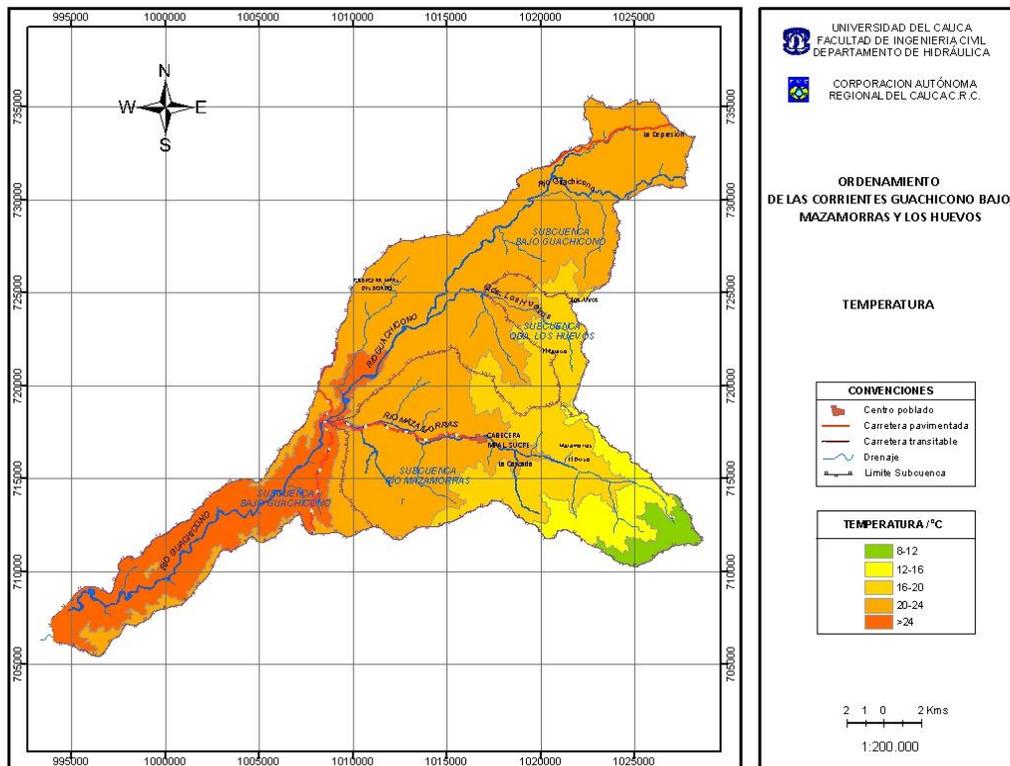
- **Actividades industriales.** Para llevar a cabo actividades correspondientes al sector dedicado a la industria es fundamental el uso del recurso agua. Ésta actividad requiere para el cálculo, de un balance hídrico de cada empresa para determinar sus necesidades de agua
- **Otros usos.** Existen otras demandas de agua, entre ellas la representada por los requerimientos mínimos de agua para conservar la biodiversidad existente en los cauces de agua superficial como es el caudal ecológico y el manejo de la calidad de agua mediante dilución de cargas contaminante el cual se haría mediante los embalses.

### 9.1 DEMANDA NATURAL

Dentro de los fenómenos a considerar en el balance hídrico de una cuenca, la evapotranspiración considera de una manera directa el efecto del intercambio de agua (evaporación del agua del suelo y transpiración) de las plantas.

La temperatura media en un área es uno de los determinantes de la evapotranspiración media. Para realizar el modelo de temperatura se utilizó una ecuación obtenida del IDEAM en función de la altitud en m.s.n.m. cuyos resultados se muestran en la Figura 8.1

**Figura 9.1** Temperatura media en el área de estudio



9.2.1 Determinación de la evapotranspiración. Se cuenta con una diversidad de métodos para estimar la evapotranspiración, la selección y aplicación cualquier método para determinar la magnitud del fenómeno será función directa entre los más determinantes de: la disponibilidad de recursos, la urgencia de la información y de la información meteorológica.

Al ser el fenómeno de la evapotranspiración un parámetro importante y esencial a ser considerado en todo proyecto o estudio que contemple la dotación y/o la evacuación de agua de una zona destinada a su explotación agrícola de forma intensiva y técnica, se debe disponer de formulaciones y mecanismos más eficientes y confiables para su estimación. Ante la carencia de información suficiente para determinar ésta demanda de agua y además no está contemplada dentro de los términos de referencia, solamente se hace un cálculo de la demanda en condiciones naturales o ambientales y la demanda para los demás usos.

Para el cálculo de la demanda natural se hizo el cálculo de la Evapotranspiración de referencia mensual para las cuencas Mazamorra y Los Huevos considerando la altitud media de cada una de ellas y la evapotranspiración media anual para la Cuenca Guachicón bajo, Mazamorra y Los Huevos.

**9.2.1.1 Evapotranspiración media cuenca río Mazamorra.** Para el cálculo se consideró el método de Thornthwaite ya que no se cuenta sino con la temperatura media para una altitud media de la cuenca de 1647 m.s.n.m. presentados en el Cuadro 8.1.

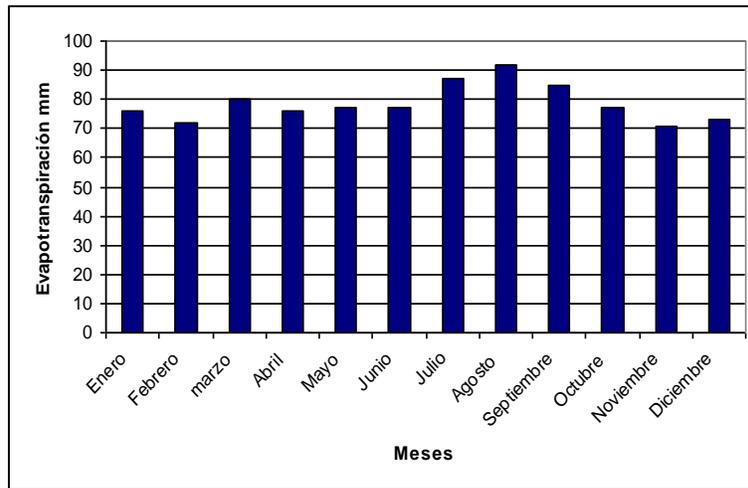
**Cuadro 9.1** Evapotranspiración media mensual. Cuenca Mazamorra

Latitud (grados)	2.04											
Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura Media (°C)	20.2	20.5	20.5	20.3	20.1	20.4	21.2	21.8	21.4	20.2	19.8	19.8
Índice calor mensual "i"	8.30	8.49	8.49	8.36	8.24	8.42	8.93	9.31	9.06	8.30	8.05	8.05
Índice calor anual "I"	101.99											
Parámetro "a"	2.234											
ETP sin ajustar mm/mes	73.90	76.37	76.37	74.72	73.08	75.54	82.31	87.60	84.05	73.90	70.67	70.67
L	1.03	0.94	1.04	1.01	1.05	1.02	1.05	1.05	1.01	1.04	1.00	1.03
ETP (mm/mes)	<b>76</b>	<b>72</b>	<b>80</b>	<b>76</b>	<b>77</b>	<b>77</b>	<b>87</b>	<b>92</b>	<b>85</b>	<b>77</b>	<b>71</b>	<b>73</b>

La Figura 9.2 es la representación de los valores de evapotranspiración media en la cuenca del río Mazamorra.

**Figura 9.2** Evapotranspiración media en mm. Cuenca Mazamorra

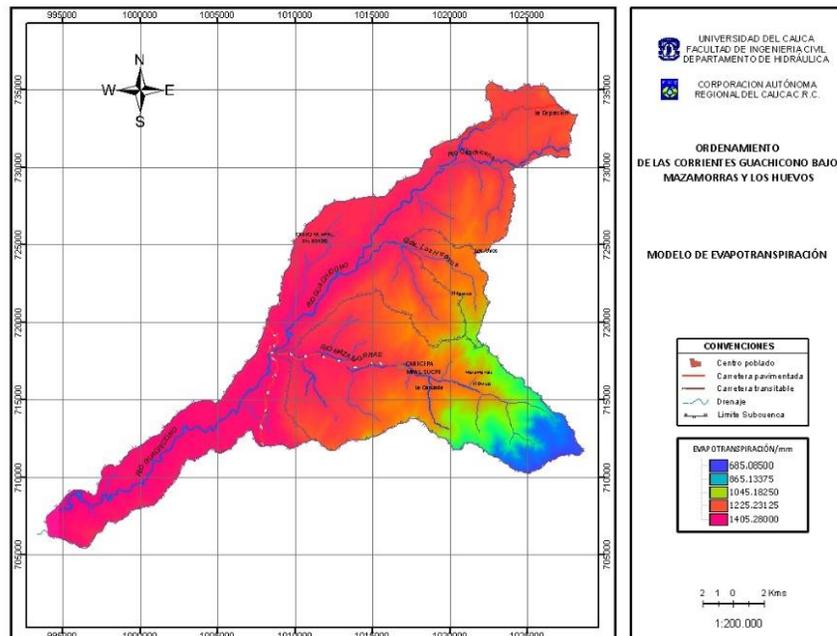
## “Gestión del Riesgo y Restauración de Ecosistemas Acuáticos Continentales”



Los valores de Evapotranspiración media mensual están por encima de los setenta mm, siendo Julio, agosto y septiembre los meses de mayores pérdidas de agua en la cuenca del río mazamorra.

Basado en una ecuación general de evapotranspiración para todo el país obtenida por el IDEAM, por el método de Penman se obtuvo un modelo para toda el área de estudio tal como lo muestra la Figura 8.4

**Figura 9.3** Evapotranspiración media en mm. Cuenca quebrada Los Huevos, Guachicono bajo y Mazamorra.



### **9.3 DEMANDA DE AGUA DE LAS CUENCAS GUACHICONO BAJO, MAZAMORRAS Y LA QUEBRADA LOS HUEVOS**

La demanda total de agua en el área, está reducida a la demanda de agua para uso doméstico, ya que no se considera la de uso agrícola por carecer de proyectos de riego y la principal fuente de agua para la agricultura es la precipitación, las explotaciones pecuarias son de tipo extensivo y no es significativo lo mismo que para el sector servicios. Tampoco existen industrias que requieran del agua para sus actividades.

**Demanda de agua de la cuenca río Mazamoras.** En el inventario que se hizo de los diferentes aprovechamientos en la cuenca del río Mazamoras y sus afluentes, no aparece ningún proyecto de tipo agrícola ni distritos de riego. Las captaciones inventariadas arrojaron la siguiente demanda de agua: Asumiendo unas pérdidas del 60% teniendo en cuenta las deficiencias técnicas de los acueductos inventariados en la cuenca, se tiene que la demanda media de agua de las diferentes corrientes de la cuenca del río mazamoras es de 20.83 l/s

## **10. BALANCE HÍDRICO CLIMÁTICO**

Partiendo del conocimiento de las precipitaciones medias mensuales y de la evapotranspiración de referencia mensual estimada, podemos estudiar el balance del agua en el suelo a lo largo del año en las cuencas de los ríos Guachicono, Mazamoras y la quebrada Los Huevos. Conocer el balance de humedad en el suelo es importante para evaluar la disponibilidad de agua para los cultivos, estudios hidrológicos, de conservación de suelos, de drenaje, de recuperación de suelos salinos, de repoblación forestal, o el establecimiento del régimen de humedad de los suelos o de criterios de diferenciación climática.

Para estimar el balance de agua en el suelo; se seguirá el método directo propuesto por Thornthwaite y Mather, según el cual se va perdiendo agua para poder generar la evapotranspiración de referencia hasta agotar la reserva.

El balance hídrico consiste en definir mes a mes los siguientes parámetros (en mm ó l /m<sup>2</sup>, ambos valores son iguales):

- $P$  = Precipitación media mensual
- $ET_o$  = Evapotranspiración de referencia
- $P - ET_o$  = Diferencia entre la  $P$  y la  $ET_o$
- $R$  = Reserva

<i>VR</i>	= Variación de la reserva
<i>ETR</i>	= Evapotranspiración real
<i>F</i>	= Falta
<i>Ex</i>	= Exceso

Se supone que los gastos específicos (caudal por unidad de área) de las cuencas en estudio son proporcionales a las áreas de las cuencas.

El desarrollo de los caudales en una sección fluvial (punto de concentración), va a depender en forma acumulativa de todo lo que sucede aguas arriba de ella en la cuenca. Para la cuenca de Guachicono bajo no se hará el balance hídrico, por lo expuesto anteriormente ya que solamente se considera la parte baja de la misma.

### **10.1. BALANCE HÍDRICO CLIMÁTICO CUENCA MAZAMORRAS**

Para el balance hídrico, se consideró las precipitaciones medias mensuales generadas mediante el método de las Isoyetas y teniendo como referencia los datos de temperatura y altitud de la estación La Fonda, se procedió a estimar los datos de temperatura para la altura media de las cuencas de los ríos Mazamorra y la quebrada los Huevos, calculadas en el tema correspondiente a morfometría. Se tuvo en cuenta la ecuación del IDEAM obtenida para el país dada por

$$T = 28.3079 - 0.0056517H \quad (\text{Ec. 10.1})$$

Donde:

T=Temperatura media en °C

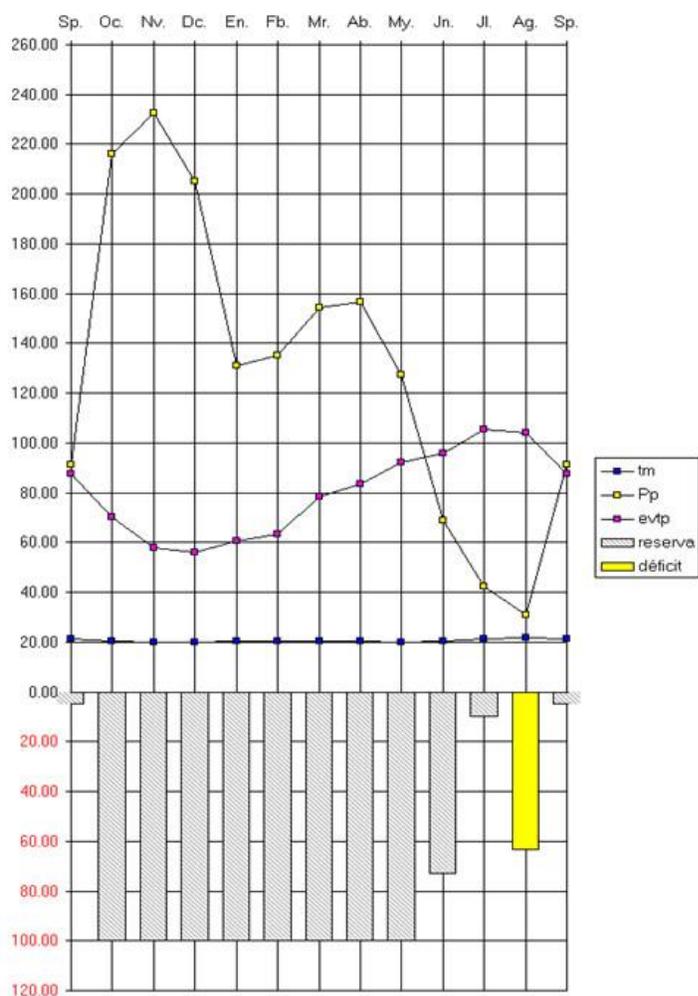
H=Altura sobre el nivel del mar, m

El gradiente de temperatura es de -0.56 °C/100m

El Cuadro 9.1 presenta el balance hídrico correspondiente a la cuenca del río Mazamorra para una altura media de la cuenca de 1647 m.s.n.m.

La representación gráfica de los valores del balance realizado se presentan en la Figura 10.1 para una capacidad de almacenamiento del suelo de 100mm.

El mes más crítico corresponde al mes de Agosto, donde se presenta un déficit de agua en la cuenca, no hay excesos de agua en los meses de Junio, Julio, Agosto y Enero y los aportes de los ríos son por las aguas subterráneas.



**Figura 10.1** Representación del balance hídrico, cuenca río Mazamorras

## 10.2 BALANCE HÍDRICO, CUENCAS RÍOS GUACHICONO

### BAJO, MAZAMORRAS Y QUEBRADA LOS HUEVOS

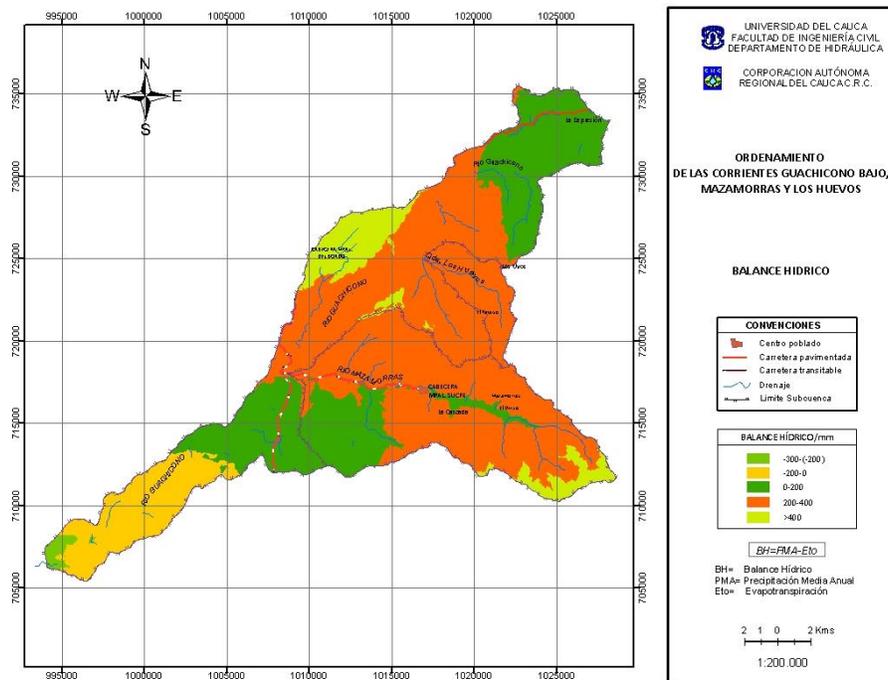
Teniendo en cuenta las precipitaciones medias en el área, la evapotranspiración y la relación altitudinal se obtuvo un modelo de balance hídrico para toda el área de estudio cuyos resultados se muestran en la Figura 9.3.

De acuerdo al modelo, los mayores excesos de precipitación se presentan en la parte más alta de la cuenca del río Mazamorras por encima de los 400 mm, lo cual viene a representar una mayor escorrentía.

En la cuenca de la quebrada Los Huevos y en el resto de la cuenca del río Mazamorras se presentan unos excesos entre 200 y 400 mm.

Para la cuenca del río Guachicono, como solamente se consideró la parte baja, es difícil interpretar el balance hídrico porque los resultados de lo que se presente en la parte media y alta va a repercutir en la parte baja de la misma. Sin embargo el balance muestra que para la parte NW corresponde a unos excesos de precipitación superiores a los 400 mm.

**Figura 10.2** Balance hídrico

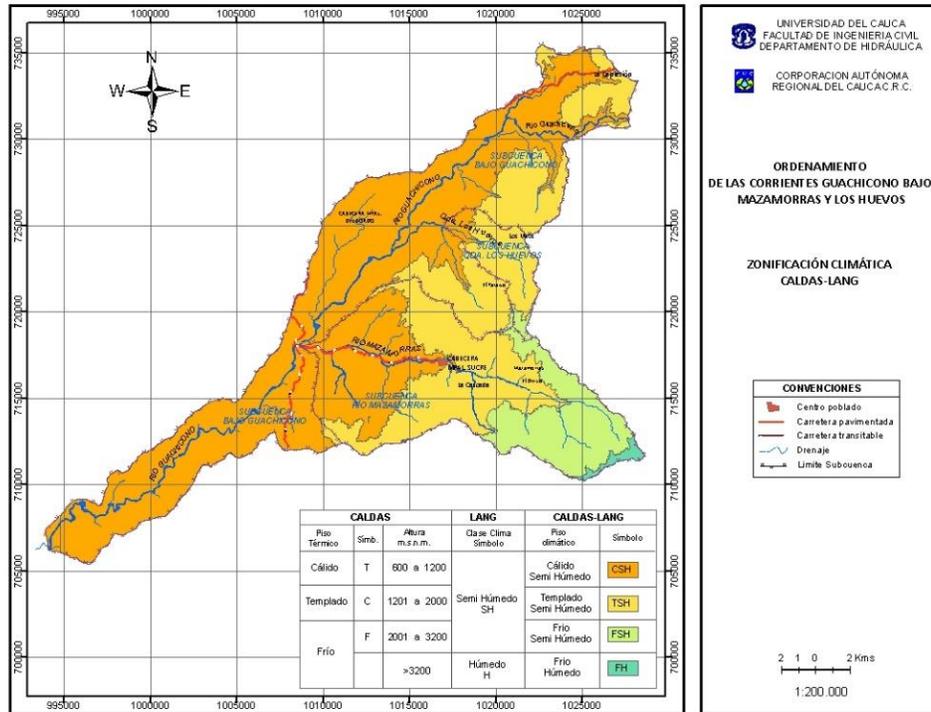


## 11. ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA CALDAS-LANG

Anteriormente se hizo la clasificación climática para las cuencas de la quebrada Los Huevos y el río Mazamorra por el método de Thornthwaite, considerando una altitud media de las mismas, y las clasifica como húmedo ( $B_3$ ), con poca o nula falta de agua en verano (R), mesotérmico ( $B'3$ ) y a'. Las dos primeras letras relacionan la humedad y las dos últimas la situación térmica.

Se realizó un modelo para clasificar el área de estudio por la clasificación climática Caldas-Lang arrojando los resultados que muestra la figura 11.1, donde muestra que clasifica el área entre semi húmedo y húmedo y teniendo en cuenta la altitud la cuenca del Guachicono bajo lo clasifica como cálido húmedo. Para la cuenca de Los Huevos como templado semi húmedo y para la del río Mazamorra entre cálido húmedo, frío semi húmedo y frío húmedo para la parte alta.

**Figura 9.4** Zonificación climática Caldas-Lang



## 12. CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua está determinada por la hidrología, la fisicoquímica y la biología de la masa de agua a que se refiera. Las características hidrológicas son importantes ya que indican el origen, cantidad del agua y el tiempo de permanencia, entre otros datos. Estas condiciones tienen relevancia ya que, según los tipos de sustratos por los que viaja el agua, ésta se cargará de unas sales u otras en función de la composición y la solubilidad de los materiales de dicho sustrato. Así, las aguas que discurren por zonas calizas (rocas muy solubles) se cargarán fácilmente de carbonatos, entre otras sales. En el otro extremo, los cursos de agua que discurren sobre sustratos cristalinos, como los granitos, se cargarán muy poco de sales, y aparecerá en cantidad apreciable la sílice.

La cantidad y la temperatura también son importantes a la hora de analizar las causas que concurren para que el agua presente una calidad u otra. Lógicamente, para una cantidad de contaminantes dada, cuanto mayor sea la cantidad de agua receptora mayor será la dilución de los mismos, y la pérdida de calidad será menor. Por otra parte, la temperatura tiene relevancia, ya que los procesos de putrefacción

y algunas reacciones químicas de degradación de residuos potencialmente tóxicos se pueden ver acelerados por el aumento de la temperatura.

El agua encontrada en estado natural nunca está en estado puro, sino que presenta sustancias disueltas y en suspensión. Estas sustancias pueden limitar, de modo igualmente natural, el tipo de usos del agua. Las aguas hipersalinas o muy sulfurosas, por ejemplo, no se pueden usar como agua potable o de riego. En estos casos, con frecuencia, el carácter del agua la hace indicada para un uso reservado a la conservación, pues suelen albergar comunidades naturales raras.

Los parámetros más comúnmente utilizados para establecer la calidad de las aguas son los siguientes: oxígeno disuelto, pH, sólidos en suspensión, DBO, fósforo, nitratos, nitritos, amonio, amoniaco, compuestos fenólicos, hidrocarburos derivados del petróleo, cloro residual, cinc total y cobre soluble. También se pueden emplear bioindicadores para evaluar la calidad media que mantiene el agua en periodos más o menos largos. Para ello se usan diferentes grupos biológicos. Por ejemplo, son indicadores de buena calidad del agua la presencia de trucha común (*Salmo trutta*), que requiere aguas bien oxigenadas y frías; de ciertos grupos de macroinvertebrados bentónicos, como ciertas ninfas de efemerópteros, tricópteros y plecópteros; o la existencia de rodales de plantas acuáticas, como los nenúfares (géneros *Nuphar* y *Nymphaea*) y otras fanerógamas (como algunas plantas carnívoras del género *Utricularia*) y algunas criptógamas (como ciertas algas del género *Chara*).

Debido a la cantidad de parámetros que participan en el diagnóstico de la calidad del agua y a lo complejo que éste puede llegar a ser, se han diseñado índices para sintetizar la información proporcionada por esos parámetros. Los índices tienen el valor de permitir la comparación de la calidad en diferentes lugares y momentos, y de facilitar la valoración de los vertidos contaminantes y de los procesos de autodepuración. Los primeros índices de calidad se aplicaron en los Estados Unidos en 1972. Constan de los valores de diferentes parámetros preseleccionados a los que se aplica un “peso” o importancia relativa en el total del índice. Para su cálculo se seleccionaron, en el caso de los Estados Unidos, el oxígeno disuelto, los coliformes fecales, el pH, la DBO, los nitratos, los fosfatos, el incremento de temperatura, la turbidez y los sólidos totales. En España se diseñó el índice de calidad con el oxígeno disuelto, los coliformes, el pH, el consumo de permanganato potásico, el amonio, los cloruros, el incremento de temperatura, la conductividad y los detergentes.

## **12.1 RESULTADOS DE ANÁLISIS DE MUESTRAS DE AGUA DE LOS RIOS GUACHICONO BAJO, MAZAMORRAS Y QUEBRADA LOS HUEVOS.**

En el Cuadro 12.1 se presenta la relación de puntos de muestreo en los diferentes cuerpos de agua caracterizados en este estudio, incluyendo la fecha de toma de muestras y su respectiva georeferenciación consignados en el Cuadro 10.2.

**Cuadro 12.1 Resumen** Análisis de Muestras de Agua Quebrada los Huevos, río Mazamorra y río Guachicono.

PARAMETRO	METODO	UNIDAD	RESULTADOS				
			1	2	3	4	5
ST	Gravimétrico	mg/l	74.0	36.5	30.5	37	52.5
SST	Gravimétrico	mg/l	27.33	18	34.5	41	69
Cloruros	Volumétrico	mg/l	1.75	1.34	2.83	2.42	3.64
Fosforo	Fotométrico	mg/l	0.049	0.039	0.047	0.098	0.039
Sulfatos	Turbidimétrico	mg/l	9.00	7.88	4.48	4.78	7.76
DBO	Volumétrico	mg/l	0.77	0.45	0.30	1.48	0.69
DQO	Volumétrico	mg/l	26	7	29	6	5
Nitritos	Colorimétrico	mg/l	0.1	0.103	0.105	0.2	0.2
Nitratos	Colorimétrico	mg/l	0.148	0.152	0.155	0.295	0.295
Nitrógeno Tot	Estimación	mg/l	0.248	0.255	0.260	0.495	0.495
Turbiedad	Turbidimétrico	NTU	36	10.1	14.1	51.6	54.5
Coliformes	UFC/100ml	UFC/100ml	9	4	30	5	12

## 12.2 ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA GENERAL “ICA”

Los índices pueden generarse utilizando ciertos elementos básicos en función de los usos del agua, el “ICA”, define la aptitud del cuerpo de agua respecto a los usos prioritarios que este pueda tener. Estos Índices son llamados de “Usos Específicos”.

El Índice de calidad de agua propuesto por Brown es una versión modificada del “WQI” que fue desarrollada por La Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU. (NSF), que en un esfuerzo por idear un sistema para comparar ríos en varios lugares del país, creó y diseñó un índice estándar llamado WQI (Water Quality Index) que en español se conoce como: INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA).

Este índice es ampliamente utilizado entre todos los índices de calidad de agua existentes siendo diseñado en 1970, y puede ser utilizado para medir los cambios en la calidad del agua en tramos particulares de los ríos a través del tiempo, comparando la calidad del agua de diferentes tramos del mismo río además de compararlo con la calidad de agua de diferentes ríos alrededor del mundo. Los resultados pueden ser utilizados para determinar si un tramo particular de dicho río es saludable o no.

## “Gestión del Riesgo y Restauración de Ecosistemas Acuáticos Continentales”

Para la determinación del “ICA” intervienen 9 parámetros, Cuadro 12.2:

12.1 ICA – NSF. El ICA NSF es uno de los de mayor aplicación a nivel mundial, en el Cuadro 12.3 se realiza la clasificación de la calidad del agua mediante el ICA - NSF

**Cuadro 12.2** Hoja para el cálculo del ICA – NSF

Puntos sobre el río	Parámetros Físicoquímicos								
	$\Delta$ Temp (° C)	pH (unds)	OD (% Sat)	Turbiedad (UNT)	Fosfatos (mg/l)	Nitratos (mg/l)	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	ST (mg/l)	Coliformes Fecales (UFC/100ml)
1	6,87	7,10	9,50	36,0	0,049	0,1476	0,77	74,00	9,00
2	5,83	6,30	9,80	10,1	0,039	0,1520	0,45	36,50	4,00
3	3,70	6,40	9,70	14,1	0,047	0,1550	0,3	30,50	30,00
4	3,80	6,40	9,40	41,9	0,098	0,2952	1,48	37,00	5,00
5	6,30	6,50	9,30	54,5	0,039	0,2952	0,69	52,50	12,00

**Cuadro 12.3** Cálculo del ICA – NSF

Valores de los Subíndices									ICA	
I Temp	I pH	I OD	I Turb	I PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	I NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	I DBO <sub>5</sub>	I ST	I ColiFec	Valor del ICA	Clasificación de las corrientes
62,0	90,0	7,0	48,0	100	97	100	79	73,0	69,0	Media
68,0	64,0	7,0	76,0	100	97	100	79	82,0	70,0	Buena
78,0	68,0	7,0	68,0	100	97	100	79	58,0	67,0	Media
78,0	68,0	7,0	44,0	100	92	100	79	80,0	69,0	Media
65,0	72,0	7,0	36,0	100	92	100	79	69,0	65,0	Media

### 12.3 Índices de Contaminación ICO

Los ICOs son criterios de evaluación del nivel de contaminación presente en el agua desarrollados en Colombia por Ramírez, A. y Viña, G. (1998), a partir del análisis de gran cantidad de información físicoquímica resultante de diferentes estudios limnológicos relacionados con la industria del petróleo (Cuadros 10.31, 10.32 y 10.33).

**Cuadro 12.4** Cálculo de ICOs

ICOMO						ICOSUS		ICOTRO		
Parámetros Físicoquímicos			Valores de los Subíndices			Valor ICOMO	SST (mg/l)	Valor ICOSUS	PT (mg/l)	Valor ICOTRO
DBO (mg/l)	Coliformes Totales (NMP/100ml)	Oxígeno (% Sat)	IDBO	IColiT	Ioxi					
0,8	0,00E+00	0,5	0,000	0,00	0,005	0,303	74,00	0,30	0,040	Eutrofic

## **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Con el presente estudio se pretende elaborar un diagnóstico de calidad del agua perteneciente a los ríos Guachicón bajo, Mazamorra y Quebrada Los Huevos, basándose en análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos, con el fin de conocer el impacto ambiental generado en estas corrientes debido a las diferentes actividades (sociales y económicas) desarrolladas en las zonas. Para tal efecto se calcula el Índice de Calidad de Agua (ICA) propuesto por Brown.

Según los resultados obtenidos mediante las hojas de cálculo ICA CETESB e ICA - NSF, se obtuvo un Índice de Calidad de Agua regular y media respectivamente para la mayoría de los puntos de muestreo sobre las corrientes objeto de estudio. En el punto 2 (antes del municipio de Sucre) se presenta un ICA con clasificación de buena calidad, esto se debe a que en este punto todavía no se presentan descargas de aguas domiciliarias.

Como se nota en la tabla se recomienda que las aguas de las diferentes corrientes sean sometidas a previos tratamientos según su uso ya que el cálculo del ICA demuestra que son de regular calidad y pueden generar afecciones al ser humano. También se recomienda realizar una campaña de medición en época de verano ya que la temporada en la cual se realizaron los muestreos fue una época de lluvias, para de esta manera tener una base de comparación e incrementar la confiabilidad del presente estudio.

Por otra parte, la determinación de los diferentes índices de contaminación (ICOs), clasifican a las corrientes estudiadas como aguas con baja y muy baja contaminación según los parámetros fisicoquímicos analizados, además según el ICOTRO las aguas se clasifican como eutróficas.

### **13. ANÁLISIS DE LA CALIDAD BIOLÓGICA DE LOS RÍOS GUACHICÓN, MAZAMORRA Y QUEBRADA LOS HUEVOS**

### **13.1. GENERALIDADES SOBRE LOS MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS EPICONTINENTALES (MAE).**

El término macroinvertebrados acuático, se emplea como una abstracción que incluye a aquellos animales invertebrados, que por su tamaño relativamente grande, son retenidos por redes con ojo de malla de entre 250-300  $\mu\text{m}$ . La gran mayoría de los mismos (alrededor del 80%) corresponden a grupos de artrópodos y dentro de estos los insectos, y en especial sus formas larvarias, son las más abundantes (Alba-Tercedor, 1996).

Las necesidades de conservación, preservación y uso sostenible de los ecosistemas acuáticos (lóticos y lentos) han generado durante las últimas décadas un aumento progresivo en el desarrollo de modelos teóricos y experimentales que permiten ampliar los conocimientos sobre la estructura y composición de las comunidades que los habitan, considerando que dichos parámetros dependen en mayor o menor medida de una serie de interacciones bióticas (depredación, competencia, etc.), y de las características de los microhábitat disponibles, que pueden variar a escala temporal y espacial (Munné y Prat, 2004).

En este sentido, no solo los ecosistemas acuáticos de las regiones templadas están sujetos a variaciones en los regímenes hidrológicos, sino también los ecosistemas de climas cálidos, principalmente los de zonas con altas temperaturas y bajas precipitaciones, en donde de acuerdo con Boulton (2003) durante la época de sequía (menos lluvias o ausencia de las mismas). se dan gradualmente diversos cambios ecológicos en los sistemas lóticos, por ejemplo, a medida que un río o riachuelo disminuye su caudal o se seca, hay pérdidas abruptas de hábitats específicos, alteración de las condiciones físicas y químicas en su caudal o pozos aislados que puedan formarse, terminando en una fragmentación del sistema hídrico en general, que se refleja en la composición y estructura de las comunidades acuáticas y en particular, se ha determinado que en relación con la fauna de macroinvertebrados acuáticos epicontinentales -MAE- se alteran la densidad, abundancia, riqueza y diversidad de las poblaciones en estas comunidades, llegando incluso a desaparecer muchas de ellas durante dichas épocas. Sin embargo, en la mayoría de los casos, las comunidades acuáticas logran recuperarse, por lo cual la fase de sequía frecuentemente debe considerarse como un disturbio (Boulton, 2003; Lake, 2003, Brock, y col., 2003) y no como un evento adverso o catastrófico (Nielsen y col., 2002).

### **13.2. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **13.2.1. Muestreo y tratamiento de los macroinvertebrados acuáticos**

13.2.1.1 *Colecta de los macroinvertebrados acuáticos bentónicos*

13.2.1.2 *Estimación de los valores espaciales de la abundancia específica, la riqueza de especies, la diversidad Shannon-Weaver e índice biótico BMWP, de los macroinvertebrados acuáticos en los ríos estudiados.*

13.2.1.3. *Abundancia específica.* Número de individuos por especie ( $n_i$ )

13.2.1.4. *Riqueza de especies*

13.2.1.5 *Índice de diversidad de Shannon-Weaver.*

13.2.1.6 *Índice cualitativo de Sorensen*

11.2.1.7 *Carácter bioindicador de las familias de macroinvertebrados acuáticos colectadas, en relación con las reportadas en el índice BMWP adaptado para Colombia.*

### **13.3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE MUESTREO**

**13.3.1 Localización.** El área del presente estudio, pertenece a la cuenca hidrográfica del río Patía, ubicada en el sur del departamento del Cauca, municipio El Bordo

### **13.4 GEOLOGÍA GENERAL**

### **13.5 VEGETACIÓN NATURAL**

La vegetación natural en la región ha sufrido un dramático proceso de deforestación, está representada por pequeños relictos localizados generalmente a las orillas de los cursos de agua

### **13.6 ACTIVIDADES AGROPECUARIAS**

Se observan en forma general actividades agrícolas de subsistencia, cultivos de pancoger como plátano, maíz, cacao, yuca, algodón y algunos cultivos productivos de frutas y caña, los cuales dependen en gran medida del agua subterránea que se extrae por sistemas de bombeo.

### **13.7 DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS DE MUESTREO**

Los tramos estudiados en el río Mazamorra: aguas arriba de Sucre y aguas abajo de Sucre, el primero se ubica a  $2^{\circ} 2'24''$  N y  $76^{\circ} 55'26.5''$  W (Figura 11.3) y el segundo a  $2^{\circ} 2'30.3''$  N y  $76^{\circ} 56'8.9''$  W (Figura 13.1 ). El río presenta aguas claras en época de verano y turbias en invierno. Presenta variaciones en el flujo de la corriente en relación con el régimen pluviométrico, durante la época seca el ancho del cauce se reduce progresivamente. Por el contrario, durante la época de lluvias se presentan crecidas de diversas intensidades. Las actividades antrópicas relacionadas son: La influencia de la población de Sucre, Los efluentes de la planta de tratamiento de aguas del mismo municipio, la carretera, la extracción de arena y grava, efluentes de criaderos de porcinos, y la derivación de agua para cultivos de pan coger.

**Figura 13.1** Río Mazamorra,  
aguas arriba de Sucre

**Figura 13.2** Río Mazamorra,  
aguas abajo de Sucre



## 13.8 COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS.

### 13.8.1 RÍO MAZAMORRAS

En el río Mazamorra se muestreo antes y después de la zona urbana del municipio de Sucre, su población arroja las aguas servidas a esta fuente hídrica.

**11.9.1 Río Mazamorra Sitio de Muestreo Aguas Arriba de Sucre Y Aguas Abajo de Sucre.** En el primer muestreo realizado aguas arriba de Sucre se encontraron seis Ordenes, siete familias y ocho géneros con 47 individuos, siendo la familia más abundante y diversa la Baetidae con 17 individuos (36.17%), seguida en abundancia Leptophlebiidae, Perlidae e Hydropsychidae cada una con 8 individuos (17.02%). Las menos representativas fueron Elmidae, Euthyplociidae y Corydalidae cada una con un individuo (2.13%) (Cuadro 13.1 y Figura 11.9)

**Cuadro 13.1** Sinopsis taxonómica de los macroinvertebrados acuáticos colectados en el río Mazamorra, aguas arriba de Sucre.

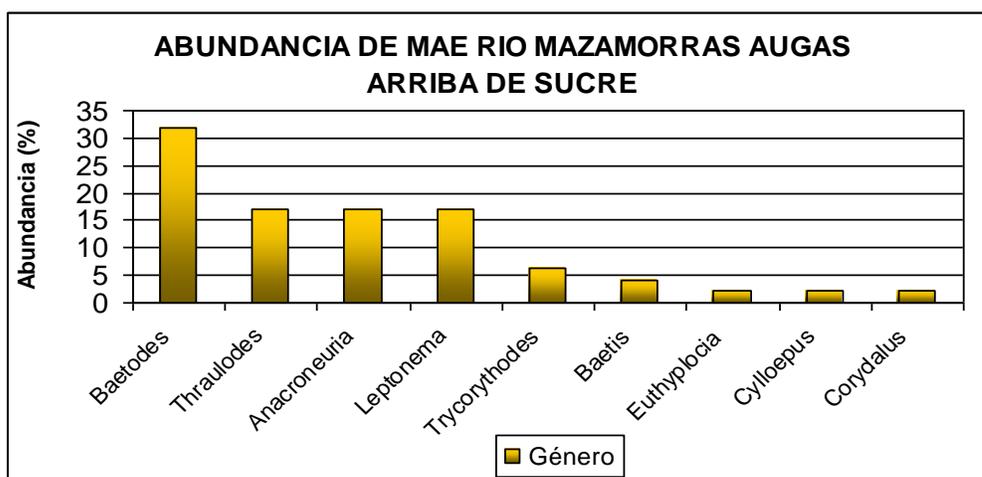
ORDEN	FAMILIA	GENERO (spp.)	ni	BMWP
Ephemeroptera	Baetidae	Baetodes	15	8
		Baetis	2	
	Tricorythidae	Trycorythodes	3	7
	Leptophlebiidae	Thraulodes	8	7
	Euthyplociidae	Euthyplocia	1	10
Plecóptera	Perlidae	Anacroneuria	8	10
Trichoptera	Hydropsychidae	Leptonema	8	8
Coleóptera	Elmidae	Cylloepus	1	7
Megaloptera	Corydalidae	Corydalus	1	6
<b>Abundancia</b>			47	
<b>Riqueza:</b>	5	8	9	
<b>Índice de Shannon-Weaver</b>			1,82	

<b>BMWP</b>		
<b>Calidad</b>	8	

El orden Ephemeroptera con 4 familias y 5 géneros fue el más diverso, en tanto que los órdenes Plecoptera, Trichoptera, Coleoptera y Megaloptera solo tuvieron una familia y un género.

El índice de Shannon-Weaver reportó mediana diversidad ( $H'$ : 1,82), por catalogarse aguas oligotróficas, con poca materia orgánica.

**Figura 11.9** Abundancia de MAE acuáticos en río Mazamorra, aguas arriba de Sucre.



El género Baetodes fue el más abundante con 15 individuos, seguido de Anacroneuria y Leptonema cada uno con ocho individuos, estos géneros son indicadores de aguas limpias, aunque pueden tolerar un poco de contaminación orgánica. Anacroneuria son indicadores de aguas muy limpias y oligotróficas y Leptonema se encuentran en aguas corrientes con mucha vegetación; toleran aguas con poca de contaminación.

El puntaje BMWP para el sector es de 61, equivalente a la clase III; aguas de aceptable calidad, ligeramente alteradas, según los géneros encontrados como Baetodes, Leptonema y Baetis toleran mínimos grados de contaminación, pero Anacroneuria, que fue una de las más abundantes y Euthyplocia aunque no fue tan abundante, ambos requieren de altas concentraciones de oxígeno y poca cantidad de materia orgánica, bioindicando aguas muy limpias.

### 13.10 CONCLUSIONES

El río Guachicón, en sus dos sitios de muestreo, Guachicón y Puente Fierro, con base en el carácter bioindicador de los MAE, es decir el índice BMWP utilizado, presenta aguas de aceptable calidad, correspondiente a características de ligera a media contaminación.

La diversidad en ambos sitios de muestreo del río Guachicono es mediana, por las alteraciones antrópicas como la agricultura y la ganadería. Con un mayor abundancia de las familias Leptophlebiidae e Hydropsychidae indicadoras de aguas de buena calidad.

En ambos sitios del río Mazamorra, arriba y debajo de Sucre, la calidad del agua es aceptable, de ligera a medianamente contaminadas, pero en el transecto muestreado abajo de la zona urbana el puntaje BMWP fue levemente superior, sin embargo la calidad biológica es la misma. Las aguas servidas del municipio de Sucre afectan en poca medida la calidad del agua del río Mazamorra, hay alta capacidad de asimilación, debido a la dinámica del río con buen corriente, lo que implica una buena oxigenación, lo que se ve reflejado en la alta similitud entre los dos sitios de muestreo.

La diversidad en ambos sitios de muestreo del río Mazamorra es mediana. Con una mayor abundancia de las familias Baetidae, Leptophlebiidae, Perlidae e Hydropsychidae en el sitio de muestreo antes de la zona urbana. Después de la zona urbana se encontraron las familias: Baetidae y Perlidae. Todas estas familias de las dos zonas son indicadoras de aguas limpias.

La quebrada Los Huevos en la zona de la Bocatoma del agua para el Municipio del Bordo Cauca presenta una buena diversidad, la cual se ve favorecida por la buena calidad del agua y las óptimas condiciones que le ofrece este ecosistema. Las familias dominantes son indicadoras de aguas limpias, como es el caso de Perlidae, Glossosomatidae, Psephenidae, Simuliidae y Pyralidae.

Con base en el índice BMWP, la calidad del agua de la quebrada Los Huevos, en el sector de la bocatoma se catalogó como de buena calidad, se encontraron familias de macroinvertebrados de alta abundancia, que además son indicadoras de aguas de buena a óptima calidad, como Baetidae, Perlidae, Psephenidae e Hydropsychidae.

#### **14. INDICE DE ESCASEZ**

Se define como la relación porcentual entre la demanda de agua del conjunto de actividades sociales y económicas con la oferta hídrica disponible, luego de aplicar factores de reducción por calidad del agua y caudal ecológico.

Esta relación calculada para condiciones hidrológicas medias y secas, dan una visión general de la situación de la disponibilidad de agua actual, y con las proyecciones futuras del abastecimiento a nivel nacional y regional, las entidades del estado involucradas en la gestión ambiental y de los recursos hídricos, podrán tomar las medidas necesarias para que los planes de ordenamiento del uso de los recursos naturales y manejo sostenible de las cuencas hidrográficas, tengan en cuenta zonas que presentan índices de escasez con niveles preocupantes y otras características desfavorables.

#### 14.1 ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE ESCASEZ

Una vez realizadas las respectivas mediciones, cálculos y análisis con respecto a la oferta hídrica neta y a la demanda total, se calcula el índice de escasez a partir de la ecuación 8.1.

$$Ie = \frac{Dh}{Oh} * Fr * 100 \quad (\text{Ec. 14.1})$$

Donde:

- Ie* = Índice de escasez en porcentaje
- Dh* = Demanda Total hídrica en metros cúbicos (m<sup>3</sup>, m<sup>3</sup>/s)
- Oh* = Oferta hídrica superficial neta en metros cúbicos (m<sup>3</sup>, m<sup>3</sup>/s)
- Fr* = Factor de reducción por calidad del agua y el caudal ecológico
- 100 = Para expresarlo en porcentaje

#### 14.1 CATEGORÍAS E INTERPRETACIÓN DEL ÍNDICE DE ESCASEZ

Si bien el índice de escasez da cuenta de los niveles de abundancia o escasez, relacionando la oferta específica con la demanda correspondiente, debe tenerse en cuenta que el abastecimiento de agua para los diferentes usos involucra aspectos como el almacenamiento y transporte del recurso hídrico.

Por ello, no necesariamente los altos niveles de escasez en áreas específicas coinciden con problemas graves de abastecimiento de los sistemas, para los cuales se han desarrollado infraestructuras de manejo particulares.

El índice de escasez se agrupa en cinco categorías como se observa en el Cuadro 14.1.

**Cuadro 14.1** Categorías de agrupación del índice de escasez

CATEGORÍA	RANGO	COLOR	EXPLICACIÓN
Alto	> 50 %	<b>Rojo</b>	Demanda Alta
Medio Alto	21 – 50 %	<b>Naranja</b>	Demanda Apreciable
Medio	11 – 20 %	<b>Amarillo</b>	Demanda Baja
Mínimo	1 – 10 %	<b>Verde</b>	Demanda Muy Baja
No Significativo	1 %	<b>Azul</b>	Demanda No Significativa

Para evaluar la relación que existe entre la oferta hídrica disponible y las condiciones de demanda predominantes en una unidad de análisis seleccionada, se deberá considerar la clasificación citada por Naciones Unidas en la cual se expresa la relación entre aprovechamientos hídricos como un porcentaje de la disponibilidad de agua. En esta relación cuando los aprovechamientos representan más de la mitad de la oferta disponible se alcanza la condición más crítica.

## **14.2 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ESCASEZ EN LAS CUENCAS DE LOS RÍOS GUACHICONO BAJO, MAZAMORRAS Y LA QUEBRADA LOS HUEVOS**

Según los resultados de la metodología para la determinación del índice de escasez, la corriente principal del río Mazamorra presenta una demanda alta para el mes de agosto, de igual manera la quebrada Los Huevos en los meses de junio, julio y agosto. Se puede concluir que la subcuenca del río Mazamorra y la quebrada Los Huevos, por las características de demanda requerida (doméstica), son de alta importancia para la permanencia de las comunidades que hacen uso de estas fuentes.

Como se ha mencionado con anterioridad, los cálculos presentados en el Cuadro 12.2 corresponden a valores promedio en todas las cuencas, siendo un mejor estimativo del cálculo del índice de escasez mediante la definición de micro-cuencas realizada,

**14.2.1. Índice de Escasez río Mazamorra.** Considerando los caudales medios generados para la corriente Mazamorra como la oferta de agua y el consumo de los diferentes acueductos encuestados en la cuenca se hizo el cálculo del índice de escasez de la corriente Mazamorra el cual se presenta en el Cuadro 14.2

## “Gestión del Riesgo y Restauración de Ecosistemas Acuáticos Continentales”

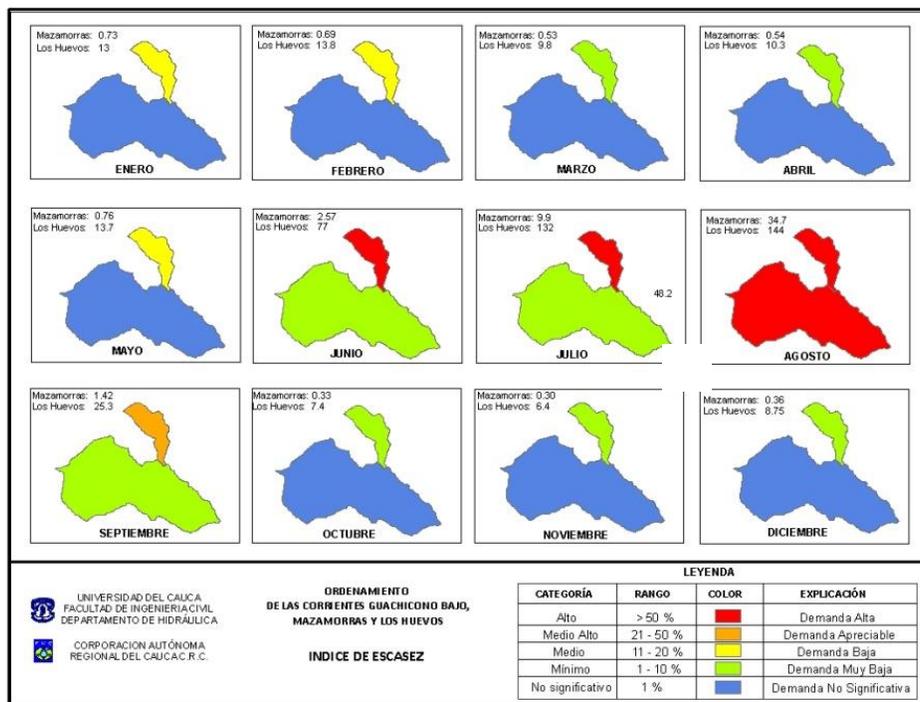
Cuadro 14.2 Índice de escasez río Mazamorra

Mes	Ene	Feb	Marz	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Índice de escasez %	0.73	0.69	0.53	0.54	0.76	2.57	9.9	34.7	1.42	0.33	.30	.36
Categoría	No significativo	Mínimo	Mínimo	Alto	Mínimo	No significativo	No significativo	No significativo				
Explicación	Demanda no significativa	Demanda muy baja	Demanda muy baja	Demanda alta	Demanda muy baja	Demanda no significativa	Demanda no significativa	Demanda no significativa				
Color												

Según el Cuadro 14.2 en el mes de Agosto del año en la mayor parte de la cuenca de la quebrada Mazamorras la demanda es alta y en los meses de Junio, Julio y Septiembre la demanda es muy baja y en los demás meses no es significativo.. Las encuestas realizadas en los diferentes acueductos de la cuenca manifiestan que en muchas de ellos se presentan períodos críticos con el abastecimiento de agua en los meses de Julio, Agosto y Septiembre.

La Figura 14.1 muestra los índices de escasez mensuales para las cuencas Los Huevos y Mazamorras de acuerdo a los resultados obtenidos para las tres cuencas.

**Figura 14.1** Índice de escasez medios mensuales



## 15. DIAGNÓSTICO SOCIAL PARTICIPATIVO AGENDA PROSPECTIVA

### 15.1 LA PARTICIPACIÓN DE LAS COMUNIDADES Y EL DESARROLLO LOCAL

**15.1.1 Proyectos propuestos según los ejes temáticos de la Agenda.** Con base en el análisis realizado por las comunidades participantes en el ejercicio, se definieron 6 proyectos transversales (Cuadro 13.1) y 17 proyectos sectoriales, de acuerdo con los 5 ejes temáticos. (Cuadro 15.1)

De cada uno de estos, se elaboraron las fichas técnicas correspondientes

Cuadro 15.1 Proyectos propuestos a desarrollar

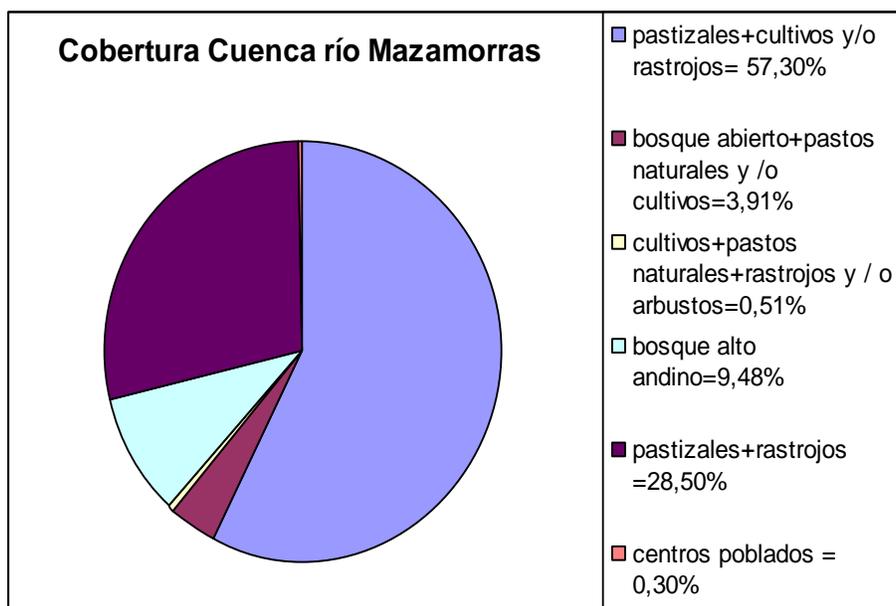
PROYECTO	TÍTULO DEL PROYECTO
1	IMPLEMENTACIÓN DEL OBSERVATORIO DEL MEDIO AMBIENTE EN EL CAUCA “OMECA” IMPLEMENTACIÓN DEL OBSERVATORIO DEL MEDIO AMBIENTE EN EL CAUCA “OMECA”
2	ESTRATEGIAS DE ARTICULACIÓN DE ACTORES DE C Y T
3	ESTRATEGIAS DE ARTICULACIÓN AL CLUSTER DEL AGUA EN EL SUROCCIDENTE COLOMBIANO
4	IMPLEMENTACIÓN DEL FONDO MIXTO PARA PRESERVACIÓN Y LA CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE EN EL CAUCA
5	<b>FORMACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL A 1000 ESTUDIANTES CAUCANOS Y SUS FAMILIAS</b>
6	<b>RESERVAS NATURALES DE EL VALLE DEL PATÍA</b>
7	SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA PARA LA GESTIÓN AMBIENTE
8	<b>CÁTEDRA AMBIENTAL “URBANO Y OCAMPO”</b>
9	<b>PROGRAMA ONDAS AMBIENTALES</b>
10	<b>PEQUEÑOS CIENTÍFICOS PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE</b>
11	PARQUE TECNOLÓGICO AMBIENTAL EN LA UNIVERSIDAD DEL CAUCA
12	IMPLEMENTACIÓN COLECTIVA DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL MUNICIPIO DE EL BORDO
13	IMPLEMENTACIÓN COLECTIVA DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL MUNICIPIO DE SUCRE
14	COLECTIVO PARA EL AISLAMIENTO DE NACIMIENTOS DE AGUA EN EL MUNICIPIO DE EL BORDO
15	COLECTIVO PARA EL AISLAMIENTO DE NACIMIENTOS DE AGUA EN EL MUNICIPIO DE SUCRE, CAUCA
16	COLECTIVO DE REFORESTACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO MAZAMORRAS, EL RIO GUACHICONO Y LA QUEBRADA LOS HUEVOS “SEMBREMOS AGUA
17	CAMPAÑA CON LAS FAMILIAS DE EL BORDO Y SUCRE, CONTRA LAS TALAS Y LAS QUEMAS
18	ESCUELAS DE FORMACIÓN AMBIENTAL PARA PREVENIR LA CONTAMINACIÓN DE RÍOS Y QUEBRADAS, POR RESIDUOS, FUNGICIDAS Y BASURAS, EN EL VALLE DEL PATÍA
19	ESCUELAS DE FORTALECIMIENTO ORGANIZACIONAL EN LAS ORGANIZACIONES RURALES Y URBANAS DE EL BORDO, EN TORNO DE LA GESTIÓN AMBIENTAL Y LAS POLÍTICAS PÚBLICAS, PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE
20	ESCUELAS DE FORTALECIMIENTO ORGANIZACIONAL EN LAS ORGANIZACIONES RURALES Y URBANAS DE SUCRE, EN TORNO DE LA GESTIÓN AMBIENTAL Y LAS POLÍTICAS PÚBLICAS, PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE
21	GESTIÓN COMUNITARIA PARA EL AHORRO, USO EFICIENTE Y REGLAMENTACION COMUNITARIA DEL RECURSO HIDRICO, EN LA SUBCUENCA DEL RÍO MAZAMORRAS, EL RÍO GUACHIOCONO Y LA QUEBRADA LOS HUEVOS

- 22 SISTEMAS DE TRATAMIENTO Y MANEJO INDIVIDUAL DE EXCRETAS EN INSTITUCIONES EDUCATIVAS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO MAZAMORRAS, EL RÍO GUACHIOCONO Y LA QUEBRADA LOS HUEVOS
- 23 DISEÑO, CONSTRUCCION Y OPTIMIZACION DE ACUEDUCTOS VEREDALES, EN LA SUBCUENCA DEL RÍO MAZAMORRAS, EL RÍO GUACHICONO Y LA QUEBRADA LOS HUEVO

## 16. CONCLUSIONES

1. De acuerdo a las coberturas de las cuencas de la quebrada Los Huevos y el río Mazamoras, uno de los problemas principales es el uso que se les están dando a las respectivas cuencas, los cuales van a repercutir en las condiciones hidrológicas y por lo tanto en el régimen de caudales de las corrientes. Una característica es la poca cobertura en bosque, por las diferentes actividades agropecuarias que se realizan en las cuencas. Las Figura 16.1 representan las coberturas en porcentaje, siendo más crítica la situación para la quebrada Los Huevos.

**Figura 16.1** Cobertura cuenca río Mazamoras



2. Uno de los principales problemas en el presente estudio, es la falta de información hidrométrica y una serie de registros de caudales de las cuencas de las corrientes Mazamoras y Los Huevos. Los caudales correspondientes fueron generados de acuerdo a una metodología, pero no se incluyen los caudales base.

3. En el capítulo 11 sobre calidad biológica, se dan las conclusiones sobre el tema. En las presentes conclusiones generales se hará referencia a los índices de calidad biológica.

El río Guachicono, en los dos sitios de muestreo, Guachicono y Puente Fierro, con base en el carácter bioindicador de los MAE, es decir el índice BMWP utilizado, presenta aguas de aceptable calidad, correspondiente a características de ligera a media contaminación.

En ambos sitios del río Mazamorra, aguas arriba y abajo de Sucre, la calidad del agua es aceptable, de ligera a medianamente contaminadas, pero en el transepto muestreado abajo de la zona urbana el puntaje BMWP fue levemente superior, sin embargo la calidad biológica es la misma. Las aguas servidas del municipio de Sucre afectan en poca medida la calidad del agua del río Mazamorra, hay alta capacidad de asimilación, debido a la dinámica del río con buen corriente, lo que implica una buena oxigenación, lo que se ve reflejado en la alta similitud entre los dos sitios de muestreo.

Con base en el índice BMWP, la calidad del agua de la quebrada Los Huevos, en el sector de la bocatoma se catalogó como de buena calidad, se encontraron familias de macroinvertebrados de alta abundancia, que además son indicadoras de aguas de buena a óptima calidad, como Baetidae, Perlidae, Psephenidae e Hydropsychidae.

4. El diagnóstico de calidad del agua correspondiente a los ríos Guachicono bajo, Mazamorra y Quebrada Los Huevos, basándose en análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos, con el fin de conocer el impacto ambiental generado en estas corrientes debido a las diferentes actividades (sociales y económicas) desarrolladas en las zonas, utiliza el Índice de Calidad de Agua (ICA) propuesto por Brown.

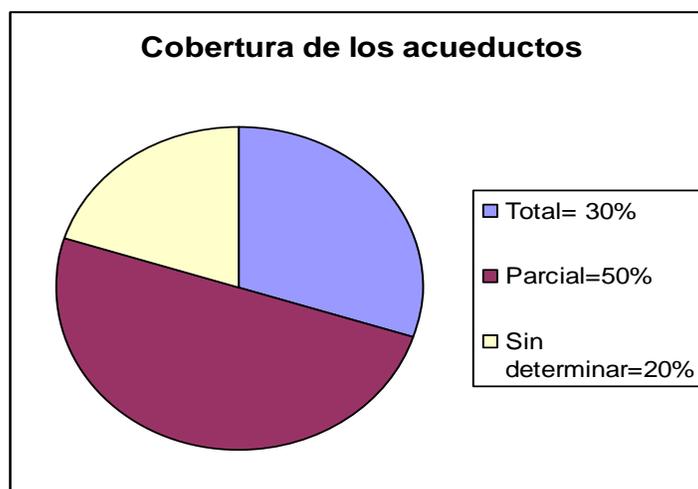
Según los resultados obtenidos, se obtuvo un Índice de Calidad de Agua regular y media respectivamente para la mayoría de los puntos de muestreo sobre las corrientes objeto de estudio. En el punto 2 (antes del municipio de Sucre) se presenta un ICA con clasificación de buena calidad, esto se debe a que en este punto todavía no se presentan descargas de aguas domiciliarias.

La determinación de los diferentes índices de contaminación (ICOs), clasifican a las corrientes estudiadas como aguas con baja y muy baja contaminación según los parámetros fisicoquímicos analizados, además según el ICOTRO las aguas se clasifican como eutróficas.

Los resultados de los diferentes índices se presentan en el tema sobre calidad del agua

5. De acuerdo a las encuestas realizadas en el área sobre los sistemas de suministro de agua, el 50% de los acueductos cubren parcialmente las diferentes veredas, totalmente el 30% y el 20% no se pudo conocer su cobertura tal como lo muestra la siguiente Figura 16.2

**Figura 16.2** Cobertura de los acueductos, cuenca Mazamorra y Los Huevos



6. Los índices de escasez obtenidos no incluye el factor de reducción por calidad del agua y los caudales ecológicos, solamente se consideró la oferta y la demanda de agua. Según los resultados obtenidos la situación más crítica se presenta en la cuenca de la quebrada Los Huevos para los meses de junio, Julio y Agosto con categoría alta que significa una demanda alta de agua hasta el mes de Septiembre donde es apreciable.

Para la cuenca del río Mazamorra, la situación crítica se presenta en el mes de Agosto, igualmente es categoría alta y la demanda de agua es alta.

El río Guachicono bajo no presenta ninguna demanda de agua, por lo tanto no se le pudo aplicar el índice de escasez.

## **"Protocolo para la restauración de humedales como alternativa para la gestión integral de los servicios ecosistémicos"**

Leonidas Zambrano Polanco<sup>1</sup> e Hildier Zamora González<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Docente Maestría el Recursos Hidrobiológicos Continentales, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias naturales, Exactas y de la Educación. Grupo de Estudios Ambientales (GEA). Universidad del Cauca, Popayán, Colombia. [lpolanco@unicauca.edu.co](mailto:lpolanco@unicauca.edu.co)

<sup>2</sup>Docente departamento de Biología, Maestría el Recursos Hidrobiológicos Continentales, Facultad de Ciencias naturales, Exactas y de la Educación. Grupo de Estudios en Recursos Hidrobiológicos. Universidad del Cauca, Popayán, Colombia. [hildier@unicauca.edu.co](mailto:hildier@unicauca.edu.co)

### **Resumen**

La restauración ecológica se constituye en una alternativa vital para para el manejo de los ecosistemas y adquiere gran trascendencia en la actualidad cuando los humedales y muchos ecosistemas del mundo han sufrido una degradación significativa originada por diferentes actividades antrópicas. La restauración ecológica como proceso que tiende a ayudar con el restablecimiento de la estructura y funcionamiento de un ecosistema que se ha degradado, dañado o destruido, debería, contribuir a mejorar la conservación de la biodiversidad, mejorar la productividad de los ecosistemas y sus servicios ambientales, facultar a todos los participantes e interesados, especialmente a las comunidades locales que usan los recursos para vincularse en forma proactiva y finalmente contribuirá al mejoramiento del bienestar humano (SER, 2004; Gann y Lamb, 2006).

El protocolo tiene como propósito aportar fundamentos, técnicas, métodos y herramientas para la elaboración de proyectos de restauración ecológica de humedales, con énfasis el sistema de madrevejas asociadas a la cuenca del río Cauca.

A partir de la selección del sitio de trabajo, se realiza la caracterización hidrobiológica, socioeconómica y ambiental del ecosistema a estudiar. El proceso biofísico incluye evaluación de las variables relacionadas con: valoración de la hidrología, calidad fisicoquímica del agua, composición de los substratos, composición y estructura de las comunidades planctónicas, faunísticas y florísticas de los

humedales. El componente ambiental incluye la evaluación de las alteraciones e identificación de tensores y alternativas de gestión.

Para el caso del humedal El Chuchal, perteneciente a la cuenca alta del río Cauca, a partir de la delimitación del ecosistema, la caracterización hidrobiológica y antrópica del mismo, el levantamiento topográfico para determinar aspectos hidrológicos y las potencialidades de recuperación hidráulica, se define e implementa el plan de restauración teniendo como guía un ecosistema modelo que sirve como referencia para el proceso. Para determinar el estado de referencia se deben fijar criterios analizando integralmente la cuenca. El ecosistema de referencia es clave para generar a través del proceso de restauración un acercamiento a su trayectoria ecológica, la cual debe evaluarse y monitorearse a través de indicadores primarios para conocer los verdaderos atributos de su progreso y sostenibilidad.

En general, el protocolo incluye aspectos conceptuales, experiencias en restauración, causas de la degradación de los humedales, valoración de los servicios ambientales, caracterización de los ecosistemas, atributos del progreso de la restauración y las etapas a seguir en el proyecto de restauración, incluyendo el programa de seguimiento y monitoreo del mismo.

**Palabras clave:** Humedal, restauración, recuperación, servicios ecosistémicos, estado de referencia, trayectoria ecológica.

## **“La gestión del riesgo: retos, sinergias y pactos para la planificación del territorio”**

**Narváz, Andrés. Agudelo, Adriana**

Servicio Geológico Colombiano (SGC), Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Popayán (OVSPPOP). Dirección de Geoamenazas.

### **RESUMEN**

En el territorio Colombiano muchos municipios y ciudades se han asentado en zonas con condiciones geológicas y climatológicas complejas, en donde su desarrollo y crecimiento acelerado se han dado de una forma no ordenada y planificada que obedecen principalmente a circunstancias de tipo social, histórico, cultural, económico, político, ambiental, etc.

La apropiación del espacio y ocupación del territorio, la sobreexplotación de los recursos naturales, la transformación en el uso del suelo, han concadenado una serie de conflictos, presiones, impactos, que tempranamente van incubando las condiciones propicias para posibles escenarios del Riesgo, en donde la amenaza latente o probable está directamente asociada con procesos de degradación ambiental o de intervención antrópica. Ejemplos de éstos pueden encontrarse en inundaciones y deslizamientos resultantes de, o influenciados en su magnitud, por procesos de erosión, deforestación y degradación o deterioro de cuencas. Estas amenazas socio-naturales se crean en la intersección de la naturaleza con la acción humana y representan un proceso de conversión de recursos en amenazas (Wilches, et al, 2009), tal vez el ejemplo a escala más extremo de la noción de amenaza socio-natural son aquellas nuevas amenazas que se generan con el Cambio Climático Global.

Según Lavell (2000), estos escenarios son producto de procesos de transformación, adaptación y crecimiento de la sociedad, que no han garantizado una adecuada relación entre el ambiente natural y el construido; es decir, son problemas no previstos por la falta de planeación adecuada en los procesos del desarrollo. Por lo anterior, es necesario pensar e incluir la Gestión del Riesgo en los instrumentos de planificación (*POT, EOT, PBOT, Planes de vida, PDM, PGAR, POMCA*), con el propósito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y el desarrollo sostenible. Si bien la gestión del riesgo no es un tema nuevo, esta se ha venido desarrollando en los últimos 30 años, alcanzando su fortalecimiento a partir de la Ley 1523/2012, la cual nos brinda las oportunidades y responsabilidades a nivel institucional y comunitario, definiendo estrategias para trabajar desde el

## **“Gestión del Riesgo y Restauración de Ecosistemas Acuáticos Continentales”**

conocimiento del riesgo, la reducción y la respuesta en caso de Desastre.

Cuando hablamos de Gestión del Riesgo, debemos aludir al proceso social o participativo que tiene un objetivo común **“la Reducción del Riesgo”** en la sociedad, y así evitar que esos riesgos se conviertan en un Desastre. Es, por lo tanto, un componente fundamental del desarrollo y es un objetivo mismo de su planificación, si entendemos que el desarrollo es la mejora, no sólo de las condiciones de vida, si no de la mejora de la calidad de vida de la población.

**Palabra claves:** Gestión del Riesgo, Planificación, territorio.

## **“Vulnerabilidad de las lagunas de páramo a procesos degradativos de origen antrópico”**

***Mónica Patricia Valencia Rojas PhD. y Apolinar Figueroa Casas PhD.***

*Grupo de Estudios Ambientales, Universidad del Cauca.*

*mpvalenciarojas@gmail.com*

*apolinarfigueroa@gmail.com*

Los procesos de transformación del territorio están afectando importantes sistemas lagunares en la región andina. En donde, la alteración continua de las lagunas de páramo atribuidas a causas antropogénicas principalmente afectan los bienes y servicios que proveen, así como la economía de amplios sectores productivos y naturales en Colombia. Ésta marcada acción humana, basada en marcos éticos y morales propios de la cultura andina, han despertado la preocupación y reflexión sobre qué tan vulnerables pueden llegar a ser las lagunas de páramo, conocer los factores que las hacen más sensibles y las posibles respuestas ante los cambios futuros.

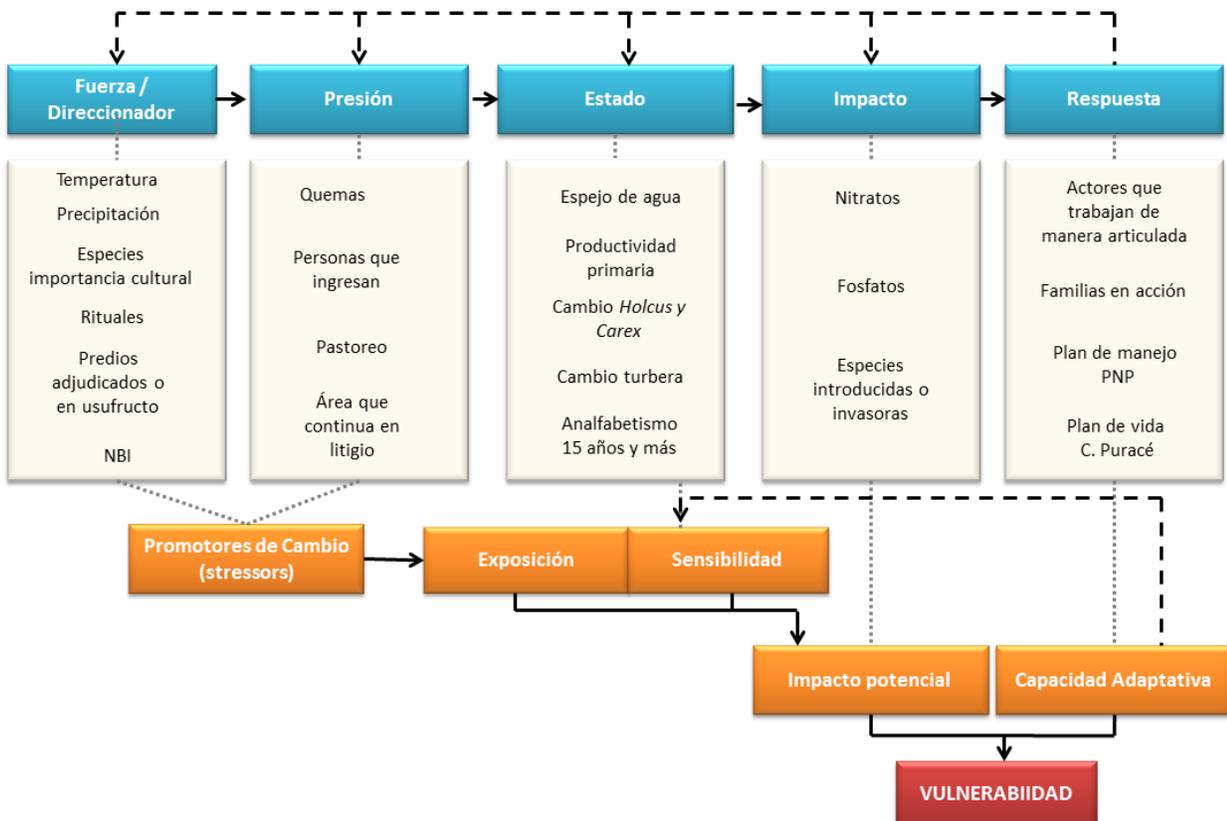
Los sistemas lagunares han sido estudiados principalmente desde un enfoque reduccionista. Para la comprensión de su dinámica y retos en la gestión ambiental, se requiere de una mirada sistémica que aborde la interacción de sus componentes biofísicos y sociales, a través del reconocimiento de los procesos antropogénicos y naturales dominantes, que permitan examinar los elementos que complejizan el territorio y le confieren vulnerabilidad. Para atender la problemática relacionada con el enfoque reduccionista que se le ha dado a la vulnerabilidad de las lagunas, se requiere que se dé respuesta a la siguiente pregunta: ¿Cómo establecer la vulnerabilidad de lagunas de páramo a procesos de degradación antrópica, incorporando la dinámica y la lógica de los pobladores en el territorio, de manera que más allá de observar ecosistemas perturbados, se incorpore la complejidad ambiental?.

En este orden de ideas, se desarrolló una investigación orientada a *Analizar la vulnerabilidad de las lagunas de páramo a procesos de degradación antrópica, desde una perspectiva integradora*. Para esto fue necesaria la generación de un marco conceptual y metodológico de referencia para analizar la vulnerabilidad de las lagunas paramunas a partir del enfoque de los Sistemas Socio-ecológicos; con su aplicación en la laguna de San Rafael en el Parque Nacional Natural de Puracé (Colombia). Aspectos desarrollados a partir de

## “Gestión del Riesgo y Restauración de Ecosistemas Acuáticos Continentales”

la aplicación de métodos mixtos que permitieron relacionar los enfoques cualitativos y cuantitativos, por medio de la aplicación de técnicas de triangulación y el diseño integrado (en el caso de estudio).

San Rafael cuenta con un historial de cerca de 50 años de presiones tanto antrópicas como naturales, en donde el conflicto territorial delimitado por sus actores direccionan de manera especial su vulnerabilidad. El análisis de vulnerabilidad permite identificar los factores que favorecen la vulnerabilidad (promotores de cambio) del sistema lagunar, estos son: *i*) temperatura y *ii*) precipitación, que marcan en gran medida la dinámica climática e hidrológica del sistema lagunar; los aspectos sociodemográficos como *iii*) las personas que tienen predios adjudicados en usufructo y que en parte, determinan la dinámica de uso del suelo y *iv*) el Índice de Necesidades Insatisfechas (NBI) que revela que la zona todavía tiene muchas necesidades por cubrir (Figura 1). En el tema cultural, la cosmogonía y simbolismo que le dan las comunidades humanas al sistema a través de *v*) especies de interés y *vi*) los rituales relacionados con el refrescamiento, son preponderantes como estrategia de conservación y protección de un espacio que tiende a ser salvaje, bravo ante los visitantes y por ende, un sistema menos sensible a los procesos de cambio.



**Figura 1. Aporte de cada uno de los elementos a la vulnerabilidad del sistema lagunar**

Fuente: Valencia (2014)

Otros promotores de cambio son las presiones originadas por las fuerzas o direccionadores. En este sentido, el conflicto entre actores sociales a través de la sobreposición de autoridades e instituciones expresado a través de *vii*) un litigio permanente por el territorio, *viii*) la ampliación de la frontera pecuaria, *ix*) las quemadas para la preparación de terrenos y *x*) las actividades de turismo desarticuladas que generan residuos sólidos y una mayor presión, pudiendo sobre pasar la capacidad de carga del sistema.

Un sistema que a pesar de encontrarse en una zona de protección especial en Colombia, tiene un valor de vulnerabilidad contextual Media-Alta (0,52), atribuible en parte a la sensibilidad propia de la zona de vida paramuna y a la fragilidad de un humedal; así como, a su baja capacidad adaptativa relacionada con la falta de trabajo en red de las instituciones y actores sociales, la baja atención nacional a través de familias en acción y un cumplimiento medio-alto de los planes de manejo del parque y el plan de vida de las comunidades indígenas.

En este sentido, la gestión ambiental de las lagunas paramunas debe estar orientada principalmente al fomento de la sostenibilidad del territorio que debe tener en cuenta la reducción de la vulnerabilidad a partir de tres frentes de acción: i) disminuir la vulnerabilidad a través de acciones dirigidas a reducir la presión de los estresores, ii) aumentar la capacidad adaptativa a través del fortalecimiento de las redes de trabajo de la academia, el gobierno, la empresa y la sociedad en general y iii) aumentar la resiliencia del sistema, a través del mantenimiento del capital natural, el fortalecimiento y recuperación de los servicios ambientales.

Este estudio aporta a la necesidad nacional de conocer y entender el estado ecológico y/o la integridad de los humedales como un medio para documentar el alcance de la degradación, para advertir de antemano el estrés y el deterioro de estos. A partir de respuestas a las preguntas sobre quién y que son vulnerables, a que son vulnerables, cuáles son las causas de dicha vulnerabilidad y que acciones pueden disminuirla; aspectos que han sido abordados de manera tangencial a nivel internacional y no se han trabajado bajo una mirada integral hasta el momento en Colombia.

Aspectos vinculados con el propósito de fortalecer la protección y restauración de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos, para la planificación sectorial y el ordenamiento ambiental del territorio consignados en el actual Plan Nacional de Desarrollo (DNP, 2011); así como la generación de conocimiento sobre los riesgos asociados al recurso hídrico, mediante acciones como la identificación y caracterización de la vulnerabilidad de los ecosistemas clave para la regulación hídrica, en la Política del Recurso Hídrico (MAVDT, 2010).

**Palabras clave:** *cosmovisiones, humedales, interdisciplinariedad, resiliencia, sostenibilidad*

#### BIBLIOGRAFÍA

- DNP. (2011). *Plan nacional de desarrollo 2010-2014. Prosperidad para todos [Internet]*. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación (DNP). Disponible en: <[http://www.cna.gov.co/1741/articles-311056\\_PlanNacionalDesarrollo.pdf](http://www.cna.gov.co/1741/articles-311056_PlanNacionalDesarrollo.pdf)>.
- MAVDT. (2010). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*: Ministerio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT).
- Valencia, M. (2014). *Vulnerabilidad de las lagunas de páramo a procesos degradativos de origen antrópico incorporando la complejidad ambiental del territorio (Departamento del Cauca, Colombia) [Tesis Doctorado]*. [Popayán (Colombia)]: Doctorado Interintitucional en Ciencias Ambientales, Universidad del Cauca. p .303.

## **“Gestión del Recurso Hídrico para aplicación en Planes de Manejo Ambiental (PMA) de humedales”**

*Guillermo León Vásquez Zapata.*

*Grupo de Recursos Hidrobiológicos Continentales. Departamento de Biología. Universidad del Cauca. Correo electrónico: [gvasquez45@gmail.com](mailto:gvasquez45@gmail.com)*

### **RESUMEN**

De acuerdo con la normatividad establecida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Res.Nº196 de 01 febrero/2006) para la formulación de los PMA de humedales en el país, es necesario considerar los aspectos metodológicos conducentes a diseñar las estrategias para la gestión adecuada del recurso hídrico; y por ende, de los hidrobiológicos, como parte integral del análisis y evaluación de los servicios ecosistémicos que brindan los humedales continentales, integrándola con lo estipulado en la Convención RAMSAR (1971) relacionada con el manejo y conservación de los ecosistemas acuáticos.

Por tal razón, es necesario abordar en primera instancia, el análisis de la calidad de las aguas naturales, con base en la caracterización de aquellas variables hidrológicas y físico-químicas y biológicas fundamentales, con el propósito de determinar su condición actual, el potencial de oferta ambiental; y su evolución espacio-temporal, como resultado de los efectos ante eventuales tensores ambientales bien sea naturales y/o de origen antrópico. Por consiguiente, el análisis integrado entre la oferta ambiental de calidad de aguas naturales, frente a la demanda ambiental ocasionada por proyectos de desarrollo, permitirá dimensionar y evaluar los impactos ocasionados, para considerarlos en los planes de manejo ambiental y establecer las respectivas medidas de: prevención, mitigación (atenuación), compensación, restauración de escenarios y/o de contingencia a que haya lugar, teniendo como fundamento, la determinación de factores o agentes de perturbación: internos y externos naturales; así como también, de aquellos internos y externos inducidos por acción antrópica. Esto conducirá a la vez, a establecer la verdadera relación hombre:humedal dentro de la cosmovisión del entorno y analizar la eficiencia de los servicios ecosistémicos que puedan brindar los humedales en el espacio y en el tiempo.

Adicionalmente, lo anterior servirá de base para determinar la “capacidad de carga” de un ecosistema acuático, aspecto fundamental a tener en cuenta en la gestión del recurso hídrico y su integración con el potencial de oferta de la biota acuática y aquella extra-acuática asociada al sistema, para el diseño de planes de manejo y gestión adecuada de los recursos hidrobiológicos.

## **“Análisis de calidad biológica de los ríos. Estudio de caso: Río Molino”**

**Hildier Zamora González**

*Programa de Biología. Universidad del Cauca.*

[hildier@unicauca.edu.co](mailto:hildier@unicauca.edu.co)

### Resumen

Los análisis de la calidad de los ríos se pueden desarrollar desde diferentes puntos de vista, no obstante, la idea frecuente es examinar qué tan buenas, regulares o malas son sus aguas especialmente en relación con la aptitud de uso para las poblaciones humanas. El enfoque del río como ecosistema es el de menor utilización, a pesar de ser el más conveniente a la hora de analizar la salud general del cuerpo de agua. El enfoque ecosistémico comprende un estudio que integra los factores ecológicos, económicos y sociales dentro de un marco geográfico definido principalmente por límites ecológicos. El estado ecológico es una expresión de la composición y calidad de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas; uno de sus componentes indicadores de ese estado es la biota en general. La fauna macroinvertebrada dulceacuícola es actualmente un componente ampliamente utilizado por limnólogos, ecólogos y biólogos en general, para determinar el estado de salud de los ecosistemas acuáticos continentales.

La presente disertación pretende ilustrar con base en las experiencias adelantadas en el río Molino de Popayán, la importancia de la aplicación metodológica del concepto de calidad biológica, en el análisis de las características que determinan la calidad de los ecosistemas lóticos.

## **“Implantación de Regímenes Ecológicos de Caudal para una Gestión Hídrica en Colombia verdaderamente ambiental: análisis de la situación actual”**

*Juan Manuel Díez Hernández*  
*Universidad de Valladolid – España.*  
*Grupo de Ecobidrología Fluvial – [www.gef-ecobidrologia.org](http://www.gef-ecobidrologia.org), [jmdiez@iaf.uva.es](mailto:jmdiez@iaf.uva.es)*

El progreso económico de Colombia requiere del abastecimiento suficiente de energía eléctrica y de agua para los distintos usos activos del recurso hídrico. Son diversas las actividades que alteran el régimen hidrológico natural, entre las cuales cabe destacar las siguientes principales: minería, proyectos hidroeléctricos, captaciones para abastecimiento humano, riego, industria, acuicultura, etc. Las consecuencias ecológicas de alterar el régimen natural de caudal (líquido y sólido) han sido muy investigadas a nivel internacional durante las últimas 3-4 décadas (Walker et al., 1995; Poff et al., 1997; Ritcher et al., 1998). La Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH) tan promulgada con acierto internacionalmente y también en Colombia precisa para ser implementada de modo efectivo –y sobre todo auténtico- el respeto de unos regímenes ecológicos de caudal en los ríos, que conserven la integridad ecológica de sus ecosistemas asociados en unos niveles. Un grupo de investigadores de la Universidad Nacional de Colombia (Bogotá-GIREH) presentó en 2008 para el Ministerio del Ambiente una “metodología para la estimación de caudal ambiental en proyectos licenciados”, la cual está disponible en el sitio web de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA ([www.anla.gov.co](http://www.anla.gov.co)).

Mi presentación explica aspectos conceptuales y metodológicos clave de esta metodología que pueden mejorarse, en los distintos componentes hidrológico, de calidad de agua, y biológico. Actualmente en el ámbito latinoamericano e internacional el caudal ecológico para los proyectos licenciados está siendo determinado mediante metodologías holísticas que son estándar de mejores prácticas científico-técnico (IFIM, DRIFT, etc., las cuales integran de modo serio los modelos de hábitat acuático como núcleo de un sistema de análisis del efecto de cambios de caudal en la integridad ecológica del sistema.

La evaluación del caudal ecológico (¿ambiental?) en Colombia debe incorporar el hábitat fluvial como componente básico del marco de análisis.

## **“Propuesta para un manejo integral de los recursos hídricos e hidrobiológicos en Colombia”**

**Gabriel Roldán.**

*Director Grupo de Investigación de Limnología y Recursos Hídricos, Universidad Católica de Oriente, Rionegro (Antioquia)*

[groldan@uco.edu.co](mailto:groldan@uco.edu.co)

El problema principal del agua en Colombia y en el mundo es un asunto de calidad antes que de cantidad. El sistema institucional y administrativo, es decir la gobernabilidad del agua, ocupa también un puesto destacado en nuestra problemática. Los sistemas de captación y distribución del agua presentan muchas fallas de diseño y de mantenimiento que llevan a altas pérdidas y ponen en riesgo el abastecimiento de la población en años secos, no por carencia natural de agua, sino por deficiencias en la conservación de las cuencas abastecedoras de acueductos municipales, desperdicio del agua por falta de una cultura en los usuarios y falta de tratamiento de las aguas residuales.

Es claro que el manejo del agua no es un asunto exclusivamente técnico, sino que debe tener una visión más compleja e interdisciplinaria denominada: "gestión integral del recurso hídrico" que parte de la idea de que para que el manejo del agua sea sostenible, debe tenerse en cuenta el ciclo hidrológico que cumple el agua en la naturaleza, la protección y el incremento de la oferta natural, la demanda de la comunidad y las necesidades de todos sus usuarios; en resumen, es proponer la práctica de una política de conservación, uso y recuperación del agua para cerrar así el ciclo de su utilización.

### **El agua en Colombia**

El territorio colombiano se caracteriza por poseer una de las mayores ofertas hídricas del planeta debido a su ubicación geográfica, la topografía tan variada y el régimen climático que va desde el bosque pluvial tropical hasta la zona desértica del noreste del país. La riqueza hídrica de Colombia se manifiesta en su extensa red fluvial superficial que cubre toda su geografía lo que proporciona condiciones favorables de almacenamiento de aguas subterráneas, la existencia de cuerpos de agua *lénticos* o estancadas y la presencia de enormes extensiones de humedales (Roldán y Ruiz, 2001), Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia (2005, 2007).

Sin embargo, este potencial hídrico se restringe en su aprovechamiento por una serie de factores humanos que generan efectos sobre el ciclo hidrológico y, en particular, por las actividades agrícolas,

industriales y domésticas que afectan la calidad del recurso hídrico.

### **Usos del agua en Colombia**

Según el Estudio Nacional de Agua (IDEAM, 2005), el índice de disponibilidad per cápita de agua clasifica a Colombia, ya no como una de las potencias hídricas del mundo, sino como el país número 24 en una lista de 182 naciones. Cada colombiano dispone de 40.000 m<sup>3</sup> de agua al año, pero de no adoptar medidas para su conservación, se generaría en el futuro cercano una situación indeseable en el marco del desarrollo sostenible de Colombia y se agudizaría la problemática del agua de tal forma que, para el año 2020, cada colombiano dispondría de un volumen potencial de 1.890 m<sup>3</sup> de agua al año. Según el IDEAM (2005, 2008) el sector agrícola ocupa el primer lugar en demanda de agua con un 61%, seguido por el consumo doméstico con un 26%, el industrial con 9%, el pecuario 3% y por último, el de servicios con un 1%.

### **Calidad del agua**

Con relación a la calidad del agua en el país, las fuentes principales de alteración son las aguas residuales domésticas, las producidas por la industria, por la actividad agrícola y ganadera, por la extracción de petróleo y sus derivados, construcción de carreteras, minería y disposición de basuras a cielo abierto y directamente en los cauces de los ríos (Roldán, 2003; Roldán y Ramírez, 2008; Contraloría General de la República, 2007).

La densidad poblacional y la producción industrial se han establecido tradicionalmente en las áreas de influencia de las principales ciudades de Colombia localizadas en la zona Andina, con la consecuente presión sobre los recursos de las cuencas cuyos desechos van a parar en su mayoría a los ríos Magdalena y Cauca. Según el estudio Bases para la Formulación de un Plan Nacional de Aguas Residuales (Universidad de los Andes – Ministerio de Medio Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2002), un estimativo del caudal de aguas residuales generado por los centros urbanos identifica que en Colombia se están arrojando a los cuerpos de agua cerca de 67 m<sup>3</sup>/s de los cuales, Bogotá representa más del 15.3 %; Antioquia, el 13 %; Valle del Cauca, el 9.87%; los demás departamentos están por debajo del 5%. Esta proporcionalidad condiciona el grado de impacto sobre las corrientes hídricas y marca una tendencia de impacto negativo en las regiones.

Los desechos domésticos y el sector alimenticio presentan uno de los mayores aportes a los procesos de alteración de la calidad del recurso hídrico; la causa principal es la de que es muy bajo el porcentaje de los municipios y de las industrias que aplican procesos de tratamiento a sus residuos antes de verterlos a las corrientes de agua.

La industria cementera modifica el recurso hídrico por el vertido de sólidos suspendidos, mientras que la industria petroquímica y carboquímica genera problemas al incorporar compuestos químicos

complejos a los cuerpos de agua cercanos su lugar de explotación. Adicionalmente, el sistema de conducción de oleoductos y gasoductos es vulnerable y los derrames de crudo modifican de manera negativa la calidad del agua y por ende, la biota allí presente.

El sector manufacturero incluye la industria química que emite sustancias resistentes a la biodegradación. La industria farmacéutica, la de plástico y la de productos de síntesis contribuyen a la degradación del recurso hídrico por el aporte de sustancias igualmente de difícil degradación (Contraloría General de la República, 2007; Roldán y Ramírez, 2008).

La industria de extracción de petróleo, del carbón y de la minería genera cantidades importantes de metales pesados, hidrocarburos, partículas de carbón y sedimentos que se distribuyen difusamente en el recurso hídrico e incluso se transportan a distancias considerables de los puntos de emisión. Estas condiciones de calidad, se suman a otras intervenciones humanas, como la ocupación del territorio, las actividades agropecuarias y la tala indiscriminada de bosques que inciden en la regulación hídrica del país (Campuzano, Roldán, Guhl & Sandoval. 2012).

### **Agua potable y saneamiento básico**

La inadecuada planificación del uso y ocupación de los suelos en Colombia ha contribuido al deterioro de las cuencas y por ende, al deterioro de la cantidad y calidad de la oferta hídrica. Por ello, acueductos de 140 municipios de 16 departamentos presentan vulnerabilidad por disponibilidad de agua debido a que en muchos casos, las fuentes de suministro actuales corresponden a quebradas, cuyas aguas se han vuelto estacionales por la degradación de las cuencas.

Exceptuando algunas grandes ciudades del país, los sistemas de acueducto son vulnerables a riesgos de desabastecimiento, debido a que el diseño, operación y mantenimiento de éstos se ven expuestos a eventos generados por el exceso o déficit de los caudales de las fuentes hídricas de abastecimiento, variabilidad climática o contaminación, derivados de un uso poco sostenible de los recursos naturales y a la inadecuada gestión del recurso hídrico.

Es decir, el rezago del país frente al tratamiento de aguas residuales se debe tanto a la inexistencia de infraestructura de sistemas de tratamiento como a la baja cobertura de las plantas existentes. Sólo 354 (33%) municipios del país cuentan con sistemas de tratamiento y se sabe que 29% de ellos no se encuentran operando. Se ha estimado que de los 159 m<sup>3</sup>/s de agua captados a nivel nacional, el volumen de aguas residuales que recibe tratamiento es cercano a 5 m<sup>3</sup>/s, equivalente a 3,1% del volumen mencionado (Campuzano *et al*, 2012).

Como resultado del deterioro de la calidad del agua y de las cuencas abastecedoras, la baja cobertura, capacidad y mantenimiento de las plantas de tratamiento de agua, así como de la falta de control, seguimiento y monitoreo de la calidad de agua, “hay cerca de 17 millones de colombianos que no recibieron agua apta para consumo humano durante el primer trimestre del 2007” (IDEAM, 2007).

Los estudios que se han realizado sobre la problemática de acceso a los servicios básicos como agua potable y saneamiento han señalado que, a pesar de los esfuerzos realizados por la Nación, especialmente desde el año 2001, cuando se implementó un programa de reforma de abastecimiento de agua y saneamiento para ampliación de cobertura de los servicios de acueducto y alcantarillado, aún persisten problemas relacionados con la calidad y su accesibilidad en grandes zonas del país (Campuzano *et al*, 2012).

### Agua y salud humana

La carencia de agua potable y saneamiento básico en grupos de población con bajas condiciones de vida, constituye el principal origen de muchas de las enfermedades, y es uno de los principales factores de riesgo para contraerla. La ausencia de una adecuada disposición de excretas (alcantarillado, pozos sépticos, tazas sanitarias), asociada a la falta de educación, propicia la aparición de enfermedades.

La consecuencia más grave es la persistente mortalidad y el incremento de la morbilidad por causa de las enfermedades infecciosas de origen hídrico entre la población infantil en la mayoría de los municipios del país, lo que se ha constituido en uno de los costos más elevados de la degradación ambiental en Colombia. Se puede asegurar que persiste una alta morbilidad y mortalidad por enfermedades bacterianas de origen hídrico, de las cuales la diarrea crónica es la más común y generalizada.

Adicionalmente, las condiciones de vida y la ubicación geográfica de nuestro territorio en las regiones tropicales, favorecen la alta incidencia de las enfermedades transmitidas por vectores, como la malaria y el paludismo. El dengue es en la actualidad, un grave problema para la salud de la población del país, particularmente en aquellas zonas ubicadas a menos de 1.800 msnm, donde habita el mosquito trasmisor de la enfermedad (*Aedes aegypti*).

### Visión y manejo integral del agua

Con base a lo anteriormente planteado, el **agua** debe considerarse como un área estratégica para el desarrollo local y regional y por ello la crisis del agua, debe situarse dentro de la perspectiva de solución de problemas técnicos y conflictos sociales. De todas las crisis, la del agua es la que se encuentra en el corazón mismo de nuestra supervivencia y la de nuestro planeta.

Aunque el agua es el elemento más frecuente en la Tierra, únicamente 2,53% del total es agua dulce y el resto es agua salada. Aproximadamente las dos terceras partes del agua dulce se encuentran inmovilizadas en glaciares y al abrigo de nieves perpetuas. Por otro lado, los recursos de agua dulce se ven reducidos por la contaminación. Unos dos millones de toneladas de fertilizantes y pesticidas son arrojados diariamente en aguas receptoras, incluyendo residuos industriales y domésticos.

El panorama actual del agua a nivel mundial, agravado por la pérdida de capacidad de soporte de los ecosistemas por la agresiva intervención humana sobre ellos y por la contaminación, predice un mundo sediento (ver citas pag. Web). Para tratar de evitar que esta imagen se convierta en realidad, se plantea la necesidad de generar y difundir una nueva "cultura del agua" que le otorgue su valor simbólico y económico como elemento indispensable para la vida, el bienestar y el desarrollo y que estimule su conservación y su uso cuidadoso, dentro de una visión integral de la gestión del recurso, que hasta ahora ha sido fragmentada y parcial.

En cuanto a la cantidad de agua se deben encontrar nuevas fuentes y aplicar novedosas tecnologías de tratamiento que permitan su reutilización (Roldán, 2002). Si bien la escasez del agua es una realidad en muchas partes del mundo, no puede olvidarse que uno de los grandes problemas allí, es no poder utilizar nuevamente el agua que se ha contaminado con las excretas domésticas, residuos industriales y pesticidas utilizados en la agricultura, entre otros.

En lo que respecta a la calidad, se destaca la urgencia de avanzar en el tratamiento de las aguas residuales urbanas e industriales. Se concluye que buena parte del déficit de agua potable corresponde a problemas de manejo y administración, antes que a una insuficiencia natural. En resumen, el problema principal del agua en Colombia y en el mundo es, por lo tanto, un asunto de calidad antes que de cantidad. Naturalmente, el sistema institucional y administrativo, es decir la gobernabilidad del agua, ocupa también un puesto destacado en nuestra problemática.

Por otra parte, los sistemas de captación y distribución presentan muchas fallas de diseño y de mantenimiento que llevan a altas pérdidas y a poner en riesgo el abastecimiento de la población en años secos, no por carencia natural de agua sino por deficiencias en la conservación de las cuencas abastecedoras de acueductos municipales, desperdicio del agua por falta de una cultura en los usuarios y falta de tratamiento de las aguas residuales.

### **Gestión integral del recurso hídrico.**

Es claro que el manejo del agua ha dejado de ser un asunto exclusivamente técnico para dar paso a una visión más compleja e interdisciplinaria denominada "gestión integral del recurso hídrico", que parte de la idea de que para que el manejo del agua sea sostenible, debe incluir el **ciclo hidrológico completo**, proteger e incrementar la oferta natural y considerar en conjunto las demandas y necesidades de todos sus usuarios; en resumen, es la práctica de una política de *conservación, uso y recuperación del agua*.

### **Desarrollo del modelo de manejo integral del agua**

El modelo del **Manejo Integral del Agua** se basa en cuatro pasos: 1) protección de las cuencas abastecedoras de agua para acueductos, 2) educación de la comunidad en el uso y ahorro del agua, 3) tratamiento de las aguas residuales y 4) recuperación paisajística del cauce y riberas de los ríos como áreas de recreación de la comunidad (Figura 1).

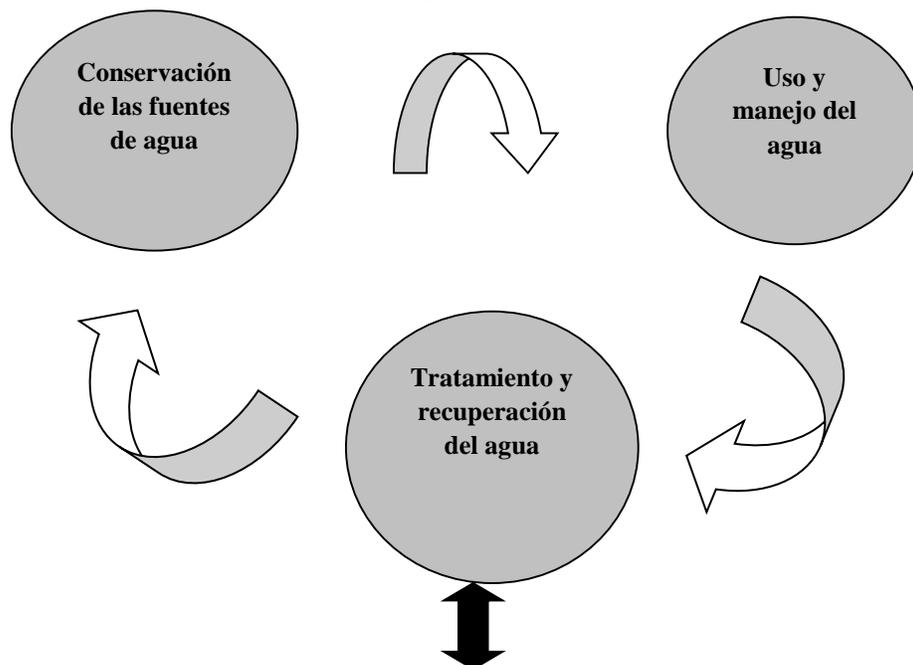


Figura 1. Modelo del manejo integral del agua

## **PRIMERA ETAPA**

Recuperación y protección de cuencas

La mayor parte de las cuencas que abastecen los acueductos municipales están siendo afectadas desde hace varias décadas por diferentes actividades antrópicas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Principales actividades antrópicas que afectan la calidad del agua

## **“Gestión del Riesgo y Restauración de Ecosistemas Acuáticos Continentales”**

- Contaminación por aguas residuales domésticas.
- Contaminación por aguas residuales industriales
- Contaminación por abonos, plaguicidas y pesticidas
- Disposición inadecuada de basuras.
- Actividades de minería aluvial y artesanal.
- Animales en descomposición al aire libre.
- Cultivos en laderas y cerca de los nacimientos y corrientes de agua.
- Pastoreo de ganado cerca de los nacimientos y corrientes de agua.
- Arrastre de sedimentos por construcción de vías, explotación de canteras y otras obras de ingeniería que suponen modificación del paisaje.
- Modificación de los cauces (corte de meandros, taponamientos de conexión con lagunas).
- Construcción de obras de ingeniería que modifiquen la dinámica y curso de las corrientes (puentes, presas, desvíos de agua, entre otros).
- Quema y tala del bosque.

### Manejo y recuperación de cuencas abastecedoras de acueductos municipales

El cuadro 2 presenta las principales acciones recomendadas para un plan de manejo efectivo de cuencas abastecedoras de acueductos municipales.

Cuadro 2. Acciones recomendadas para un plan de manejo efectivo de cuencas

- Protección del bosque nativo y los nacimientos de agua.
- Restricción al máximo de la construcción de viviendas.
- Construcción de pozos sépticos.
- Regulación de actividades pecuarias como: pastoreo, establos y porquerizas.
- Prohibición de cultivos en el área inmediata de influencia de nacimientos y corrientes.
- Disposición técnica de basuras; usar al máximo el reciclaje
- Protección del bosque ripario a lo largo de las riberas de los ríos.
- No cortar los meandros de las corrientes; esto altera la dinámica del agua.
- Restaurar los cauces de las corrientes que han sido alterados.
- Realizar obras de protección de taludes con el fin de evitar el arrastre de sedimentos.
- Compra de las cuencas abastecedoras de acueductos por parte de las administraciones municipales.
- Contratar guardabosques locales que colaboren con la protección de las cuencas.
- Adelantar programas de educación ambiental con la comunidad.

Para la adecuada puesta en marcha de las anteriores acciones, es necesario la formulación de actividades que comprendan todos los escenarios futuros para su ordenamiento y estar incluidos en un plan de desarrollo (Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia, 2005, 2007; Carmona *et al*, 2010; Gobernación de Antioquia, 2008).

## **SEGUNDA ETAPA**

Educación de la comunidad en el uso eficiente y ahorro del agua

Las siguientes son las acciones más recomendadas para lograr un uso eficiente del agua (Cuadro 3).

Cuadro 3. Acciones recomendadas para un uso eficiente del agua.

- Repare grifos defectuosos
- Verifique que no haya averías en las tuberías.
- Verifique que el tanque del sanitario no tenga fugas.
- Reduzca el volumen del tanque del sanitario.
- Tome duchas cortas.
- Use la lavadora cuando esté llena de ropas.
- Cierre el grifo mientras se cepilla los dientes.
- Riegue los prados y jardines justo con el agua que necesaria.
- No lave con manguera el frente de su casa ni las calles.
- Cree conciencia en todos los miembros de la familia, acerca del ahorro del agua.
- Reporte inmediatamente fugas en las tuberías en vías públicas.
- Promueva el tratamiento de las aguas residuales en las fábricas: con ello se pueden obtener ahorros hasta del 70%.
- Nunca piense que puede gastar el agua que desee porque puede pagarla; otros la necesitan.
- Riegue los prados y jardines en las mañanas.

## **TERCERA ETAPA.**

Recuperación y manejo de aguas residuales.

Se deben aplicar novedosas tecnologías de tratamiento del agua que permitan su reutilización. Si bien la escasez del agua es una realidad en muchas partes del mundo, no puede olvidarse que el gran

problema es no poder utilizar nuevamente el agua contaminada. Por cada litro de agua potable que utilizamos, retornamos al ambiente una cantidad similar como producto de la actividad agrícola e industrial y por la contaminación de origen doméstico.

Buena parte del déficit de agua potable corresponde a problemas de manejo y administración, antes que a una insuficiencia natural. Se recomiendan tratamientos tradicionales los cuales se aplicarían de acuerdo a las circunstancias propias de cada municipio o empresa (Cuadro 4).

Cuadro 4. Principales sistemas de tratamiento de aguas residuales más utilizados.

- Lodos activados.
- Tratamientos fisicoquímicos.
- Lagunas de oxidation.
- Canales sembrados con plantas acuáticas.
- Humedales.
- Microfiltración utilizando nanotecnologías modernas.

### **CUARTA ETAPA**

Recuperación y manejo ambiental de las márgenes de los ríos: parques ecológicos lineales

Una vez recuperadas las aguas residuales, las corrientes que pasan por cada municipio volverán a adquirir su calidad fisicoquímica y bacteriológica. En estas circunstancias, la población tendrá la oportunidad de disfrutar de ellas para la pesca, recreación y sus terrenos aledaños se convertirán en parques para la recreación de la comunidad (Cuadro 5).

Cuadro 5. Ventajas de los parques lineales para la recreación de la comunidad.

- Caminar y descansar.
- La recreación infantil.
- Esparcimiento familiar.
- Recreación artística.
- Disfrute de la naturaleza y el paisaje.
- Reconciliación con la naturaleza.
- Expresión de tradiciones culturales.
- Integración entre el desarrollo urbanístico y ambiental.
- En resumen: significa Calidad de Vida.

### Acciones recomendadas a realizar

Es fundamental el estudio de las condiciones socioeconómicas y ambientales de las cuencas abastecedoras de agua para los acueductos municipales. Se deben elaborar estudios de las cuencas municipales abastecedoras de aguas para acueducto con el fin de conocer la calidad fisicoquímica, biológica y microbiológica de la calidad de las aguas (Roldán *et al*, 2001; Hermelín, 2006; Carmona *et al*, 2010. Deberán realizarse los siguientes estudios (Cuadro 6).

Cuadro 6. Aspectos que se deben tener en cuenta para el ordenamiento de las cuencas.

- Mapa de cobertura vegetal y usos del suelo.
- Censo de la población asentada y actividad económica.
- Manejo de basuras y aguas residuales.
- Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de las corrientes.

- Análisis de plaguicidas en fuentes de agua que surten acueductos municipales.
- Mapa de calidad del agua complementado con los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua.

### **Instituto para la Investigación del Agua**

Además de la falta de educación ambiental, se requiere de una política de investigación por parte del estado que implique la generación de nuevos conocimientos y tecnologías que garanticen la sostenibilidad del recurso agua a largo plazo. Una de ellas es la creación de un Instituto de Investigación para el Agua que sirva en el futuro cercano de modelo para el país. Estos institutos existen hace años en muchos países del mundo y a través de ellos se han podido encontrar soluciones que aseguren un desarrollo sostenible del recurso hídrico.

Este Instituto sería un sitio de encuentro interdisciplinario donde especialistas de todas las ramas del saber hicieran sus aportes a través de rigurosas investigaciones, donde expertos nacionales e internacionales expusieran sus experiencias y estudiantes de posgrado tuvieran la oportunidad de realizar sus tesis de maestría y doctorado. Alcanzar esta meta es cuestión de claridad de la responsabilidad del estado ante la sociedad.

### **Conclusiones**

Para resolver adecuadamente los problemas de abastecimiento del agua frente a la vida y el bienestar de una población creciente, es necesario enfrentar desafíos como los de: satisfacer las necesidades humanas básicas, proteger los ecosistemas en bien de la población y del planeta, proteger las zonas productoras de agua, promover una industria más limpia en beneficio de todos, reducir los riesgos y hacer frente a la incertidumbre, compartir el agua como un bien de interés común, identificar y valorar las múltiples facetas del agua y administrar el agua de modo responsable para asegurar un desarrollo sostenible.

La situación del recurso hídrico en Colombia, en términos generales, no alcanza los niveles críticos que acusa en muchos otros países del mundo. Sin embargo, se evidencian síntomas de alarma en términos de abastecimiento en algunos municipios y áreas urbanas en donde se deben definir políticas para la planificación, manejo y utilización del recurso hídrico para prevenir futuras crisis.

En los próximos años no sólo continuará aumentando la demanda de agua para sus diferentes usos humanos y económicos, sino que la oferta aprovechable del recurso puede reducirse aceleradamente de continuar las tendencias actuales de deforestación y la ausencia casi total de tratamiento de las aguas residuales.

En resumen, Colombia dispone de unas cantidades muy significativas de agua para satisfacer sus necesidades; el gran problema que se avizora es el de la mala calidad del agua antes que su escasez. Es decir, que los problemas relacionados con el agua dependen más de su manejo y control que de su disponibilidad natural.

Se espera que la evolución, en términos de políticas, permita hacer una mejor planificación y control del recurso hídrico. Sin embargo, la desarticulación interinstitucional e intersectorial pone en tela de juicio su efectividad y se convierte en una amenaza latente para el cuidado y protección del mismo.

### **Bibliografía Referenciada**

Campuzano, C. Roldán, Guhl, E. & Sandoval, M. (2012). Una visión del estado de los recursos hídricos en Colombia. En: Jiménez, B & Tundisi, J: diagnóstico del agua en las Américas IANAS. Foro Consultivo Científico y Tecnológico, AC, México. 445p.

Campuzano, C, Roldán, G. Guhl, E. & Sandoval, M. (2012). Una visión del estado de los recursos hídricos en Colombia. En: B. Jiménez y J. Tundisi: Diagnóstico del Agua en las Américas. IANAS, Foro Consultivo Científico y Tecnológico, AC, México 445p.

Carmona, J. Herrera, R.E, & Roldán, G. 2010. Estudio socioeconómico y ambiental de la vereda El Colorado del municipio de Guarne (Antioquia)-Colombia. Academia Colombiana de Ciencias Físicas, Exactas y Naturales. Ed. Divegráficas Ltda, Medellín. 154p.

Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia (2005). Lineamientos de la Política Departamental del Agua en Antioquia. Departamento Administrativo del Medio Ambiente de Antioquia. 140p.

Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia. (2007). Memorias Jornadas Técnicas de Discusión Realizadas por el Convenio Interinstitucional Cátedra del Agua. Revista Cátedra del Agua, 02. 78p.

Contraloría General de la República. (2007). Estado de los recursos naturales y el ambiente 2007-2008. Editorial Imprenta Nacional, Bogotá.

Gobernación de Antioquia. (2008). Plan de Desarrollo Período 2008/2011. Grupo Editorial Copy Net S.A, Medellín, 289p.

Hermelín, M. (2006). Geografía de Antioquia: Geografía histórica, física, humana y económica. Fondo Editorial Universidad EAFIT, Medellín, 338p.

IDEAM, (2005). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Estudio Nacional del Agua, Bogotá

IDEAM, (2007). Presentación de mitos y realidades sobre el consumo de agua en Colombia, Bogotá.

IDEAM, (2008). Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia, Estudio Nacional del Agua – Relaciones de Demanda de Agua y Oferta Hídrica, Bogotá.

Roldán, G & R, E. (2001). Development of Limnology in Colombia. In: Wetzel, R y B. Gopal: Limnology in Developing Countries. International Association of Theoretical and Applied Limnology-SIL 3: 69-119.

Roldán, G. Posada, J.A. & Gutiérrez, J.C. (2001). Estudio limnológico de los recursos hídricos del Parque de Piedras Blancas. Academia Colombiana de Ciencias Físicas, Exactas y Naturales, Colección Jorge Álvarez Lleras No. 18. Ed. Guadalupe Ltda. 152p.

Roldán, G. (2002). Treating Industrial Wastes in Colombia Using Water Hyacinth. Waterlines, 21(1): 6-8.

Roldán, G., 2003. La bioindicación de la calidad del agua en Colombia. El método BMWP/Col. Ed. Universidad de Antioquia, Medellín, 170p.

Roldán, G. y Ramírez, J. J. (2008). Fundamentos de Limnología Neotropical. 2da. Edición. Ed. Universidad de Antioquia, Medellín, 440p.

Universidad de los Andes-Ministerio de Medio Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2002). Bases para la Formulación de un Plan Nacional de Aguas.

<http://www.encolombia.com/medioambiente/Estudiocolombianodelagua/Estudiocolombianoaguas12.htm> (Cuantificación del uso y demanda del agua).

<http://cienciaencanoa.blogspot.com/2011/04/presentacion-estudio-nacional-del-agua.html>  
(Presentación Estudio Nacional del Agua 2011 por el IDEAM – Colombia)

<http://www.eluniversal.com.co/cartagena/ambiente/colombia-uno-de-los-mas-ricos-en-recursos-hidricos-18471> (Colombia: uno de los más ricos en recursos hídricos)

<http://www.slideshare.net/javalencia/estadisticas-agua-colombia> (Cuenta del agua)

## **“Aspectos de Contaminación y Control del Recurso Hídrico en cultivo de Trucha”**

Javier E Fernández M<sup>1</sup>; Carlos A De la Cruz G<sup>2</sup>; Julia R Caicedo B<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería Civil, Universidad del Cauca, Popayán-Colombia.

[jefernandez@unicauca.edu.co](mailto:jefernandez@unicauca.edu.co)

<sup>2</sup> Centro Regional de Productividad e Innovación del Cauca CREPIC, Popayán-Colombia

[cadlc331@yahoo.com](mailto:cadlc331@yahoo.com)

<sup>3</sup> Escuela de Ingeniería de los Recursos Naturales y del Ambiente EIDENAR, Universidad del Valle, Cali-Colombia.

[\\*julia.caicedo@correounivalle.edu.co](mailto:julia.caicedo@correounivalle.edu.co)

La piscicultura como actividad productiva está en crecimiento en el país y el departamento del Cauca cuenta con condiciones aptas para desarrollo de esta actividad. Sin embargo un crecimiento sin considerar los impactos ambientales de vertimientos de efluentes sin tratar, dificulta alcanzar las metas de una piscicultura ambientalmente sostenible. El presente estudio caracterizó el afluente y efluente de 10 piscícolas de trucha ubicada en el Departamento del Cauca en términos de la contaminación producida y la cantidad de agua usada. El estudio también incluyó el seguimiento, durante un periodo de 6 meses, a la piscícola de trucha de mayor producción, donde se midieron los caudales y la calidad del agua en el afluente y efluente, en términos de sólidos suspendidos totales (SST), nitrógeno total Kjeldahl (NTK), nitrógeno amoniacal total (NAT), fósforo total (PT), demanda bioquímica y química de oxígeno (DBO<sub>5</sub> y DQO). Los sólidos suspendidos se caracterizaron en términos de su distribución de masa por tamaños de partícula y su sedimentabilidad, para lo cual se utilizaron tamices de diferentes tamaño de poro (850, 425, 150, 75, 45  $\mu\text{m}$ ) y columnas de sedimentación. El estudio mostró que en su mayor parte la producción se realiza en estaciones piscícolas pequeñas que utilizan altas un recurso hídrico promedio de  $433 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{t-pez}^{-1}$  consideradas como altas para el desarrollo de esta actividad. Las cargas contaminantes vertidas a las fuentes superficiales se estimaron en 11.4, 25.6, 1.1 y 2.7  $\text{t} \cdot \text{mes}^{-1}$  para DBO<sub>5</sub>, sólidos suspendidos totales, nitrógeno total Kjeldahl y fósforo total respectivamente. La piscícola de mayor producción utilizó un recurso hídrico utilizó promedio de  $32.8 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{ton-pez}$ . El efluente de la piscícola presentó valores promedio en DBO<sub>5</sub>, DQO, NTK, NAT, PT y SST de 5.9, 14.5, 2.1, 0.34, 0.29 y  $6.7 \text{ mg/L}$  respectivamente, concentraciones que dificultan el tratamiento por tecnologías convencionales de tratamiento de aguas residuales. El análisis de distribución de tamaño de partícula y sedimentabilidad de las partículas indicó que el 77% la masa presenta tamaños superiores a  $45 \mu\text{m}$  y velocidades de sedimentación en el rango de 40 a 2000 m/d. Se concluye que los contaminantes presentes en el efluente de las piscícolas de trucha están diluidos, aunque sus cargas no son despreciables. Para su control debe considerarse alternativas distintas a los tratamientos convencionales. Las características de partículas indicas que pueden sedimentar fácilmente, por lo cual explorar la opción de sedimentación dentro del estanque debe ser considerada como una alternativa para su control, sin embargo la propuesta debe ir acompañada de una alternativa que facilite la

oportuna extracción del lodo por métodos que no implique grandes demanda de mano de obra ni utilización de equipos mecánicos complejos.

**Palabras claves:** Trucha, control de contaminación, remoción de sólidos, uso del recurso hídrico

## **INTRODUCCIÓN**

El cultivo de la trucha, además de exigir una excelente calidad de agua demanda grandes cantidades de recurso hídrico. Valores entre 30 a 150 m<sup>3</sup>/h\*ton-peza han sido reportados por Bergheim & Brinker (2003). Por lo tanto, el efecto generado por los contaminantes producidos por el cultivo va a afectar grandes flujos de agua limpia, que geográficamente en Colombia están ubicados en zonas de cuenca alta. Estas condiciones generan limitaciones en la utilización del agua para otros propósitos, especialmente en el abastecimiento de agua para consumo humano en las zonas de cuenca más baja. Los contaminantes en el efluente de las granjas piscícolas pueden dividirse en dos fracciones: sólidos suspendidos y sólidos disueltos (Cripps & Bergheim, 2000; Maillard *et al.* 2005). Los sólidos suspendidos se encuentran en la columna de agua o se acumulan como sedimento en el fondo de los estanques. Los sólidos disueltos se presentan directamente en la columna de agua como producto de los procesos metabólicos o indirectamente por la liberación o lixiviación de los sedimentos (Stewart *et al.*, 2006; True *et al.*, 2004; Fernández *et al.*, 2007). El mayor componente de los sólidos suspendidos es el carbono orgánico, mientras que el fósforo y el nitrógeno son los constituyentes más importantes de los contaminantes solubles. Los niveles de estos contaminantes en el efluente de las piscícolas, dependerán básicamente de la composición del alimento, su digestibilidad, tasa de conversión, densidad del cultivo y métodos de procesamiento (McDaniel *et al.*, 2005; Coloso *et al.*, 2003).

La concentración de contaminantes en los efluentes de las granjas productoras de trucha es baja debido a los grandes requerimientos de agua de esta especie. En Estados Unidos alcanzar los estándares de calidad en los efluentes tratados, aun presenta limitaciones de costo, particularmente para fósforo y nitrógeno, lo que muestra la necesidad de más investigación y desarrollo al respecto (Engle *et al.*, 2005; Cripps & Bergheim 2000).

En Colombia el control de la contaminación producida por las granjas piscícolas necesita ser desarrollado y en este sentido la aplicación de métodos y alternativas de tratamiento utilizadas en otras partes pueden ser un punto de referencia, más no el horizonte. Como un primer paso, el país requiere conocer cuáles son las características de sus efluentes piscícolas, para iniciar la búsqueda, adaptación o desarrollo de sus propias alternativas de control. Este artículo presenta los resultados de la caracterización realizada a los efluentes 10 piscícolas de trucha y el resultado al seguimiento de la piscícola de mayor producción ubicada en el Departamento del Cauca, Colombia.

## **METODOLOGÍA**

Con base en la información recogida en un inventario de las piscícolas de trucha ubicadas en el departamento del Cauca (Unicauca *et al*, 2010), se seleccionaron diez piscícolas en las cuales se realizaron visitas donde se evaluó la calidad del agua según los parámetros y puntos de muestres de la tabla 1, y se midieron los caudales utilizados para la producción. También se determinó la concentración de oxígeno disuelto a la entrada y salida de al menos cuatro estanques de cada piscícola y su frecuencia de lavado.

La selección de las piscícolas a evaluar incluyó los siguientes criterios: cantidad de producción mensual (se dividieron en tres grupos: más de dos toneladas, entre 1 y dos toneladas y menor a una tonelada), material del estanque (tierra o concreto), tipo de estanque (circular, rectangular, otro). Se buscó que al menos una o dos estaciones cumplieran con estos criterios.

El seguimiento a la piscícola de mayor producción Su producción promedio es de 600 Ton/año de trucha Arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) en estanques tradicionales de 2x10m con profundidades de 0.9m. Hay 9 baterías de canales, cada una con una configuración de 8 estanques en paralelo y dos en serie que conforman sistemas de cascadas que aseguran la oxigenación y flujo permanente del agua. La densidad final del cultivo en los estanques de engorde fue de 35 Kg/m<sup>3</sup>. Durante el estudio no se utilizó oxígeno suplementario, sin embargo en los periodos más secos del verano, cuando el caudal de entrada disminuye este debe ser utilizado en un 50% del tiempo aproximadamente.

El estudio fue realizado durante seis meses, con lo cual se consideró el efecto climático producido por los periodos secos y de lluvias presentes en la región. Para la caracterización físico química se tomaron muestras de agua en el afluente y efluente de la granja, además del caudal en ambos puntos. Con el fin de considerar el tiempo de retención del agua en el estanque, las muestras fueron compuestas durante un tiempo de 20 minutos. Las muestras tomadas fueron preservadas para su posterior análisis en el laboratorio de la Ingeniería Ambiental de la Universidad del Cauca. Los parámetros físico químicos medidos se presentan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**1 al igual que la frecuencia de uestreo y el método de análisis empleado.

Adicionalmente se caracterizaron los sólidos suspendidos con respecto a su distribución de masa por tamaño de partícula, las características de sedimentabilidad y contenido de materia orgánica. Para esto se tomaron 6 muestras (una cada 15 días) durante dos meses. Los muestreos se realizaron en un estanque que presentó tamaños de pez entre 210 y 280 g y una densidad de biomasa de 35 Kg/m<sup>3</sup>. Las

**Tabla 1.** Parámetros de calidad de agua y puntos de muestreo.

Parámetro	Entrada	Salida	Procedimiento Standard Methods1998[10]
Caudal	X		Molinete*
Oxígeno Disuelto	X	X	4500-O G
pH	X	X	4500 H
Temperatura	X	X	
DBO <sub>5</sub>	X	X	2510 B
Sólidos suspendidos	X	X	2540 D
Fósforo total	X	X	4500-P C
Nitrógeno orgánico total	X	X	4500- NH <sub>org</sub> B

muestras fueron recolectadas una hora después de realizar el proceso de alimentación. Cada muestra es el resultado de la composición de tres sub-muestras tomadas en los siguientes puntos del estanque: a un metro del inicio, en el punto medio del estanque y a un metro de la salida. Las sub-muestras fueron muestras de columna tomadas instantáneamente. Para ello se diseñó un equipo el cual consistió en un tubo de 4 pulgadas de diámetro y 1 m de largo, 8 litros de capacidad, con una base de soporte en fondo que incluyó un aditamento para sellar el tubo en el punto inferior. Para tomar la muestra se abre el punto inferior, se introduce desde la superficie verticalmente hasta el fondo y se cierra. Una vez sellado se extrae el dispositivo completo con la muestra, disponiendo el contenido en un recipiente con capacidad de 30 L. Las muestras fueron mezcladas y homogenizadas, para extraer una muestra de 15 L y ser transportadas al Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad del Cauca, donde fueron analizadas después de tres horas. La homogenización de la muestra se realizó con una mezcla suave generada por un pequeño aireador utilizado en acuarios.

Para el estudio de la distribución de masa por tamaño de partícula se tomó una muestra de 250 ml de agua, la cual se filtró sucesivamente a través de tamices de diferentes tamaño de poro: 850, 425, 150, 75, 45  $\mu\text{m}$ . El efluente del último tamiz se filtró a través de un papel de fibra de vidrio con tamaño de poro de 3  $\mu\text{m}$ . Los sólidos retenidos en cada tamiz se removieron usando agua destilada y se recogieron en una cápsula previamente pesada para luego ser sometida a secado a 105°C y por diferencia de pesos se determinó la masa de sólidos retenida en cada uno. Los datos se procesaron para determinar el porcentaje de sólidos acumulado hasta cada diámetro de tamiz.

Para determinar la curva de sedimentación de las partículas se utilizó una muestra de 12 L de agua extraída de la columna de agua del estanque. La muestra fue introducida en una columna de sedimentación con una altura de columna de agua de 1.37 m y un diámetro de 4 pulgadas. Para mantener los sólidos en suspensión antes de iniciar el análisis se incluyó una mezcla suave con un burbujeo de aire desde el fondo de la columna. El burbujeo fue realizado con una pequeña bomba para peceras. Una vez iniciada la prueba se suspendió el burbujeo y se retiró el sistema de mezcla. Se tomaron muestras a los siguientes tiempos: 1, 2, 3, 4, 5, 8, 10, 15, 20, 30, 40, 60 y 90 minutos. A las muestras se le midió sólidos suspendidos totales.

La materia orgánica presente como fracciones de disuelta y suspendida en una muestra de agua de la columna de agua del estanque se midieron indirectamente a través de los parámetros DBO<sub>5</sub> y DQO. Las muestras extraídas fueron filtradas a través de un filtro de fibra de vidrio con tamaño de poro de 3  $\mu\text{m}$ ; tanto a la muestra extraída como a la filtrada se les determinó la concentración de materia orgánica. La diferencia entre los dos resultados se consideró como la fracción de materia orgánica suspendida y al resultado del filtrado como la fracción disuelta.

## **RESULTADOS**

**Cantidad de Recurso Hídrico utilizado**

La cantidad de agua utilizada en las 10 piscícolas del departamento del Cauca presentó caudales medidos que van desde los 40.2 hasta los 460 l/s. La relación entre la cantidad de agua usada con el tamaño de producción se presenta en la Figura 1. Como puede apreciar las piscícolas más pequeñas (producción < 1 ton/mes) hacen un mayor uso del recurso hídrico. En ellas la cantidad de agua utilizada, alcanza un valor promedio de 412 m<sup>3</sup>/kg-pezu, mientras que en el caso de la piscícola más grande es de 24 m<sup>3</sup>/kg-pezu. En el caso de la más grande la reutilización del flujo, el uso de estructuras de control y medición de flujo a la entrada del sistema, la re-oxigenación a través de caídas de agua, así como un mantenimiento frecuente de los estanques hacen posible la utilización de estos flujos de agua y las densidades de siembra utilizadas. El mayor uso de recurso hídrico en las piscícolas más pequeñas está relacionado la poca posibilidad de lavar los estanques con frecuencia. El lodo acumulado en los estanques genera grandes consumos de agua que deben ser compensados con mayores consumos de agua (Ver Figura 2). En general el promedio de agua utilizado en el departamento del Cauca, incluyendo todas las estaciones piscícolas, fue de 164 m<sup>3</sup>/Kg-pezu.

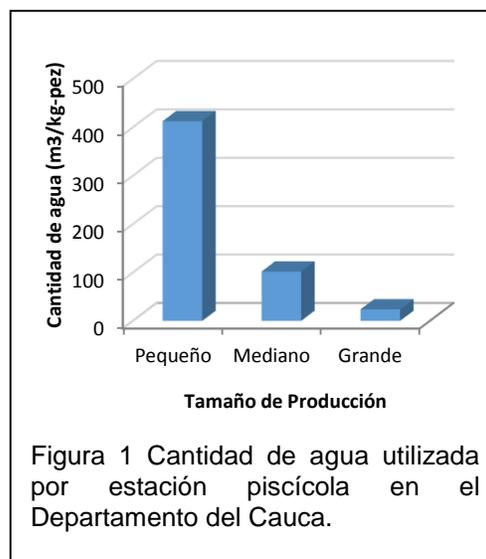


Figura 1 Cantidad de agua utilizada por estación piscícola en el Departamento del Cauca.

**Calidad de agua y cargas contaminantes**

La calidad de agua en el afluente de las piscícolas evaluadas presentó valores en DBO5 en el afluente menores a 2 mg/L, y hasta 5,7 mg/L en el efluente, indicando de una parte una baja contaminación de las fuentes abastecedoras de agua y de otra, un aporte en materia orgánica del proceso al agua efluente.

Un incremento en los sólidos suspendidos totales causado por el proceso de producción se pudo determinar, al incrementarse la concentración promedio de 7,7 a 15,3 mg/L. Las concentraciones de nitrógeno y fósforo total pasaron de 0,45 y 0,28 mg/L en el afluente a valores de 0,80 y 0,63 mg/L en el efluente respectivamente, indicando incrementos superiores al 78%.

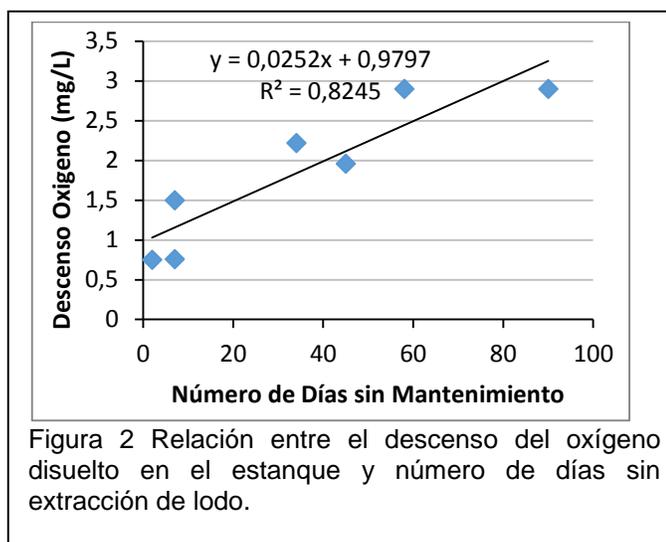


Figura 2 Relación entre el descenso del oxígeno disuelto en el estanque y número de días sin extracción de lodo.

Con base en estas concentraciones se estimaron las cargas contaminantes generadas por las piscícolas de trucha en el departamento del Cauca para DBO<sub>5</sub>, sólidos suspendidos totales, fósforo y nitrógeno total, las cuales alcanzaron 11568, 25961, 1126 y 2779 kg/mes respectivamente, lo que representa una población equivalente de 9378 habitantes para la DBO<sub>5</sub>, 21853 para los sólidos suspendidos, 26507 para nitrógeno y 34308 habitantes para fósforo total, indicando que la contaminación generada no es despreciable.

### Seguimiento a Estación Piscícola de mayor producción

Las estadísticas descriptivas en los parámetros de cantidad y calidad en el flujo de entrada y salida de la piscícola se presentan En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.2.**

Tabla 2 Estadísticas descriptivas calidad entrada y salida, Piscícola de Mayor producción en el Departamento del Cauca

PARAMETRO	ENTRADA					SALIDA				
	PROMEDIO	DES. ESTAND.	MAX.	MIN.	Nº DATOS	PROMEDIO	DES. ESTAND.	MAX.	MIN.	Nº DATOS
Caudal (L/s)	455,3	54,5	579,3	418,0	15	447,1	65,6	582,5	415,5	15
Oxígeno disuelto (mg/L)	7,81	0,63	9,20	6,70	18	6,17	0,28	6,80	5,80	18
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	4,6	2,3	9	1	17	6,7	3,3	12	1	17
Nitrógeno Amoniacal Total (mg N NAT/L)	0,09	0,15	0,39	0,00	7	0,34	0,33	0,98	0,00	7
Nitratos (mg N NO <sub>3</sub> /L)	0,4	0,39	1,11	0,06	18	0,66	1,01	4,30	0,02	18
Nitrógeno Total Kjeldahl (mg N-NTK/L)	1,0	0,46	1,8	0,56	8	2,1	0,96	3,8	0,9	8
Fósforo total (mg PT/L)	0,12	0,15	0,50	0,00	17	0,29	0,33	1,14	0,01	17
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	4,7	1,40	7,5	2,9	17	5,9	0,36	7,1	5,5	16
DQO (mg/L)	14,1	3,5	20,3	6,8	12	14,5	3,8	22,4	9,3	12
pH	-	-	8,3	6,3	18	-	-	8,2	6,2	18
Temperatura (°C)	15,2	1,3	18,4	13,9	18	15,3	1,6	20,6	13,8	18

El recurso hídrico utilizado en la piscícola en promedio fue de 455.3 L/s, lo que representa un flujo de 32,8 m<sup>3</sup>/h\*ton pez, el cual se considera bajo comparado con datos de 36 –150 m<sup>3</sup>/h\*ton pez reportados por Bergheim & Brinker (2003) en granjas de salmónidos en Noruega y 92–135 m<sup>3</sup>/h\*ton-pez reportados por True *et al.* (2004) en estudios realizados en granjas productoras de trucha arco iris, ubicadas al sur del Idaho, Estados Unidos, con densidades del cultivo entre 27 y 51 kg/m<sup>3</sup>. La baja cantidad de agua utilizada por la piscícola, está relacionada con reutilización del agua, el uso de estructuras de control de flujo y el mantenimiento de los estanques, en particular el retiro de los sólidos sedimentados en los estanques.

Una comparación estadística usando la prueba hipótesis ( $\alpha=0.05$ ) entre el caudal de entrada y de salida mostró que sus promedios no presentan diferencias significativas ( $p=0.585$ ), lo cual cataloga este proceso como un uso no consuntivo del agua, es decir que no genera gasto, sin embargo su calidad puede limitar el consumo del agua de usuarios aguas abajo y por lo tanto el uso adecuado del recurso hídrico.

Se compararon los datos de entrada y salida de cada parámetro, para determinar la existencia de diferencias significativas. Para ello se usó la prueba de hipótesis para muestras pareadas usando un nivel de significancia  $\alpha=0.05$ . Los resultados muestran que no se presentan diferencias significativas en los parámetros: pH, temperatura y nitratos. En los otros parámetros DBO<sub>5</sub> ( $p=0.005$ ), sólidos suspendidos totales (SST) ( $p=0.01$ ), nitrógeno total Kjeldahl (NTK) ( $p=0.018$ ), fósforo total (PT) ( $p=0.034$ ), Nitrógeno amoniacal total (NAT) ( $p=0.027$ ) existen diferencias significativas, indicando que las actividades del cultivo están generando un impacto sobre la calidad del agua de entrada a la piscícola.

La concentración promedio de sólidos suspendidos totales en el efluente de la piscícola alcanzó los 6.4 mg/L, con un incremento de 1,8 mg/L con respecto a la concentración de entrada. Valores promedio en el rango de 9.4 y 16 mg/L han sido reportados, usando densidades de siembra aún más bajas que las usadas por la Piscícola estación piscícola en evaluación (Cripps & Bergheim, 2000; Peña & Escobar, 2009), lo cual indica que las acciones realizadas en esta piscícola para el control de los sólidos permiten reducir la concentración efluente. Las acciones para el control de los sólidos se orientan a permitir la sedimentación de las partículas suspendidas en el estanque y su extracción después de 3 o 4 días de estar acumuladas. El flujo de agua con el lodo extraído es tratado en sedimentadores convencionales donde es separado, espesado y dispuesto como residuo sólido o utilizado como bio-abono.

El efluente de la piscícola presentó valores promedio en NTK y PT de 2.1 y 0.26 mg/L respectivamente, los cuales están en los rangos reportados por la literatura para efluentes de trucha: 0.37 a 2.09 mg/L para nitrógeno total y entre 0.13 a 1.12 mg/L para fósforo total (Cripps & Bergheim, 2000; Peña & Escobar, 2009). Estas concentraciones efluentes comparadas con otro tipo de efluentes industriales o agroindustriales son consideradas bajas, sin embargo dado que los flujos de agua utilizados son altos, las cargas contaminantes pueden ser igualmente altas.

El nitrógeno y fósforo en los efluentes piscícolas de trucha provienen casi en su totalidad del alimento suministrado, el cual es aprovechado por el pez solo en un 50% tanto para el nitrógeno como para el fósforo siendo excretado el resto en forma disuelta o suspendida. Se estima que el porcentaje del nitrógeno en forma suspendida en el agua es del orden del 7% del total suministrado en el alimento, mientras que el disuelto corresponde al 43% (Dalsgaard & Pedersen, 2011). En este sentido el desarrollo de dietas que incrementan el contenido de grasa, reduce los niveles de carbohidratos y

proteínas y mejora la digestibilidad, produce un significativo descenso de las concentraciones de N y P en los efluentes ocasionados por los salmónidos en las granjas piscícolas (Cripps & Bergheim, 2000).

El nitrógeno amoniacal total en el agua de cultivo tiene dos fuentes: la primera a través de la excreción por las branquias del pez y la segunda por la transformación del nitrógeno orgánico presente en los sólidos sedimentados en el estanque (Blanco, 1995). El nitrógeno amoniacal representa el 70% del nitrógeno disuelto y representa el 33% del nitrógeno suministrado en el alimento (Dalsgaard & Pedersen, 2011). El nitrógeno amoniacal puede estar presente en forma libre ( $\text{NH}_3$ ) o en forma Ionizada ( $\text{NH}_4^+$ ), siendo su forma libre la más tóxica para el pez. Los valores de nitrógeno amoniacal total se encuentran en promedio en 0.27 mg/L, que para el rango de pH de 6.2 – 7.4 unidades, generaría una concentración de aproximadamente 0.0023 mg/L de  $\text{NH}_3$  (Blanco, 1995). Esta concentración está por debajo de 0.006 mg/L, valor recomendado como aceptable para la cría de trucha (Blanco, 1995).

Los nitratos en el afluente y efluente no presentaron diferencias significativas ( $p=0.158$ ). Esto indica que el proceso nitrificación no se presenta o de hacerlo su impacto es bajo sobre la transformación del amonio. En este sentido el amonio al encontrarse en forma disuelta no tendrá el suficiente tiempo de retención en el estanque para alcanzar la oxidación hacia especies más estables. De otro parte las bacterias nitrificantes generadoras del proceso presentan un crecimiento óptimo a temperaturas entre 26-30°C y reducen su eficacia, medida como tasa de consumo de sustrato en un 70% a temperaturas de 10°C, comparado con el consumo a una temperatura de 30°C (Leenen *et al.*, 1997).

La concentración de materia orgánica medida como  $\text{DBO}_5$  promedia en el afluente y efluente fue de 4,7 y 5.9 mg/L respectivamente. El cultivo generó un incremento respecto de la entrada de 1.2 mg/L, valor que está en el rango de incremento (0.27 y 2.0 mg/L) reportado en el efluente principal de tres granjas de trucha ubicadas en el estado de Virginia US y en el Departamento del Cauca en Colombia (Maillard *et al.*, 2005; Fernandez *et al.*, 2007). Los valores de DQO encontrados fueron más altos que los encontrados para la  $\text{DBO}_5$ , con una relación promedio de  $\text{DBO}_5/\text{DQO}$  de 0,33 en el afluente y de 0,41 en el efluente indicando limitaciones para el tratamiento por procesos biológicos del efluente.

Considerando esta baja relación  $\text{DBO}/\text{DQO}$ , además de las bajas concentraciones contaminantes y los altos caudales encontrados, el tratamiento de este tipo de efluentes se dificulta tanto por métodos biológicos como por métodos físico-químicos. La aplicación de coagulantes químicos fue reportada por True *et al.* (2004), sin embargo, los altos requerimientos en infraestructura, operación y mantenimiento hacen esta alternativa poco sostenible económicamente. MacMillan *et al.* (2003) plantean que en lugar de procesos de tratamiento deben usarse estrategias como el uso de mejores prácticas de manejo para la alimentación, la limpieza de los estanques y el control de los sólidos.

### Características de los sólidos

El entendimiento del tamaño y distribución de partícula que se generan durante la producción piscícola se considera importante para visualizar alternativas que permitan el tratamiento del efluente, particularmente la remoción del material suspendido. Como se presenta en la Figura 3 la mayor parte de la masa (77%), presenta tamaños superiores a 45  $\mu\text{m}$ , con un gran porcentaje (26%) entre los 150 y 450  $\mu\text{m}$ . Un estudio similar realizado por Maillard *et al.* (2005) en el efluente de tres granjas piscícolas de trucha, usando una serie de filtros con tamaños de poro de 210, 105, 70, 30 y 1.5  $\mu\text{m}$ , reportan que la mayor cantidad de masa se encuentra distribuida entre los rangos 1.5 a 30  $\mu\text{m}$  (36%) y >210  $\mu\text{m}$  (42%).

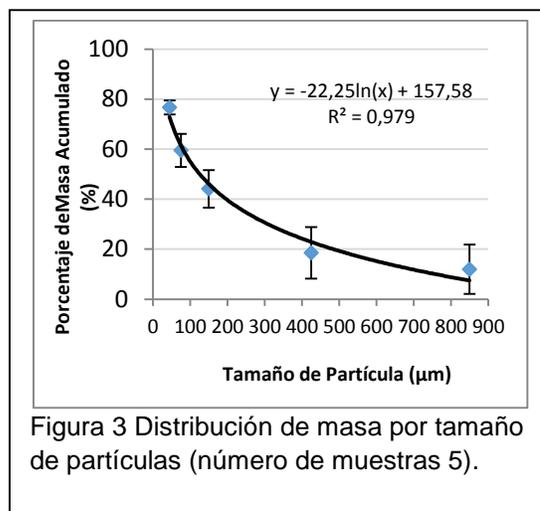


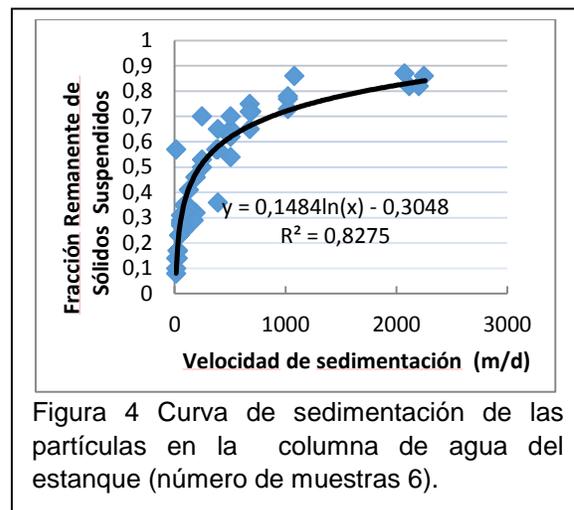
Figura 3 Distribución de masa por tamaño de partículas (número de muestras 5).

Acorde con la ecuación de ajuste alcanzada en el presente estudio (ver Figura 3) para estos mismos rangos (1.5 a 30  $\mu\text{m}$  y >210  $\mu\text{m}$ ) se alcanzan el 18.0% y 38.6% respectivamente, siendo un poco más bajas que las reportadas por Maillard *et al.* (2005), especialmente en el rango inferior, mientras que en otro estudio realizado por True *et al.* (2004) reportaron que el 69% de la masa de sólidos en el efluente de cinco granjas piscícolas de trucha, presenta tamaños mayores a 53  $\mu\text{m}$  y que el 52% cuenta con tamaños mayores a 105  $\mu\text{m}$ , valores muy similares a los aquí obtenidos (69.2% para >53  $\mu\text{m}$  y 54% para >105  $\mu\text{m}$ ).

Estos resultados indican que una gran parte de la masa, de acuerdo al tamaño de partículas, podría ser removida por filtros mecánicos o por sedimentación simple. En este sentido, Cripps & Bergheim (2000) reportan la utilización de filtración mecánica y tambores rotativos de malla, con tamaños de poro que usualmente van de 60 a 200  $\mu\text{m}$ . Mientras que Cripps (1994) alcanzó remociones entre el 21 al 80% en  $\text{DBO}_5$ , 47-84% en fósforo total, 7 a 32% del nitrógeno total, al remover entre el 19 y el 91% de los sólidos totales, utilizando una malla de 60  $\mu\text{m}$ .

Las velocidades de sedimentación alcanzada por las partículas estuvieron en el rango de 40 a 2000 m/d (ver Figura 4). Valores en el rango de 1200 a 2680 m/d fueron reportadas por Elberizon & Kelly (1998) para heces fecales de salmones del Atlántico con tamaños de partícula > 2 y >0.5 mm respectivamente; mientras que Reid *et al.* (2009) reportaron que el 50% de la masa de heces fecales, en trucha arco iris con tamaño promedio de 400 $\mu\text{m}$ , está asociada a velocidades en el rango de 1560 y 2180 m/d. Estos resultados indican que los valores encontrados en el presente estudio son comparables con los encontrados en otras investigaciones.

Acorde con los resultados de la Figura 4, para alcanzar una eficiencia remoción teórica en sólidos suspendidos, superior al 80%, se requiere una carga superficial del orden de  $30 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{día}$ . Esta carga es comparable con las recomendadas para la sedimentación de aguas coaguladas en el tratamiento en el tratamiento de agua para consumo humano (20 a  $30 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{día}$  Ministerio de Desarrollo Económico, 2000). Estos valores de carga superficial y eficiencia alcanzada indican que las partículas son altamente sedimentables y que procesos como la sedimentación simple podrían ser utilizados para su remoción. Esta alta sedimentabilidad que presentan las partículas formadas durante la producción de trucha permite que una gran cantidad de ellas sedimente fácilmente en el estanque, tal como lo plantea True *et al.* (2004). La acumulación de partículas al interior de los estanques se ha considerado hasta el momento indeseable ya que podría generar limitaciones en agua del cultivo, causadas por la degradación de los componentes orgánicos, tales como el consumo de oxígeno y la disolución de subproductos principalmente el amonio y el dióxido de carbono (Amirkolaie, 2011; Bergheim et al., 1993; Stewart et al., 2006).



## Conclusiones

Las concentraciones encontradas en los efluentes de las piscícolas pueden ser consideradas como bajas al ser comparados con los efluentes de otro tipo de producción animal, los grandes flujos de agua utilizados durante la producción, ya sea por los requerimientos propios del pez o por las bajas frecuencias de mantenimiento, generan limitaciones para su tratamiento por procesos convencionales de aguas residuales, por lo cual la opción técnica más viable para su tratamiento corresponde a alternativas con coagulación química, utilizadas más frecuentemente en el proceso de potabilización del agua. Sin embargo su uso, que ya ha sido probada previamente, implica mayores costos de operación lo que podría incrementar fuertemente el costo del producto final, pudiendo hacer inviable económicamente la producción de trucha.

Las cargas contaminantes producidas durante el proceso productivo no son despreciables, particularmente en la zona donde se está produciendo la trucha en el Departamento del Cauca, el Macizo Colombiano. Esto lleva a pensar que un incremento en la producción debe considerar aspectos de innovación en el cambio tecnológico que implique la reducción en el uso del recurso hídrico y el control de la contaminación. Esto debe ser una prioridad para las autoridades ambientales, especialmente ahora que el apoyo a la piscicultura en el departamento ha sido considerado como una prioridad en los Planes de Desarrollo Departamentales de los últimos gobiernos del departamento.

Los tamaños de partícula y su distribución de masa además de las características de sedimentabilidad de los sólidos suspendidos indican que estos pueden ser retenidos eficientemente por procesos como sedimentación o filtración mecánica. Sin embargo la utilización de alternativas como la filtración mecánica puede ser poco sostenible bajo las condiciones generales de infraestructura del sector rural colombiano y en particular del pequeño piscicultor.

La concepción sobre el control de los sólidos suspendidos tradicionalmente ha sido la de evitar su sedimentación dentro del estanque y/o su evacuación permanente, para su posterior remoción; sin embargo considerando que el tipo de partículas generada presentan una alta sedimentabilidad, se debe explorar la opción de permitir la sedimentación de las partículas en el estanque y realizar su extracción antes que se inicie el proceso de disolución y degradación. Esto podría ser una forma efectiva de controlar la contaminación suspendida generada durante la producción de trucha.

### **Agradecimientos**

A la Estación Piscícola “El Diviso”, por las instalaciones y los insumos (peces) en fase experimental, a la Universidad del Cauca por los espacios de laboratorio prestados para llevar a cabo la investigación, a la Universidad del Valle por el suministro de los equipos de campo, al Centro Regional de Productividad e Innovación del Cauca por articulación con los piscicultores del Cauca y al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural por la financiación.

### **Bibliografía**

- Amirkolaie, A. K. (2011). Reduction in the environmental impact of waste discharged by fish farms through feed and feeding. *Reviews in Aquaculture*, 3(1), 19–26. doi:10.1111/j.1753-5131.2010.01040.x
- Beamish, F. W. H., & Tandler, A. (1990). Ambient ammonia, diet and growth in lake trout. *Aquatic Toxicology*, 17(2), 155–166. doi:http://dx.doi.org/10.1016/0166-445X(90)90028-N
- Bergheim, A., & Brinker, A. (2003). Effluent treatment for flow through systems and European Environmental Regulations. *Aquacultural Engineering*, 27(1), 61–77. doi:10.1016/S0144-8609(02)00041-9
- Bergheim, A., Sanni, S., Indrevik, G., & Hlland, P. (1993). Sludge removal from salmonid tank effluent using rotating microsieves. *Aquacultural Engineering*, 12(2), 97–109. doi:10.1016/0144-8609(93)90019-8
- Blanco Cachafeiro, M. C. (1995). *La Trucha. Cría Industrial* (p. 503). Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.

- Boersen, G., & Westers, H. (1986). Waste Solids Control in Hatchery Raceways. *The Progressive Fish-Culturist*, 48(2), 151–154. doi:10.1577/1548-8640(1986)48<151:WSCIHR>2.0.CO;2
- Coloso, R., King, K., Fletcher, J., Hendrix, M., Subramanyam, M., Weis, P., & Ferraris, R. (2003). Phosphorus utilization in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed practical diets and its consequences on effluent phosphorus levels. *Aquaculture*, 220(1-4), 801–820. doi:10.1016/S0044-8486(02)00403-9
- Cripps, S., & Bergheim, A. (2000). Solids management and removal for intensive land-based aquaculture production systems. *Aquacultural Engineering*, 22(1-2), 33–56. doi:10.1016/S0144-8609(00)00031-5
- Cripps, S. J. (1994). Minimizing outputs: treatment. *Journal of Applied Ichthyology*, 10(4), 284–294. doi:10.1111/j.1439-0426.1994.tb00168.x
- Dalsgaard, J., & Pedersen, P. B. (2011). Solid and suspended/dissolved waste (N, P, O) from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 313(1-4), 92–99. doi:10.1016/j.aquaculture.2011.01.037
- Elberizon, I., & Kelly, L. (1998). Empirical measurements of parameters critical to modeling benthic impacts of freshwater salmonid cage aquaculture. *Aquaculture Research*, 29, 669–677.
- Engle, C. R., Pomerleau, S., Fornshell, G., Hinshaw, J. M., Sloan, D., & Thompson, S. (2005). The economic impact of proposed effluent treatment options for production of trout *Oncorhynchus mykiss* in flow-through systems. *Aquacultural Engineering*, 32(2), 303–323. doi:10.1016/j.aquaeng.2004.07.001
- Fernandez Jover, D., Sanchez Jerez, P., Bayle Sempere, J., Carratala, A., & Leon, V. M. (2007). Addition of dissolved nitrogen and dissolved organic carbon from wild fish faeces and food around Mediterranean fish farms: Implications for waste-dispersal models. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 340(2), 160–168. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jembe.2006.09.001
- Leenen, E. J. T. M., van Boxtel, a. M. G. a., Englund, G., Tramper, J., & Wijffels, R. H. (1997). Reduced temperature sensitivity of immobilized *Nitrobacter agilis* cells caused by diffusion limitation. *Enzyme and Microbial Technology*, 20(8), 573–580. doi:10.1016/S0141-0229(96)00214-1
- MacMillan, J. (2003). Best management practice development to minimize environmental impact from large flow-through trout farms. *Aquaculture*, 226(1-4), 91–99. doi:10.1016/S0044-8486(03)00470-8

- Maillard, V. M., Boardman, G. D., Nyland, J. E., & Kuhn, D. D. (2005). Water quality and sludge characterization at raceway-system trout farms. *Aquacultural Engineering*, 33(4), 271–284. doi:10.1016/j.aquaeng.2005.02.006
- McDaniel, N. K., Sugiura, S. H., Kehler, T., Fletcher, J. W., Coloso, R. M., Weis, P., & Ferraris, R. P. (2005). Dissolved oxygen and dietary phosphorus modulate utilization and effluent partitioning of phosphorus in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) aquaculture. *Environmental pollution (Barking, Essex: 1987)*, 138(2), 350–7. doi:10.1016/j.envpol.2005.03.004
- Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, Ras – 2000. Sección II, Título C, Sistemas De Potabilización. Bogotá.
- Peña, W., & Escobar, I. (2009). Determinación de la viabilidad del uso de geotextil no tejido como medio filtrante, en flujo horizontal para la remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica en efluentes de piscifactorías de trucha. Popayán: Universidad del Cauca.
- Reid, G. K., Liutkus, M., Robinson, S. M. C., Chopin, T. R., Blair, T., Lander, T., ... Moccia, R. D. (2009). A review of the biophysical properties of salmonid faeces: implications for aquaculture waste dispersal models and integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture Research*, 40(3), 257–273. doi:10.1111/j.1365-2109.2008.02065.x
- Stewart, N. T., Boardman, G. D., & Helfrich, L. a. (2006). Characterization of nutrient leaching rates from settled rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) sludge. *Aquacultural Engineering*, 35(2), 191–198. doi:10.1016/j.aquaeng.2006.01.004
- True, B., Johnson, W., & Chen, S. (2004). Reducing phosphorus discharge from flow-through aquaculture I: facility and effluent characterization. *Aquacultural Engineering*, 32(1), 129–144. doi:10.1016/j.aquaeng.2004.08.001

## **“Del campo a la ciudad”**

*Hernán Varona.*

*Asesor Experto en Gestión del Riesgo de Desastres*

*Unidad Municipal de Gestión de Riesgo de Desastres del municipio de Popayán*

[\*hvs5kvrz@yahoo.es\*](mailto:hvs5kvrz@yahoo.es)

### CONTEXTO HISTORICO

El **éxodo rural** o **éxodo campesino** se refiere a la emigración, generalmente de gente joven (adolescentes y adultos jóvenes) del campo a la ciudad. Este proceso es muy antiguo y se aceleró con la Revolución Industrial y, sobre todo, a partir de la segunda mitad del siglo XX. Se suele considerar como un tipo especial de migración porque en ella, no sólo se cambia de lugar de residencia, sino también de profesión, por motivos más que evidentes, dadas las diferencias geográficas tan grandes que existen entre las oportunidades, número y características de los diferentes tipos de empleo que existen en el campo, con relación a la ciudad, además de los cambios en los aspectos sociales, culturales y medioambientales de la vida urbana.

### **El atractivo de las ciudades**

Las ciudades ejercen un atractivo muy poderoso sobre la población rural. Muy a menudo, los campesinos de todo el mundo, quedan "deslumbrados" por la vida urbana, la cual se manifiesta en la oferta de todos aquellos elementos que suelen ser más difíciles de lograr en el campo.

En las ciudades existe una mayor diversidad de empleo, especialmente para el sexo femenino. En cambio, en el medio rural, casi no existen empleos fuera de las actividades relacionadas con las labores agropecuarias.

Existe también una mayor diversidad y disponibilidad de servicios. Los centros urbanos, sobre todo los más grandes, tienen un nivel superior al del medio rural en lo que a oferta de servicios se refiere (servicios asistenciales, educativos y culturales, transporte y comunicaciones, servicios informativos, recreacionales, etc).

Empleo poco cualificado. Muy a menudo, las ciudades necesitan mano de obra para aquellos empleos de escasas exigencias y de menor remuneración y estos empleos tienden a ser cubiertos por los inmigrantes del medio rural. Como señalaba Clyde V. Kiser<sup>2</sup> en 1967 al referirse a la inmigración en la América Latina:

En realidad, cuando los latinoamericanos piensan en la inmigración, no están pensando en obreros industriales. Piensan en trabajadores del campo y agricultores, porque estos son los que ellos desean. Como la gente de cualquier otra parte, desean que otros hagan lo que ellos mismos están poco dispuestos a hacer, en este caso, el trabajo duro de las grandes propiedades y el cultivo del campo en el interior del país.

Las "leyes" de las migraciones

1. La mayoría de los migrantes procede de una corta distancia.
2. Las mujeres emigran en mayor número que los hombres.
3. Cuando la distancia es muy grande, predomina el sexo masculino. Los emigrantes del medio rural se dirigen, cuando realizan largos desplazamientos, únicamente a las ciudades más grandes.
4. Si la distancia es bastante grande, tiene lugar una especie de migración por etapas. En esta migración por etapas, los lugares dejados vacantes al emigrar, pueden ser ocupados por migrantes de áreas más alejadas. La migración por etapas suele dirigirse a centros poblados progresivamente mayores.
5. Las corrientes migratorias principales generan unas corrientes secundarias que suelen ser compensatorias, de menores proporciones y en sentido inverso.
6. En el éxodo rural predomina la población joven (adolescentes y adultos jóvenes).
7. Los nacidos en las ciudades son menos migrantes que los nacidos en el medio rural.

### **En el campo**

Positivas: disminuye la presión de la población sobre los recursos (que después aumenta exponencialmente por parte de las ciudades), disminuye el desempleo y la miseria (precisamente las ideas desarrollistas están en la actualidad en declive, estudios recientes demuestran que el empobrecimiento y la miseria en la población es más acentuadas en las grandes ciudades que en los pueblos, tenemos que tomar el ecosistema rural como un medio de subsistencia, entonces es cuando sin las presiones del material capital se puede desarrollar una sociedad justa y equitativa). Se reciben las remesas de dinero enviadas por los emigrantes a sus familias. Mejoran las técnicas empleadas en las actividades agropecuarias, como una manera de contrarrestar los efectos de la emigración (la llamada revolución verde, maquinaria como tractores, utilización de pesticidas, plaguicidas e infinidad de productos que no solo tienen un alto coste medioambiental, sino también económico, además de utilizar para su funcionamiento o creación recursos no renovables como el petróleo).

Negativas: disminuye la vitalidad de la población (empobrecimiento demográfico, envejecimiento), desequilibrios en la composición de la población por edad y sexo, etc. En el éxodo rural emigran, precisamente, las personas con mayor afán de superación, cuya labor en el campo podría ser más positiva que la de los que permanecen en él. Se encarecen los costes de los servicios al disminuir el número de personas que reciben esos servicios. Al quedar la población de mayor edad, esta se va volviendo más reacia al cambio y no mira con buenos ojos las adaptaciones que tiene que hacer para acostumbrarse a una vida cotidiana cada vez más compleja. Tradicionalmente ha existido un intento por evitar o limitar el éxodo rural, tanto por parte de la población rural que desea retener los posibles emigrantes, especialmente del sexo femenino, como puede verse en el folclore de algunos países (5), como de la población urbana, que mira con recelo la especie de invasión de forasteros procedentes del campo.

### **En la ciudad**

## **“Gestión del Riesgo y Restauración de Ecosistemas Acuáticos Continentales”**

Positivas: aumenta la tasa de vitalidad de la población, ya que en el éxodo rural predominan los jóvenes. Aportes de capital, ya que muchos campesinos venden sus propiedades para crear sus propias empresas industriales, artesanales o comerciales de pequeña escala en las ciudades.

Negativas: competencia con la población urbana en el mercado de trabajo. Competencia en los servicios que reciben los habitantes de las ciudades. Disminuye, al menos en un primer momento, el nivel de vida de la población urbana en su totalidad, ya que abarata los costes en el mercado laboral, debido a que los campesinos suelen recibir menores salarios que los nacidos en las ciudades. Aumenta la marginalidad de parte de la población, con todas las implicaciones que ello acarrea. Suelen aumentar los precios, no sólo por el mayor consumo, sino porque las remesas de los inmigrantes a sus lugares de origen generan una cierta inflación disfrazada.

Las diferencias entre el medio rural y el urbano en una fecha relativamente reciente, no eran tan grandes como ahora. Ha sido el extraordinario

La gran mayoría de los habitantes de las ciudades subestiman y hasta menosprecian a los campesinos y estos, por su parte, no se adaptan a la vida urbana: cuando llegan a una ciudad grande (probablemente invitados por algún hijo u otro familiar) no suelen permanecer mucho tiempo y al final prefieren irse a su aldea y vivir solos a tener que lidiar con un mundo tan distinto al que ellos conocieron hace muchos años. La solución al problema, desde luego, sería la de mejorar la calidad de vida de las pequeñas poblaciones empleando para ello, precisamente, ese desarrollo tecnológico que muchos de los habitantes del medio rural no suelen e incluso no quieren entender.

En muchos países desarrollados, se ha querido lograr un sistema de vida que toma lo mejor de los dos mundos, el rural y el urbano. En Inglaterra, por ejemplo, muchas personas que trabajan en las grandes ciudades viven en el campo y viajan diariamente para poder tener las ventajas de los dos entornos. El traslado diario entre alguna urbanización o población en el medio rural (y suburbano, con mayor frecuencia) y las grandes ciudades viene a ser algo habitual e involucra a una cantidad creciente de personas.

Para desarrollar esas regiones deprimidas por el éxodo rural, será necesario incorporar a los antiguos emigrantes, a través de políticas destinadas a una especie de rehabilitación del medio rural: fincas y huertos de fin de semana, casas vacacionales, viviendas de interés social, etc. Con el incremento de este tipo de solución, se adoptaría una medida que es muy popular en algunos países y combatiría en cierto modo, el carácter espasmódico de la salida masiva de habitantes de las ciudades (el "éxodo urbano", como podríamos denominarlo).

Al iniciarse el presente siglo, el país vivía la mayor depresión de su historia republicana, producto en gran medida de las numerosas guerras civiles, del estancamiento económico y de la desorganización social. Para entonces, la tasa de crecimiento anual se situaba alrededor de 13 personas por cada mil habitantes; según el censo de 1905, Bogotá alcanzaba los 100.000 habitantes, mientras que Medellín, Cali y Barranquilla oscilaban entre los 30 y los 50 mil. El resto de capitales de departamento albergaban menos del 10 % de la población. Colombia era un país de labriegos.

Este panorama variaría radicalmente durante la presente centuria. En las primeras décadas el país vivió un progresivo y acelerado proceso de recuperación demográfica, originado en lo fundamental, por el permanente y notable descenso de la mortalidad. A comienzos de siglo un colombiano vivía, en promedio 28.5 años. Cuarenta años después alcanzaba los 40 años y hacia 1960 su promedio de vida era ya de 58 años. El ritmo de crecimiento alcanza su mayor nivel histórico entre 1951 y 1964 con tasas del orden de 32 por mil. Esta silenciosa revolución demográfica fue favorecida, además, por una elevada y constante fecundidad (en promedio 7 hijos por mujer). De esta suerte, la población que a comienzos de siglo era de 4.3 millones, se duplicó en 33 años, alcanzando en 1938 un total de 8.7 millones; una nueva duplicación se produciría 28 años después, ascendiendo en 1964 a 17.5 millones. De proseguir este ritmo, la próxima duplicación se efectuaría en un lapso de 22 años. La atención nacional se volcó entonces a resolver la llamada "explosión demográfica".

Durante las primeras cuatro décadas, gran parte del incremento poblacional fue absorbido por el campo, propiciando la formación de un extenso campesinado en todo el territorio nacional. Es a partir de la década del cuarenta cuando los procesos de urbanización se desatan con singular intensidad. La crisis agraria, los desequilibrios regionales, la incipiente industrialización, el auge del comercio y los servicios, la presión demográfica en el campo y la violencia política configuraron las condiciones para esta acelerada reubicación de la población.

En 1938 en 70 % de la población residía en el campo y sólo el 15 % en núcleos de más de 10.000 habitantes. El crecimiento rural en las décadas siguientes, por efecto de la emigración, se redujo a la mitad, ubicándose en niveles entre 11 y 12 por mil. A partir de 1970, la población rural prácticamente se ha estancado en un volumen cercano a los 11.5 millones, pese a un importante crecimiento natural. Tal vez hoy el campo colombiano haya empezado a despoblarse aún más a consecuencia de la reducción de su crecimiento natural, la extensión y recrudescimiento de la violencia, la profundización de la crisis agraria, la concentración de la propiedad, la acentuación la pobreza y la reestructuración económica. Otro tanto puede afirmarse de los núcleos menores de veinte mil habitantes, orgánicamente articulados al mundo rural, donde habitan cerca de seis millones de habitantes, cuyo crecimiento natural es absorbido por las grandes urbes.

En el transcurso de cinco décadas (1940-1990) se ha cumplido en lo fundamental el proceso de urbanización de la población, de la economía y de la cultura del país. Las tasas de crecimiento urbano se duplican en este período, alcanzando entre 1951 y 1964 su máximo nivel histórico (54 por mil). La población urbana se incrementó en 21.3 millones, pasando de 2.7 a 24 millones en el período. La inmensa mayoría de esta población se concentró en las grandes ciudades y áreas metropolitanas y en las ciudades intermedias. Colombia observó en estas décadas el surgimiento de un malla urbana equilibradamente distribuida en el territorio nacional, ejemplar en los procesos de urbanización en América Latina, por el que se le reconoce como "un país de ciudades".

Al finalizar el siglo XX, más del 70 % de la población nacional, equivalente a 30 millones de colombianos, está residiendo en las áreas urbanas. La migración, pese a un probable recrudescimiento reciente, ha cedido su lugar al crecimiento vegetativo como factor dinamizador de este proceso. Hacia adelante, la urbanización proseguirá con un ritmo decreciente, tendiente al estancamiento al que se dirige, al parecer irreversiblemente, la población nacional.

El campo y la ciudad Colombia, de país rural a país urbano. Por: José Olinto Rueda Plata.

## **Del Campo a La Ciudad**

**Oscar Ovidio**

*Del campo a la ciudad se pierde la inocencia Allá solo hay amor y aquí solo hay violencia Quisiera regresar al campo y sus praderas Sé que no volveré, pero lo extrañaré, hasta que yo me muera.*

*Qué bonito es oír el canto de los gallos O en el campo correr al lomo de un caballo Y poder respirar el aire que es tan puro Yo vine a comprender que estar en la ciudad deveras que es muy duro.*

*Del campo a la ciudad se pierden las costumbres Que chulo es calentar tortillas en la lumbre Allá sabe mejor un plato de frijoles Es una bendición poderla acompañar con un jarro de atole.*

*Todo el que vive allá se queja de pobreza La vida natural es una gran riqueza Nos damos cuenta ya que todo se ha perdido Será que en la ciudad no podemos pensar, nos entorpece el ruido.*

*Pendiente del reloj se está a cada momento Para poder llegar a tu trabajo a tiempo Yo no tenía patrón allá donde vivía Pero se me ocurrió venirme a la ciudad Y acá es otra la vida.*

*Para poder vivir hay que chambear a diario Del trabajo al hogar se vuelve rutinario Con ruidos de motor se vive todo el día Así es en la ciudad, me tiene enfermo ya tanta tecnología.*

*Del campo a la ciudad se pierden las costumbres Que chulo es calentar tortillas en la lumbre Allá sabe mejor un plato de frijoles Es una bendición poderla acompañar con un jarro de atole.*

*Recolección de información para el Taller*

*Arq. Hernán Varona Silva*

*21 de Abril del 2015*

## **“Gestión Institucional en Humedales de la meseta de Popayán. Estudio de caso: Humedal Las Guacas”.**

*Juan Pablo Paz.*

*Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad del Cauca.*

[jppaz@unicauca.edu.co](mailto:jppaz@unicauca.edu.co)

La Gobernación del Cauca lidera desde el año 2004 el proyecto de vivienda Ciudad Futuro Las Guacas para lo cual destino un terreno en la vereda Lame. En la ejecución de éste proyecto participan entidades como la Alcaldía de Popayán, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y la Corporación Minuto de Dios. En ésta área se ubica el humedal “Universidad del Cauca 1,2,3 o Las Guacas, así denominado por la Corporación Autónoma Regional del Cauca en el “Estudio de Humedales de la Meseta de Popayán” en convenio suscrito con la WWF (2003).

Se iniciaron las obras sin estudio arqueológico preliminar, perdiéndose elementos arqueológicos. Se encontraron restos pertenecientes a dos culturas antiguas. Elementos como puntas de proyectil, hachas arcaicas, raspadores elaborados en obsidiana, basalto y chert, pertenecientes a grupos de cazadores-recolectores de una época cercana a los 6 mil años (a.C.). Elementos pertenecientes a un cementerio de cultura agro- alfarera de hace 1.500 años (a.C), relacionada con los grupos indígenas que hallaron los españoles a su llegada al Valle de Popayán. Por esta situación, debieron suspenderse las obras de acuerdo a las políticas establecidas por el Instituto Nacional de Antropología.

En el año 2011 y ante el impacto que la construcción del sistema de alcantarillado estaba generando al humedal, se solicitó mediante “Derecho de Petición” a la Autoridad Ambiental aclaración ante esta situación. Se realizaron las visitas técnicas, reuniones interinstitucionales, se hacen requerimientos, pero continúa la obra.

Se solicitó Audiencia Pública Ambiental, llevándose a cabo en las instalaciones de la Corporación Ambiental del Cauca –CRC-, con manejos irregulares, máxime que el Gobernador, líder del proyecto, es el Presidente del Consejo Directivo de esta institución.

Se convoca a la Defensoría del Pueblo, se consolida la demanda en “Defensa de los Derechos e Intereses Colectivos y ambientales”, ante el Gobernador y la CRC. Las respuestas siguieron acomodadas en defensa del proyecto.

Hoy este proceso continúa después de 11 años y conlleva a diversos escenarios. Un escenario Político permeado por la corrupción institucional, que ha “tapado” con el poder las diversas situaciones “demandadas y probadas”. Una institucionalidad con misiones ambientales, condescendiente con los infractores. Un escenario ambiental y ecológico vulnerado con el “aval” de la institucionalidad ambiental, y con la alteración de la estructura y el funcionamiento del ecosistema. Un escenario social, con comunidades urbanas y rurales en la zona de influencia del humedal, que hoy son impactados por la humedad, la proliferación de insectos y roedores, el incremento de la contaminación por basuras y aguas servidas, entre otros. Un escenario territorial, que ha servido para que las comunidades, los profesores y estudiantes de colegios y de la Universidad del Cauca, adelantemos estudios e investigaciones que han generado un proceso incluyente a través de la IAP, permitiendo adelantar una planificación participativa en la búsqueda de un ambiente sano, una justicia ambiental y un reconocimiento económico del delito ecológico que garantice la restauración ambiental del humedal y el mejoramiento de la salud ambiental del territorio y sus comunidades.

Eje temático: Conflictos urbanos y periurbanos

## **“Experiencias en restauración fluvial”**

José Ramón Díez.  
Universidad del País Vasco, España.

[joseramon.diez@ehu.eus](mailto:joseramon.diez@ehu.eus)

Tomando como referencia de actuación la perspectiva de la restauración funcional de los ecosistemas fluviales y la guía metodológica para la restauración fluvial que será desarrollada con detalle más adelante (a partir de las 4 de la tarde, tras el refrigerio), se presentarán varias experiencias de restauración fluvial. Aunque se trata de proyectos de muy distinta índole, en todos los casos se ha intentado aplicar esa perspectiva, maximizando los servicios del ecosistema y la minimización de los riesgos ya existentes o derivados de la propia actuación.

Uno a uno, se describirá el contexto, el diagnóstico y la propuesta de actuación (restauración, rehabilitación...) de los siguientes proyectos:

✓ Restauración de la complejidad estructural del cauce en ríos semi-naturales

Los restos de madera que aceden al cauce desde la ribera (árboles enteros, troncos y ramas) son un elemento esencial de los ecosistemas fluviales. Aunque históricamente han sido retirados del cauce para facilitar la navegación, disminuir el riesgo o con el objetivo de ser aprovechados como leñas, cumplen funciones morfológicas y biológicas de enorme trascendencia para el ecosistema fluvial. Durante las últimas décadas han crecido de modo exponencial, desde el Norte de América a Australia o Europa, los proyectos de restauración que buscan el aumento de la complejidad estructural de los cauces, poniendo de manifiesto la estrecha relación entre la hidromorfología y el funcionamiento de los ríos. A través de un proyecto de restauración realizado en un río vasco emplazado en un espacio natural protegido y que alimenta a un embalse estratégico, se mostrará el resultado del seguimiento realizado sobre distintas variables: morfología fluvial, retención hidráulica y de nutrientes, metabolismo fluvial, retención y descomposición de materia orgánica, macroinvertebrados e ictiofauna.

✓ Rehabilitación del río Nervión en un tramo urbano

Mercabilbao, uno de los mayores centros de distribución de alimentos perecederos del Norte de la Península, se asienta desde 1971 en la margen derecha del río Nervión a su paso por Basauri (País Vasco, Norte de la Península Ibérica), un municipio industrial que registró un crecimiento desordenado y espectacular en la segunda mitad del siglo XX. A comienzos del año 2008 la empresa que gestiona el centro decidió buscar un nuevo emplazamiento, y ofreció en venta el terreno al Ayuntamiento para su edificación y uso residencial. El Ayuntamiento, acertadamente, consideró que debía aprovechar la oportunidad para mejorar y poner en valor el entorno, actualmente muy degradado, para lo que encargó un estudio a una empresa de arquitectura. Estos, a su vez, nos solicitaron un dictamen relativo a las

condiciones ambientales e hidráulicas del río, para lo que elaboramos un diagnóstico ambiental, morfológico e hidráulico, sobre el que se han articulado diferentes propuestas de actuación para la ordenación urbanística del área. Se trata, pues, de una rehabilitación que, aunque no aborda los problemas de fondo, como la contaminación del agua, que se debería tratar a una escala espacial mucho más amplia, puede ofrecer importantes mejoras a los habitantes del municipio, hacer que dejen de darle la espalda al río, y servir de ejemplo y catalizador para que otros municipios del área recuperen sus tramos fluviales.

### ✓ Restauración del territorio fluvial a nivel de cuenca

En 2006 el Ministerio de Medio Ambiente aprobó un proyecto para restaurar los ríos Híjar y Ebro a su paso por Reinoso (Cantabria, España). La empresa a la que se le adjudicó el proyecto nos encargó la dirección del diagnóstico inicial y de la elaboración de propuestas. El área de estudio comprende la cabecera del Ebro, integrada por las cuencas de los ríos Híjar, Ebro e Izarilla, y se extiende hasta el embalse del Ebro, reservorio de importancia estratégica. La parte alta del valle del Híjar, a casi 2000 m de altitud, conforma un valle glaciar en U, tras lo cual el río entra en un estrecho valle, que más abajo se abre a una zona llana cubierta de pastos, hasta cruzar Reinoso, municipio de 10.000 habitantes, donde confluye con los ríos Ebro e Izarilla. Es una zona de gran valor naturalístico, con un elevado atractivo turístico, pero donde la falta de planificación ha llevado a la ocupación del territorio fluvial por granjas, canteras, e incluso industria pesada. Recientemente, la construcción del polígono industrial de La Vega ha provocado que aumente la inundabilidad de Reinoso, en la orilla opuesta.

### ✓ Restauración de la vegetación de ribera y del ámbito fluvial en ríos y arroyos impactados por la actividad forestal

El cultivo de especies de crecimiento rápido es un uso del suelo que ocupa grandes superficies en la vertiente atlántica del País Vasco. Destaca el pino (*Pinus radiata* D. Don) en el piso colino, con un ciclo de corta de unos 35-40 años y el eucalipto (*Eucalyptus* spp.) en área cercanas a la costa, con un ciclo mucho menor, de unos 15 años aproximadamente. Ambas especies son cortadas a matarrasa, actividad que genera un intenso trasiego de maquinaria y la apertura de pistas y de vías de saca, lo que conlleva elevadas tasas de erosión y abundantes desarreglos hidrológicos. Además, a menudo las plantaciones y las consecuencias de su tala invaden el espacio fluvial. A pesar de los elevados estándares de conservación teórica que atesora la vegetación de ribera de la red fluvial de la Reserva de la Bisofera de Urdaibai, la actividad forestal supone una merma continua en su estructura y, por ende, en su funcionamiento. Dada la titularidad privada de la mayor parte de las parcelas se recurrió a la custodia del territorio para la restauración y defensa de la vegetación de ribera y del ámbito fluvial. Se entiende por custodia del territorio el conjunto de herramientas para la gestión del mismo para la conservación de la diversidad biológica, el paisaje y el patrimonio cultural de determinados lugares. De ese modo se garantiza que los usos que se lleven a cabo sean respetuosos con el entorno. Para ello se requiere la

## ***“Gestión del Riesgo y Restauración de Ecosistemas Acuáticos Continentales”***

colaboración de los propietarios de los terrenos. Se mostrará el procedimiento y el resultado de la restauración de 2 ríos realizado tanto desde una fundación como desde la administración local.

## **“Manejo adaptativo del territorio para el ordenamiento de cuencas alto andinas”**

*Liliana Recaman. Fundación  
Candidata a Doctora en Ciencias Ambientales de la Universidad del Cauca  
Fundación Procuencia río Las Piedras.  
Acueducto y Alcantarillado de Popayán SA ESP.  
[lilianarecaman@yahoo.es](mailto:lilianarecaman@yahoo.es)*

Actualmente los instrumentos definidos por la política nacional en ordenamiento de cuencas a través del Decreto 1642 de 2012 y la Ley 388 de 1997 y decretos complementarios para el ordenamiento territorial, tiene avances significativos, sin embargo, existen dificultades en el momento de llevarlas a la práctica, ya que muchas veces se dificulta la articulación de los procesos entre instituciones y comunidades, especialmente por cómo se comprende e interpreta el territorio y por ende su gestión para acercarnos a un enfoque adaptativo. En el contexto en el que se desarrolla la interacción del medio ambiente y la sociedad, muchas veces no se integran los principios, conceptos e indicadores que dinamizan los procesos de intervención, apropiación y manejo con adaptación a los medios de vida de los actores sociales, es decir, se deja de lado la realidad para tratar de ordenar bajo el reduccionismo de la ciencia, de la norma o de la institucionalidad, generalmente la interculturalidad se integra muy poco y la construcción de una cogestión adaptativa es casi imposible. Estas son quizás, algunas de las causas por las que se entorpece el relacionamiento de los actores sociales comunitarios con los entes territoriales y entre ellos, limitando el ordenamiento, incidiendo en la gestión integral, y sin poder desarrollar con total autonomía su percepción o cosmovisión, medios de vida, lo que conlleva a mayores conflictos por uso del suelo, y una mayor intervención de los ecosistemas estratégicos de una cuenca, afectando la oferta ambiental en los sectores agropecuario, empresarial, ambiental (abastecimiento y sostenibilidad ecológica), los cuales se agudizan ante fenómenos de variabilidad climática.

Analizando los diferentes procesos desarrollados en las fuentes de abastecimiento del sistema de abastecimiento de la ciudad de Popayán, nos encontramos como los servicios ecosistémicos son muy susceptibles de cambios debido a los procesos de manejo y como su vulnerabilidad aumenta en la medida en que la capacidad de adaptación es menor o por el contrario como a través de respuestas de adaptación planificada esta se mejora en el contexto de trabajar la cuenca con un enfoque socio eco sistémico. Es necesario entonces poner en marcha procesos de gestión considerando el capital natural<sup>2</sup>, funciones de los ecosistemas<sup>3</sup>, servicios de los ecosistemas

---

<sup>2</sup> Capital natural: Aquellos ecosistemas con integridad y resiliencia ecológica y, por tanto, con capacidad de ejercer funciones y suministrar servicios, que contribuyen al bienestar humano (MARTÍN-LÓPEZ et al., 2009).

<sup>3</sup> Funciones de los ecosistemas: Capacidad de las estructuras y procesos ecológicos para proveer servicios que generen bienestar humano (DE GROOT, 1992).

<sup>4</sup>el bienestar humano y los impulsores de cambio que faciliten la resiliencia socioecológica<sup>5</sup>. (Martín-López et al., 2009).Lo anterior se refleja en la adaptación de los sistemas socio ecológicos y en las propuestas de ordenamiento del territorio.

Pero para poder avanzar en el ordenamiento, hay que conocer a profundidad la dimensión sociocultural, con su dinamismo del aprendizaje social, intercambio cultural, su influencia en la gobernanza y en la toma de decisiones que contribuyan en el manejo de los recursos naturales en condiciones de cambio, de incertidumbre, de flexibilidad, y de complejidad.

El conocer el capital natural y su relación con la dimensión sociocultural, hace necesario comprender cual es la lectura que se hace del territorio que se pretende ordenar. Nates (2010) en su documento “Soportes teóricos y etnográficos sobre conceptos de territorio”, relaciona como el territorio es precisamente objeto de estudio de distintas disciplinas, como la ecología, la geografía social y la antropología<sup>6</sup>. La discusión conceptual entre las ciencias genera un análisis intercultural e interdisciplinar, siendo un pilar fundamental la dimensión sociocultural, en la que se permite conocer los actores tanto comunitarios como sociales que habitan un territorio. Así mismo, develar su origen cultural, organización social a la que pertenecen, como sus concepciones, percepciones y usos del sustrato espacial en términos de territorio. Este análisis también permite conocer conflictos, los puntos de encuentro y concertación y en esas dinámicas construir estrategias de ordenamiento más acorde con las realidades y particularidades de cada región, en este caso las de una cuenca altoandina y su influencia intercultural<sup>7</sup>

Retomando el concepto de territorio, en el que algunos autores como Nates, Portela, Faust, coinciden en que forma parte de las interpretaciones culturales de determinados actores sociales y como lo define García es “un camino que le conduce desde la objetividad casi fotográfica de un «paisaje humano», hasta las complicadas

---

<sup>4</sup> Ecoservicios o Servicios de los ecosistemas: Beneficios que las personas obtienen de los Ecosistemas, que hacen la vida humana físicamente posible y digna de ser vivida (DÍAZ *et al.*, 2006).

<sup>5</sup> Resiliencia socio-ecológica, fomenta aquellos cuadros ecológicos que tienen mayor valor social en términos de la calidad del flujo de ecoservicios, así como aquellas situaciones sociales en las que existe diversidad y redundancia institucional para responder ante cualquier perturbación provocada por dicho proceso de cambio global.

<sup>6</sup> El territorio de acuerdo a la Ecología hace énfasis en un área defendida por organismos similares entre sí, con el propósito de aparearse, anidar, descansar y alimentarse. La geografía social lo analiza como un escenario de poder, de gestión y de dominio del Estado, de individuos, de grupos y organizaciones y de empresas, con límites de soberanía, propiedad, apropiación, vigilancia y jurisdicción. La antropología lo aborda como una construcción cultural donde tienen lugar las prácticas sociales (Nates,2010:211).

<sup>7</sup> “Es un proceso de interrelación que parte de la reflexión del conocimiento de la diversidad y del respecto a las diferencias. Son relaciones complejas, negociaciones e intercambios culturales, que buscan desarrollar una interacción social equitativa entre las personas, conocimientos y prácticas diferentes”(Lozano, 2005: 28).

estructuras mentales y significativas que le sustentan y le hacen humano; pasa del mundo de las cosas al de los objetos y, rebelde al objetivo de las cámaras y a la cartografía, se recluye en el intrincado «mapa» del lenguaje y de los símbolos” (García, 1976: 2).

Se acoge la propuesta de Nates (2010) de analizar el territorio de manera multidimensional y multiescalonado, porque participa de tres órdenes distintos: en primer lugar de la materialidad de la realidad concreta de “esta tierra” donde el concepto de territorio tiene su origen; en esta medida conviene considerar la realidad geográfica como la manera en que se registra la acción humana y se transforma por sus efectos. En segundo lugar la psiquis individual, sobre este plano, el territorio se identifica en parte con una relación a priori, emocional y pre-social del hombre con la tierra. En tercer lugar, el territorio participa del orden de las representaciones colectivas, sociales y culturales (Nates, 2010:212).

De acuerdo con las representaciones colectivas se puede afirmar que las cosmovisiones tienen variadas interpretaciones o pueden ser entendidas y asimiladas de muchas formas. Por ejemplo no es lo mismo el concepto de territorio para los grupos indígenas que para una organización campesina y de igual forma para el Estado y su plataforma institucional e incluso para la ciencia.

El mayor desafío de esta discusión intercultural e interdisciplinaria es el aporte a los enfoques de manejo de cuencas desde el diálogo y la concertación entre los diferentes actores, tanto sociales como institucionales, con inclusión del Estado y los gremios económicos para continuar generando confianza y credibilidad. Sin embargo, su sostenibilidad dependerá la continuidad de mecanismos de comunicación entre las partes para continuar con acuerdos de negociación basados en el respeto que permita trascender la gestión para el desarrollo social, ambiental y económico de la cuenca, con desarrollo e impulso de modelos que recojan el sentir de los campesinos, planes de vida indígena, articulándolos a la capacidad de carga del sistema ambiental.

Lo anterior es más entendible si se integra el conocimiento en sí del sistema, ya que este no funciona de manera aislada. Un sistema consta de componentes regularmente interactuantes e interdependientes que forman un todo unificado, con niveles de organización que definen un orden jerárquico de sus niveles bióticos; la interacción con el medio físico (energía y materia) en cada nivel produce sistemas funcionales característicos (Odum, 1987:3). Esta jerarquía organizada en niveles puede llegar a ser más complejo que el anterior nivel de la jerarquía y puede generar en cada nivel nuevas propiedades emergentes. De igual forma, una cuenca, es un sistema que está en relación con su estructura y función, en ella interactúan componentes biofísicos, sociales, económicos y culturales. Se constituye en el eje articulador del ordenamiento ambiental, de su gestión integral, en la interacción sistémica (GWP, 2009:4).

Las regiones de alta montaña y sus cuencas funcionan como sistemas adaptativos complejos, captan información en forma de flujo de datos y perciben regularidades en el mismo, tratando el resto del material como aleatorio, su estructura y funcionamiento corresponden a un sistema caótico. Los sistemas naturales combinan la estabilidad de la estructura con la fluidez del cambio, lo cual permite su desarrollo, reproducción y evolución. Son estructuras abiertas, disipativas, que dependen de flujos continuos de energía y recursos que se mantienen en un estado estable lejos del equilibrio (metastabilidad ecosistémica) (Figueroa *et al.*, 2009). En torno a este concepto es preciso analizar las relaciones ecológicas del sistema dadas sus relaciones complejas, tanto internas como externas y las propiedades nuevas que emergen (Odum, 1987:5).

Figueroa (2010) en su publicación sobre Fragmentación y Coberturas, analiza como el concepto de integralidad es fundamental para mantener la capacidad de un sistema biofísico equilibrado e integrado, con una composición de especies y organización comparable a los ecosistemas naturales de una determinada región ecológica (Karr y Dudley, 1981; Karr,1991; Karr et al.,1986.). En este sentido de integralidad vemos como se pueden generar variaciones constantes por las intervenciones de aprovechamiento de los recursos de una cuenca, afectando la propiedad de integralidad y alterando su capacidad de carga; es aquí donde el manejo, planificación y gestión debe tener en cuenta la importancia de conocer el sistema para orientar las estrategias de ordenación que impacten menos el sistema.

En la interacción constante de los sistemas y unidos a la transformación<sup>8</sup>, los servicios ecosistémicos actúan como propiedades emergentes y forman parte de la complejidad en el sistema. Estos servicios están representados en la provisión de agua, el suelo, de regulación, culturales, y de soporte. De acuerdo al capital natural, estos son fundamentales para lograr una mejor respuesta ante las perturbaciones y deben estar articuladas tanto a la conservación de los ecosistemas como a sus servicios, manteniendo su flujo de servicios, la integridad y la resiliencia ecosistémica<sup>9</sup> (Martín *et al.*, 2009).

La capacidad de adaptación<sup>10</sup> se puede considerar también como una propiedad emergente del sistema, el cual está caracterizado por relaciones no lineales y dinámicas que dan lugar a discontinuidades y sorpresas (Levin, 1999; Gunderson y Holling, 2002), y a dinámicas de cambio tanto a nivel ambiental como social , y a que los sistemas sociales y ecológicos se acoplen ( Berkes y Folke, 1981; Folke *et al.*, 2003) y como tal forman parte de un sistema adaptativo complejo.

El lograr integrar todos estos aspectos de los sistemas socio ecológicos entre la interacción, integralidad, dinamismo, transformación, complejidad, propiedades emergentes, resiliencia, dimensión sociocultural en una cuenca altoandina, nos lleva analizar que de acuerdo al enfoque, se podrá proponer un manejo adaptativo del territorio. Al respecto se ha logrado una gran evolución de los enfoques de manejo de cuencas, como lo analiza (Andrade, 2004), pasando del enfoque convencional planteado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo

---

8 En esto se denota que los ecosistemas albergan y sustentan las poblaciones y comunidades que en el existen, siendo su productividad primaria neta el fundamento que define su capacidad para albergarlas y permitir su supervivencia, generando una nueva propiedad emergente

9 Holling (1973) introduce por primera vez el concepto de resiliencia en la literatura ecológica como una forma para comprender las dinámicas no lineales así como los procesos a través de los cuales los ecosistemas se auto-mantienen y persisten frente a perturbaciones y los cambios. Hace hincapié en las condiciones de un sistema complejo alejado del equilibrio donde las inestabilidades pueden transformar al mismo para que presente otro régimen de comportamiento, así la resiliencia es medida por la magnitud de perturbaciones que pueden ser absorbidas por el sistema antes de que sea reorganizado con diferentes variables y procesos.

<sup>10</sup> El IPCC, define este concepto teniendo en cuenta el cambio climático e introduce un aspecto muy importante como es el de moderar los daños potenciales, aprovechar las consecuencias positivas, o soportar las consecuencias negativas (IPCC.2001:4)

Territorial en 1998, el cual tenía una visión sectorial y conservacionista, construida de arriba hacia abajo, con una visión a corto plazo, y con prioridad a los factores de producción de forma independiente a enfoques más integrales como el ecosistémico, el cual tiene una evolución en la gestión integrada en los componentes de tierra, agua, recursos vivos y su restauración, promoviendo la conservación y el uso sostenible de los ecosistemas, de manera equitativa, participativa, integrando los factores ecológicos, económicos, culturales y sociales en un marco geográfico definiendo límites ecológicos<sup>11</sup>.

Si bien el enfoque anterior es muy importante, se puede quedar en una etapa más de diagnóstico, pero puede tener dificultades en la puesta en marcha, dadas las cosmogonías de los actores sociales de las cuencas altoandinas, principalmente cuando no se optimizan los ecoservicios para mejorar el bienestar humano.

El Programa Conjunto de las Naciones Unidas en el marco del proyecto de “INTEGRACIÓN DE ECOSISTEMAS Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL MACIZO COLOMBIANO”<sup>12</sup>, ofreció un ejercicio metodológico interesante, logrando un buen acercamiento con los actores sociales comunitarios e institucionales en las discusiones metodológicas sobre la vulnerabilidad al cambio climático y el análisis de medidas de adaptación. Sin embargo, no logró validar las medidas y sus indicadores para disminuir la sensibilidad al fenómeno y aumentar la capacidad de adaptación.

Ulloa (2010) en su documento sobre construcciones culturales sobre el clima, analiza como las acciones para la adaptación no darán resultados óptimos si no se acuerdan con las comunidades locales y sus concepciones sobre los factores tiempo atmosférico y clima, y las formas de relación de las comunidades con dichos factores. Considera adicionalmente, como se deben seguir reactivando los procesos de recuperación de los conocimientos ancestrales de transmitir el conocimiento de ancianos a jóvenes, dado que se está perdiendo. Al respecto, Ulloa propone la participación de la antropología en equipos interdisciplinarios e interculturales que tiendan un puente entre las dimensiones locales, disciplinares y políticas, para establecer estrategias, modelos escenarios, y programas, dimensionando las implicaciones sociales, económicas, ambientales y políticas para lugares específicos y culturas particulares de acuerdo a los contextos históricos.

Estos conceptos corresponden a los que Enrique Leff (2001) ha denominado interdisciplinaria técnica, en la que se integran una serie de ciencias y tecnologías aplicadas como una división del trabajo intelectual, científico, y técnico, tanto a los procesos de producción como a un conjunto de proyectos sociales. Este concepto permite a su vez que los problemas ambientales, en medio de su complejidad, puedan analizarse de una forma sistémica. Como lo menciona Albán, la interdisciplinaria nos permitirá abrir los marcos interpretativos para realizar análisis desde múltiples ópticas de unas realidades que se vuelven cada vez más complejas (Alban, 2006: 21).

---

<sup>11</sup> Los criterios básicos de este enfoque son la visión integral, tomando en cuenta de manera integral todos los bienes y servicios utilizables, intentado optimizar la mezcla de sus beneficios. Involucra otras formas de conocimiento, incluyendo el indígena y el local.

<sup>12</sup> se consideraron cinco elementos: 1) apoyo en el conocimiento, habilidades, y oportunidades existentes en el ámbito local que pueden ser fortalecidas para una mayor capacidad de adaptación, 2) la generación de apropiación con un proceso participativo de abajo hacia arriba, 3) reconocimiento de la relación concreta entre adaptación al cambio climático y lucha contra la pobreza en comunidades vulnerables rurales y cómo pueden realizarse sinergias entre ambos, 4) la visión integral del desarrollo en el ámbito local y 5) la identificación de procesos de mala adaptación que deben ser revertidos (Capera, 2011:8).

Responder ¿Cómo debe ser un manejo adaptativo del territorio tomando en consideración la diversidad cultural y ecosistémica en una cuenca altoandina?, lleva a la construcción de un enfoque integrador, entre las ciencias ambientales, y el manejo adaptativo. En este sentido, los planteamientos de Leff (2001), invitan a continuar construyendo procesos, a seguir profundizando sobre el diálogo de saberes de sus actores, al desarrollo de estrategias de manejo, conservación ambiental y continuidad cultural<sup>13</sup>.

Las relaciones complejas vistas desde el concepto de los sistemas sociales y naturales, denominados *sistema socio-ecológico* o *socio-ecosistema* (ANDERIES *et al.*, 2004), tienen connotaciones también en las propuestas de planificación ya que según Berkes y Folke (1998) concluyen que los sistemas sociales y los ecosistemas están estrechamente vinculados y que, por tanto, la delimitación exclusiva de un ecosistema o de un sistema social resulta arbitraria y artificial. Si tenemos en cuenta este enfoque, delimitar un sistema bajo el concepto de cuenca, puede ser efectivamente arbitrario para algunos casos como cuando se habla de corredores biológicos en los que no es posible fragmentar la interacción de sus especies con el medio físico, territorios indígenas en los que se definen líneas imaginarias que van más allá de la divisoria de aguas que limitan una cuenca, así mismo con la división territorial entre veredas, municipios, departamentos; por lo tanto en el análisis de la dimensión sociocultural, esto debe considerarse para abordar el ordenamiento y evitar conflictos. Es posible que esto permita a su vez proponer en los enfoques de manejo del territorio, posiciones más holísticas y con mayores aportes.

Entre las lecciones aprendidas, en el manejo de las cuencas de abastecimiento del municipio de Popayán, se analiza como los mejores avances del ejercicio se han obtenido precisamente en la medida en que el proceso se construye con participación social, intercambiando los conocimientos del saber tradicional, potencializando las habilidades locales y por ende fortaleciendo la capacidad de adaptación, generando apropiación. El enfoque construido de abajo hacia arriba impacta no solo la parcela familiar, impacta la microcuenca y la red hídrica que está unida al sistema en función y estructura del ecosistema. Sin embargo es claro que las dinámicas de cambio como los fenómenos de variabilidad climática y los conflictos de manejo territorial pueden llevar a retrocesos del proceso, y es por esto que el trabajo debe ser de construcción permanente con reflexiones sobre manejo, transformaciones y consensos definiendo acuerdos que permitan contribuir a solucionar problemas del ordenamiento.

Pensar en ordenamiento, es pensar en un todo, y para que ese todo funcione debe buscarse de manera permanente una integración del socio ecosistema. El hombre como tal, en su relación con la naturaleza, de acuerdo a su cosmovisión se encontrará con diferentes niveles, en los que siempre va a prevalecer su cotidianidad de prácticas tanto amigables como nocivas con su medio. Es aquí donde se debe explorar, discutir, proponer,

---

<sup>13</sup> El saber ambiental y el diálogo de saberes emergen del cuestionamiento de ese “saber de fondo” por la crisis ambiental que vuelve problemáticos los mundos de vida modernos y tradicionales, y cuestiona la centralidad, la universalidad y la generalidad de un pretendido saber totalizante ordenador del proceso de globalización. La razón económica e instrumental y los procesos de racionalización en el entendimiento de la realidad han quedado saturados y rebasados. El tránsito hacia la sustentabilidad anuncia otro saber, otra racionalidad, que trascienden lo pensable desde la ontología y la epistemología herederas de la metafísica (Leff, 2001: 8).

validar y concertar para encontrarnos con las experiencias que permitan construir un enfoque integral que facilite y responda a las situaciones de transformación socio-ecológica ante cualquier perturbación, que generen impactos irreconciliables con su sistema y su capacidad de adaptación.

## BIBLIOGRAFIA

ALBAN, A. (2006). Tejiendo Textos y Saberes.

ANDRADE PÉREZ, A. (2004). Lineamientos para Aplicación del Enfoque Ecosistémico a la Gestión Integral del Recurso Hídrico: Pag. 21 y 22

ARIAS FLÓREZ, Lucero E. y Duque Marín, Martha I. 1992. La cuenca hidrográfica como una unidad de análisis y planificación territorial. Medellín. 250 p. Tesis (Economista Agrícola). Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Facultad de Ciencias Humanas.

BRIONES, G. (1996). Metodología de la investigación cuantitativa en las ciencias sociales. Bogotá, ICFES: 17.

CAPERA LAYTON, C. (2011). Metodología para el análisis de vulnerabilidad y análisis de riesgos asociados en la cuenca alta del río Cauca. Programa de Integración de ecosistemas y adaptación al Cambio Climático en el Macizo Colombiano. Pag 8

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y La Agencia Sueca para el Desarrollo Internacional (ASDI). 2008. La Gestión de Cuencas Hidrográficas en América Central.

Consejo Regional Indígena del Cauca CRIC. Plan de Vida, 2007.

CVC (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca). 1995. Procedimientos Metodológicos de Planificación en Cuencas Hidrográficas. Santiago de Cali: CVC, 1995. Decreto 1729, Capítulo II, Artículo 4 .2002). Ordenamiento de Cuencas Hidrográficas. Bogotá.

DOUROJEANNI, Axel. 1993. Evolución de la gestión integral de cuencas en América Latina y el Caribe. Chile.

DOUROJEANNI, Axel. 1994. “La gestión del agua y las cuencas en América Latina”. En: Revista de la CEPAL No. 53 (agosto de 1994).

FALS, B. (1991). Acción y conocimiento. Como romper el monopolio con investigación acción participativa. Santafé de Bogotá.

FAUST, F. X. #El Impacto de la Sociedad Preindustrial Sobre el Medio Ambiente. Un Ensayo Histórico". Ecología Histórica y cultura Ambiental, 2008.

FIGUEROA CASAS, Apolinar. et al. Fragmentación y Coberturas Vegetales de Ecosistemas Andinos, Departamento Del Cauca . En: Colombia ed: Editorial Universidad Del Cauca, 2009

FOLKE, C.; COLDING, J. and BERKES, F. (2003), «Synthesis: building resilience and adaptive capacity in social–ecological systems», in: BERKES, F.; COLDING, J.; FOLKE, C. (eds.), Navigating social-ecological systems: building resilience for complexity and change, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

García, J. L. (1976). Antropología del Territorio. Madrid, España, Betancor Josefina.

Gadamer Hans. (1997)Verdad y Método. Sígueme Salamanca. Pág. 217

Global Water Partnership G.W.P. (Asociación Mundial para el Agua, G. (2009)). Manual para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas. Francia, La Asociación Mundial para el Agua (Global Water Partnership, GWP) y la Red Internacional de Organismos de Cuenca (International Network of Basin Organizations, INBO).: 10.

GUNDERSON, L. H.; HOLLING, C. S. and LIGHT, S. S. (1995), «Barriers broken and bridges built: A synthesis», in: GUNDERSON, L. H.; HOLLING, C. S.; LIGHT, S. S. (eds.) Barriers and bridges to the renewal of ecosystems and institutions, Columbia University Press, New York, USA, pp. 489-532.

HOLLING, C. S. (1986), «The resilience of terrestrial ecosystems: Local surprise and global change», in: CLARK, W. C., MUNN, R. E. (eds.) Sustainable Development of the Biosphere, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. (2008). Guía técnica científica para la ordenación de las Honghai Qi, Mustafa S. Altinakar (2010).Un marco conceptual de la planificación del espacio agrícola con cuencas hidrográficas en Colombia. Segunda Versión.

IPCC (2001). Tercer Informe de Evaluación. Cambio Climático 2001. La base científica. Cambridge, New York: 94.

Leff, E. (2001). Racionalidad ambiental y dialogo de saberes:significancia y sentido en la construcción de un futuro sustentable. Revista Polis: 36.

Ley 388, Capitulo II, Artículo 5, República de Colombia.(1997)

Lozano, R. (2005). Interculturalidad:Desafío y Proceso en Construcción. Manual de Capacitación. Lima,Perú, Servicios en Comunicación Intercultural. SERVINDI.

- Martín-López, B., Gómez-Baggethun, E. y Montes, C. (2006). "Un marco conceptual para la gestión de las interacciones naturaleza-sociedad en un mundo cambiante." *Cuides*3: 229-258.
- MAVDT, M. d. A., Vivienda y Desarrollo Territorial (2010). Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Bogotá. 1.
- Murcia, N. y L. G. Jaramillo (2008). Investigación cualitativa, la complementariedad, una guía para abordar estudios sociales. Armenia, Colombia.
- Nadal R., Eugenio. 1993. Introducción al análisis de la Planificación Hidrológica. Madrid: MOPT.
- NATES CRUZ. Beatriz, Soportes Teóricos y Etnográficos Sobre Conceptos de Territorio, 2010.
- Odum, Howard T. 1971. Environment, power, and society. New York: Wiley-Interscience. 331 p.
- OEA (Organización de las Naciones Unidas). 1978. Calidad ambiental y desarrollo de cuencas hidrográficas: un modelo para planificación y análisis integrados. Washington: Secretaría General de la OEA.
- OJEDA AWAD DAVID HUMBERTO (2003). Hacia una política para el manejo de cuencas hidrográficas en Colombia. Ponencia seminario de IV Congreso Nacional de Cuencas Hidrográficas.
- PORTELA GUARIN, Hugo. El Pensamiento de las Aguas de las Montañas, Coconucos, Guámbianos, Paeces, Yanaconas, 2000.
- SAENZ ORLANDO. Las Ciencias Ambientales: Una Nueva Área de Conocimiento Red Colombiana de Formación Ambiental, RCFA, 2007.
- S.H.R. Sadeghia, Kh. Jalili a, D. Nikkamib, (2008). Optimización del uso de la tierra en la escala de la cuenca. Journal el Sevier: Land Use Policy
- ULLOA, Astrid. Concepciones de la naturaleza en la Antropología Actual, Colombia-Bogotá, 2004.
- ULLOA, Astrid. Construcciones culturales sobre el clima, Colombia-Bogotá, 2010.
- Varela M., Efrén. 1992. “Planificación-Acción en Cuencas Hidrográficas: un enfoque empírico desestructurado o estructurararte”. En: Seminario Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. AINSA, Medellín 20-23 de 1992).
- Vásquez V., Guillermo. 1997. “Consideraciones ambientales para la planificación de cuencas hidrográficas en áreas de influencia cafetera en Colombia. *Crónica Forestal y del Medio Ambiente* 12: 79-88. Vice Ministerio de Ambiente. (2010).

WWAP, U. (2001). La seguridad del agua: evaluación preliminar de los avances en materia de políticas desde Río, Programa mundial de evaluación de los recursos hídricos de las Naciones Unidas (WWAP) 7.

## **“Proyecto Comunitario y Ciudadano de Educación Ambiental: Gestión comunitaria del riesgo, cuencas del municipio de Popayán”**

*Lorena Alvear Narváez;*

*Candidata a Doctora en Ciencias Ambientales de la Universidad del Cauca*

[lorenalvear@gmail.com](mailto:lorenalvear@gmail.com)

*Liliana Recaman Mejía.*

*Candidata a Doctora en Ciencias Ambientales de la Universidad del Cauca*

[lilianarecaman@yahoo.es](mailto:lilianarecaman@yahoo.es)

*Proyecto Ciudadano y Comunitario de Educación Ambiental Cuenca Molino, Popayán.*

*Acuerdo de Voluntades Cuenca Molino, municipio de Popayán*

En los últimos años en la subcuenca río Molino han ocurrido una serie de eventos de emergencia y desastre que han afectado a comunidades de la zona urbana y rural del municipio de Popayán. Eventos relacionados con fenómenos de variabilidad climática, que han desencadenado en la subcuenca movimientos en remoción en masa, represamientos e inundaciones con incidencias en ecosistemas de conservación, sistemas productivos e infraestructura.

De acuerdo al registro histórico de la subcuenca se han presentado eventos significativos desde 1928 y 1938, tiempo en el cual las afectaciones dieron lugar a cambios de planeación urbanística como la reubicación del hospital y la cárcel y la reconstrucción del emblemático “puente chiquito” o “puente de la custodia”. Los eventos en la subcuenca se presentan cada vez con mayor frecuencia e intensidad afectando la zona urbana y rural del municipio, como los ocurridos en febrero de 1996, el 29 de abril de 2011 y el 24 de diciembre de 2013. Esto ha llevado a que las diferentes autoridades, instituciones y las comunidades organizadas, adelanten actividades en procura de restablecer las condiciones socio-ecosistémicas que hacen seguro el territorio, tendiendo a superar el riesgo que afectó a comunidades urbanas y rurales del área de influencia de la subcuenca en Popayán.

La situación socioambiental del río Molino ha exigido orientar nuevos procesos integrales de gestión ambiental, gestión social comunitaria e institucional, gestión del riesgo y adaptación a la variabilidad y

al cambio climático, tendientes a contrarrestar la amenaza, reducir la vulnerabilidad existente y fortalecer la resiliencia del territorio frente a procesos de distintos orígenes que pueden dar lugar a emergencias y desastres. Gestión que debe ser soportada en la participación efectiva de las comunidades, por ello se propone la gestión ambiental comunitaria como el proceso participativo de articulación de la comunidad con relación a los problemas y conflictos ambientales, en donde los diferentes actores se articulen para enfrentar situaciones ambientales que se presentan y que desde el diálogo de los conocimientos y los saberes se generen capacidades de autogestión y cogestión, contribuyendo de esta manera al manejo adaptativo del territorio.

Ante este contexto, el 1º de octubre de 2014 se firma un Acuerdo de Voluntades mediante el cual se establecen criterios y herramientas de coordinación para la acción institucional de la subcuenca, en él participan los siguientes actores: Alcaldía de Popayán, la Corporación Autónoma Regional del Cauca CRC, la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A E.S.P, La Fundación Procuenca río Las Piedras, el Consejo Departamental de Gestión del Riesgo de la Gobernación del Cauca, Emcaservicios S.A E.S.P, Fuerzas Militares, Policía Nacional, Organismos de Socorro y de Respuesta, Instituto Nacional de Vías, Servicio Geológico Colombiano, Universidades, representantes del sector privado, la Defensoría del Pueblo, la Veeduría para el Patrimonio Natural y Cultural de Popayán, organizaciones y líderes de comunidades urbanas y rurales de la cuenca, el Cabildo de Poblazón y otros. En el acuerdo se consideró constituir la GERENCIA DE LA CUENCA como una instancia con FUNCIÓN COORDINADORA del proceso de gestión integral de las cuencas abastecedoras del área urbana del municipio de Popayán con especial énfasis en la subcuenca del río Molino, función asignada a la Fundación Procuenca río Las Piedras. La Gerencia de la Cuenca coordina la ejecución de las acciones que se decidan en el Consejo Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres, y mediante el procedimiento que se establezca en este mismo Consejo.

Los líderes de las comunidades urbanas, campesinas e indígenas de la cuenca, han considerado entre sus prioridades de acción, trabajar en procesos educativos que fortalezcan la gestión ambiental comunitaria para contrarrestar la amenaza, reducir la vulnerabilidad existente y mejorar la capacidad de adaptación, fortaleciendo a su vez la resiliencia del territorio frente a eventos de distintos orígenes que pueden dar lugar a emergencias y desastres. Es por ello que en el marco del Acuerdo de Voluntades la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC) desde su programa de Educación Ambiental y desde el proyecto Gestión del Conocimiento y Reducción de Riesgo de Desastres, se promovió la ejecución del Proyecto Ciudadano y Comunitario de Educación Ambiental (PROCEDA) que hace parte de las estrategias planteadas en la Política Nacional de Educación Ambiental para la descentralización e institucionalización de la educación ambiental comunitaria en el país.

## **“Restauración fluvial: guía metodológica”**

*José Ramón Díez*  
*Universidad del País Vasco*  
*Correo electrónico*  
[joseramon.diez@ehu.eus](mailto:joseramon.diez@ehu.eus)

En el contexto del desarrollo de la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos impulsada por el Ministerio de Medio Ambiente de España en los años 2006-2007, se elaboró una Guía metodológica para la elaboración de proyectos de restauración fluvial (García de Jalón & González del Tánago, 2007), la cual servirá de base para el desarrollo de esta ponencia. El objetivo es el de proporcionar una metodología para la redacción de proyectos a través de ejemplos concretos desarrollados en el ámbito de la Península Ibérica.

Se considerarán así aspectos previos a la propia redacción del proyecto, tales como la participación pública, de modo que las actuaciones a realizar gocen del máximo consenso social posible. El apoyo de la población local es una garantía del éxito de la actuación.

Por otra parte, en la redacción de proyectos de restauración o rehabilitación se considerarán las siguientes etapas:

1. Selección del tramo y ámbito concreto de la actuación.
2. Realización de un diagnóstico técnico como socioeconómico, de forma que evaluemos la problemática en el tramo, las potencialidades y el estado de opinión y conflicto social que pueda existir en torno al estado actual o futuro del tramo.
3. Establecimiento de los objetivos de la restauración o mejora ambiental. El proceso de participación debe apoyarse en el diagnóstico previo y es recomendable que en él participen los técnicos redactores del mismo, asesorando de forma directa.
4. Establecimiento de una imagen objetivo. Es habitual trabajar en proyectos de restauración que no puedan recuperar el estado natural ideal del cauce, pero es necesario tener claro cuál es la situación ideal a la que se quiere llegar. En este sentido conocer ríos de referencia poco alterados y en buen estado de conservación sirve de guía para conocer con exactitud la estructura y el funcionamiento perdida.
5. Redacción de la memoria técnica del proyecto. El apartado sobre el mantenimiento y seguimiento de las actuaciones es un apartado fundamental.
6. Obtener el mayor consenso posible antes del inicio de la ejecución, pudiéndose abordar mejoras o modificaciones en el proyecto inicial.

7. Ejecución del proyecto. Es fundamental que la dirección de obra se ejerza de forma rigurosa, para que los proyectos finales no difieran en demasía de lo que existía en el papel o de la imagen objetivo que se había establecido con todo el trabajo y el proceso de participación inicial.
  8. Mantenimiento y seguimiento. En un proceso de restauración el seguimiento es una herramienta básica para reorientar futuros proyectos y actuaciones, e incluso para plantear acciones que contribuyan a paliar efectos no previstos de nuestro proyecto inicial. Además, el seguimiento de las actuaciones son una fuente de información insustituible. Como ya se ha comentado, esta fase del proyecto es de suma importancia y debe tener asignados recursos presupuestarios suficientes.
-