

**CONVENIO ESPECÍFICO DE COOPERACIÓN TÉCNICA No. 034 ENTRE EL  
IAVH, CARDER, MUNICIPIO DE SANTA ROSA DE CABAL Y LA UNIDAD  
ADMINISTRATIVA ESPECIAL DEL SISTEMA DE PARQUES NACIONALES  
NATURALES-Territorial Noroccidental**

**VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA CALIDAD DEL  
AGUA DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO CAMPOALEGRE**



**Por:  
María Adelaida Fernández  
Investigador Senior  
Línea de Valoración y Equidad**

**Instituto Alexander von Humboldt**

**Septiembre de 2006**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN:</b> .....	<b>3</b>
<b>ÁREA DE ESTUDIO:</b> .....	<b>4</b>
1. CARACTERÍSTICAS DEL RECURSO HÍDRICO: .....	5
<i>Clima:</i> .....	5
<i>Recursos hídricos:</i> .....	6
<i>Conflictos frente al recurso hídrico:</i> .....	8
<b>OBJETIVOS:</b> .....	<b>10</b>
<b>MARCO TEÓRICO:</b> .....	<b>10</b>
2. LA VALORACIÓN ECONÓMICA: .....	10
3. METODOLOGÍAS DE VALORACIÓN:.....	12
<b>METODOLOGÍA:</b> .....	<b>14</b>
4. DECRETO 475 DE 1998:.....	16
<b>RESULTADOS:</b> .....	<b>18</b>
<b>CONCLUSIONES:</b> .....	<b>26</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA:</b> .....	<b>28</b>
<b>ANEXO 1: SERIE DE DATOS UTILIZADOS PARA LOS ANÁLISIS ESTADÍSTICOS</b> .....	<b>29</b>

## Introducción:

Si bien Colombia es uno de los países con mayores riquezas de oferta natural de agua, en la zona andina se degradan cada vez más las condiciones de calidad y de cantidad de agua en la gran mayoría de las cuencas y microcuencas de la región, lo que ha convertido este recurso en un recurso escaso. Por esta razón en los últimos años se ha visto la necesidad de evaluar los impactos socioeconómicos que tienen las actividades de desarrollo, productivas, de consumo, sobre el deterioro de los recursos hídricos (Sarmiento, et al. 2004), como punto de partida para el diseño de políticas, planes y proyectos que mejoren la eficiencia con la cuál se hace uso de este importante recurso.

Desde la perspectiva de la teoría económica, la razón fundamental para la degradación de los recursos que nos proporciona el ambiente de manera gratuita, es su condición de bienes públicos. Estos bienes, al no tener claramente especificados unos derechos de propiedad no son tranzados en mercados y por consiguiente no tienen un precio definido. Esta falta de precio hace que en la mayoría de los casos estos bienes no tengan un valor monetario asociado a su utilización, así para el agua, en las zonas donde no existe una empresa de acueducto que de alguna manera establece un precio de distribución para el recurso, el agua carece de un referente económico concreto. Ella es usada de acuerdo con las necesidades de cada individuo sin tener que pagarle a nadie por su aprovechamiento y esto causa su inevitable sobreexplotación.

Al no tener mercado, los recursos naturales, son aprovechados por el primero que tenga acceso a ellos y las decisiones de cada agente individual no logran tener en cuenta los costos de las posibles repercusiones que tiene un uso indebido del recurso sobre los demás usuarios potenciales que llegan después a aprovecharlo. En conclusión el recurso es utilizado ineficientemente por que no existe un mecanismo que logre reflejar la escasez relativa del recurso para todos los usuarios potenciales. En los mercados tradicionales este mecanismo es el precio de mercado.

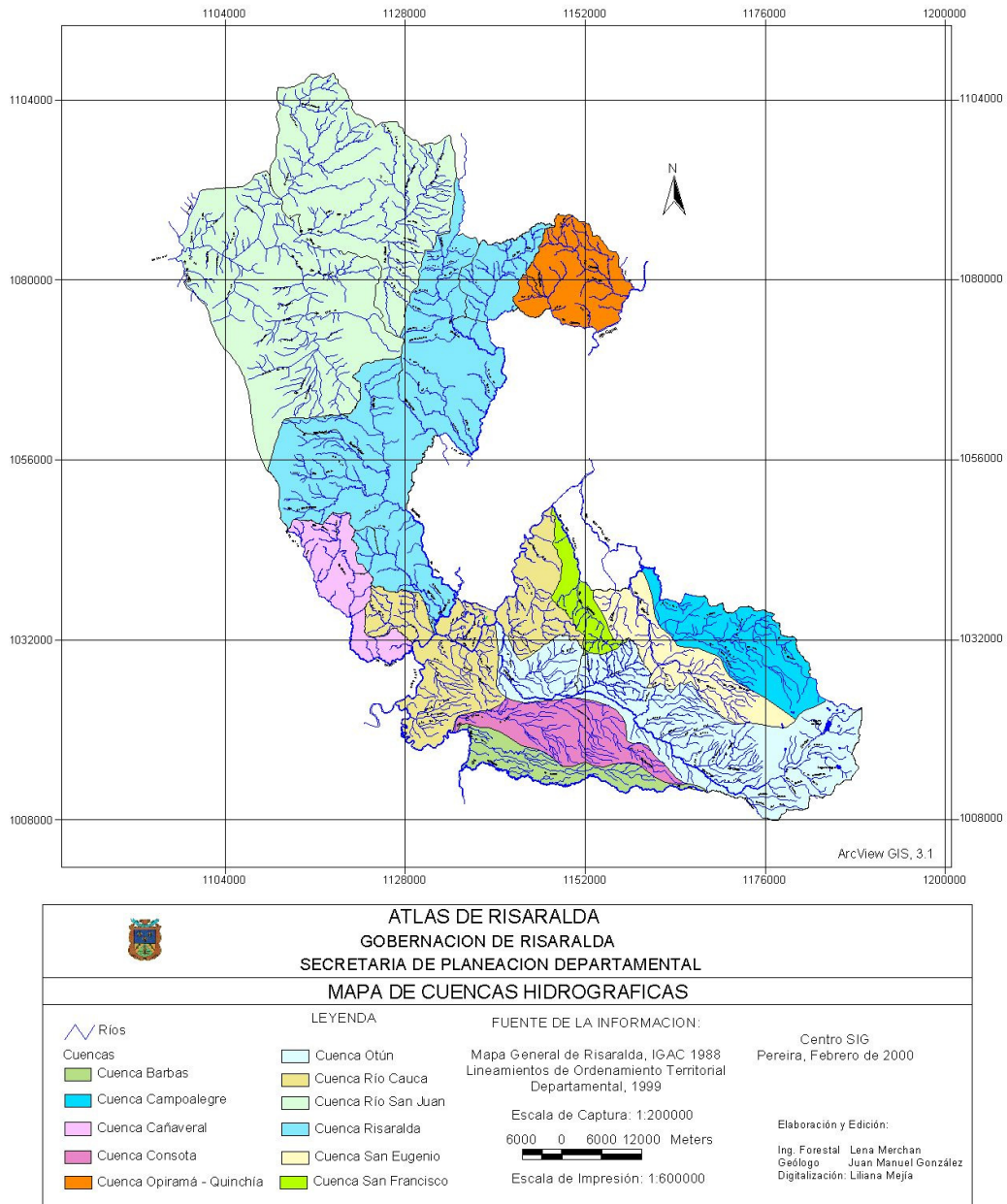
Para superar esta dificultad y propender por el diseño de instrumentos que permitan una utilización más eficiente de estos recursos naturales, la economía ambiental ha desarrollado una variedad de herramientas que permiten obtener una buena aproximación del valor económico de bienes y servicios públicos o comunes como el agua. Estas herramientas son llamadas en la literatura “metodologías de valoración económica” y logran, en la ausencia de valor de mercado de los recursos naturales, obtener bien sea una disponibilidad a pagar por el recurso o un valor monetario aproximado del recurso.

Las cifras obtenidas, son por lo general límites inferiores del verdadero valor del bien analizado, pero permiten sin embargo acercarse a los beneficios económicos que le generan a la sociedad y lograr niveles más eficientes de uso y aprovechamiento. En el caso del agua, estas cifras permitirían integrar mejor el valor real del bien en los procesos de toma de decisiones a nivel regional y local, diseñar programas de conservación más adecuados en las cuencas hídricas e integrar estas cifras en los análisis costos beneficio de proyectos de desarrollo que se estén planeando en el mediano y largo plazo, lo que en su conjunto aseguraría un aprovechamiento más óptimo de este recurso esencial para el correcto desarrollo de las actividades humanas.

## Área de estudio:

Este trabajo se centra en el análisis de las condiciones de calidad del agua de la cuenca alta del río Campoalegre, en particular las cuencas del río Campoalegrito y San Eugenio que son las corrientes donde capta agua la Empresa Empocabal, que potabiliza y distribuye al agua al Municipio de Santa Rosa de Cabal.

**Ilustración 1: Zona de Estudio**



La cuenca alta del río Campoalegre se encuentra localizada en la zona oriental del municipio de Santa Rosa de Cabal, en Risaralda. Entre los 2.000 y 4.000 msnm. El principal drenaje de la cuenca es el río Campoalegre, que nace en el área de influencia

del nevado Santa Isabel a los 4.700 msnm y desemboca en el río Cauca en el límite de los municipios de Chinchiná y Palestina a los 870 msnm, luego de recorrer 72 km en dirección Sureste – Noroeste (Ríos, 1999).

Esta zona posee una gran importancia natural, en ella se encuentran grandes áreas de bosque andino y altonandino en buen estado de conservación, que albergan una gran riqueza biológica, hace parte de la zona amortiguadora del Parque Nacional Natural Los Nevados y además genera un importante corredor biológico con el Parque Regional Ucumarí que promueve la conservación de las especies propias de estos ecosistemas andinos, como el oso de anteojos, la danta de páramo, el perico ligero, el armadillo, la comadreja, la nutria, el cusumbo solo, el perro de monte, el lobo *Canis culpaeus*, el zorro, el tigrillo *Felis tigrina*, el león *Felis concolor*, el tigre *Leo onca*, el zahino y tres especies de venados *Pudu mephistofeles*, *Mazama rufina*, *Odocoelus virginianus*, algunas de las cuales requieren amplias zonas de vida para su supervivencia.

Además de su importancia biológica esta zona presenta una abundante riqueza en recursos hídricos, posee numerosos nacimientos de agua, y su oferta hídrica permite el abastecimiento en agua potable a más de 700.000 habitantes (Aristizabal y Dossman, 2001).

Otra riqueza de la región es la presencia de numerosas fuentes de agua termal de gran atractivo turístico, que actualmente son aprovechadas en tres balnearios termales que son visitados por un importante número de turistas de diferentes zonas del país.

Igualmente el área posee numerosos relictos arqueológicos de la cultura Quimbaya que aunque no son muy conocidos, representan un importante legado cultural.

Por todas estas razones esta zona se encuentra actualmente protegida por una figura de conservación municipal a través del “Parque Municipal Campoalegre” (PMC), creado en el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Santa Rosa de Cabal (2000).

## **1. Características del recurso hídrico:**

### **Clima:**

El régimen climático de la cuenca alta del río Campoalegre tiene un patrón bimodal, con dos períodos lluvioso, el primero entre los meses de marzo y mayo, con un máximo en el mes de abril, y el segundo entre los meses de septiembre y noviembre con un máximo en el mes de octubre.

La pluviosidad varía sensiblemente con los aumentos de altitud. El máximo pluviométrico se presenta a los 1.800 msnm y es aproximadamente de 3.700 mm/año, a partir de esta altitud la cantidad de lluvias disminuye, siendo el mínimo de 1.000 mm/año hacia los 4.500msnm (Aristizabal & Dossman, 2001). Sin embargo, por el tipo de cobertura predominante en la zona, particularmente el bosques de niebla y el páramo, la alta nubosidad y las bajas temperaturas, el balance hídrico general es sensiblemente positivo, lo que garantiza una oferta importante de agua que alimenta los cursos de agua que drenan la cuenca. En particular para el sector de Potreros, los estudios puntuales de

Balance Hídrico realizados por Ríos (1999), muestran que la región siempre presenta exceso de disponibilidad de agua, lo que la convierte en una zona de reserva y de regulación de agua.

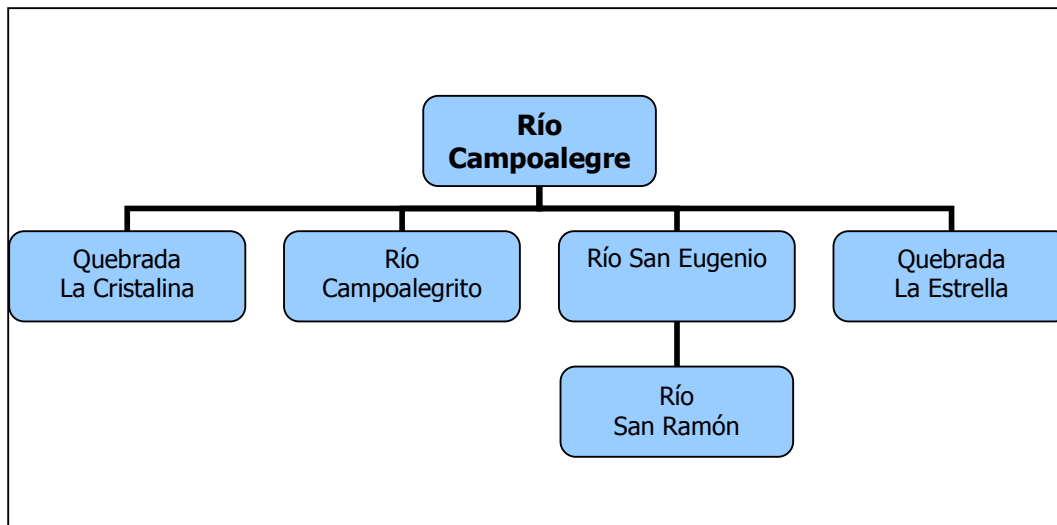
No es sorprendente entonces que la región posea una importante riqueza hídrica, que permite la generación de agua a las poblaciones urbanas y rurales de Santa Rosa de Cabal (Risaralda), una porción de la población de Dosquebradas (Risaralda), una porción de la población de Chinchiná (Caldas) y una porción de la población de Palestina (Caldas).

### Recursos hídricos:

El sistema hídrico del río Campoalegre es el más importante del municipio de Santa Rosa de Cabal, (Ríos, 1999). Como ya se mencionó este sistema abastece a una gran cantidad de población de varios municipios de Risaralda y Caldas, y además es una de las fuentes alimentadores del sistema de generación de energía eléctrica de la Central Hidroeléctrica de Caldas (CHEC).

El sistema está constituido por los ríos Campoalegre, Campoalegrito, San Eugenio y las quebradas La Estrella y La Cristalina

Gráfico 1: Sistema hídrico río Campoalegre



Fuente: Ríos (1999).

El río San Eugenio nace en el páramo de Santa Rosa de Cabal, en un amplio y erosionado volcán con suelos de formación andesítica. Posee una longitud de 34,5km y su cuenca tiene un área de 124,6 km<sup>2</sup>. Por su longitud es el principal drenaje del río Campoalegre. Los principales afluentes del río San Eugenio son: el río San Ramón y las quebradas La Leona, La Italia, Santa Helena, La Coqueta, El Encanto, Santo Domingo, La María Termales, La Bonita, La Cascada, y San Joaquín (Ríos, 1999), todos de característica perenne, es decir que se secan durante la época de bajas lluvias (Aristizabal y Dossman, 2001).

El río Campoalegrito nace igualmente en el páramo de Santa Rosa de Cabal a 4.600 msnm por la confluencia de dos quebradas. Tiene una longitud de 17km, el área que ocupa su cuenca es de 4.905km<sup>2</sup>, y su curso atraviesa zonas de relieve muy quebrado, con pendientes hasta del 75% (Ríos, 1999). El río tiene dos afluentes de primer orden que confluyen a una altitud de 2.670 msnm algunos metros arriba de una sobresaliente caída de agua llamada La Cascada (Aristizabal & Dossman, 2001).

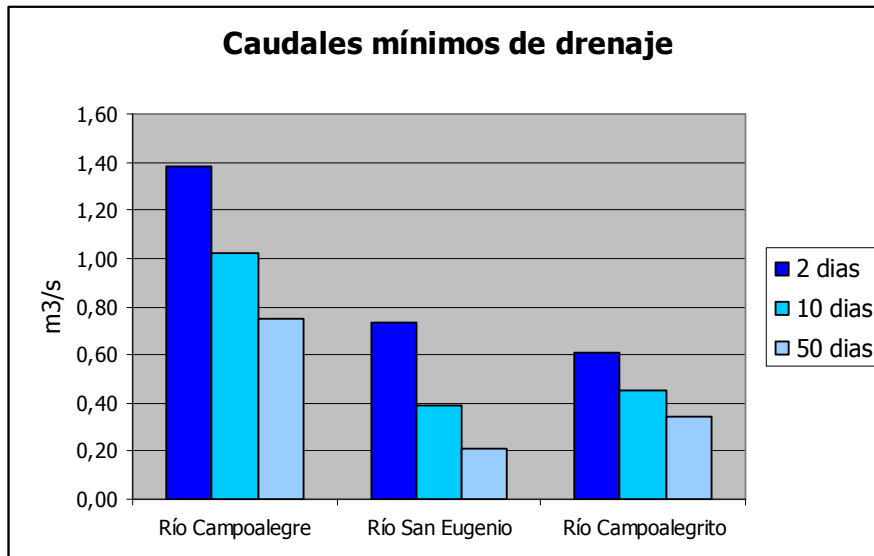
**Tabla 1: Parámetros morfométricos de los ríos Campoalegrito y San Eugenio**

	<b>Area (km2)</b>	<b>Perímetro (km)</b>	<b>Longitud (km)</b>	<b>Amplitud (km)</b>	<b>Factor de forma</b>	<b>Densidad de drenaje (km/km2)</b>
<b>Cuenca río Campoalegre</b>	40.905,00	37,00	17,00	1,71	0,10	1,92
<b>Cuenca río San Eugenio</b>	124,60	77,00	35,00	3,56	0,10	4,59

Fuente: Ríos (1999).

El estudio detallado de la oferta hídrica del río Campoalegre muestra que el caudal máximo promedio del río se presenta en la estación La Insula en el municipio de Chinchiná, con un valor de 14 m<sup>3</sup>/s, siendo el caudal máximo registrado de 21 m<sup>3</sup>/s y el mínimo de 5 m<sup>3</sup>/s para el período de 1953 y 1985 (Ríos, 1999). Al modelar los caudales mínimos con el método de curva de recesión en las principales subcuencas del río Campoalegre, se concluye, que aún después de 50 días el río presenta un caudal mínimo representativo, el cual junto a sus afluentes, forma una corriente superficial con altas posibilidades de oferta hídrica (Ríos, 1999) (Gráfico 2).

**Gráfico 2: Comportamiento de caudales mínimos en las cuencas**



Fuente: Datos Ríos (1999), Gráfico elaborado por el autor

El municipio de Santa Rosa de Cabal cuenta con una planta potabilizadora de agua manejada por la empresa Empocabal. Esta planta capta un caudal total de 600 l/s, de la cuenca del río Campoalegre, de los cuales 500 l/s son captados del río Campoalegrito y 100 l/s del río San Eugenio. Se estima que aproximadamente 300 a 400 l/s son utilizados para la venta en bloque al municipio de Dosquebradas (Risaralda) y el caudal restante es para el consumo urbano de Santa Rosa de Cabal (Ríos, 1999).

**Tabla 2: Consumo de agua por sectores para el año 1997 en Santa Rosa de Cabal (m3)**

<b>MUNICIPIO</b>	<b>Residencial</b>	<b>Comercial</b>	<b>Industrial</b>	<b>Oficial</b>	<b>Otros*</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Santa Rosa</b>	2.805.961	147.068	114.870	172.348	9.219.142	12.459.389
<b>%</b>	22.5	1.2	0.9	1.4	74.0	100

Fuente: Indicador económico regional, 1998. Cámara de Comercio

\* Suministro a Dosquebradas

Si bien la cantidad de agua de las fuentes hídricas de la cuenca alta del río Campoalegre es, hasta el momento, suficiente para la satisfacción de las necesidades actuales de sus beneficiarios, los modelos realizados para analizar la disponibilidad de agua en los próximos años predicen un panorama poco optimista hacia el 2025 (Ríos, 1999). Por otro lado la calidad del agua de las cuencas Campoalegrito y San Eugenio antes de su potabilización refleja los problemas de contaminación que existen en las zonas altas de la cuenca. En especial las aguas del río Campoalegrito tienen altas concentraciones de coliformes fecales y totales, así como sólidos suspendidos y turbiedad. Además se ha detectado presencia de plaguicidas en muestreos puntuales (Informe Ambiental, 1998).

### **Conflictos frente al recurso hídrico:**

Existen cuando menos tres importantes conflictos en torno al uso sostenible del recurso hídrico que alimenta la planta de Empocabal. El primero se relaciona con los efectos difusos que genera la ganadería ubicada en la cuenca alta del río Campoalegre sobre las fuentes de agua que alimentan los ríos Campoalegrito y San Eugenio. El segundo se relaciona con los vertimientos de aguas negras de los pobladores directamente y sin tratamiento a los ríos y quebradas de la zona, y el tercero tiene relación directa con la contaminación puntual del agua por las estaciones turísticas de aguas termales que hay en la región.

Según el informe ambiental de Risaralda (1998), el 92.7% de los predios ubicados en el área de drenaje de las fuentes abastecedoras del acueducto municipal se encuentran en poder de particulares y son en su mayoría dedicados a la actividad ganadera extensiva (65.5%). A partir del estudio de caracterización ganadera realizado por CODEGAR (2005) la ganadería en la zona es principalmente de doble propósito (41%), seguida por la ganadería de leche (23%), el tamaño de las fincas varía mucho, siendo las de mayor tamaño de 600ha o más y en promedio de 100ha. El número total de animales calculado para las fincas que fueron encuestadas fue de 2.729 reces (Codegar, 2005).

El efecto de la ganadería extensiva sobre los recursos hídricos es diverso, por un lado la reducción de la cobertura boscosa y su reemplazo por pastizales, reduce la capacidad de infiltración del agua en los horizontes superficiales del suelo, al reducirse la



profundidad y la densidad de los sistemas de raíces de la vegetación, eso a su vez disminuye la capacidad de regulación hídrica de la cuenca. Además la eliminación de la vegetación natural de bosque altoandino minimiza el potencial de precipitación horizontal, es decir, aquella cantidad de agua que es atrapada por la vegetación este tipo de bosques y que se integra a la precipitación causada por la lluvia, incrementando la oferta hídrica natural. Por otro lado la cobertura de pastos es menos efectiva que los bosques para evitar la erosión del suelo, lo que a su vez afecta los parámetros de calidad física del agua, sin mencionar el efecto negativo que tiene sobre la calidad del suelo. El efecto del pisoteo del ganado sobre los suelos causa la compactación de los niveles superficiales del suelo, generando una reducción en su porosidad y un aumento en su densidad, alterando su fertilidad, disminuyendo la infiltración del agua en el suelo y promoviendo, en zonas de alta pendiente como las que predominan en la cuenca, fenómenos de deslizamientos importantes, y finalmente la ausencia de protección vegetal en los lechos de los ríos reduce la regulación hídrica de los cauces y además permite que los animales contaminen las aguas con las excretas. Por otro lado, el uso de plaguicidas y fertilizantes para el manejo de los pastos ocasiona la contaminación de las aguas por escorrentía.

En cuanto a los vertimientos de aguas residuales de los asentamientos humanos ubicados en la cuenca alta y su impacto sobre la calidad de las aguas de los ríos Campoalegrito y San Eugenio, no se conoce con certitud el efecto que tienen, sin embargo la CARDER ha venido realizando un importante programa de instalación de pozos sépticos en las viviendas del Parque Campoalegre, con el fin de reducir este impacto negativo.

La contaminación de las aguas del río Campoalegrito por efecto de los diferentes balnearios termales está estimada en un promedio de 18 m<sup>3</sup> de aguas negras al día y aunque todos cuentan con tanques sépticos, se ha establecido que en algunas épocas del año algunos liberan los lodos acumulados en sus filtros biológicos y se percibe un aumento sustancial de la contaminación hídrica (Valencia, *comm. pers.*).

Según el POT de Santa Rosa de Cabal, los ríos y quebradas que ha sido priorizadas para su protección y recuperación son: la quebrada Santa Bárbara y la cuenca alta del río Campoalegrito, el río San Eugenio, la quebrada Santo Domingo y la quebrada La Estrella. En la tabla 3 se hace una descripción de cada uno.

Si bien el Plan de Ordenamiento establece una serie de normas y reglas para garantizar la conservación y la protección de los recursos hídricos del municipio, como por ejemplo la protección de 15 a 30 metros a ambos lados de las márgenes de ríos, quebradas y nacimientos, y la protección de un radio de 100 metros alrededor de los nacimientos donde sólo se permite es establecimiento de bosque protector, en la realidad, en la zona no se respetan estas normas, lo que explica la situación actual del recurso, que presenta una disminución en la disponibilidad de agua y una degradación importante de la calidad. Frente a esta realidad se hace importante incentivar acciones que promuevan el mejor uso de la tierra y la protección de los cursos de agua, en especial del los cuerpos de agua priorizados en el POT. Este estudio busca precisamente, por medio de la valoración económica de la calidad del agua, otorgar a los actores públicos nuevos instrumentos para diseñar incentivos o proyectos que aumenten la eficiencia en el uso del agua en la región y permita aumentar su conservación.

**Tabla 3: Ríos y quebradas priorizadas en el POT de Santa Rosa de Cabal**

	RIO	AREA (HA)						HIDROLOGICOS					SOCIALES				PECUARIOS	
		TOTAL	EN CULTIVOS	DE PASTOS	BOSQUE A LO LARGO DEL CAUCE	AREA TOTAL DE RESERVA	BOSQUE TOTAL	BOSQUE PLANTADO	NACIMIENTOS DE AGUA	NACIMIENTOS DE AGUA SIN PROTECCION	CAUDAL TOTAL CAPTADO (M3/DIA)	LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL	HABITANTES EN LA MICROCUENCA	HABITANTES QUE SE ABASTECEN DE AGUA	VIVIENDAS TOTALES	VIVIENDAS SIN TRATAMIENTO DE AGUA	ESTABLECIMIENTOS PECUARIOS	CABEZAS DE GANADO
Campoalegre	Santa Barbara	740	209	371	7	0	159	0	60	9	50	4800	215	100	43	31	4	60
	Río Campoalegrito (Cuenca Alta)	1600	28,1	514	33	90	188	150	105	18	51840	15000	575	120000	115	107	15	382
San Eugenio	Río San Eugenio (Tramo Urbano)	775	145	344	9,5	4	9,5	3	107	22	520	6200	46110	1040	8972	8972	4	248
	Qda. Santo Domingo	670	196	334	6	68,7	75	69	92	12	402	4000	2065	804	413	410	14	352
	Río San Eugenio (Qdas Coqueta – El Encanto)	1100	985	79,6	5,4	0	15	0	151	54	63	5500	1070	125	214	205	9	130
	Qda. La Estrella (Cuenca Alta)	1275	854	136	18	164,5	175	275	177	38	1378	8000	1005	2755	201	178	10	161

Fuente: POT Santa Rosa de Cabal

## Objetivos:

Estimar el valor económico de la calidad del agua de la cuenca alta del río Campoalegre, dentro del área de influencia del parque municipal natural que lleva su mismo nombre, a través de la metodología de “función de daño”.

## Marco teórico:

### 2. La valoración económica:

La economía se encarga de analizar cómo distribuir los bienes escasos en las numerosas opciones de uso que pueden tener, en especial el objetivo final de la ciencia económica es proveer herramientas para asegurar que estos bienes, que pueden ser utilizados en múltiples alternativas, sean asignados realmente a aquellas que logren maximizar el bienestar de la sociedad, es decir los usos y asignaciones más eficientes.

En un principio la economía estaba orientada a analizar la distribución óptima de los recursos generados por los sistemas humanos, como los bienes agrícolas, los bienes industriales y los servicios, dado que el nivel de producción de estos bienes, al depender de factores de capital limitados, era también relativamente restringido con respecto a la

demanda que de ellos hace la sociedad. A lo largo de la historia de la teoría económica se favoreció una institución particular para la distribución de estos bienes en sus mejores usos alternativos de una manera eficiente, esta institución es el mercado, que se asocia a un precio de equilibrio, que es en últimas el mecanismo mediante el cual los mercados logran la distribución óptima de todos los bienes y servicios en la economía.

Sin embargo existen una serie de bienes y servicios que no son tranzados en mercados y que por consiguiente no poseen precios en la economía, algunos de estos bienes y servicios son aquellos que nos proveen de forma gratuita el medio ambiente y los ecosistemas naturales. Si bien a lo largo de la historia estos recursos habían sido proveídos en cantidades suficientes para que todos pudiésemos disfrutar de ellos, los efectos de crecimiento demográfico y la contaminación, han hecho que se vuelvan cada vez más escasos y por ende un problema económico.

Una de las herramientas desarrolladas por la economía para integrar estos bienes y servicios ambientales en los procesos de decisión de la sociedad es la valoración económica. Esta valoración se realiza para obtener la aproximación al precio de mercado de estos bienes y servicios y poder así analizar su distribución en las diferentes alternativas dentro de los marcos de decisión de los agentes, tanto públicos como privados, dado que permiten en últimas comparar los precios asignados con los precios de otros bienes sustitutos o complementarios y decidir así, cuál sería la mejor opción para la sociedad, usarlos, conservarlos, transformarlos o protegerlos.

El agua es un recurso natural que posee dos características importantes para la sociedad, por un lado su cantidad y en este sentido se traduce como un bien para los mercados, dado que se usa para consumo humano, para la producción de bienes agrícolas o para la producción de bienes industriales. Por otro lado el agua también necesita cierta calidad para ser utilizada en distintas actividades y una gran variedad de procesos humanos degrada la calidad del agua, volviéndola escasa para usos alternativos.

Si bien el agua que es distribuida por medio de los acueductos públicos posee un precio que refleja los costos de acopio, tratamiento y distribución, este precio sólo busca compensar a la empresa prestadora del servicio por los costos incurridos y no tiene asociado el precio de la oferta natural de agua, es decir el precio del recurso en su estado puro con relación a las diferentes alternativas de uso. A este tipo de bienes como el agua, que no poseen mercados naturales de distribución y no poseen precio intrínseco, se dice que tienen fallas de mercado, es decir condiciones particulares que no permiten que se formen mercados naturales alrededor de su aprovechamiento, uso, producción e intercambio.

Las fallas de mercado ocurren de manera generalizada cuando se presenta una o varias de las siguientes situaciones para un bien o servicio:

- a. No existen derechos de propiedad definidos para el recurso.
- b. La información que se puede obtener en un momento dado sobre su calidad o su cantidad es incompleta o difícil de conseguir.
- c. Su uso, aprovechamiento y distribución causa de manera generalizada externalidades, por lo general negativas.

- d. Los bienes o los servicios no son producidos por una gran cantidad de agentes, así que se promueve la generación de monopolios naturales o de oligopolios a nivel de su oferta o de su demanda.
- e. El bien o servicio es un bien público.

En el caso del agua, varias de estas condiciones se cumplen. En primer lugar el agua es un bien público, es decir que todo el mundo puede hacer uso del agua y la posibilidad de excluir a alguien de su acceso es difícil. Por otro lado el agua, si bien le pertenece al Estado, por su situación es difícil que el Estado pueda defender efectivamente sus derechos de propiedad sobre el agua y evitar que una persona se apropie de una cantidad de agua o que el dueño de un predio haga un manejo adecuado del suelo alrededor del cauce de un río o cañada, es decir que los derechos de propiedad son difícilmente defendibles y en últimas el agua termina siendo aprovechada por el primer que llega a ella. Esto además es la causa de las externalidades negativas que hay en torno al aprovechamiento del recurso, puesto que una persona toma decisiones de uso o de contaminación, sin tener en cuenta los costos que le está generando a la sociedad más adelante.

Por todas estas razones el agua es un bien que debe ser regulado por las autoridades públicas, dado que en sus condiciones propias no se puede garantizar que sea usada adecuadamente para el bien de la sociedad y es ahí donde la valoración económica puede proveer una mejor información para asegurar que sea usada de una manera más eficiente.

Un punto importante que se debe aclarar es que los resultados que se obtienen por medio de una técnica de valoración y su interpretación dependen del tipo de técnica utilizada y esto determina además la forma en que estos valores pueden ser integrados a las decisiones de regulación. En la próxima sección de este documento se hará una descripción de las principales técnicas de valoración del agua y en particular la técnica que será usada en este trabajo, para definir así la mejor forma de interpretar los resultados e integrarlos en los procesos de toma de decisión.

### **3. Metodologías de valoración:**

Existen varias metodologías que han sido desarrolladas para obtener los distintos valores económicos de cualquier bien o servicio provisto por el medio ambiente, una clasificación ampliamente aceptada en la teoría divide las técnicas en dos categorías: métodos directos o indirectos, y métodos de preferencias observadas o de preferencias hipotéticas. La primera se relaciona con el origen de los datos, es decir, diferencia si provienen como información suministrada por individuos del mundo real, o en caso contrario si son producto de crear escenarios hipotéticos. La segunda está asociada al tipo de resultados obtenidos cuando se implementa un método, en otras palabras, clarifica si los valores monetarios esperados surgen directamente, o por el contrario, si ese valor debe ser inferido usando una técnica indirecta establecida en un modelo de comportamiento personal influenciado por variables decisorias. Desde esa perspectiva, todo método puede ser ordenado en cuatro categorías posibles, denominadas observación directa, observación indirecta, hipotéticos directos e hipotéticos indirectos (Murtinho et al., 2006)( Tabla 4).

**Tabla 4: Métodos de valoración económica**

<b>METODOS</b>	<b>Preferencias observadas</b>	<b>Preferencias hipotéticas</b>
<b>Directos</b>	Observación directa <ul style="list-style-type: none"> <li>• Precios de mercado</li> <li>• Mercados simulados</li> </ul>	Hipotéticos directos <ul style="list-style-type: none"> <li>• Juegos de postura</li> <li>• Preguntas de disponibilidad a pagar = contingente</li> <li>• Proyecto sombra</li> </ul>
<b>Indirectos</b>	Observación indirecta <ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo de viaje</li> <li>• Precios hedónicos</li> <li>• Gastos evitados</li> </ul>	Hipotéticos indirectos <ul style="list-style-type: none"> <li>• Actividad contingente</li> <li>• Ordenamiento contingente</li> </ul>

Fuente: Freeman, 1993

Los métodos de preferencias observadas permiten obtener el valor económico de un bien sin mercado por medio del comportamiento de los individuos en mercados reales de bienes relacionados. En este caso el bien sin mercado es generalmente un bien complementario, o se relaciona de alguna manera en la provisión, en la calidad o en la cantidad al bien de mercado, un ejemplo de esto es el paisaje que muchas veces está asociado al mercado inmobiliario y generalmente influye en el precio final de una casa o de un apartamento, es decir en una ciudad dada, generalmente el precio de una casa de características físicas similares a otra está influenciado por el hecho de que posea un jardín, la vista a un parque o que esté ubicada en una zona con mayores espacios naturales puede tener un precio diferencial por tener estas características y es posible obtener un estimado del valor del paisaje natural por medio de los precios de un mercado relacionado como el inmobiliario. En estas técnicas si la observación se hace directamente con los precios del mercado, se habla de un método directo, pero si es necesario realizar estimaciones de los precios de mercado por medio de modelos económicos, se habla de un método indirecto.

En los métodos de preferencias observadas las decisiones son reales y asociadas a personas que están maximizando su utilidad sujetos a restricciones económicas relevantes (p.e: ingreso); que además tienen interpretación directa en unidades monetarias lo que facilita su interpretación económica.

Por otro lado los métodos de preferencias hipotéticas no se basan en mercados que existen realmente, sino en mercados creados por los investigadores, en los cuales se le pide a los individuos que expresaran el comportamiento que tendrían si éstos mercados o situaciones fueran reales. Generalmente este tipo de métodos permite obtener no sólo valores más completos del bien o del servicio que se está evaluando; sino que además pueden permitir valorar servicios intangibles como las funciones de los ecosistemas, los valores de una cultura o de una tradición o los valores de existencia de especies o ecosistemas. Sin embargo por el mismo carácter de hipotéticos, estas técnicas han sido fuertemente criticadas en la teoría.

Para estos métodos hipotéticos, los valores monetarios obtenidos deben ser interpretados con cautela, pues en la mayoría de los casos son efectos marginales, es decir el valor asociado un cambio pequeño en la cantidad o calidad del bien o servicio

evaluado, lo que genera que no se obtenga el precio unitario del bien; sino el efecto en términos económicos de un cambio en él según las condiciones iniciales planteadas en el ejercicio hipotético, en este sentido estos métodos son útiles para evaluar los efectos de proyectos o programas sobre bienes sin mercado y evaluar si es adecuado llevarlos a cabo según los efectos que tendrán en el bien o servicio evaluado.

### **Metodologías de Valoración Económica:**

- Preferencias observadas:
  - Precios de mercados relacionados o sustitutos
  - Aproximación por productividad
    - Función de daño
    - Producción de hogares
  - Métodos de costos
    - Valor de sustitución
  - Costo de viajes
  - Modelos de utilidad aleatoria
  - Modelos hedónicos
- Preferencias hipotéticas: usando encuestas directas para estimar disponibilidad a pagar.
  - Valoración contingente
  - Valoración conjoint
  - Métodos de elección discreta
- Transferencia de beneficios: usando valores de otros estudios
  - Transferencia de valor
  - Transferencia de funciones

La metodología seleccionada para este trabajo es la Función de daño, que ha sido ampliamente utilizada para valorar la calidad del agua, en especial relacionada a la calidad del agua para consumo humano y cuyo desarrollo se describe a continuación.

### **Metodología:**

Es posible medir el efecto económico de la contaminación del agua, utilizando para ello los cambios en los costos de tratamiento que tendría un mejoramiento de los parámetros de calidad del agua, en particular los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua cruda, al analizar por ejemplo, cuánto podrían disminuir los costos de tratamiento del agua si disminuyen las concentraciones de las variables que componen algunos de estos parámetros. Además, como los costos de la provisión del agua potable son transferidos por medio de las tarifas a los consumidores finales, ésta sería una medida indirecta de los efectos en el bienestar de la población que generaría una mejora en las condiciones físicas del recurso.

La metodología de Función de daño, permite precisamente analizar la relación que existe entre la función de costos de tratamiento del agua y el nivel de contaminantes que hay en ella. La hipótesis fundamental que hay detrás de esta técnica es que la calidad del agua es un factor de producción en la generación de agua potable.

El valor obtenido por esta técnica está determinado precisamente por la hipótesis de base, es decir que se obtendrá el efecto monetario de un cambio en la calidad ambiental

del recurso agua, como por ejemplo cuánto, en valor económico, representaría una disminución  $X$  de la turbiedad del agua, que a su vez se puede relacionar con cambios en los usos del suelo de la cuenca. También hay que tener en cuenta que este valor no es el valor total del agua, es sólo uno de sus valores de uso, en la medida en que se relaciona con el valor para consumo humano a través de los cambios en calidad, pero el valor del agua también involucra el valor para los ecosistemas naturales, para la producción agrícola, para la recreación, para la regulación de caudales, entre otros. En vista de que el valor obtenido es sólo una porción del valor económico total de contar con agua de buena calidad, sirve como una variable Proxy al valor de este bien ambiental que no cuenta con mercados naturales que le asignen un precio óptimo.

La metodología propone entonces estimar el valor asociado a la calidad del agua por medio de la relación que existe entre las variables explicativas, de contaminación, y la variable dependiente, los costos de tratamiento del agua. Según la hipótesis de partida, al reducirse los niveles de contaminación, los costos de tratamiento y purificación de agua para el acueducto deben disminuir. A continuación se presenta el modelo económico a estimar (Uribe, et. al. 2003):

$$C_t = c(P_K, P_L, Q, q)$$

Donde:

$C_t$  : costos totales de producción  
 $c$  : función de costos de la empresa  
 $P_K$  : precios insumos  
 $P_L$  : precios trabajo  
 $Q$  : cantidad producida del bien (en este caso: agua)  
 $q$  : calidad ambiental

A partir de Sarmiento et. al. (2005) y Dasgupta et. al. (2001) se propone el siguiente modelo específico para la estimación de los costos en que incurre el acueducto de Empocabal para el tratamiento de agua proveniente de los ríos Campoalegrito y San Eugenio en la cuenca alta del río Campoalegre:

$$CIQ_t = c(W, q^{fis}, q^{quim}, q^{mic})$$

Donde,

$CIQ$  : costos insumos químicos  
 $W$  : volumen de agua producida  
 $q^{fis}$  : propiedades físicas del agua  
 $q^{quim}$  : propiedades químicas del agua  
 $q^{mic}$  : propiedades microbiológicas del agua

Según Sarmiento, et al. (2005), una forma funcional que permite analizar la relación propuesta en la ecuación anterior y que explica bien el efecto que tiene en los costos de los insumos químicos, las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del agua, es la función Cobb-Douglas, donde el supuesto de base es que no hay interacciones entre las variables explicativas, es decir que un cambio en una variable física no tiene impactos sobre ninguna otra variable química o microbiológica y no genera efectos sobre la variable dependiente, es decir sobre los costos de operación.

La función Cobb-Douglas está representada por:

$$\ln(CIQ) = \beta_0 + \beta_1 \ln(W) + \beta_2 \ln(q^{fis}) + \beta_3 \ln(q^{quim}) + \beta_4 \ln(q^{mic}) + e_i$$

Los coeficientes “ $\beta_1... \beta_4$ ” se puede interpretar como las elasticidades de los costos respecto a las variables explicativas, en otras palabras, establecen el cambio porcentual de los costos ante cambios del 1% en las variables que acompañan cada uno de éstos coeficientes (Sarmiento, et al. 2005).

En Colombia, los costos asociados a la prestación del servicio de acueducto se clasifican en tres tipos:

Cmi : costos medios de inversión  
Cmo : costos medios de operación  
Cma : costos medios de administración

Los costos medios de operación son los que integran los costos del tratamiento del agua, en particular para este trabajo, los costos de los insumos químicos (CIQ) necesarios para potabilizar el agua en la planta y con los otros dos tipos de costos, integran la tarifa final del servicio de acueducto y alcantarillado que cobra la empresa prestadora del servicio, según lo estipulado en la Resolución CRA No. 287 de 2004.

Para realizar la valoración se obtuvo una serie de datos mensuales desde enero del 2004 hasta marzo del 2006 facilitados por la planta de tratamiento de Empocabal, donde por se tienen las medidas promedio mensuales de las variables físicas, químicas y microbiológicas del agua, así como el total de agua que entró a la planta para su potabilización, el total de agua tratada y los costos de los insumos químicos<sup>1</sup>.

Los costos de los insumos dependen también del nivel de cumplimiento del agua cruda<sup>2</sup> con respecto a la norma que define las características del agua potable para Colombia, que es regido por el Decreto 475/98.

#### **4. Decreto 475 de 1998:**

En Colombia, las normas mínimas de calidad del agua potable están establecidas en el decreto No. 475 de 1998, emitido por el Presidente de la República. En este decreto se regulan las medidas máximas que puede tener el agua para consumo humano frente a sus variables de calidad tanto física, química y bacteriológica.

---

<sup>1</sup> Los costos de insumos químicos de la planta de Empocabal integran no sólo los costos de los químicos para el tratamiento del agua; sino también los costos de los reactivos utilizados en los procesos de medición y análisis del agua cruda y del agua tratada.

<sup>2</sup> *Agua cruda*: Es aquella que no ha sido sometida a proceso de tratamiento.

*Agua potable*: Es aquella que por reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos, en las condiciones señaladas en el decreto 475/1998, puede ser consumida por la población humana sin producir efectos adversos a su salud.



Las características físicas responden a variables como el color, el olor, la cantidad de sólidos disueltos en el agua y la turbiedad, que es otra manera de medir los cuerpos extraños que se encuentran en el agua y que por lo general son solubles en ésta. Si bien estas características físicas no son directamente responsables de problemas de salud relacionados con la contaminación del agua, sí son indicadoras de que algo no está bien con el agua cruda y en especial pueden afectar su consumo si no cumplen con las normas mínimas.

Las características químicas tienen que ver con los compuestos, elementos o moléculas que están presentes en el agua y que pueden poner en riesgo la salud humana por ser tóxicos o venenosos. Entre estos se miden concentraciones de nitratos y nitritos, el pH, la presencia de metales pesados, las sales minerales, moléculas tóxicas como las que están presentes en los pesticidas, entre otras, para que se tomen las medidas adecuadas y se eliminen en el proceso de potabilización.

Las características microbiológicas tienen que ver con la presencia de microorganismos en las aguas que generalmente son patógenos y fuentes de enfermedades gastrointestinales, en particular se mide la presencia de la bacteria *Escherichia coli*<sup>3</sup>, que generalmente está asociada a la presencia de excretas en el agua y los coliformes totales<sup>4</sup>.

Las normas Colombianas para el agua potable se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 5: Normas de calidad del agua en Colombia**

<b>Características</b>	<b>Variable</b>	<b>Unidades</b>	<b>Norma máxima</b>
Físicas	Conductividad	Microohms/cm	1500
	Color verdadero	UPC (Unidades de Platino Cobalto)	15
	Turbiedad	UTN (Unidades de turbidez nefelométricas)	5
	Sólidos suspendidos totales	mg/l (miligramos por litro)	500
Químicas	Cloruros (Cl)	mg/l	-250
	Nitritos NO <sub>2</sub>	mg/l	0.1
	Nitratos NO <sub>3</sub>	mg/l	10
	Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	160
	Acidez	mg/l	50
	Hierro total (Fe)	mg/l	0.3
	Alcalinidad total (CaCO)	mg/l	100
Microbiológicas	E-Coli	UFC (Unidades formadoras de colonia)	0 UFC/100 cm <sup>3</sup>
	Coliformes totales	UFC	0 UFC/100 cm <sup>3</sup>

Fuente: Decreto 475/98

<sup>3</sup> *Escherichia coli*: Bacilo aerobio gram-negativo que no produce esporas, pertenece a la familia de los enterobacteriáceas y se caracteriza por poseer las enzimas b - Galactosidasa y b - gluoroanidasa. Se desarrolla a 44 ± 0.5 °C en medios complejos, fermenta la lactosa liberando ácido y gas, produce indol a partir del triptófano y no produce oxidasa.

<sup>4</sup> Es la cantidad estimada de microorganismos de grupo coniforme (bacterias gram negativas) presente en cien centímetros cúbicos (100 cm<sup>3</sup>) de agua.

## Resultados:

Para analizar las condiciones del agua de los ríos Campoalegrito y San Eugenio, se utilizaron los datos que mide la planta de tratamiento de Empocabal de manera diaria y mensual. Una aclaración importante sobre los datos utilizados es que si bien las dos fuentes surten de agua a la planta, las mediciones físicas, químicas y biológicas del agua cruda se hicieron exclusivamente para el río Campoalegrito hasta mediados del año 2005, momento en el que se empezaron a medir también para el río San Eugenio, por esta razón, los análisis descriptivos que se presentan están compuestos por un período que corresponde sólo al río Campoalegrito (enero 2004 a mayo 2005) y un período donde se tiene un análisis agregado para las dos fuentes hídricas (junio 2005 y julio 2006).

Si bien las aguas del río Campoalegrito pueden ser consideradas de buena calidad si se analizan las variables químicas que hace la empresa Empocabal (Tabla 6), desde el punto de vista microbiológico los parámetros muestran una importante degradación del recurso y altas concentraciones de E-coli y coliformes totales en el agua cruda, además la turbiedad también presenta un valor promedio mucho mayor al establecido en la normatividad (Tabla 6).

**Tabla 6: Promedio de parámetros químicos del agua (Planta de Empocabal)**

<b>Parámetros</b>		Promedio
<b>Físicos</b>	Turbiedad	13,8
	Color (UPC)	11,43
	Sólidos suspendidos	175,5
<b>Químicos</b>	pH	7,393
	Calcio (mg/l)	59,614
	Magnesio (mg/l)	31,979
	Cloruros (mg/l)	37,405
	Hierro (mg/l)	0,164
	Sulfatos (mg/l)	49,145
	Nitritos (mg/l)	0,005
<b>Microbiológicos</b>	E-coli (UFC)	90,1
	Coliformes totales (UFC)	1012,7

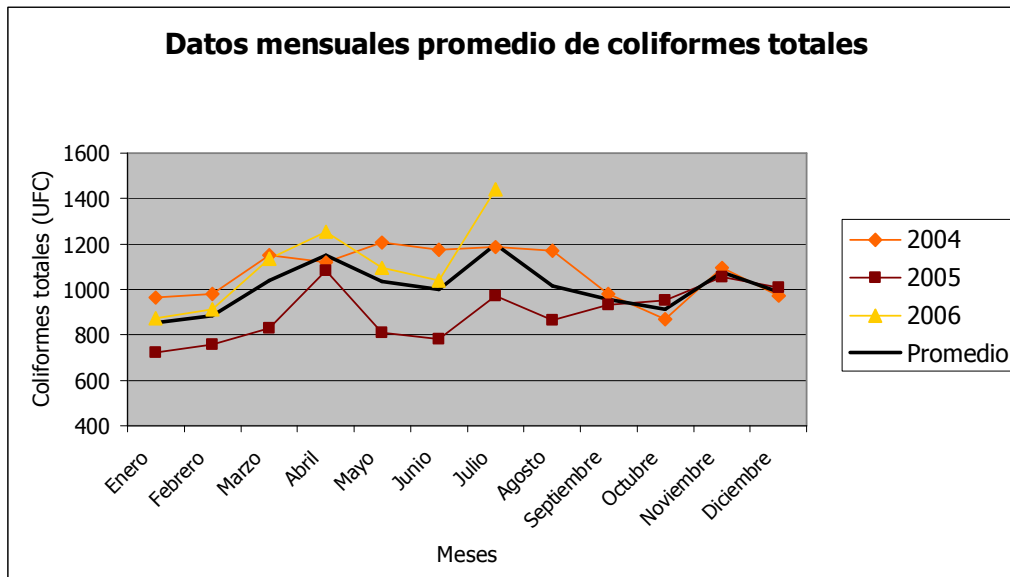
Fuente: Datos Empocabal

Las variables microbiológicas y la turbiedad, dado que se encuentran en niveles mayores a los permitidos por la norma deben ser tratadas por medio de insumos químicos para obtener las condiciones admitidas para su potabilidad. Para el caso de los microorganismos el insumo utilizado es un tratamiento con cloro gaseoso en el que se garantiza la eliminación casi total de las bacterias presentes, el cloro gaseoso es preparado en la planta por medio de cloro en polvo similar al utilizado en las piscinas. Para eliminar la turbiedad se utiliza un método físico de decantación, utilizando como floculador el sulfato de aluminio ( $Al_2SO_4$ ), que al ser disuelto en el agua se precipita arrastrando consigo las partículas en suspensión y dejando así el agua transparente.

Si bien no es posible asegurar, con base en la información que se tiene para este estudio, cuál es el origen de esta carga contaminante, se puede plantear que la presencia de microorganismos está relacionada con la deposición de excretas directamente sobre el lecho del río Campoalegrito y San Eugenio, ya sea debido a la ganadería o a los habitantes de la zona. En cuanto a la turbiedad, se puede pensar que su concentración está relacionada con la erosión de los suelos causada por el agua por efectos del relieve que es muy quebrado y propenso a los deslizamientos, o por efecto de degradación de los suelos asociado a la ganadería extensiva.

Al realizar un análisis más detallado de los datos de las variables microbiológicas y la turbiedad para el período estudiado, se puede ver que los Coliformes totales presentan altas concentraciones a lo largo del año. El intervalo va de un valor mínimo de 723 UFC en enero de 2005 hasta un valor máximo de 1207 en mayo de 2004, además se puede apreciar que el comportamiento de esta variable cambia sensiblemente a lo largo del año (Gráfico 3), siendo abril y julio dos meses con importante presencia de estos organismos.

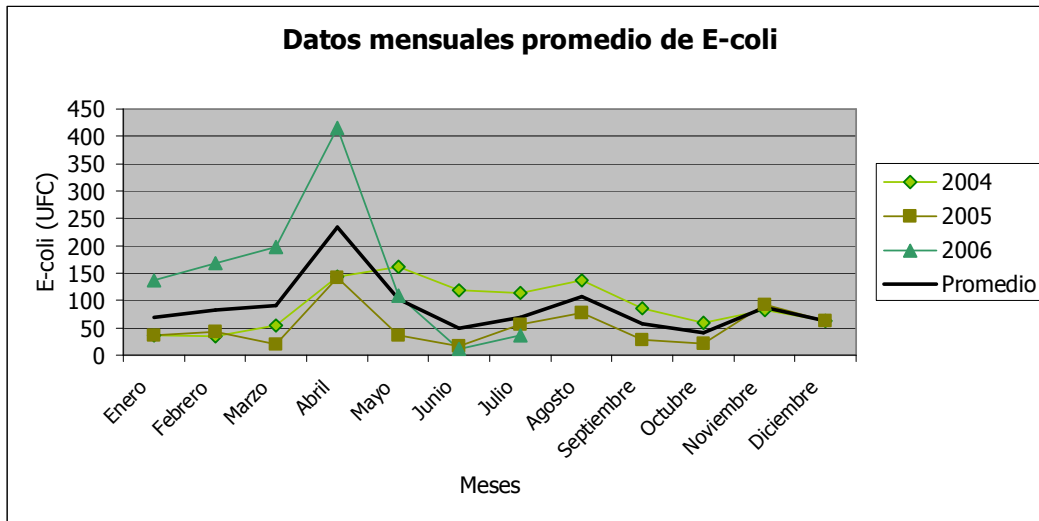
**Gráfico 3: Comportamiento mensual promedio de Coliformes totales**



Fuente: Datos EMPOCABAL

El comportamiento mensual de las concentraciones de E-coli también muestra una importante variabilidad a lo largo del año, pero una presencia sistematizada de este tipo de contaminación en las aguas en el mes de abril, momento en que aumenta sensiblemente su concentración (Gráfico 4).

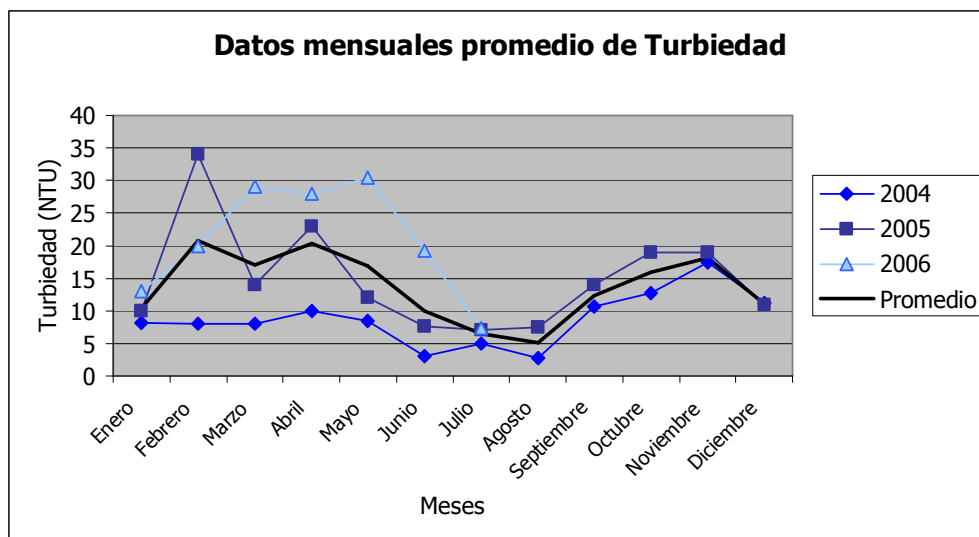
**Gráfico 4: Comportamiento mensual promedio de E-coli**



Fuente: Datos EMPOCABAL

En cuanto a las características físicas, la única variable que se analizó fue la de Turbiedad, dado que es la única que no cumple con las normas establecidas en agua cruda<sup>5</sup>. El comportamiento de las series mensuales muestra que sólo en los meses de menores precipitaciones (junio, julio y agosto) (**Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), los valores de la turbiedad en el agua son relativamente bajos y se acercan a cumplir con la norma. Sin embargo en los meses de mayores lluvias la turbiedad del agua en el río aumenta considerablemente, corroborando la hipótesis de que esta contaminación está relacionada con la erosión hídrica en la cuenca.

**Gráfico 5: Comportamiento mensual promedio de la Turbiedad**



Fuente: Datos EMPOCABAL

<sup>5</sup> Dentro de los datos facilitados por la planta de Empocabal no se registran los sólidos suspendidos en el agua cruda.

Teniendo una idea acerca de la concentración y del comportamiento de las variables que están afectando la calidad del agua en la cuenca alta del río Campoalegre, es necesario ahora analizar los costos asociados a su tratamiento y la forma en que se relacionan en particular los costos de los insumos químicos utilizados para el tratamiento del agua con las variables físicas y microbiológicas, en particular las concentraciones de E-coli, Coliformes totales y la Turbiedad.

En términos generales los costos asociados a la planta de tratamiento de Empocabal se dividen en:

- Costos de insumos químicos totales (CIQT): son los costos de la compra de los diferentes insumos químicos que utiliza la planta. Lamentablemente la forma en que se registran estos costos por la tesorería de la planta no permite saber exactamente cuáles costos están asociados sólo a los insumos utilizados en el tratamiento del agua y agregan los costos de éstos con los costos de los reactivos y otros químicos utilizados en el laboratorio para medir los diversos parámetros del agua cruda y del agua tratada.
- Costos de depreciación: son los costos asociados al mantenimiento de las instalaciones, las redes, la maquinaria y los diferentes equipos de la planta.
- Costos de operativos: son los costos de los salarios del personal de la planta, las horas extra, el transporte de funcionarios, comisión de la CRA, honorarios y servicios públicos.

Con base en estos costos, el valor por metro cúbico de agua para el año 2005 en la planta fue de \$144, que es una cifra alta si se compara con la reportada por otros estudios como el de Sarmiento et al. (2005), que para la planta del río la Vieja en Cartago calcula un costo de \$130.5 por metro cúbico y Murtinho, et al. (2006), que para la planta del río Suárez en Chiquinquirá presenta unos costos de \$95,75 por metro cúbico.

La producción total de agua promedio mensual en la planta para el intervalo de enero de 2004 y junio de 2006 fue de 1.052.308 m<sup>3</sup>, para un costo mensual promedio de producción de \$151.532.352 y unos costos totales anuales de \$1.822.072.462. Este precio es mucho mayor al reportado por Murtinho, et al. (2006), para el tratamiento de la planta de Chiquinquirá que potabiliza las aguas del río Suárez en el departamento de Cundinamarca<sup>6</sup>.

**Tabla 7: Comparación con otras planta de tratamiento**

<b>Planta</b>	<b>Turbiedad (NTU)</b>	<b>E-Coli (UFCx103)</b>	<b>Coliformes (UFCx103)</b>	<b>Costo promedio de insumos químicos totales (\$/m3)</b>
Empocabal	13,89	90,16	1 012,77	144
Empochiquinquirá	67,29	15	240	95,75
Weisner				42,53
Emcartago	132,3	29	0,037	130,49

Fuente: Datos de Sarmiento et al (2005) y Murtinho et al (2006)

<sup>6</sup> El cálculo estimado del costo de tratamiento de agua en Empochiquinquirá es de 262 millones de pesos para el año 2006.

Como se planteó en la sección anterior, se utilizó el siguiente modelo econométrico para establecer el efecto de la contaminación sobre los costos de tratamiento del agua cruda, con el fin de evaluar el valor económico de la calidad de agua en la cuenca alta del río Campoalegre:

$$\ln(CIQ) = \beta_0 + \beta_1 \ln(W) + \beta_2 \ln(q^{fis}) + \beta_3 \ln(q^{quim}) + \beta_4 \ln(q^{mic}) + e_i$$

El modelo fue ajustado a las condiciones propias encontradas para la calidad del agua de los ríos donde toma el agua la planta, en particular se eliminó el efecto de los parámetros químicos en vista de que ninguno sobrepasa las concentraciones máximas establecidas en la norma y por tal motivo no es necesario realizar ningún tratamiento específico para ellos, así que la función final fue la siguiente:

$$\ln(CIQ) = \beta_0 + \beta_1 \ln(W) + \beta_2 \ln(q^{fis}) + \beta_3 \ln(q^{mic}) + e_i$$

Donde;

CIQ : costos insumos químicos

W : volumen de agua producida

$q^{fis}$  : propiedad físicas del agua = Concentración de Turbiedad

$q^{mic}$  : propiedades microbiológicas del agua:

e: es un componente de error de la regresión

El índice de parámetros microbiológico fue calculado utilizando la metodología de componentes principales descrita por Sarmiento et al. (2005), donde se encontró la siguiente relación luego del análisis:

	F1	F2
Coliformes		
totales	0,707	0,707
Ecoli	0,707	-0,707

Lo que permite plantear la siguiente relación entre ambas variables y el índice de calidad de las propiedades microbiológicas

$$q^{mic} = 0,707(E - coli) + 0,707(Coliformes)$$

Para estimar el modelo que mejor describe el efecto de los parámetros microbiológicos y la turbiedad sobre los costos de producción de agua en la planta de Empocabal se utilizó en un principio los datos de los costos de insumos químicos totales (CIQT) a nivel mensual, reportados por la empresa para el intervalo de enero de 2004 a marzo de 2006. Los resultados de este modelo sin embargo no fueron significativos desde el punto de vista estadístico, es decir que las variables independientes no estaban explicando satisfactoriamente los cambios de la variable dependiente, en este caso, las concentraciones de las variables microbiológicas y la turbiedad no afectaban significativamente los costos de los insumos químicos totales.

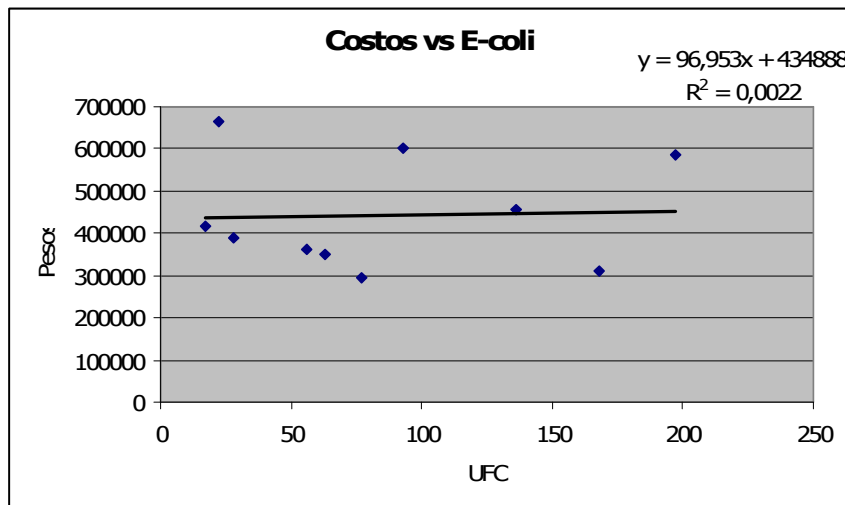
La explicación a esta situación se debe posiblemente a que los registros mensuales de los costos de insumos químicos totales es el valor agregado de los costos que

mensualmente tiene la planta por concepto de químicos en general, es decir tanto los químicos para la potabilización y tratamiento del agua, como los químicos y los reactivos para las pruebas de laboratorio, además al ser costos agregados de tesorería, no necesariamente están reflejando los costos de los insumos utilizados, dado que en un mes la planta puede comprar más insumos de los que realmente va a utilizar para ahorrar costos al comprar por volumen. De esta manera no es posible establecer independientemente los costos de los insumos para el tratamiento del agua de los costos de los insumos para los análisis en laboratorio de la calidad del agua. Por esta razón se decidió calcular de manera independiente los costos de los insumos químicos de tratamiento para una serie de datos donde se contaba con información diaria de la cantidad de sulfato de aluminio y cloro utilizados en la planta. El intervalo de datos va desde junio de 2005 a marzo de 2006 y con base en estas cantidades se calculó el costo de los insumos con base en los precios suministrados por Empocabal: a) Sulfato de Aluminio tipo B granulado, \$486 kg y b) Cloro, \$3.333 kg.

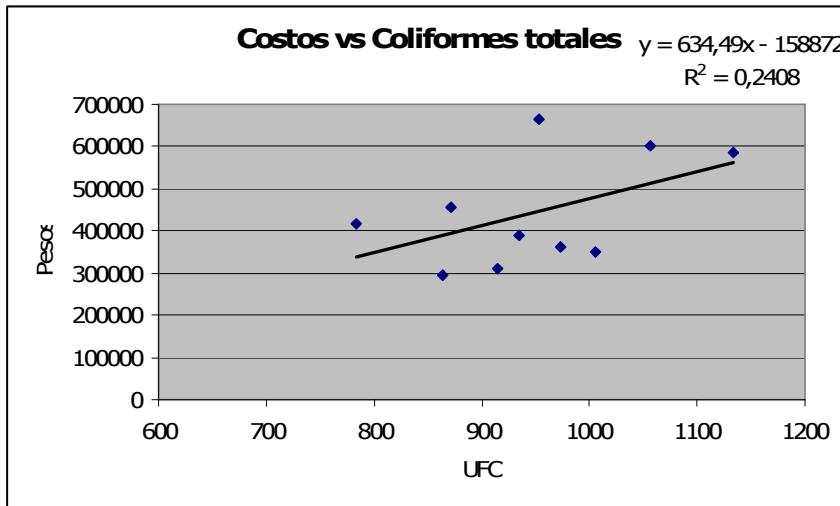
Los siguientes análisis se hicieron utilizando los costos calculados sólo teniendo en cuenta las cantidades de insumos químicos de tratamiento utilizados en la planta y sus precios de mercado (ANEXO 1).

Para evaluar la relación existente entre los costos de insumos químicos de tratamiento y las concentraciones de las variables independientes analizada, es decir E-coli, Coliformes totales y Turbiedad, se realizaron una serie de exploraciones para ver si existe en principio una relación.

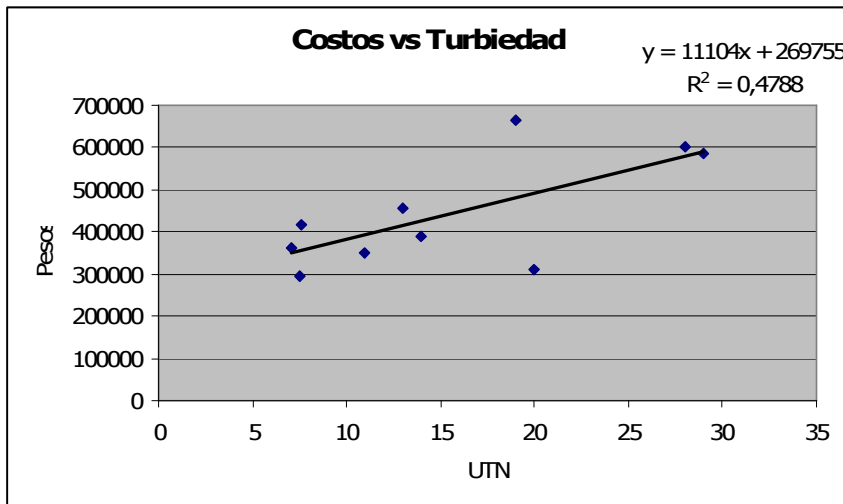
**Gráfico 6: Relación entre costos y concentraciones de E-coli**



**Gráfico 7: Relación entre costos y concentración de coliformes totales**



**Gráfico 8: Relación entre costos y turbiedad**



Como se puede observar en las gráficas, los coliformes totales y la turbiedad tienen una relación directa con los costos, es decir que aumentos en las unidades de alguna de las dos variables, aumentarán los costos de los insumos químicos de tratamiento en la planta. En particular la relación de los costos con la turbiedad es más alta que con los coliformes, sin embargo el  $R^2$  de la regresión lineal predice que la variación de los costos está siendo explicada sólo en un 47% por los cambios en la turbiedad bajo el supuesto de una relación lineal, lo que no es suficiente para decir que existe una dependencia importante. Por su parte los aumentos de concentración de E-coli no parecen tener ningún impacto sobre los costos de los insumos químicos de tratamiento.

La regresión que mejor se ajustó a los datos y en la que se explica mejor los cambios en los costos de insumos químicos con base en los parámetros de calidad del agua que entra a la planta de Empocabal fue la siguiente:



Observaciones	10,000
Suma de los pesos	10,000
GDL	6,000
R <sup>2</sup>	0,760
R <sup>2</sup> ajustado	0,640
DW	1,836
F	6,325
Pr>F	0,027*

\* Significativo al 95%

**Tabla 8: Mejor modelo econométrico**

Fuente	Valor	Desviación típica	t	Pr >  t
Constante	-44,048	21,712	-2,029	0,089
Ln Turbiedad	0,702	0,184	3,808	0,009**
Ln agua entrada <sup>7</sup>	4,335	1,563	2,775	0,032*
Ln microbiológicos	-0,991	0,703	-1,410	0,208

\* Significativo al 95% \*\* Significativo al 99%

Según estos resultados, las variables incluidas en el modelo están explicando un 76% de la variabilidad total de los costos de insumos químicos de tratamiento ( $R^2 = 0,76$ ). Los resultados muestran que la regresión explica bien las variaciones en los costos por efecto del cambio de la turbiedad del agua y de la cantidad de agua que entra a la planta, ambos coeficientes son significativos con el 95% de certitud. Este resultado es consistente a los encontrados por otros estudios en la valoración económica de la calidad del agua (Sarmiento et al. 2005).

Por su lado, el índice de parámetros microbiológicos no fue significativo, eso quiere decir que cambios en las concentraciones de E-coli y coliformes totales no va a cambiar significativamente los costos de insumos químicos. Este resultado es consistente con la información facilitada por Empocabal, dado que el consumo de cloro no varía mucho mensualmente y en promedio se utilizan 2.450kg (Empocabal, *com per*).

La constante, que representa el total de costos de insumos químicos de tratamiento cuando la turbiedad y los parámetros microbiológicos son cero, tiene un nivel de significancia que no permite establecer que sea diferente de cero, lo que concuerda con lo esperado, dado que cuando no hay contaminación, los costos de insumos químicos de tratamiento deben ser cero.

La ecuación del modelo es la siguiente:

Ln del costo de insumos químicos de tratamiento =  $-44,05 + 0,7024 \cdot \text{Ln Turbiedad} + 4,34 \cdot \text{Ln agua entrada} - 0,9914 \cdot \text{Ln microbiológicos}$

<sup>7</sup> Se utilizó el total de agua que entra a la planta y no el total de agua tratada, dado que la primera mejoraba el comportamiento del modelo y los diferentes parámetros de ajuste.

Según estos coeficientes se puede asegurar que un aumento del 1% en la Turbiedad va a generar un aumento de 0,70% en los costos de insumos químicos de tratamiento y un aumento del 1% en el agua que entra a la planta va a ocasionar un aumento del 4,34% en los costos de insumos químicos de tratamiento de la planta. Por otro lado, la contaminación por microorganismos, si bien no genera efectos importantes sobre los costos en los intervalos que tiene hoy en día en las aguas utilizadas por la planta de Empocabal, no significa que si se siguen degradando las condiciones de la cuenca, no se vuelvan en un futuro una variable con incidencia en estos costos, en todo caso se puede decir que con la cantidad de cloro promedio que se está usando mensualmente se logra llevar estos parámetros a los niveles establecidos por la norma.

Con estos resultados se puede entonces realizar una valoración económica de la calidad del agua en la cuenca alta del río Campoalegre. En particular mirando el efecto que tendría la reducción de la Turbiedad sobre los costos de insumos químicos para una serie de escenarios: a) reducción del 5%, b) reducción del 10% y c) reducción del 25%.

**Tabla 9: Escenarios de reducción de costos por disminución en la Turbiedad**

<b>Reducción</b>	<b>Costos anuales de insumos químicos</b>	<b>Reducción en los costos de insumos químicos de tratamiento</b>	<b>Hipotético: Reducción en los costos de insumos químicos totales</b>
Situación actual	5 318 363,34	-	
Reducción 5%	5 132 220,62	186 142,72	5 665 213,12
Reducción 10%	4 946 077,91	372 285,43	11 330 426,25
Reducción 25%	4 387 649,76	930 713,58	28 326 065,62

Estos resultados muestran, que si bien la Turbiedad tiene un papel importante en la estructura de costos de los insumos químicos de la planta de Empocabal, su efecto en términos reales es relativamente pequeño, en total un cambio en 1% de Turbiedad en la cuenca estaría generando un ahorro de tan solo \$37.228,54 al año en los costos de insumos químicos de tratamiento. Sin embargo si pudiéramos disminuir la turbiedad a niveles por debajo de la norma todo el año y garantizar que no se va a hacer uso de Sulfato de Aluminio en la planta, lo que implicaría de pasar de un promedio de 13,8 NTU a 5 NTU, lo que equivale a una reducción del 37% aproximadamente, entonces los beneficios serían de \$1.348.860,14 al año.

Pero bajo el supuesto de que los efectos se mantuvieran en el mismo nivel en los costos de insumos químicos totales que utiliza la planta, una reducción del 1% generaría una reducción en costos totales de \$1.133.042,62 al año. El valor final oscilaría entonces entre \$1.133.042,62 al año por una reducción de 1% en la turbiedad y \$130.304.262,4 al año para una reducción del 100% de la turbiedad.

## **Conclusiones:**

Debido a las dificultades encontradas para obtener una serie de datos del costo de insumos químicos totales utilizados en el tratamiento del agua en la planta de Empocabal y dado que sólo se pudo obtener los costos agregados de todos los insumos

químicos que se compran mensualmente, fue necesario utilizar para realizar esta valoración la cantidad de insumos químicos de tratamiento utilizada diariamente en la planta, obtener el promedio mensual y multiplicarlo por el precio por kilogramo de cloro y sulfato de aluminio que facilitó Empocabal. Es probable que al hacer este cálculo se haya omitido información importante de los costos de insumos químicos totales y por esta razón la valoración final sea una cifra pequeña. Sin embargo, si se asume que las cifras reales corresponden más al costo de insumos químicos total inicial, se ve que de todas maneras que el valor económico de la calidad del agua es pequeña, de 1.133.042,62 pesos al año para una mejora de 1%.

Con estos resultados se puede analizar la viabilidad económica y financiera de proponer incentivos para mejorar el manejo que se le está dando al suelo en la parte alta de la cuenca, con el fin de reducir la concentración de turbiedad en las aguas que llegan a la planta. Con respecto a las cifras es difícil decir con claridad si los ahorros potenciales podrían financiar y promover incentivos como: un pago por servicios ambientales, un arriendo de tierras, o la compra de tierras, dado que no se conoce con claridad cuál sería el nivel requerido de cambios en la cuenca para generar un impacto cuantificable en la turbiedad del agua, sin embargo se puede proponer que para cambios pequeños, de 1% a 10% probablemente el dinero no sea suficiente y para cambios mayores seguramente es necesario hacer grandes inversiones en terrenos extensos para obtener el efecto deseado, en ese sentido sería difícil proponer la financiación de alguno de estos instrumentos sólo con los resultados de este trabajo. Sin embargo, es importante aclarar que en este estudio estamos valorando únicamente el valor asociado a la mejora de los parámetros de calidad de agua, aquí no se tienen en cuenta otros usos asociados al agua, como su cantidad disponible, el uso para agricultura o ganadería, su uso como sumidero de residuos o su uso para la generación de energía eléctrica, que pueden incrementar sustancialmente el valor de este importante recurso.

## Bibliografía:

1. Aristizábal, S & Dossman, M. A. (2001). Plan de Manejo del Parque Municipal Natural Campoalegre. CARDER, Risaralda, 203 p.
2. Auditoría Ambiental LTDA. (1994). Diagnóstico Ambiental de los Municipios de Pereira, Desquebradas, Marsella y Santa Rosa de Cabal. Volumen IV Municipio de Santa Rosa de Cabal. Bogotá.
3. CODEGAR, 2005. Caracterización de la Ganadería Bovina en Risaralda. Informe final convenio CARDER – CODEGAR.
4. CRA, (2001). Regulación Integral del sector de agua potable y saneamiento básico en Colombia. Resolución CRA 151 de 2001.
5. Dasgupta, S. Huq, M., Wheeler, D., Zang, C. (2001). Water pollution abatement by Chinese industry: cost estimates and policy implications. Applied Economics, No. 33.
6. Decreto 475 de 1998. Normas técnicas de calidad del agua potable.
7. Freeman III, A.M., (1993). The measurement of environmental and resource values. Theory and methods. Resource for the Future, Washington, D.C.
8. Informe Ambiental de Risaralda (1998). Contraloría General del Risaralda.
9. Murtinho, F., C. A. Moreno, M. A. Fernández & C. A. Borda al. (2006). Valoración económica de los principales bienes y servicios provistos por los ecosistemas estratégicos de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR
10. Sarmiento, A.; D. Marcelo & J. M. Villa, (2005). Propuesta Metodológica para la Evaluación del Impacto de la Contaminación de las Cuencas Hídricas del País: Estudio de caso del río “La Vieja”. En: DNP – Dirección de Estudios Económicos. Archivos de Economía, Documento 297.
11. Ríos, G. (1999). Plan de Manejo Ambiental de la Cuenca del río Campoalegre. CARDER.
12. Uribe, E., Mendieta, J. C., Jaime, H., y Carriazo, F. (2003). Introducción a la valoración ambiental y estudios de caso. Universidad de los Andes, Ediciones Uniandes, Bogotá.

## ANEXO 1: Serie de datos utilizados para los análisis estadísticos

### A. Serie Mensual enero 2004 a julio 2006:

Mes	Año	Coliformes totales	Ecoli	Turbiedad
1	2004	966	36	8,2
2	2004	981	34	8,08
3	2004	1152	55	8,04
4	2004	1121	144	10
5	2004	1207	161	8,4
6	2004	1175	119	3,1
7	2004	1186	114	5
8	2004	1172	136	2,7
9	2004	980	86	10,6
10	2004	869	59	12,8
11	2004	1095	83	17,4
12	2004	972	63	11,2
1	2005	723	36	10
2	2005	756	43	34
3	2005	831	20	14
4	2005	1084	141	23
5	2005	808	37	12
6	2005	783	17	7,6
7	2005	974	56	7,1
8	2005	863	77	7,5
9	2005	934	28	14
10	2005	953	22	19
11	2005	1056	93	19
12	2005	1006	63	11
1	2006	872	136	13
2	2006	914	168	20
3	2006	1134	197	29
4	2006	1253	416	28
5	2006	1095	108	30,4
6	2006	1040	11	19,3
7	2006	1441	36	7,3

**B. Serie utilizada para el modelo econométrico:**

Mes	Año	Coliformes totales	Ecoli	Turbiedad	Total agua tratada	Total agua entrada	Sulfato kg	Cloro kg
6	2005	783	17	7,6	1057114	1586184	357,517241	99
7	2005	974	56	7,1	1109980	1602240	283,258065	91,3
8	2005	863	77	7,5	1082875	1452255	184,548387	83,8
9	2005	934	28	14	1049466	1444683	371,666667	85
10	2005	953	22	19	1059714	1529300	936,419355	86,2
11	2005	1056	93	28	1017742	1430712	799,2	86,5
12	2005	1006	63	11	1095488	1554276	296,774194	84
1	2006	872	136	13	1108645	1530754	537,870968	80
2	2006	914	168	20	1023800	1420518	275,035714	72,2
3	2006	1134	197	29	1101403	1520440	812,677419	77,9