

# DISEÑO DE UN ESQUEMA DE COMPENSACIÓN / PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES EN LA CUENCA DEL RÍO CALI

## INFORME FINAL

Presentado por: Fundación CIPAV

CENTRO PARA LA INVESTIGACIÓN EN SISTEMAS SOSTENIBLES DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA, CIPAV



Personería Jurídica: Resolución No. 431 de la Gobernación del Valle del Cauca  
Dirección: Carrera 25 No. 6 - 62 Cali, Valle del Cauca  
Teléfonos: PBX 57-2-5243061, FAX: 57-2-5190061 Cali  
Página web: [www.cipav.org.co](http://www.cipav.org.co)

2011

## Contenido

---

<b>Introducción</b> .....	7
1. Zona de estudio y servicios ambientales .....	8
<b>La cuenca del Río Cali</b> .....	8
Delimitación de la zona de estudio .....	9
2. Información bio-física y socio-económica .....	10
<b>Usos del suelo</b> .....	11
Conflicto por usos del suelo.....	11
Aspectos sociales e institucionales.....	11
Situaciones de amenaza sobre los servicios ambientales .....	12
3. Línea base del servicio ambiental (modelación SWAT).....	13
<b>Esquema metodológico</b> .....	13
<b>Resultados de la calibración en la producción de agua</b> .....	15
<b>Modelamiento de la subcuencas</b> .....	16
<b>Simulación de escenarios para la subcuencas de interés</b> .....	17
4. Focalización de sitios prioritarios para el desarrollo del esquema de PSA.....	18
<b>Caracterización de los polígonos a partir de información primaria</b> .....	19
<b>Subdivisión de los polígonos</b> .....	20
<b>Calidad del agua de fuentes abastecedoras de acueductos rurales</b> .....	22
<b>Resumen de variables calculadas en las quebradas</b> .....	26
5. Análisis de actores sociales e institucionales .....	27
EMCALI .....	27
EPSA .....	28
6. Valoración económica de los servicios ambientales hidrológicos en la cuenca del Río Cali .....	28
<b>Desarrollo de esquema de compensaciones</b> .....	29
<b>Análisis y cálculo del costo de implementación del menú técnico</b> .....	30
<b>Cálculo de la disposición a pagar por los usuarios priorizados</b> .....	31
<b>Análisis costo – beneficio</b> .....	32
7. Menú técnico de alternativas para restauración ecológica .....	33
<b>Aislamiento de corredores ribereños</b> .....	33
<b>Regeneración natural asistida</b> .....	34
8. Marco legal.....	35
<b>Marco constitucional</b> .....	35

<b>Normatividad legal</b> .....	36
<b>Políticas ambientales</b> .....	36
9. Propuesta de esquema de PSA para la cuenca Río Cali.....	36
Fuentes de financiación de la estrategia de PSA.....	37
<b>Arreglos institucionales para ejecutar estrategias o esquemas de PSA</b> .....	40
<b>Sostenibilidad de la estrategia de PSA</b> .....	40
<b>Administración de los recursos aportados por entes públicos y privados</b> .....	41
<b>Etapas para la implementación de una estrategia de PSA</b> .....	42
10. Esquema de monitoreo.....	44
<b>Monitoreo de la implementación de las actividades o usos del suelo</b> .....	44
<b>Monitoreo de la sedimentación</b> .....	45
<b>Medidas de impacto</b> .....	45
<b>Biota acuática</b> .....	45
11. Objetivos, metas y costos de implementación el esquema de PSA propuesto definidos .....	46
<b>Objetivos</b> .....	46
<b>Metas</b> .....	46
12. <b>Actores participantes en el esquema, roles y arreglos institucionales identificados.</b> ....	48
<b>Mecanismo de operación para la consolidación del PSA</b> .....	48
Bibliografía .....	50

## Lista de tablas

Tabla 1. Usos actuales del suelo en las subcuencas Felidia y Pichindé.....	11
Tabla 2. Conflictos por usos del suelo en las subcuencas Felidia y Pichindé.....	11
Tabla 3. Distribución de predios en las subcuencas Felidia y Pichindé.....	13
Tabla 4. Red de estaciones utilizadas para la información climática.....	14
Tabla 5. Aporte actual, de sedimentos en los sectores priorizados y la disminución simulada a partir de la implementación de corredores. ....	21
Tabla 6. Calidad de agua en bocatomas rurales y río Felidia en la cuenca del río Cali.....	23
Tabla 7. Variables calculadas en las quebradas abastecedoras de acueductos rurales la cuenca río Cali, Cali, Valle del Cauca.....	26
Tabla 8. Costos asociados de la potabilización del agua por el acueducto de Cali.....	28
Tabla 9. Transferencia causada por las centrales Río Cali desde 1995 a 2006.....	29
Tabla 10. Costos de producción y valores de venta a precios de mercado. ....	29
Tabla 11. Costos de oportunidad mínimo y el monto anual compensar. ....	30
Tabla 12. Construcción de corredores a partir de cercas, costo por hectárea. ....	30
Tabla 13. Aislamiento de correderos ribereños y regeneración asistida, costo por hectárea. ....	31
Tabla 14. Estimación de sedimentos en la cuenca Río Cali a partir de varios escenarios. ....	31
Tabla 15. Relación beneficio – costo con disponibilidad de pago. ....	32
Tabla 16. Especies recomendadas para iniciar procesos de regeneración asistida en la cuenca del río Cali.....	34
Tabla 17. Opciones de financiamiento (instituciones y empresas privadas).....	37
Tabla 18. Polígonos, predios y disminución de sedimentos esperados bajo la intervención del esquema de PSA la cuenca del río Cali.....	46
Tabla 19. Resumen de los costos de implementación de la propuesta de corredores. ....	47
Tabla 20. Propuesta de flujo de recursos del esquema de PSA en la cuenca río Cali.....	47

## Lista de figuras

Gráfica 1. Correlación entre el caudal real vs simulado para la cuenca Cali. Estación limnimétrica Bocatoma de San Antonio. ....	15
Gráfica 2. Comparación del caudal mensual simulado y el real en la estación Bocatoma, San Antonio.....	16
Gráfica 3. Comparación de caudal específico medio mensual simulados en las subcuencas Felidia y Pichindé.....	17
Gráfica 4. Simulación del caudal bajo la actual distribución de coberturas y el modelo propuesto con corredores de conservación.....	17
Gráfica 5. Hectáreas sembradas por tipo de cultivo en las subcuencas Felidia y Pichindé. ....	20
Gráfica 6. Línea base del aporte actual sedimentación vs la simulación a partir de la propuesta de corredores. ....	21
Gráfica 7. Abundancia de familias de macroinvertebrados en la quebrada abastecedores de la bocatoma del acueducto de Felidia, Cali, Valle .....	24
Gráfica 8. Abundancia de familias de macroinvertebrados en la quebrada Los Valencia abastecedores de la bocatoma del acueducto de Pichindé, Cali, Valle .....	24
Gráfica 9. Abundancia de familias de macroinvertebrados en la quebrada El Silencio abastecedora- Canal Bocatoma Yanaconas, Mameyal- Cali, Valle .....	25
Gráfica 10. Abundancia de familias de macroinvertebrados el río Felidia, Cali, Valle .....	26
Gráfica 11. Comportamiento de los costos de potabilización de la planta Río Cali (2000 -2010) (EMCALI 2011).....	29
Gráfica 12. Escenarios de ahorro para la Empresa de acueducto EMCALI.....	32
Gráfica 13. Esquema de contraprestación por servicios ambientales en la cuenca río Cali. ....	47
Gráfica 14. Esquema de operación para la consolidación del esquema de PSA en las subcuencas Felidia y Pichindé.....	49

## Lista de mapas

Mapa 1. Ubicación de la cuenca del Río Cali.....	8
Mapa 2. Las subcuencas Felidia y Pichindé, son las principales abastecedoras de la bocatoma de San Antonio. ....	10
Mapa 3. Modelación de la producción de sedimentos a partir del esquema actual (Izq.) y con un aumento de la cobertura vegetal a partir de corredores de conservación (Der.) .....	18
Mapa 4. Mapa de la cuenca con ubicación de los polígonos, donde se destacan los focos de sedimentación.....	19

## Lista de fotos

Foto 1. Cuenca baja del río Cali donde se detectan potreros, ganado y asentamientos ilegales en predios del municipio. ....	33
Foto 2. Cuenca del río Felida, dentro de los factores que la afectan se cuenta el vertimiento de aguas servidas provenientes de viviendas. ....	33

## **Resumen**

La ciudad de Cali, cuenta para su suministro de agua de fuentes como la cuenca del Río Cauca que abastece al 75% de la ciudad y la Cuenca del Río Cali que abastece entre un 15 a un 20% incluyendo la red hospitalaria y otros abastecimientos menores en a reforma y Meléndez.

Por diferentes procesos como urbanización, ampliación de frontera agrícola y deforestación, ambas cuencas han perdido parte importante de su cobertura, lo cual trae dificultades en el abastecimiento y potabilización del agua y anualmente en repetidas ocasiones la ciudad sufre de desabastecimiento.

El pago ó compensación por servicios ambientales ó ecosistémicos en la última década como una alternativa complementaria para la gestión ambiental en la cual un proveedor de servicios ambientales recibe de manera contractual pagos o compensaciones de parte de los usuarios de los mismos, de manera condicionada, por proveer dichos servicios ambientales, que para el caso hidrológico se relacionan con la regulación de los caudales, la disminución de sedimentos y contaminantes.

Por interés de las entidades Ambientales con injerencia en la cuenca del Río Cali, se realizó un proceso inter-institucional de formulación de un esquema de compensación / pago por servicios ambientales para esta Cuenca.

**Palabras clave:** *pago por servicios ambientales , incentivos, cuenca del Río Cal.*

## Introducción

---

Los servicios ambientales son, en términos amplios, los beneficios que la humanidad obtiene de los ecosistemas y que soportan y satisfacen la vida humana. Estos pueden ser, según la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (2003), servicios de suministro, servicios de regulación, servicios de soporte y servicios culturales.

Dentro de los servicios ambientales, tal vez los más importantes y sensibles para la comunidad a nivel local y regional son los relativos a los recursos hídricos pues el agua es necesaria para el soporte de la vida y para la mayoría de las actividades productivas sean estas relacionadas con agricultura, la industria o la producción de energía, entre otros. Los servicios ambientales hídricos podrían ser clasificados como servicios de suministro (aporte de agua) y de regulación (provisión segura de agua en todas las épocas, purificación de agua y prevención de inundaciones). En algunos contextos, el agua o los ambientes acuáticos (ríos, manantiales y lagunas) tienen también un valor espiritual, ya sea en su ambiente natural o como líquido para las diferentes actividades cotidianas.

La cuenca del río Cali, aunque hace parte de aproximadamente la mitad del territorio del Parque Nacional Natural Los Farallones, ha sufrido procesos de transformación del paisaje por la expansión de la frontera agropecuaria y asentamiento de poblaciones. Esta cuenca, como todas las de la zona Andina Colombiana, está conformada por pequeñas quebradas o riachuelos que dan origen a ríos de mayor tamaño, en este caso el río Cali- fuente importante para dicha ciudad, pues de allí se capta agua para el 20% de la población. Estas quebradas además son muy importantes a nivel local, pues abastecen a los acueductos rurales de poblados como Felidia, Pichindé, Los Andes y demás veredas de la zona, y también son usadas en actividades agropecuarias propias de la región. Estas actividades, afectan la cantidad y calidad agua, y ponen en riesgo la salud de los habitantes que se surten de agua de los acueductos rurales.

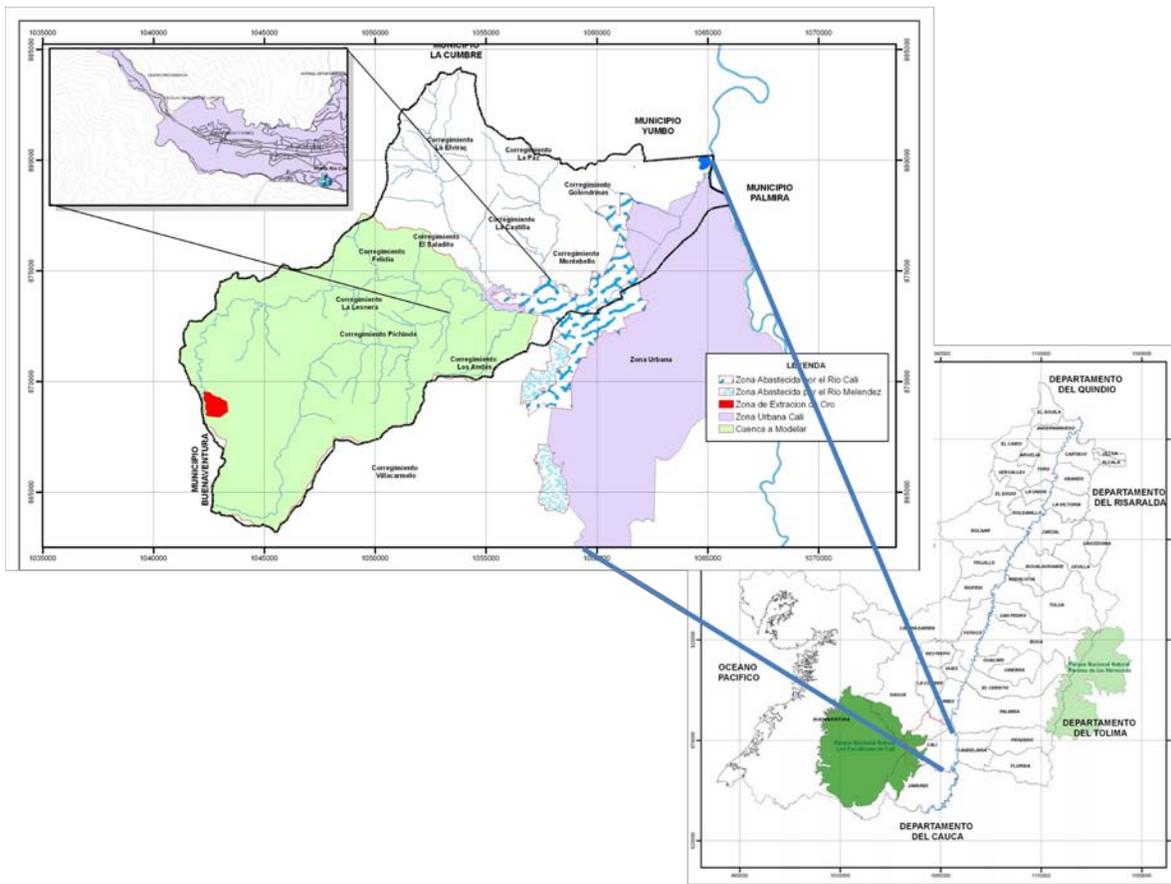
Una estrategia para revertir los efectos de la presión de sistemas agropecuarios sobre el recurso hídrico, es el pago voluntario de los beneficiarios del servicio ambiental a los propietarios de los predios donde se genera dicho servicio, por la provisión del recurso con calidad, esto permitirá mantener las condiciones favorables del ecosistema, disminuyendo los riesgos de salud de los habitantes. En Colombia desde hace varios años se han venido trabajando modelos para el pago o compensación por los servicios ambientales generados a diferentes escalas del paisaje.

El presente documento recopila, de acuerdo con lo establecido contractualmente entre Patrimonio Natural y CIPAV, los productos resultantes del proceso de diagnóstico de las condiciones facilitadoras de la implementación de esquema de PSA en el área de influencia de la cuenca río Cali, a través de varios elementos como zonificación ambiental, el análisis de la oferta y la demanda del servicio hídrico, la información biofísica y socioeconómica, la modelación hídrica para una priorización de los sitios con mayor impacto sobre la disponibilidad y calidad de agua y el análisis de los actores sociales e institucionales. Para la propuesta de compensación, se expone el análisis de costo de oportunidad de los gestores del servicio y las posibles fuentes de financiamiento para el PSA, junto con la revisión del marco legal y políticas relacionadas. Finalmente se describe una propuesta con los costos y metas de impacto del proceso, los cuales se obtendrían al implementar el esquema de PSA.

## 1. Zona de estudio y servicios ambientales

### La cuenca del Río Cali

La cuenca del río Cali se localiza en la vertiente nororiental del Parque Nacional Natural Los Farallones de Cali (PNNFC), en el departamento del Valle del Cauca, y comprende la zona noroccidental de la ciudad Santiago de Cali y el sur del municipio de Yumbo. El río Cali nace de la confluencia de los ríos Pichindé y Felidia a una altura aproximada de 1.300 msnm, en la vertiente nororiental del Parque Nacional Natural Los Farallones de Cali (PNNFC) (Mapa 1). La cuenca del río Cali hace parte de la cuenca hidrográfica del río Cauca en su valle alto, en el suroccidente de Colombia. El área total de la cuenca es 215 km<sup>2</sup> de los cuales el 95,3% pertenece al municipio de Cali y el 4,7% restante al municipio de Yumbo. La cuenca del río Cali contiene a 12 corregimientos de los municipios de Cali y Yumbo y al norte de la zona urbana de Cali. De acuerdo con el Departamento Administrativo de Planeación Municipal –DAPM (2008) y los mapas sociales de corregimientos de Cali elaborados por la Alcaldía Municipal, en las subcuencas Felidia y Pichindé viven 5.108 personas, concentradas principalmente en la cabecera del corregimiento Felidia y sus veredas.



Mapa 1. Ubicación de la cuenca del Río Cali.

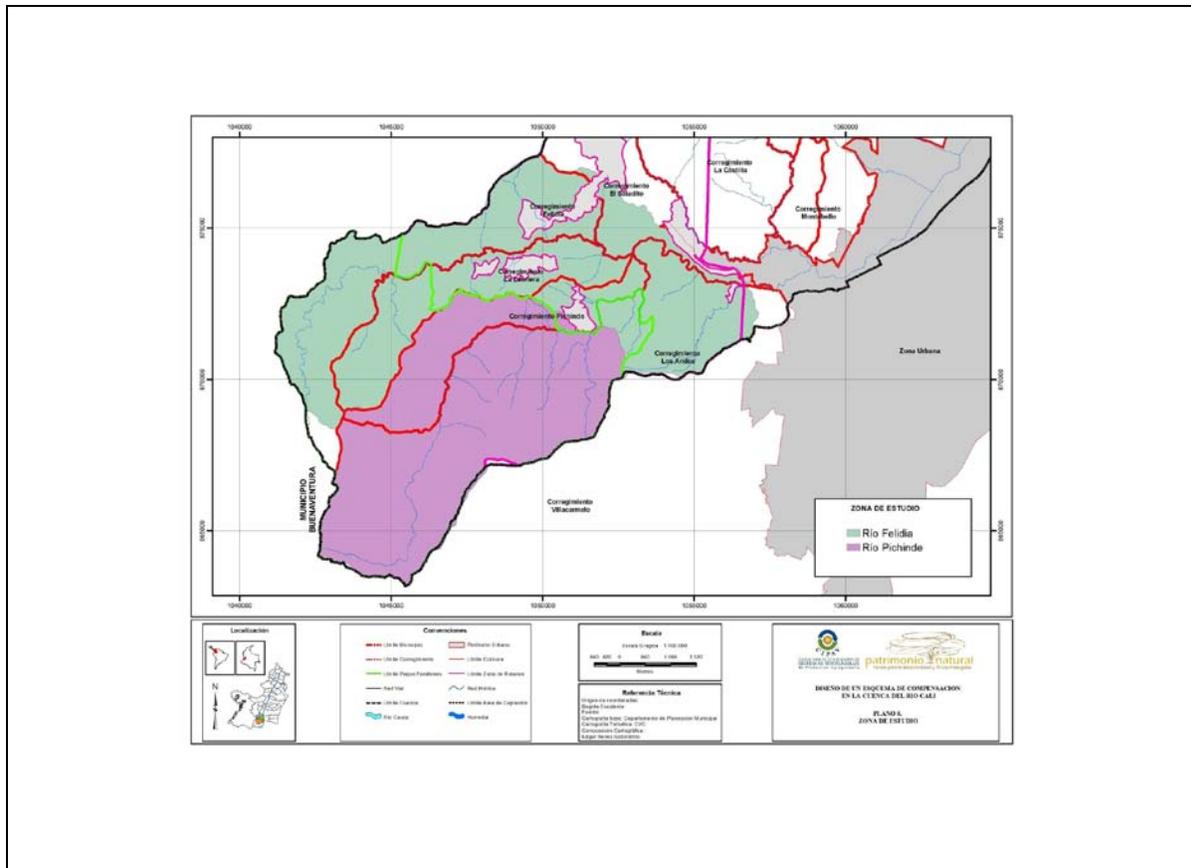
El río Cali ha sido tradicionalmente el principal proveedor de agua para la ciudad desde los primeros años de su fundación, sólo desplazado por el río Cauca en la segunda mitad del siglo XX. Hoy el río brinda agua en cantidad y calidad suficientes para abastecer a más de 420 mil personas gracias a la alta pluviosidad en la cuenca y la regulación natural de los caudales que brindan las áreas de bosques naturales y suelos protegidos en la cuenca. De no existir esta cobertura vegetal, se presentarían frecuentes avenidas torrenciales durante el invierno y severas sequías en el verano debido a la baja capacidad de retención de agua de los suelos descubiertos.

En cuanto a la generación hidroeléctrica, sobre el río Cali se encuentran instaladas dos centrales hidroeléctricas operadas la Empresa de Energía del Pacífico S.A (Epsa), con los puntos de captación Río Cali 1 y 2, que conducen a la bocatoma San Antonio.

### **Delimitación de la zona de estudio**

Las subcuencas productoras agua hasta la bocatoma de San Antonio comprende 11.923,5 y se extiende sobre los ríos Felidia, Pichindé y Cali (Mapa 2).

<b>Subcuenca</b>	<b>Extensión (has)</b>	<b>Veredas y corregimientos</b>	<b>Límites altitudinales</b>
Pichindé	5.272,5	Corregimientos: Andes, Peñas Blancas y Pichindé. Veredas: Los Carpatos, Pueblo Nuevo, Quebrada Honda.	La subcuenca Pichindé. Abarca las zonas más altas del PNNFC donde nace el río Pichindé (3.800 msnm) hasta la estación hidrométrica Pichindé, 4,7 km arriba de la confluencia con el río Felidia (1.550 msnm).
Felidia	6.648	Corregimientos: Felidia, La Leonera y Pichinde. Veredas: Loma de la Cajita, La Cabecera, El Cabuyal, El Faro y Pilas de Cabuyal	El rango altitudinal de esta subcuenca comprende la parte alta del PNNFC y la zona media de la cuenca, entre los 3.150 msnm en y los 1.100 msnm, en la bocatoma del acueducto San Antonio.



**Mapa 2.** Las subcuencas Felidia y Pichindé, son las principales abastecedoras de la bocatoma de San Antonio.

## 2. Información bio- física y socio- económica

En las partes alta y media de la cuenca del río Cali se encuentra parte del Gran Bioma de Bosque Húmedo Tropical, los orobiomas bajo (500 – 1800 msnm y 18 – 24°C), medio (1.800 – 2.800 msnm y 12 – 18°C) y alto andinos (2.800 – 4.500 msnm) y una pequeña área de Zonobioma del Gran Bioma de Bosque Seco Tropical (IDEAM et al. 2004).

Las subcuencas Pichindé y Felidia presentan un patrón de drenaje de tipo subdentrítico; con drenajes naturales de carácter torrencial. El río Pichindé recorre cerca de 16,4 km con una pendiente media de 12,7% por lo cual durante eventos de crecientes tiene un gran potencial de arrastre de sedimentos. El caudal medio mensual en la estación hidrométrica Pichindé (periodo 1969 – 2006) varía entre 1,6 m<sup>3</sup>/s (agosto) y 3,4 m<sup>3</sup>/s (mayo). El río Felidia nace de la confluencia de las quebradas La Mina, El Socorro y El Roble en el PNNFC. La pendiente media del río Felidia es 5,6%. Adicionalmente el río Felidia recibe las descargas de aguas residuales de los corregimientos Felidia y La Leonera. El caudal medio mensual en la estación Bocatoma en el periodo 1950 – 2006 varía entre 1,8 m<sup>3</sup>/s (agosto) y 6,1 m<sup>3</sup>/s (mayo) (CVC 2007).

## Usos del suelo

En la zona productora de agua de la cuenca Cali, la cobertura de suelo predominante es bosque natural (70%) incluyendo diferentes estados de sucesión desde rastrojos altos hasta bosques primarios, seguido por pastos (22%) y la vegetación de páramo, bosque plantado de eucalipto y pino, cultivos permanentes y transitorios y zonas urbana y recreativa, los cuales suman un 8% del área. Esto se debe en gran medida a la protección brindada por el PNNFC y la Zona de Reserva Forestal, y al hecho de que los grandes predios pertenecen a instituciones del Estado. En la Tabla 1, se encuentra los usos de suelo de las subcuencas Felidia y Pichindé.

Tabla 1. Usos actuales del suelo en las subcuencas Felidia y Pichindé

Uso actual	Felidia (ha)	Pichindé (ha)	Total general
Bosque natural	3.936	4.256	8.192
Pastos	1.900	652	2.552
Bosque Plantado	213	26	239
Cultivos transitorios	183	37	220
Zona urbana	146	10	156
Vegetación de paramo	30	102	132
Cultivos permanentes	82	38	120
Zona recreativa	96	1	97
Tierras eriales	5	15	20
Vías y caminos	13	3	16
Construcciones	6	0	6
Zona suburbana	4	0	4
Ríos	3	0	3
Cantera	1	0	1
Lagos	1	0	1

## Conflicto por usos del suelo

Tabla 2. Conflictos por usos del suelo en las subcuencas Felidia y Pichindé

Tipo de conflicto	Usos de suelo	Felidia (has)	Pichindé (has)	Total
<b>Sin conflicto</b>	Varios	4.798	4.777	9.575
<b>Alto</b>	Ganadería extensiva	1.281	388	1.669
	Cultivos transitorios	156	44	199
	Café-plátano	90	27	116
	Zonas de recreación	87	0	87
	Zonas urbanas	0	16	16
	Total Alto	1.614	475	2.088
<b>Zona urbana Cali</b>	Zona urbana Cali	193	0	193
<b>Moderado</b>	Zonas urbanas	6	0	6

En la zona productora de agua de la cuenca Río Cali, el 88% de territorio no presenta conflictos de uso, mientras que 12% se considera en alto grado de conflicto. La ganadería

es la actividad que más conflicto genera en la región, seguido por los cultivos transitorios y permanentes (Tabla 2).

### **Aspectos sociales e institucionales**

Los ríos Félidia, Pichinde, Aguacatal y Cali son elementos que influyeron e influyen en el desarrollo y localización de los asentamientos poblacionales, configurando un patrón de ocupación de tipo disperso e irregular en la zona intermedia de la cuenca (área rural: cabeceras de Felidia, Los Andes, Pichinde, La Leonera y La Elvira), y un patrón de ocupación altamente concentrado y regular dentro del perímetro urbano y con un relativo grado de dispersión e irregularidad en los bordes suburbanos (parte baja de la cuenca) (Universidad del Valle – CVC 2007).

En la cuenca del río Cali tienen jurisdicción tres autoridades ambientales por su gran valor en recursos naturales en los ámbitos nacional, regional y local. En la parte alta, el Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) a través de la Unidad Administrativa Especial de Parques Nacionales Naturales (UAESPNN), en la parte media, la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) y en la zona más baja de la cuenca, que abarca el perímetro urbano de Cali y algunas áreas sin reserva cerca de las cabeceras de los corregimientos, tiene jurisdicción el Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA), adscrito a la Alcaldía de Santiago de Cali (Paredes *et al.* 2007).

### **Situaciones de amenaza sobre los servicios ambientales**

Aunque se existe un aparente reducción de la deforestación, Paredes et al. (2007), en el área del PNNFC, se tienen registros esporádicos de extracción de madera ilegal (UAESPNN 2009, 2007) destinada a la construcción de viviendas producto auge de las casas de recreo en la región. En la Zona de Reserva Forestal se observa una densificación y fragmentación del territorio para la parcelación y oferta de propiedades con fines recreativos. En muchos casos, las soluciones de vivienda no tienen en cuenta la disposición de los desechos sólidos y las aguas residuales. Según Funvivir (2007) en entre el 95% y 96% de los nacimientos de agua en la subcuenca Felidia y Pichindé, hay presencia de *E. Coli* o Coliformes totales o fecales, por contaminación humana.

La ganadería extensiva es la actividad productiva de mayor amenaza sobre los bienes y servicios ambientales de la zona. El uso de rastrojos y pastos de baja calidad y persistencia, se asocia con un reducido margen de utilidad, lo que lleva a la necesidad de nuevas áreas de los bosques aledaños para la siembra de pastos, y prácticas como la quema para la renovación de praderas degradadas. Este fenómeno sumado a las fuertes pendientes, lleva a graves problemas de erosión, con un efecto notable en la sedimentación en los periodos de lluvias.

### **Tenencia de la tierra**

La estructura predial en la zona de estudio se caracteriza por un actual proceso de fragmentación en pequeñas parcelas como unidades productivas o como fincas de recreo de la población urbana de Cali. Este tipo de estructura agraria ha venido en aumento en el área rural del municipio de Santiago de Cali, incluyendo por supuesto la cuenca del río Cali (Díaz 2006).

El Departamento Administrativo de Planeación Municipal de Cali (DAPM) tiene en su registro predial 1.815 predios en las subcuencas de Felidia y Pichindé. Al sector público pertenece el 17%, el 57% a propietarios privados y el 26% de los predios restantes no cuentan con un titular identificado (Tabla 3). En cuanto a las áreas de estos terrenos, el 48% pertenece al Estado, el 25% a particulares, el porcentaje restante no tienen un titular identificado. Por tanto, el Estado, representado por la Alcaldía de Cali, el Dagma, la CVC y Emcali son los propietarios más importantes en la zona de estudio. Otro aspecto relacionado con la tenencia de tierras en la cuenca del río Cali es la titulación ilegal de predios tanto en la Zona de Reserva Forestal como dentro del PNNFC, donde no tiene validez la titulación de predios por su carácter de zonas especiales y, por tanto, no hay una justificación jurídica sobre la continua división de los mismos (Díaz 2006).

**Tabla 3.** Distribución de predios en las subcuencas Felidia y Pichindé

Subcuenca	Titular no Identificado		Privado		Público		Total	
	Has	No. de predios	Has	No. de predios	Has	No. de predios	Has	No. de predios
Pichindé	1.268	67	1.142	74	3.820	65	6.230	206
Felidia	2.120	399	2.061	944	2.345	240	6.525	1.583
<b>Total</b>	<b>3.368</b>	<b>455</b>	<b>3.203</b>	<b>1.018</b>	<b>6.165</b>	<b>305</b>	<b>12.755</b>	<b>1.789</b>

### 3. Línea base del servicio ambiental (modelación SWAT)

#### **Antecedentes del modelo SWAT**

El SWAT (Soil & Water Assessment Tool) incorpora las características de varios modelos del servicio de investigación agrícola del Departamento de agricultura de los Estados Unidos (USDA) y la Universidad de Texas (Arnold et al. 1998), y permite simular en cuencas hidrográficas, el efecto que tienen diferentes usos del suelo y prácticas agropecuarias sobre los flujos de agua y sedimentos. Se apoya en otros modelos como el SWRRB (Simulator for Water Resources in Rural Basins), para estimar producción de sedimentos y caudales desde fuentes no puntuales en vertientes, hasta un máximo de 10 subcuencas (Neitsch *et al.* 2001). Algunos parámetros que se pueden integrar a la modelación son hidrología, clima, sedimentación, temperatura del suelo, crecimiento de cultivos, nutrientes, pesticidas y manejo de cultivo.

#### Esquema metodológico

La modelación en SWAT incluye una fase de calibración, una fase de validación y una fase de generación de escenarios de cambios en el uso del suelo. En la fase de calibración se ajustan los niveles de escurrimiento calculados con los observados, hasta niveles de significación previamente concertados y satisfactorios, modificando algunos parámetros críticos. En la fase de validación se evalúa el comportamiento del modelo con los parámetros ajustados en un tiempo diferente. En la fase de generación de escenarios se modelan el caudal y los sedimentos bajo diferentes usos del suelo.

## Componentes del modelo hidrológico SWAT.

La modelación SWAT para la zona de estudio, se realiza mediante dos componentes, la subcuenca y el tránsito. El componente reservorio, también se puede desarrollar en la modelación, pero no aplica para el presente ejercicio.

El componente subcuenca, requiere parámetros como la hidrología, clima, sedimentación, crecimiento de cultivos, nutrientes, pesticidas y manejo agrícola. Para las subcuencas priorizadas de Felidia y Pichindé, sólo se desarrollaron los tres primeros.

Algunos de los parámetros descritos se introducen a partir de series históricas, otros a partir de datos puntuales. Algunos variables de respuesta como la sedimentación son el resultado de otras variables como el manejo de cultivos, la biomasa asociada, y los residuos sobre el suelo.

El componente tránsito, se define mediante el tiempo de viaje del agua en los canales. Se debe descontar la pérdida por transmisión, que depende entre otras variables, de la longitud del canal; las pérdidas por evaporación, que depende de la superficie de los canales. Este componente incluye el tránsito de sedimentos, en el cual operan dos parámetros simultáneos, la deposición y la degradación, que a su vez dependen del tamaño de las partículas y la profundidad del canal.

Para la modelación se utilizó fuentes de información cartográfica, con mapas a escala 1:50.000 y 1:25.000 (1997, CVC), sistema de información geográfica para la Cuenca Cali-2000 (CVC 2006) y perfiles modales del IGAC (1986). También se utilizó un modelo digital de elevación generado a partir de curvas de nivel. También se utilizaron mapas de coberturas (2000), suelos, red hídrica. Entre los atributos para el uso de suelo, se ajustaron las siguientes unidades: bosques, residencial densamente poblados, rastrojos, pastos, minería, cultivos permanentes, cultivos transitorios, bosques plantados y pajonales. Con la información de atributos de los suelos dominantes de la región, se construyó la base de datos con los tipos y características físicas de los suelo en estudio.

Para la información climatológica se utilizaron datos de la red descrita en la Tabla 4, algunos con periodo de registros de veintitrés (23) años (1981-2005).

**Tabla 4.** Red de estaciones utilizadas para la información climática.

Código	Cuenca	Nombre	Municipio	Entidad	Inicio	Tipo
2622400201	Cali	La Teresita	Cali	CVC	01/12/1966	CO
2622420103	Aguacatal	Aguacatal	Cali	CVC	01/03/1971	PG
2622400104	Cali	Brasilia	Cali	CVC	01/05/1965	PG
2622410104	Cali	Peñas Blancas	Cali	CVC	01/04/1965	PG
2622410102	Cali	Yanaconas	Cali	CVC	01/01/1953	PM
2622330106	Cañaveralejo	Las Brisas	Cali	CVC	01/02/1969	PM
2622330105	Cañaveralejo	Los Cristales	Cali	CVC	01/02/1969	PM
2622330102	Cañaveralejo	Cañaveralejo	Cali	CVC	01/02/1968	PG
2622400103	Cali	Planta Rio Cali	Cali	CVC	01/01/1953	PG
	Cali	El Danubio	Cali	IDEAM	01/03/2006	CO

Fuente: CVC, 2010

## Calibración

La calibración se realiza a través del ajuste de los parámetros de entrada que más afectan las salidas del modelo, a partir de variaciones no superiores al 10%. Una vez obtenidos los datos de producción de agua o sedimentos, a una escala mensual o multianual, se comparan con datos reales, y se establecen las diferencias a partir de regresiones.

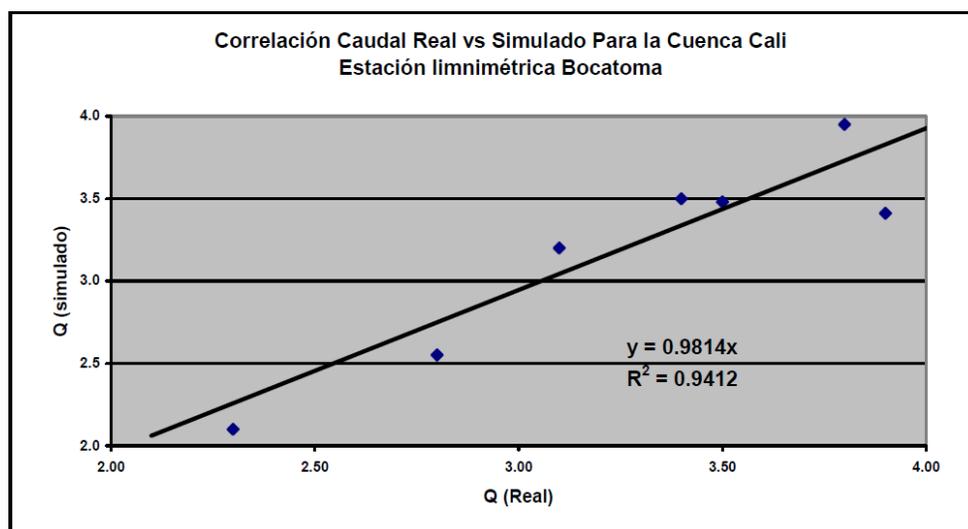
El anterior proceso es iterativo, hasta obtener valores aceptables en los parámetros críticos de salida del modelo, similares en los puntos de control. En el caso del cauda, se utilizaron estaciones limnimétricas en las subcuencas Felidia y Pichindé.

### Modelamiento

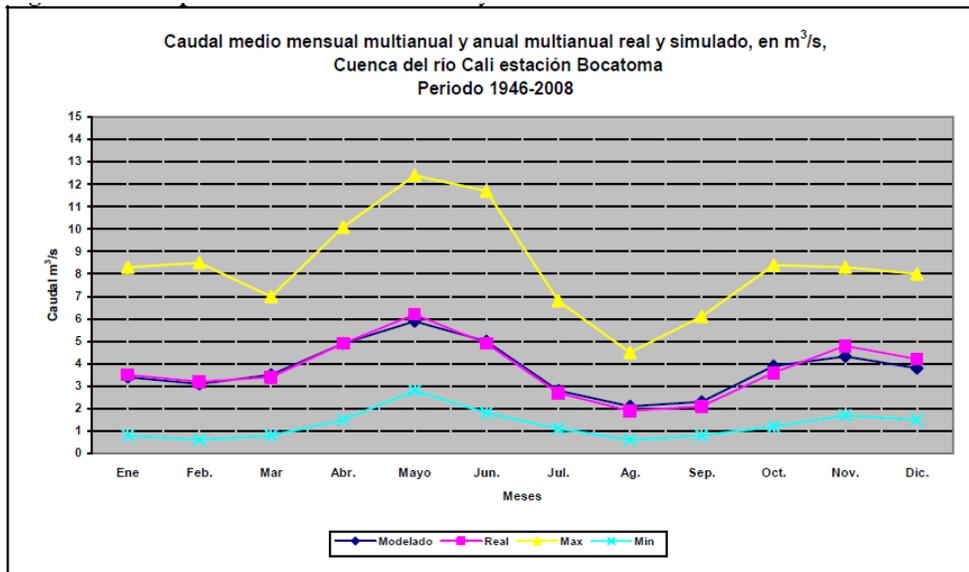
Es en esta etapa se pueden simular variaciones en los parámetros deseados, como son la producción de caudal y sedimentos en el punto de cierre de la cuenca, en la bocatoma de san Antonio. La modelación de los anteriores parámetros, se realizó bajo tres escenarios de cobertura vegetal, a partir de corredores de ribera en las subcuencas Pichindé y Felidía.

### Resultados de la calibración en la producción de agua

Algunos parámetros de entrada que rigen el movimiento del agua subterránea como la profundidad del acuífero, la capacidad de almacenamiento, la tasa de recarga y la velocidad del reflujo al río, se modificaron en el modelo, sin conocer los valores reales por falta de información, sin embargo, se obtuvieron estimativos confiables en la regresión. En la Gráfica 1, se encuentra la calibración de la curva de duración de caudales, y en la Gráfica 2, la comparación del caudal mensual simulado y el real para la bocatoma San Antonio.



**Gráfica 1.** Correlación entre el caudal real vs simulado para la cuenca Cali. Estación limnimétrica Bocatoma de San Antonio.

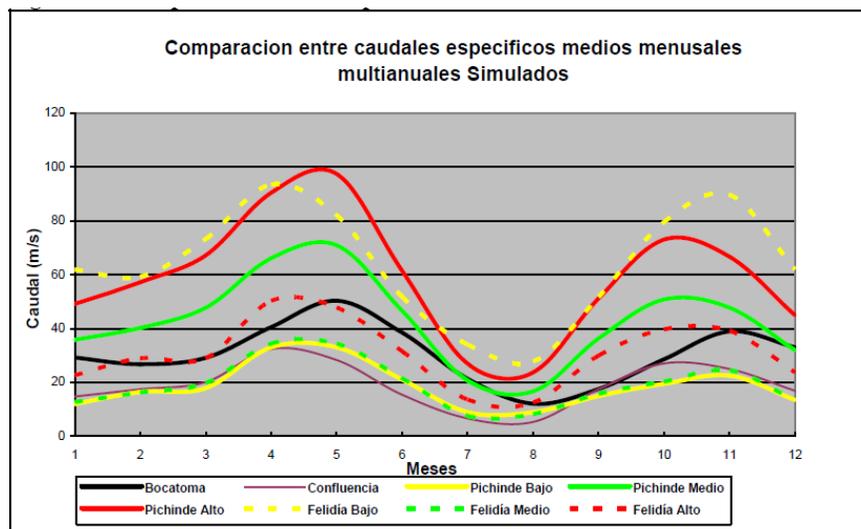


**Gráfica 2.** Comparación del caudal mensual simulado y el real en la estación Bocatoma, San Antonio.

### Modelamiento de la subcuencas

Se modeló la producción de agua en las subcuencas Felidia y Pichindé en sectores específicos (alto, medio y bajo), con el fin de evaluar su aporte a los caudales del río y determinar donde es conveniente priorizar las intervenciones para garantizar la oferta hídrica y disminuir la producción de sedimentos en la cuenca.

En la Gráfica 3, se aprecia que los sectores de mayor importancia son la parte alta y baja de la Subcuenca de Felidia y la parte alta del río Pichindé. Sin embargo, las primeras aportan más caudal por la mayor retención debido a su pendiente. Las áreas que siguen en producción de agua son Pichindé medio y bajo; por último, Pichindé bajo, Felidia medio y la zona de confluencia.



**Gráfica 3.** Comparación de caudal específico medio mensual simulados en las subcuencas Felidia y Pichindé.

### Simulación de escenarios para la subcuencas de interés

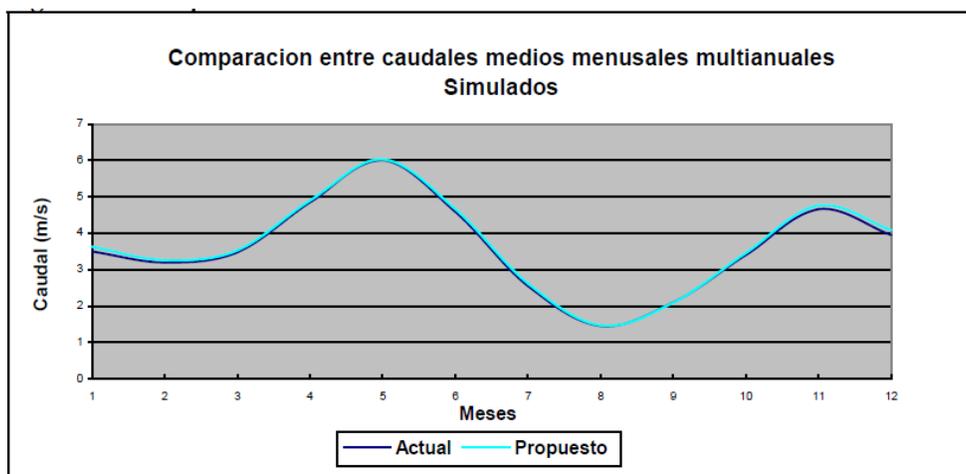
La cobertura vegetal es uno de los parámetros críticos para modelar el comportamiento hídrico de una cuenca. En el presente ejercicio se seleccionaron dos escenarios:

1. Actual
2. Actual con corredores

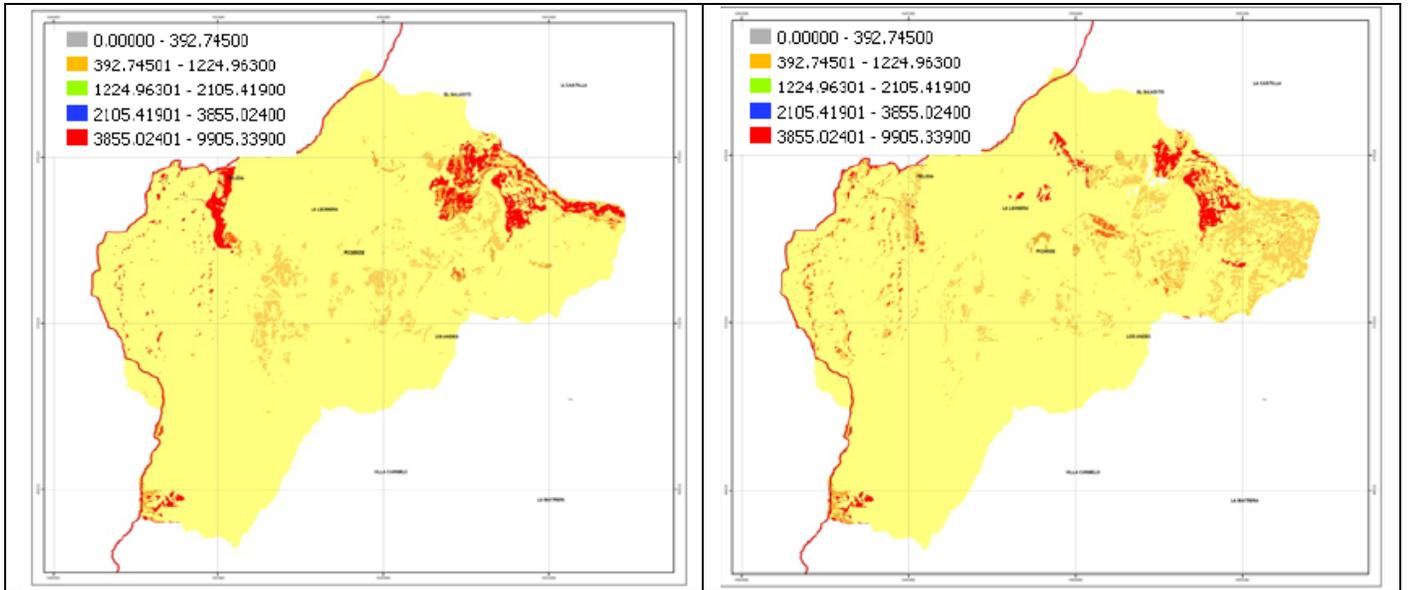
En los cambios de cobertura a partir de corredores, se protegen las riberas de los ríos y quebradas y las zonas protectoras de nacimientos.

El escenario propuesto, a partir de corredores, incluye acciones como el aumento de la cobertura boscosa en 246.17 has, que equivale a un aumento del 1.83% de la cobertura actual. También se contempla disminuir el áreas de pastizales en 103.43 has, aumentar la ronda de los ríos en zonas densamente pobladas (71,18 has). Otros usos con potencial de cambio, corresponde a pequeños áreas de cultivos permanentes y transitorios (18,5 has), áreas construidas (22.5 has) y la recuperación de rastrojos (10,37 ha), entre otros.

La producción de agua, no tiene un impacto notable con el aumento de cobertura a partir de de corredores (Gráfica 4). Sin embargo, es notable la reducción de sedimentos (Mapa 3).



**Gráfica 4.** Simulación del caudal bajo la actual distribución de coberturas y el modelo propuesto con corredores de conservación.



**Mapa 3.** Modelación de la producción de sedimentos a partir del esquema actual (Izq.) y con un aumento de la cobertura vegetal a partir de corredores de conservación (Der.)

La Subcuenca Pichindé aporta más a la regulación del caudal, debido a la mayor presencia de bosques naturales y cobertura vegetal, y por la menor densidad de población rural. En la subcuenca Felidia, el factor crítico es la carga de sedimentos de las áreas en potrero, vías y los problemas de estabilidad del talud del suelo, en las zonas media a baja y confluencia en proximidades de la Bocatoma.

#### 4. Focalización de sitios prioritarios para el desarrollo del esquema de PSA

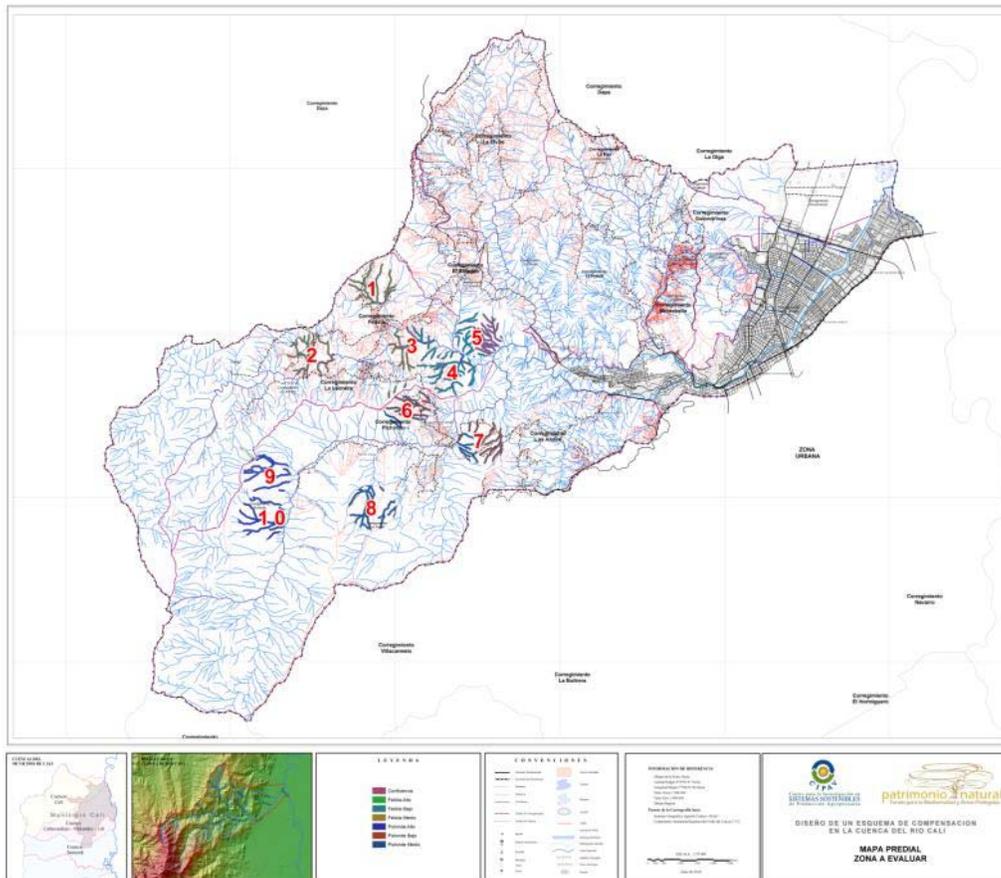
##### Focalización de polígonos prioritarios

El proceso de selección surge sobreponer el mapa de análisis multitemporal (1989-2000) de la cuenca con las áreas en degradación y recuperación, los acueductos comunitarios, los predios institucionales y los focos de sedimentación, generados por el modelo SWAT, en los corregimientos de Felidia, Pichindé, Andes y La Leonera.

Como resultando se muestran los siguientes ámbitos de actuación:

1. Calidad de agua (sedimentación como problema para el acueducto de EMCALI)
2. Calidad de agua (presencia de acueductos veredales con amenaza de degradación y contaminación microbiológica).
3. Procesos de degradación en zonas aledañas a los predios donde intervienen las instituciones del municipio de Cali (DAGMA y EMCALI).

El resultado de este proceso de selección concuerda con 10 micropolígonos de la CVC, que representan las características del entorno socioeconómico de la parte alta de la cuenca del río Cali. En el Mapa 4. Se encuentra la ubicación de los polígonos, con la ubicación de los focos de sedimentación para la cuenca.



**Mapa 4.** Mapa de la cuenca con ubicación de los polígonos, donde se destacan los focos de sedimentación.

### Caracterización de los polígonos a partir de información primaria

Se levantó información primaria a partir de encuestas y casos puntuales, en los 10 micro-polígonos para caracterizar la zona de acuerdo a su vocación y usos actuales, con el propósito de corroborar los resultados de la modelación con SWAT.

La encuesta se realizó en 300 fincas. Esta fue dividida en tres secciones, la primera indagaba sobre las características básicas de los pobladores, la segunda sobre la producción y uso del suelo y la tercera abordaba preguntas muy específicas para determinar los costos y beneficios que el servicio ambiental puede generar.

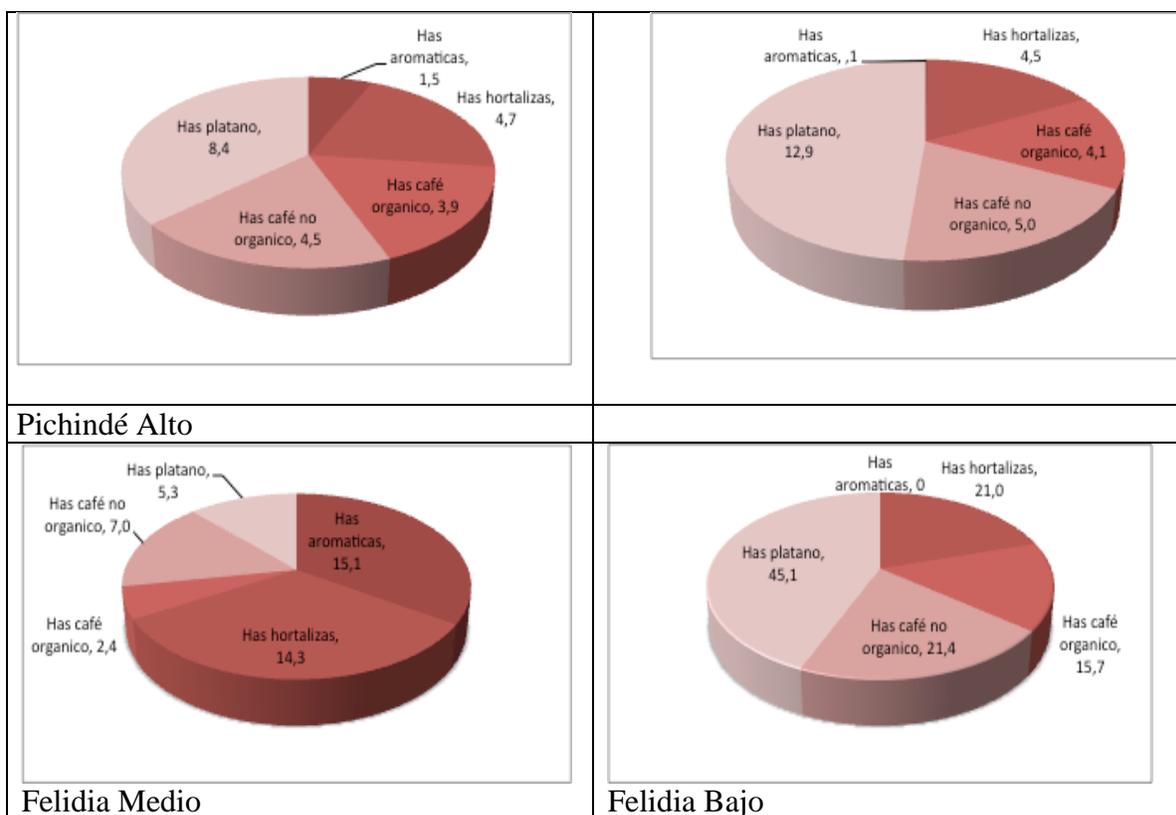
En el corregimiento de Pichindé alto se encuestaron 33 fincas, en Pichindé medio 91 fincas, en Felidia medio 125 fincas y en Felidia bajo 51 fincas. La encuesta estaba dirigida a identificar los usos del suelo, las hectáreas dedicadas a cultivos y la presencia de bosque dentro de las fincas.

### **Caracterización y análisis de resultados de la encuesta**

Entre los resultados de mayor relevancia, se encuentra que sólo el 49% de los predios poseen propietarios. Este tópico es importante para los incentivos de conservación, porque se requiere tener derechos de propiedad sobre el predio.

## Resultados sobre usos del suelo

En Pichindé alto predominan los predios dedicados a actividades agrícolas (78%) y pecuarias (27,3%). En Pichindé medio, el 9% de los predios son de uso recreacional. Es común la presencia de bosques, y ocupa en promedio el 25% del área. Las áreas de potrero también ocupan un área considerable entre el 18 y el 20% en Felidia medio y bajo, y entre el 6 y el 19% en Pichindé alto y medio. En la Gráfica 1, se encuentra la distribución promedio por predio, de las principales actividades agrícolas en las Subcuencas Felidia y Pichindé.



**Gráfica 5.** Hectáreas sembradas por tipo de cultivo en las subcuencas Felidia y Pichindé.

## Subdivisión de los polígonos

Si se subdividen los predios en polígonos, según la sedimentación y calidad del recurso hídrico bajo la modelación SWAT, se tienen los siguientes sectores:

Sector A, polígonos 1, 2, 3 y 4 en la subcuenca de Felidia alta, media y baja. Se incluyen 4 veredas; Felidia (cabecera), la Esperanza, Las Nieves, El Diamante, El Cedral y la Soledad. El uso proyectado para conservación, pretende devolver a bosques naturales un área de 95,2 ha, con una intervención de 166 predios.

Sector B, polígonos 5, 6, 9 y 10 en la subcuenca Pichindé alta y baja. Se encuentran las veredas Peñas Blancas, Lomas de la Cajita y Pichindé cabecera. El área a intervenir es de 89,5 ha, en 31 predios.

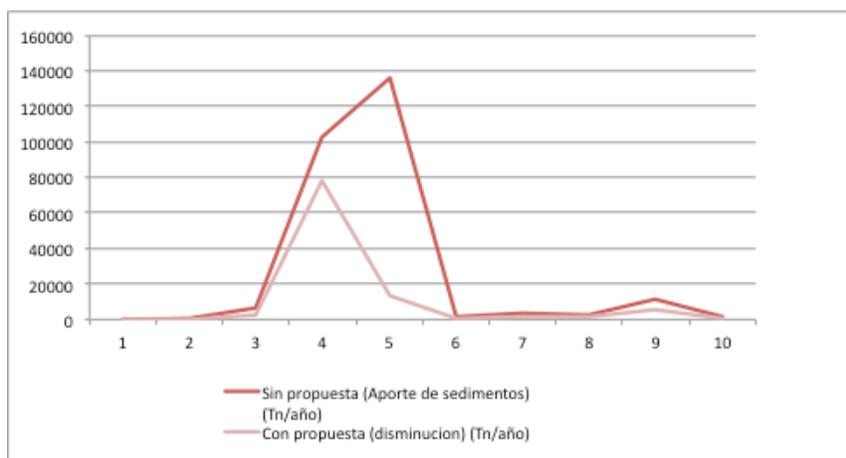
El sector C, polígonos 7 y 8 en la subcuenca de Pichindé media. Se encuentran las veredas Quebrada Honda, Pueblo Nuevo, Pilas del Cabuyal y Andes cabecera. El área a intervenir es de 20,8 ha, en 13 predios.

De acuerdo a la modelación, el nivel de reducción en sedimentación promedio sin la intervención a partir de corredores y protección de nacimientos, sería de 109.142,4 Ton/año para sector A, de 143.908,5 ton/año para el sector B, y 13.288,6 Ton/año para el sector C. Con la intervención de corredores, el límite más conservador para la reducción de sedimentos sería de 81.021,3 Ton/año para el sector A, de 17.003,92 Ton/año para el sector B y 5.536 Ton/año para el sector C (Tabla 5 y Gráfica 1).

Con una intervención estratégica en los polígonos 3, 4, 5 y 6, caracterizados por una alta densidad poblacional, se podría reducir la sedimentación en 103.561,3 Ton/año.

**Tabla 5.** Aporte actual, de sedimentos en los sectores priorizados y la disminución simulada a partir de la implementación de corredores.

Sector	Cuencas	Poligono	Area Total (m <sup>2</sup> )	No Predios	Area a intervenir (m <sup>2</sup> )	Predios intervenir	Priorizado Por	Aporte actual de sedimentos (Tn/año)	disminucion (Tn/año)
A	Felidia Alta, media y baja	1	401.169,30	43	250.194,40	38	Sedimento - Calidad	47,22	15,76
		2	477.664,25	68	209.056,13	56	Sedimento	214,21	22,91
		3	462.859,23	50	181.771,85	44	Sedimento	6.261,63	2.546,22
		4	516.322,95	30	311.040,89	27	Sedimento	102.619,36	78.436,47
B	Pichindé alta y baja	5	662.744,23	1	529.301,66	1	Sedimento	135.985,49	13.750,15
		6	427.233,23	41	115.807,10	27	Sedimento	1.776,63	382,83
		9	410.538,62	3	156.427,33	2	Sedimento	3.229,83	1.182,06
		10	416.637,02	1	93.503,90	1	Sedimento	2.916,56	1.688,89
C	Pichidé media	7	474.564,04	11	98.412,14	8	Sedimento - Calidad	11.819,88	5.038,80
		8	429.407,59	7	110.377,80	5	Sedimento - Calidad	1.468,75	497,29
Total			4.679.140,45	255	2.055.893,20	209		266.339,56	103.561,36



**Gráfica 6.** Línea base del aporte actual sedimentación vs la simulación a partir de la propuesta de corredores.

## **Calidad del agua de fuentes abastecedoras de acueductos rurales**

---

Para evaluar el impacto de las intervenciones a partir de corredores y la protección de nacimientos en zonas estratégicas, se analizaron varias quebradas abastecedoras de acueductos veredales de la cuenca –Río Cali, a partir de las características físico-químicas y microbiológicas, además del análisis de la macrofauna asociada, indicadora de la calidad de agua.

Estos resultados también aportan a definir la línea base del servicio ambiental, calidad de aguas y sedimentos en el área estudio. Este análisis, permitirá, durante el monitoreo, medir el impacto en la provisión y la calidad del recurso hídrico, a partir de las acciones de conservación con el aumento de la cobertura vegetal las subcuencas priorizadas.

### **Metodología**

Se seleccionaron tres bocatomas en el área de influencia del proyecto: bocatoma Felidia, bocatoma Los Valencia Pichindé-ubicada en Peñas Blancas, quebrada El Silencio, donde se capta agua en un canal para el acueducto de Yanaconas y Mameyal principalmente. Se tomaron además muestras en el río Felidia (puente vía entre Felidia y La Leonera).

En cada una de las bocatomas seleccionadas se tomaron muestras puntuales de agua para el análisis de parámetros físicoquímicos y bacteriológicos. Para complementar el estudio de calidad del agua, en cada una de las fuentes de agua seleccionadas se colectaron macroinvertebrados acuáticos, antes de la bocatoma de cada acueducto, para identificar los gremios bioindicadores de buena calidad de agua, según la metodología de Monitoring Working Party (BMWP) (Roldán 2003). Este índice da puntajes que van de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica (Tabla xx).

Adicionalmente en cada fuente de agua, se determinó el índice de calidad del hábitat (ICH) que califica diferentes características del hábitat con puntajes entre 0 (pobre) y 20 (bueno) (Barbour *et al.* 1999, Chará 2004), además se determinó el tipo de corriente y tipo de sustrato inorgánico.

### **Resultados**

#### **Parámetros de calidad de agua**

Los resultados del análisis físicoquímico y bacteriológico del agua en las bocatomas de Felidia, Pichindé (Peñas Blancas), El Silencio, y el río Felidia se presentan en la Tabla 1. En general las quebradas presentan una calidad de agua aceptable para uso en acueductos.

El color aparente del agua en las bocatomas Felidia y El Silencio, y el río Felidia tienen rangos de calidad entre deficiente a muy deficiente, pero por la presencia de sustancias de origen natural como el material vegetal en descomposición, limos, arcillas, y las lluvias, entre otros. Los valores para el pH, demanda bioquímica de oxígeno, oxígeno disuelto, nitratos, en todas las fuentes estudiadas, están en el rango de agua crudas aceptables para uso en acueductos. Un parámetro crítico es la presencia de coliformes totales, en dos de las bocatomas evaluadas y el río Felidia. Para el uso en acueductos, el agua no debe presentar *Escherichia coli* (0 UFC/100 ml), sin embargo se registraron hasta 210 (UFC/100 ml). La bocatoma Los Valenciano no presentó contaminación por *E. Coli*.

**Tabla 6.** Calidad de agua en bocatomas rurales y río Felidia en la cuenca del río Cali

Parámetro/Unidad	Bocatoma			Río
	Felidia	Los Valencia (Pichinde)	El Silencio	Felidia
Color Aparente (UPC)	50	6	41	32
pH (Unidades)	7,91	7,5	7,75	7,78
Sólidos Sedimentables (ml/L/hr)	0,2	0	0,1	0
Turbiedad (UNT)	5,52	0,43	3,8	2,72
Nitratos (mg/L)	5,96	1,33	1,8	0,58
Nitritos (mg/L)	0,01	0,01	0,01	0,01
Alcalinidad total (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	45	27	18	25
Demanda Biológica de Oxígeno (mgDBO <sub>5</sub> /L)	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Oxígeno Disuelto (mg/L)	6,78	7,05	6,69	7,41
Coliformes totales (UFC/100ml)	192000	23000	8000	25000
E. Coli (UFC/100 ml)	2100	0	100	100
Coliformes fecales (UFC/100ml)	4	0	0	0

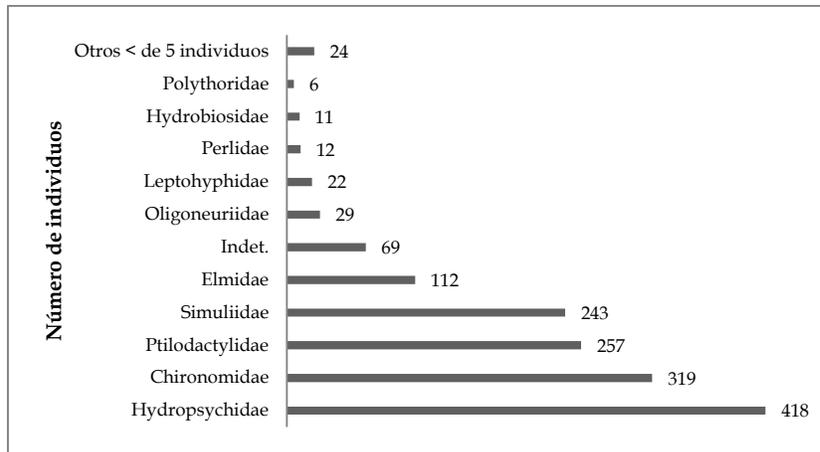
De acuerdo al índice de calidad del hábitat (ICH), las quebradas obtuvieron en promedio 161,6 puntos, lo que indica fuentes de agua con poca alteración. Los puntajes totales variaron entre 142 y 172; estos valores se deben a calificaciones altas en variables como sustrato disponible para la colonización de organismos, baja alteración del cauce, diversidad de piscinas, protección de las orillas de la quebrada, vegetación ribereña, entre otros. Cuando una fuente de agua es alterada por actividades antropogénicas, especialmente por la reducción de bosques, los puntajes pueden variar entre 40 y 70.

#### Macroinvertebrados acuáticos

##### Quebrada- bocatoma Felidia

El acueducto del corregimiento de Felidia es abastecido por dos pequeñas quebradas que se unen justo antes de la captación del agua en la bocatoma. Las dos quebradas se encuentran protegidas por franjas de bosque ribereño intervenido, pero en el área de captación existen cultivos de plantas medicinales.

Se colectaron en total 1522 macroinvertebrados pertenecientes a 11 órdenes, 26 familias y 33 géneros. Los órdenes y familias más representativos dentro de la muestra fueron Diptera (Larvas de moscos y zancudos) 37,3% (*Chironomidae* 20,9%), Trichoptera (Moscas de las piedras) 28,3% (*Hydropsychidae* 27,4%) y Coleoptera (Escarabajos) 24,4% (*Ptilodactylidae* 16,8%) (Gráfica 7).

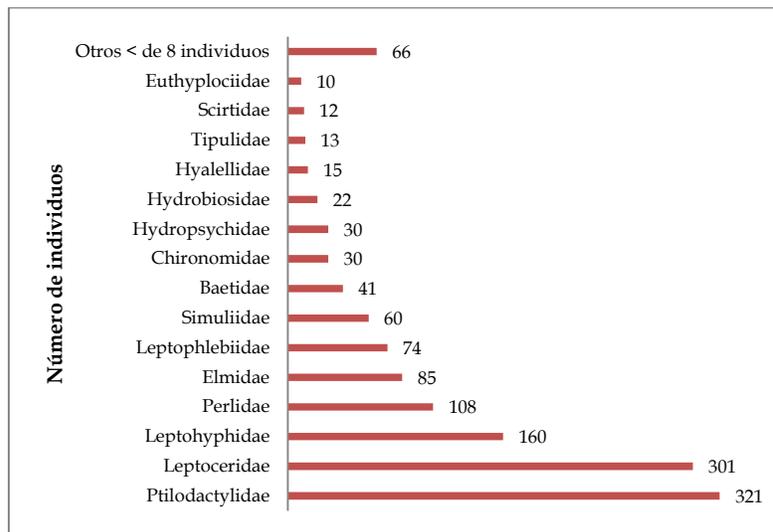


**Gráfica 7.** Abundancia de familias de macroinvertebrados en la quebrada abastecedoras de la bocatoma del acueducto de Felidia, Cali, Valle

Aunque la mayoría de grupos encontrados son indicadores de agua de buena calidad, se colectó un número importante de *Chironomidae* (Diptera), los cuales se asocian principalmente a aguas de calidad regular a deficiente, pues prefieren ambientes con presencia de abundante materia orgánica, lo que puede estar indicando entrada de algún tipo de contaminante la fuente de agua. El cálculo para el índice BMWP-Univalle, indica aguas de buena calidad pues se obtuvo 110 puntos para las familias colectadas.

#### **Quebrada Los Valencia (Peñas Blancas)- bocatoma Pichindé**

La quebrada Los Valencia surte en mayor porcentaje el acueducto del corregimiento Pichindé. Esta se encuentra protegida por un bosque maduro intervenido en buen estado de conservación, sin embargo, en el área de captación existen potreros que pueden afectar los nacimientos pequeños que alimentan la quebrada.



**Gráfica 8.** Abundancia de familias de macroinvertebrados en la quebrada Los Valencia abastecedoras de la bocatoma del acueducto de Pichindé, Cali, Valle

Se colectaron en total 1348 individuos, perteneciente a 10 órdenes, 35 familias y 46 géneros. Los órdenes y familias con mayor porcentaje de individuos en la muestra fueron:

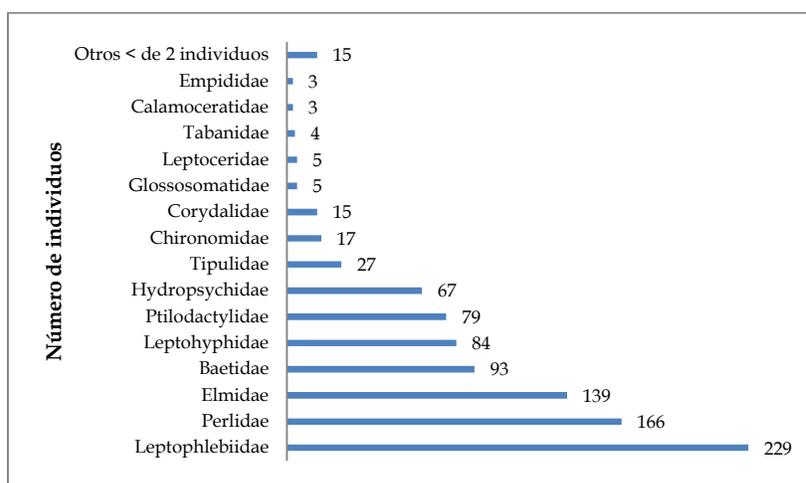
Coleoptera 32% (*Ptilodactylidae* 23,8%), Trichoptera 28% (*Leptoceridae* 22,3%) y Ephemeroptera 21,5%. (*Leptohiphidae* 11,8%) (Gráfica 8).

Los organismos colectados en esta quebrada son indicadores de buena calidad del agua, lo que significa que no existe contaminación aparente por factores antropogénicos. La calificación obtenida con el índice BMWP-Univalle demuestra aguas muy limpias, se obtuvo 189 puntos.

### Quebrada El Silencio-bocatoma Yanaconas, Mameyal

La quebrada el Silencio prevé agua principalmente a Yanaconas, y se encuentra protegida por un bosque en buen estado de conservación, pero con presencia de potreros en el área de captación.

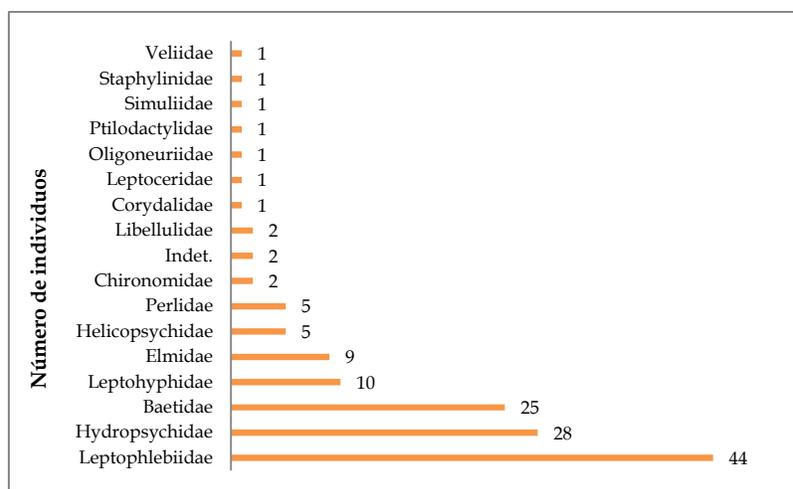
Se colectaron en total 951 individuos, distribuidos en 8 órdenes, 29 familias y 34 géneros. Las familias que presentaron mayor porcentaje de individuos fueron *Leptophlebiidae* (Ephemeroptera) 24,8% *Perlidae* (Plecoptera) 17,4% y *Elmidae* (Coleoptera) 14,6% (Gráfica 9). Estas familias se asocian a ambientes con buena calidad de agua y baja alteración del hábitat. El puntaje obtenido en el índice BMWP fue de 123, lo que significa aguas de excelente calidad.



**Gráfica 9.** Abundancia de familias de macroinvertebrados en la quebrada El Silencio abastecedora- Canal Bocatoma Yanaconas, Mameyal- Cali, Valle.

### Río Felidia

En la zona de muestreo, el río Felidia, tiene coberturas boscosas con algún grado de intervención. Aunque sólo se realizaron muestreos parciales, por las características del caudal, se colectaron en total 139 individuos, pertenecientes 10 órdenes, 18 familias y 24 géneros. Las familias con mayor porcentaje dentro de la muestra fueron *Leptophlebiidae* 31,6% (Ephemeroptera), *Hydropsychidae* 20,1% (Trichoptera), *Baetidae* 17,9% (Ephemeroptera) (Gráfica 10). En general, los organismos colectados pertenecen al grupo de indicadores de aguas de buena calidad.



**Gráfica 10.** Abundancia de familias de macroinvertebrados el río Felidia, Cali, Valle.

### Resumen de variables calculadas en las quebradas

**Tabla 7.** Variables calculadas en las quebradas abastecedoras de acueductos rurales la cuenca río Cali, Cali, Valle del Cauca.

Parámetro	Bocatoma	Bocatoma	Bocatoma	Río
	Felidia	Los Valencia	El Silencio	Felidia
Abundancia total	1522	1348	951	139
Riqueza	33	46	34	24
Abundancia EPT	498	776	655	119
% EPT	32,7	57,5	<b>85,6</b>	68,8
BMWP- Univalle	110	<b>189</b>	123	----
% Chironomidae	<b>20,9</b>	2,23	1,79	1,44
% Plecoptera	0,79	8,01	17,4	3,6
% Ephemeroptera	3,5	21,6	42,6	57,5
% Trichoptera	28,3	27,9	8,7	24,4
Índice calidad hábitat	142,5	<b>174</b>	172	158
<b>Tipo de Flujo</b>				
% Turbulencias	10	30	40	50
% Corriente rápida	87,5	70	60	50
% Corriente lenta	5	0	0	0
<b>Tipo de sustrato</b>				
% Piedra grande	5	20	10	30
% Piedra pequeña	30	40	40	30
% Grava	22,5	25	20	20
% Gravilla	17,5	10	20	10
% Arena	10	5	5	10
% Limo	15	0	5	0

En la Tabla 7 se presenta un resumen de las principales variables de la comunidad de macroinvertebrados y las características biofísicas de las quebradas evaluadas. EPT es un índice que suma los organismos de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera, considerados susceptibles a cambios en la calidad del agua y alteración general del hábitat. La quebrada

Bocatoma Felidia presentó menor puntaje en los índices BMWP (Aunque hacen parte de aguas de buena calidad) y % EPT, además de un alto número de *Chironomidae*, considerado en términos generales indicador de aguas con algún tipo de contaminación. Las demás quebradas presentaron similares condiciones en la comunidad de macroinvertebrados y en condiciones biofísicas, lo que refleja en parte, el efecto protector de la cobertura boscosa.

### **Priorización de sitios según el análisis de calidad de agua**

La quebrada que requiere mayor atención por la menor calidad del agua es la que abastece al corregimiento de Felidia. Aunque todas las fuentes presentaron coliformes totales y *E. Coli*, ésta en particular presentó los valores más altos dichos parámetros, además de coliformes fecales. La presencia de un alto número de *Chironomidae*, también indica que la fuente puede estar afectada por algún tipo de contaminación del área de captación.

La quebrada Los Valencia, fuente abastecedora del acueducto de Pichindé en Peña Blancas, es la que mejores condición de calidad de agua, el cual se asocia con la conservación de los bosques protectores.

Los corredores, como opción técnica del esquema de pago por servicios ambientales, pueden ayudar a mejorar los parámetros de calidad de agua, pero también se requieren controles para disminuir la contaminación de las viviendas y las actividades agropecuarias sobre el cauce los ríos y quebradas.

## **5. Análisis de actores sociales e institucionales**

Esta caracterización está basada en la oferta y la demanda del recurso hídrico que provee la cuenca del Río Cali. Por el lado de la oferta se caracterizan todos los usuarios asentados en la parta alta y media de la cuenca que tendrán que realizar tareas de conservación para mantener la calidad y cantidad del recurso, en los corregimientos de la Leonera, Felidia, Andes y Pichindé.

En la demanda, se caracterizan todos aquellos usuarios, que tienen el recurso hídrico como un insumo o que se benefician del servicio ambiental. Dentro de esta categoría se encuentra la población de Cali (420.000 usuarios), EMCALI, EPSA, y los acueductos de los corregimientos de Felidia y Pichindé.

En otra categoría se encuentran las instituciones que deben velar por el mantenimiento y conservación de los recursos, estas están representadas por la Unidad de Parques Nacionales Naturales de Colombia, CVC y DAGMA.

### **EMCALI**

Es la empresa de acueducto del municipio de Cali, que abastece a 2,3 millones de habitantes. De las fuentes utilizadas, la cuenca del Río Cali, cubre el 20% de los requerimientos del servicio, y es notable el costo asociado de potabilización de agua por parte de la Empresa.

## EPSA

Es la empresa de generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica para el Valle del Cauca. Para los intereses de este estudio se centrará sólo en las centrales de generación Río Cali 1 y Río Cali 2. Estas trabajan en cascada y operan a filo de agua. Con una capacidad instalada de 1MW y una generación de energía media anual de 5.4 GWh para Río Cali 1. Para la central Río Cali 2, requiere un caudal medio de 2,7 m<sup>3</sup>/seg, con una capacidad instalada de 0.8MW para generar 5GWh.

## 6. Valoración económica de los servicios ambientales hidrológicos en la cuenca del Río Cali

### Costos de oportunidad de la tierra para las diferentes alternativas productivas

En la presente sección se establecerán los costos de las empresas asociadas al uso del servicio. Entre estos el costo de tratamiento para reducir la sedimentación por el acueducto de EMCALI (Tabla 8), y el pago de la empresa EPSA, por la concesión del agua para la generación de energía (Tabla 9), los cuales constituirán los límites de pago, o costos evitados, que podrían destinarse a los gestores del servicio en la cuenca Río Cali. Luego se desarrollará un análisis, entre los habitantes de la cuenca, mediante los costos de oportunidad sobre las actividades agrícolas principales, con el objeto de para establecer la posible base de pago por compensaciones.

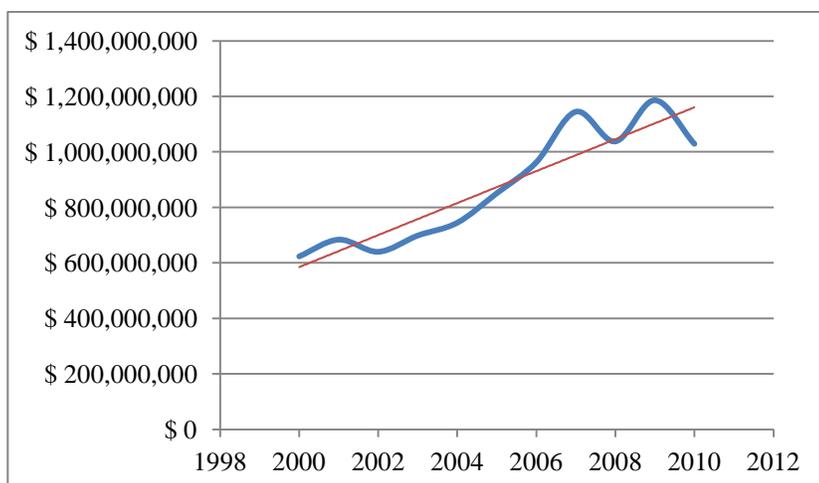
### Acueducto de Cali

**Tabla 8.** Costos asociados de la potabilización del agua por el acueducto de Cali.

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad mg/l<sup>t</sup> ppm</b>	<b>Ton / año</b>	<b>Costo anual (2010)</b>
Cal viva	8	2.100	\$792.312.000
Sulfato de aluminio	24	2.725	\$2.067.408.000
Cloruro férrico	18	2.814	\$4.207.606.000
Cloro	6	1.442	\$3.529.411.000
Carbón activado	2	392	\$1.514.218.000
Valor total			\$12.111.000.000

Fuente: EMCALI 2011.

Para la planta del Río Cali, con una producción de 1,8 m<sup>3</sup>/seg, y el costo de potabilización es de \$ 1.028.807.469, promedio anual, con una tendencia al aumento en los próximos años (Gráfica 11).



**Gráfica 11.** Comportamiento de los costos de potabilización de la planta Río Cali (2000 -2010) (EMCALI 2011).

### EPSA

En el capítulo de normas legales y políticas se establecen los mecanismos de transferencia de recursos económicos de las empresas a las corporaciones regionales y el Municipio, de la cual una parte se destina al cuidado de las cuencas abastecedoras. En la tabla xx, se describe la distribución del 1% de los recursos de la planta Río Cali 1 y 2 al municipio y la CVC, de los cuales \$42.000.000 podría destinarse a tareas de conservación y compra de predios.

**Tabla 9.** Transferencia causada por las centrales Río Cali desde 1995 a 2006.

Planta	Valor causado	Municipio	CVC
Río Cali 1 y 2	\$294.153.940	\$147.076.970	\$147.076.970

### Desarrollo de esquema de compensaciones

La valoración basada en costos, se sustenta en estimar los costos por mantener, proveer o restaurar un servicio ambiental provisto por un espacio natural. El costo de oportunidad se define como el “valor de la mejor opción de producción a la que renuncia cuando el propietario (o tenedor) de un tercero acepta cambiar el uso, una parte o la totalidad del predio a través de un contrato de conservación, hacia usos que mejoren la provisión de los servicios ambientales (biodiversidad, agua, paisaje) y que generalmente se asocian a mejores beneficios netos” (Arriagada 2009).

**Tabla 10.** Costos de producción y valores de venta a precios de mercado.

Actividad	Costo / ha	Ingreso bruto / ha	Costo de oportunidad / ha
Aromáticas	9.821.923	10.205.655	383.732
Café	4.520.000	4.875.000	355.000
Hortalizas	39.847.500	66.408.571	26.561.071
Plátano	7.500.000	8.250.000	750.000

Fuente: Información de Corabastos y productores. Abril de 2011.

Dado que en el sector predomina la siembra de aromáticas, hortalizas, café y plátano, con aportes considerables sobre la sedimentación, se estimó el costo de oportunidad de los mismos, a partir de casos representativos con información detallada de ingresos y gastos, y ajustes de acuerdo a los costos de producción y valores de venta a precios oficiales en centrales de abastos (Tabla 10).

Según la tabla anterior, los beneficios netos por hectárea podrían ser factibles de un esquema de PSA si se comparan con otras experiencias, donde el costo de oportunidad oscila entre US\$3 y los US\$250 por hectárea anual<sup>1</sup>. Esto con excepción de hortalizas que sobrepasa dichos valores. Las hortalizas se excluyeron del análisis porque la producción no es vendida en su totalidad, como se asume en para la compensación de las otras actividades. El monto promedio a compensar, según los porcentajes promedio de siembra, es de \$389.848 por hectárea. En la Tabla 11, se presentan los costos de oportunidad mínimos y el monto anual a compensar. Basados en la información obtenida y revisando otros casos a nivel nacional, se definió como valor a pagar la suma de \$260.000 /ha/año, ya que se estimó que en algunos casos podría existir una sobre-valoración de la producción reportada por unidad de área.

**Tabla 11.** Costos de oportunidad mínimo y el monto anual compensar.

Actividad	Costo de oportunidad mínimo / ha	Siembra en el área (%)	Monto anual a compensar / ha
Aromáticas	383.732	8	30.698
Café	355.000	23	81.650
Plátano	750.000	37	277.500
<b>Total</b>			<b>389.848</b>

Fuente: Información de campo. Abril de 2011.

### Análisis y cálculo del costo de implementación del menú técnico

**Tabla 12.** Construcción de corredores a partir de cercas, costo por hectárea.

Detalle	Total
Construcción, mano de obra	365.436
Mantenimiento de cercas (primer año)	49.207
A.I.U. (10%) Mano de Obra	41.464
Insumos	1.802.142
Mantenimiento cercas 1er. Año (5% Insumos)	90.107
Transporte mayor (10% de insumos)	189.225
Asistencia Técnica Especializada (15%)	380.637
<b>Total</b>	<b>2.918.218</b>

<sup>1</sup> Ver por ejemplo los casos de Los Negros, Bolivia. (Asquith, et. al. 2008.) con un pago de US\$3 ha/año, Pimampiro, Ecuador. (Wunder y Albán, 2008.) con un pago de US\$6 a US\$12 ha/año y Chaina, Colombia (Borda, et. al, 2009) con un pago de US\$250 ha/año.

En las Tabla 12 y la Tabla 13, se presentan los costos de los dos tipos de intervención en los corredores; uno donde sólo se implementan cercas de protección, y otro donde se protege y establece una regeneración asistida. La regeneración asistida consiste en aislar y enriquecer las áreas que actualmente se encuentran en sistemas agropecuarios con especies pioneras y maderables nativas en densidades superiores a 1,000 plántulas por hectárea.

**Tabla 13.** Aislamiento de correderos ribereños y regeneración asistida, costo por hectárea.

Detalle	Total (\$)
Establecimiento, mano de obra	1.329.716
Mantenimiento, mano de obra	895.523
Insumos, establecimiento	4.014.648
Insumos, mantenimiento	403.822
Transporte mayor ( 15% de insumos)	662.770
Asistencia Técnica Especializada 20%	1.461.296
<b>Total</b>	<b>8.767.775</b>

### Cálculo de la disposición a pagar por los usuarios priorizados

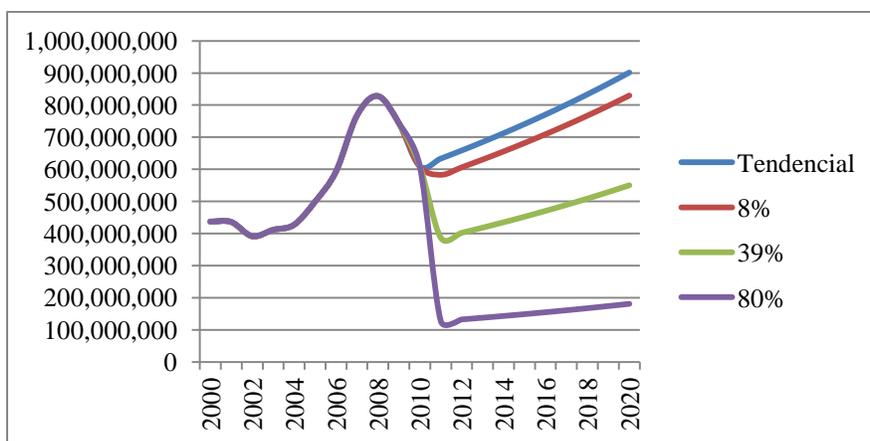
La aproximación conservadora de disposición de pago, por parte del acueducto, se realiza a través del ahorro en los costos de tratamiento. El ahorro se concreta a través de cuatro escenarios de costos por tratamiento de sedimentación (Tabla 14 y Gráfica 12).

- El primer escenario es el tendencial, bajo el comportamiento y el sistema actual de tratamiento que asume el acueducto para potabilizar el agua (esta disminución es equivalente al 21%, según la modelación SWAT)
- El segundo escenario disminuye los sedimentos mediante la implementación de corredores ribereños (una disminución del 8%).
- El tercer escenario se estableció a través de un supuesto de reducción de 39%, teniendo en cuenta una revisión de varios casos similares a la cuenca del Río Cali, donde se establecieron protección en los corredores.
- Escenario optimista, con porcentajes de disminución del 80%, mediante la implementación de corredores ribereños, protección de nacimientos y regeneración asistida.

Tabla 14. Estimación de sedimentos en la cuenca Río Cali a partir de varios escenarios.

Situación de la Cuenca	Sedimentos ton/año	% de solución al problema
Producción de sedimentos actual a la cuenca (ton/año)	7.260,3	
Producción de sedimentos ideal a la cuenca (ton/año)	5.964,6	
Diferencia de sedimentos ideal a la cuenca (ton/año)	1.295,8	
Aporte de sedimentos zona priorizada (ton/año)	266,0	21%
Disminución de sedimentos con corredores ribereños	103,0	8%

Para establecer el cálculo del ahorro, se debe asociar el costo de tratamiento por metro cúbico que oscila entre \$38 y \$48.



**Gráfica 12.** Escenarios de ahorro para la Empresa de acueducto EMCALI

Este modelo permite comparar la situación actual y los posibles escenarios que la empresa debe afrontar en caso de no hacer intervención en la cuenca a partir de acciones de conservación. En la primera situación hipotética, se generan unos costos promedios de tratamiento y energía por m<sup>3</sup> de \$43. El valor de potabilizar una producción promedio anual de 32.000.000 m<sup>3</sup> de agua con un promedio anual de \$1.376.000.000. Sobre este costo, se debe incluir el 4% al año<sup>2</sup>, por la tendencia de crecimiento.

#### Beneficiarios del servicio ambiental

Los beneficiarios por el uso de agua están divididos en dos: 944 viviendas conectadas al servicio de acueducto; y la población de Cali con 14.788 suscriptores que se surten del acueducto de San Antonio.

#### Análisis costo – beneficio

En este análisis, los beneficios se comparan con los costos totales que asumiría la sociedad si se llevan a cabo acciones para el mejoramiento de la cuenca del Río Cali. La búsqueda de instrumentos económicos para la gestión y regulación del recurso se realiza con el supuesto del uso eficiente. Una aproximación a la disponibilidad de pago por la sociedad se hace mediante las tarifas de agua potable (Tabla 15).

**Tabla 15.** Relación beneficio – costo con disponibilidad de pago.

Relación costo beneficio	Sin disponibilidad de pago	Con disponibilidad de pago
<b>Beneficios</b>		
Beneficios por agua potable población Cali		\$ 1.436.349.697
Ahorros acueducto	\$ 243.094.934	
Beneficios totales	\$ 243.094.934	\$ 1.436.349.697
<b>Costos</b>		
Costo de oportunidad de alternativas productivas de los predios a intervenir	\$ 79.918.840	\$ 79.918.840
Costo implementación menú técnico a 5 años	\$ 1.628.036.430	\$ 1.628.036.430
Costos totales	\$ 1.707.955.270	\$ 1.707.955.270

<sup>2</sup> Se realizó un promedio de los porcentajes de incremento de los insumos para potabilizar el agua (cal, alumbre, cloro, carbón activado y energía por metro cúbico).

Diferencia Costo / Beneficio	-\$ 1.464.860.336	-\$ 271.605.573
Relación costo - Beneficio	0,142330972	0,840976179

## 7. Menú técnico de alternativas para restauración ecológica

La siguiente propuesta técnica para la implementación de corredores de conservación que tienen como objetivo recuperar la cobertura vegetal en las ventanas de intervención del proyecto.

### Aislamiento de corredores ribereños

La cobertura vegetal que cubre los ríos y quebradas se denomina bosques o corredores ribereños; estas formaciones presentan características particulares y normalmente dependen de la humedad que ofrecen estas fuentes hídricas para su sobrevivencia. Los bosques ribereños, por su localización, disposición y estructura, conforman conectores naturales entre relictos de vegetación natural y facilitan la conservación y movilización de la fauna y flora local. Los corredores aportan a la regulación del caudal y son filtros para el arrastre de sólidos, al prevenir los derrumbes de los taludes naturales.



### Protocolo para la protección de nacimientos y bosques ribereños

La protección de fuentes de agua consiste en construir cercas alrededor de los nacimientos o a ambos lados de su curso. Se recomienda construir las cercas con alambre de púa, con postes cada 2,0 - 2,5 metros y cuatro hilos de alambre de púas, calibre 12,5. Las cercas se construirán dejando un espacio de 30 metros lineales a ambos lados de su cauce. Aislar una hectárea de bosque ribereño con estas dimensiones equivale a hacer cerramientos de 60 metros de ancho por 166,7 metros de largo. Se sugiere clavar o sembrar estacas vivas al lado de cada poste muerto para remplazarlos al terminar su vida útil. Con este propósito se pueden usar estacas de 1.8-2.0 m de longitud de nacedero, sauce, chachafruto, chocho y guayacán, o esparcir semillas de arboloco, guayabo, guamo, entre otros, a lo largo de la cerca al interior del área protegida.

Las cercas se deben revisar y reparar periódicamente para evitar la entrada de ganado al interior de las áreas protegidas al menos cada seis meses, reemplazando los postes y el alambre deteriorados.

### **Regeneración natural asistida**

La regeneración natural asistida consiste en sembrar especies de árboles y arbustos en zonas desprovistas de vegetación con el objetivo de acelerar el proceso de recuperación de la cobertura boscosa. En el caso de la cuenca del río Cali, se propone sembrar especies nativas locales a lo largo del cauce del río y sus afluentes con el fin de construir corredores de conservación en el menor tiempo posible. La densidad de siembra recomendada es de 1100 plántulas por hectárea. En la Tabla 16 se sugiere un listado de especies con este propósito.

**Tabla 16.** Especies recomendadas para iniciar procesos de regeneración asistida en la cuenca del río Cali.

<b>Nombre científico</b>	<b>Nombre vulgar</b>
<i>Anacardium excelsum</i>	Caracolí
<i>Calliandra haematocephala</i>	Carbonero
<i>Cecropia telealba</i>	Yarumo blanco
<i>Cedrela odorata</i>	Cedro
<i>Chusquea spp.</i>	Chusque
<i>Clusia sp.</i>	Cucharo
<i>Cordia alliodora</i>	Nogal
<i>Cupania americana</i>	Mestizo
<i>Guadua angustifolia</i>	Guadua
<i>Inga spp.</i>	Guamos
<i>Jacaranda caucana</i>	Gualanday
<i>Ladembergia magnifolia</i>	Cascarillo
<i>Montanoa quadrangularis</i>	Arboloco
<i>Ochroma pyramidale</i>	Balzo
<i>Pitecellobium dulce</i>	Chiminango
<i>Schefflera sp.</i>	Mano de oso
<i>Tabebuia rosea</i>	Guayacán amarillo
<i>Tibouchina Lepidota</i>	Sietecueros
<i>Trichanthera gigantea</i>	Nacadero

### **Protocolo para la regeneración asistida**

Para la siembra se utilizan especies de recubrimiento y especies de diversidad. Las de recubrimiento son pioneras de rápido crecimiento y cobertura, junto a los cuales se siembran especies nativas de lento crecimiento. Por tanto, la siembra depende de criterios particulares, en el cual se evalúa la composición y abundancia de la vegetación en regeneración.

En los casos donde se debe incrementar la densidad o la diversidad, en los sitios de siembra se debe plantear en un diámetro de 0,8 m, la dimensión de los huecos debe corresponder al tamaño de los árboles; normalmente se trabaja con hoyos de 0,20 x 0,20 x 0,20 m, si las plántulas son más grandes, es necesario aumentar el ancho, el largo y la profundidad, de tal

manera que la raíz tenga suficiente espacio para acomodarse y no se lesione al momento de la siembra. En el fondo de cada hoyo se depositan 50 gramos de micorriza y 100 gramos de cal. El fertilizante se debe aplicar en lo posible 20 días después de la siembra, 50 gramos por plántula, tiempo necesario para que la plántula se acomode al sitio y aproveche mejor el abono. Es importante hacer control de hormiga arriera de manera permanente para evitar que afecte el crecimiento de los árboles sembrados. A los seis meses de la siembra se debe hacer una segunda aplicación de fertilizante y un ploteo de mantenimiento para evitar la competencia con plantas acompañantes.

## **8. Marco legal**

---

En el presente capítulo se analizarán los fundamentos Constitucionales y Legales para la implementación de un PSA en la Cuenca del Río Cali, área en que subyacen dos categorías de protección ambiental: el Parque Nacional Natural Farallones de Cali y la Zona de Reserva Forestal de Cali.

El mecanismo de PSA se debe usar tanto en zonas presionadas que requieren restauración o recomposición ambiental, como en zonas conservadas, en las primeras zonas como apoyo en el proceso de cambio en las actividades que presionan los recursos naturales, con lo que se busca convertir la conservación en una actividad económica de la cual se pueden usufructuar. Y en la segunda zona, como un reconocimiento a la actividad de conservación permanente, es decir, una recompensa a los propietarios u ocupantes de ciertos predios, que por ley deben conservar (Art. 58 de la C.N.). Para este fin, el gobierno adelanta la estrategia nacional de pago por servicios ambientales (MAVDT 2008).

En el Anexo xx, se relacionan las normas constitucionales y legales que son la base jurídica para desarrollar los esquemas o figuras de pago por servicios ambientales en Colombia. Sin embargo, es necesario hacer énfasis en que la figura o esquema de PSA que nos ocupa, no cuenta con un desarrollo legislativo específico para ser implementado en Colombia. Esta situación que no es óbice para desarrollar el esquema o estrategia en el territorio nacional, ya que como se expone a continuación, cuenta con un marco jurídico constitucional y legal que permite la implementación de la figura o esquema de PSA en Colombia, pero se debe reglamentar por el gobierno nacional.

### **Marco constitucional**

---

La Constitución Nacional de Colombia, conocida como la Constitución Ecológica, consagra en los artículos 2, 7, 8, 49, 58, 63, 67, 79, 80, 82, 83, 88, 95, 317, 330, 333 entre otros, disposiciones puntuales respecto a la responsabilidad estatal y privada en el tema de la conservación del ambiente, tanto así que le otorgó el grado de derechos de tercera generación o derechos colectivos a los derechos medio ambientales, los que son inherentes tanto a las actividades realizadas por el Estado como a las actividades realizadas por los particulares. En el Anexo xx, se detallan las normas y principios ambientales de la Constitución.

## Normatividad legal

---

Entrando al ámbito legislativo es necesario partir del principio establecido en el Código de los Recursos Naturales Renovables y Protección el Medio Ambiente (CRNR)- Decreto Ley 2811 De 1974, para después citar las normas que hacen referencia a los incentivos, la valoración económica de los recursos naturales renovables y la relación entre el Estado y los particulares en la labor de la conservación. Al establecer que “el ambiente es patrimonio común<sup>3</sup>, El Estado y los particulares deben participar en su preservación y manejo, que son de utilidad pública e interés social. Otros artículos de importancia son como el 5, donde se establecen las funciones del Ministerio de Ambiente; y el 31, donde se establecen las funciones de las Corporaciones Autónomas Regionales. En este último también se articulan los objetos del Convenio de Diversidad Biológica y el Sistema Nacional de Áreas Protegidas.

En el Anexo xx, se encuentran las normas legales que establecen o determinan el deber del Estado de desarrollar estrategias o figuras de incentivos a la conservación y de pago por servicios ambientales.

## Políticas ambientales

---

Las políticas ambientales son el conjunto de objetivos, principios, criterios y orientaciones generales para la protección del medio ambiente de una sociedad particular. Esas políticas se ponen en marcha mediante una amplia variedad de instrumentos y planes, como la Política Nacional de Biodiversidad (DNP 1995), Política Nacional de Bosques (CONPES 2834) (1996), Política Hídrica (2009) y la Política Nacional De Producción más Limpia (1997). En el Anexo xx, se describen las políticas mencionadas.

## 9. Propuesta de esquema de PSA para la cuenca Río Cali

---

### **Aplicabilidad de una estrategia de PSA en áreas protegidas (parque nacional natural y/o en zona de reserva forestal protectora)**

A continuación se describen quiénes pueden ser proveedores de servicios ambientales en una estrategia de PSA en la parte Alta y Media de la Cuenca del Río Cali, que se encuentra afectada con la figura de PNN o ZRFP:

- La Autoridad Ambiental con jurisdicción en la Área Protegida.
- Los Propietarios con títulos legales de propiedad que habitan cada Área Protegida.

Los ocupantes antiguos de Área Protegida (buena fe, ocupante con anterioridad a la declaratoria del AP, ocupante con anterioridad a la entrada en vigencia del Decreto Ley 2811 de 1974).

---

<sup>3</sup> Artículo 2 de la Ley de 1973, dispone: El medio ambiente es un patrimonio común; por lo tanto su mejoramiento y conservación son actividades de utilidad pública, en las que deberán participar el Estado y los particulares. Para efectos de la presente ley, se entenderá que el medio ambiente está constituido por la atmósfera y los recursos naturales renovables.

Igualmente, se exponen los que pueden ser proveedores de servicios ambientales en una estrategia de PSA en el resto de la cuenca del Río Cali, que no cuenta con afectación ambiental alguna:

- La Autoridad Ambiental.
- Los propietarios legales.
- Los ocupantes de baldíos adjudicables, que hayan ocupado de buena fe, que se encuentre en trámites para que se les adjudique el baldío o que ya cumplen con las condiciones legales para solicitar tal adjudicación.

#### Fuentes de financiación de la estrategia de PSA

Quienes deben financiar una estrategia como el PSA para minimizar la sedimentación en la Cuenca del Río Cali pueden ser los siguientes:

- Las Juntas Administradoras de Aguas de acueductos: Son organizaciones encargadas de la construcción, administración, operación, mantenimiento y ampliación de acueductos veredales. Su sustento jurídico esta soportado en el artículo 103 de la Constitución Nacional que establece cuales son las formas de participación ciudadana y reza:
- Empresas Municipales de Cali –EMCALI E.I.C.E E.S.P - (Bocatoma de San Antonio): es una empresa industrial y comercial del Estado, del orden municipal, cuyo estatuto orgánico se adoptó en el Acuerdo 34 de 1999, y tiene dentro de su objeto social. “la prestación de servicios públicos domiciliarios contemplados en las Leyes 142 y 143 de 1.994, como el acueducto y el alcantarillado.

La estrategia de PSA apunta a que los recursos que actualmente invierten las Juntas Administradoras de Agua y EMCALI en el tratamiento del agua por sedimentación, se redireccionen, al menos en un porcentaje, a tratar el problema de sedimentación en la cuenca, no sólo en las plantas de tratamiento.

Con la estrategia de PSA NO se busca que el consumidor final del agua se le incremente el costo por uso de agua, lo que se pretende es que de los recursos que ya perciben las Juntas Administradoras de Agua y EMCALI, se aporte un porcentaje para la implementación de la estrategia de PSA en la cuenca directamente.

En la Tabla 17, se hace una breve descripción de las opciones de financiamiento para cada institución y fuente de recursos; así como su posible uso para el funcionamiento del esquema.

**Tabla 17.** Opciones de financiamiento (instituciones y empresas privadas).

Institución	Fuente de Recursos	Base Legal	Destinación	Acción de Conservación
CVC, DAGMA, UAESPNN	1% de los ingresos corrientes	Ley 1151 de 2007, que reforma el artículo 111 de la ley 99 de 1993 (en trámite)	Adquisición y mantenimiento de áreas estratégicas para la conservación de recursos hídricos que surten a los acueductos municipales o al pago de servicios ambientales.	Menú técnico de conservación y restauración de corredores ribereños  Costos de Transacción
	Tasas por uso de agua	Decreto 155 del 22 de	Protección y renovación de recursos hídricos.	Costo Total de intervención (5 años) = \$2.126 millones

		enero de 2004		
	Tasas retributivas	Decreto 3100 del 31 de octubre de 2003	Los recursos provenientes del recaudo de las tasas retributivas se destinarán a proyectos de inversión en descontaminación y monitoreo de la calidad del recurso respectivo. Para cubrir los gastos de implementación y monitoreo, la autoridad ambiental competente, podrá utilizar hasta el 10% de los recursos recaudados.	
	Recursos de regalías directas	Decreto 1747 de 1995.	Conservación de microcuencas que abastecen el sistema de acueducto, protección de fuentes y reforestación de dichas cuencas; saneamiento ambiental y turismo.	
	Fondo Nacional de Regalías	Ley 756 de 2002	Preservación de medio ambiente	
EMCALI, EPSA	Impuesto predial (sobretasa ambiental)	Ley 223 de 1995	Con destino a la protección del medio ambiente y de los recursos naturales renovables se crea en un porcentaje sobre el total del recaudo por concepto de impuesto predial, que no podrá ser inferior al 15% ni superior al 25.9%. En lugar de esto, los municipios y Distritos podrán optar por establecer una sobretasa que no puede ser inferior al 1,5 por mil, ni superior al 2,5 por mil sobre el avalúo de los bienes que sirven de base para la liquidación del impuesto predial. Las sobretasas vigentes pueden conservarse si no exceden el 25,9% de los recaudos.	Cambio de uso del suelo. Costo anual = \$80 millones
Empresa privada	Incentivo tributario	A. Ley 29 de 1990, 6° de la Ley 29 de 199, Ley 223 de 1995 Artículo 86, Artículo 125 del Estatuto Tributario Nacional.	Para el Impulso de Actividades de Investigación y Protección al Medio Ambiente”, es decir ofrecerles invertir en proyectos de PSA, con lo cual se obtendrán incentivos tributarios.	Cambio de uso de suelo
Usuarios	14.800 suscriptores que representan 400.000 mil beneficiarios de la parte baja de la cuenca del río		Costo de oportunidad.	

### **Recursos corrientes disponibles para todas las entidades territoriales**

Las entidades destinan de manera obligatoria el 1% de los ingresos corrientes, para la adquisición y mantenimiento de áreas estratégicas de conservación de recursos hídricos con destino a los acueductos municipales o para PSA.

En general, las corporaciones autónomas regionales son los mayores ejecutores de recursos públicos orientados hacia la política ambiental y perciben sus principales ingresos de dos fuentes principales: los municipios (mediante las transferencias del impuesto predial) y el sector productivo (transferencias del sector eléctrico, compensaciones de minas e hidrocarburos y tasas ambientales). De igual forma resalta la participación baja de dos componentes centrales de la política nacional: las áreas protegidas. En el caso particular del PNN Farallones, este solo cuenta con dos concesiones de agua en donde solo recibió \$768.268 pesos para el año 2009 por concepto de tasa por uso de agua.

De otro lado se encuentran el plan de aguas de la zona rural del Municipio de Cali, documento que plantea importantes inversiones hasta el 2023 con montos que se encuentran en entre los 9 mil y 20 mil millones anuales.

### **Tasas retributivas y uso de aguas**

Las tasas retributivas fueron reglamentadas para la contaminación hídrica por vertimientos puntuales. Se cobran por la descarga de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST). Las tasas por uso de agua se cobran en el lugar de captación. En este caso la CVC y UAESPNN son competentes de su recaudo.

### **Impuesto predial (sobretasa ambiental)**

Otra fuente potencial de ingresos son los aportes del impuesto predial que transfieren los municipios a las corporaciones. Según la normativa, (Título VII De las rentas de las CAR); “Con destino a la protección del medio ambiente y de los recursos naturales renovables” se crea en un porcentaje sobre el total del recaudo por concepto de impuesto predial, que no podrá ser inferior al 15% ni superior al 25.9% (deberá ser fijado anualmente por el Concejo con iniciativa del Alcalde Municipal).

### **Transferencias del sector eléctrico**

La ley 99 de 1993 establece en su artículo 45 que las empresas generadoras de energía hidroeléctrica cuya potencia nominal instalada total supere los 10.000 kilovatios, transferirán el 3% de sus ventas brutas de energía a los municipios y distritos localizados en la cuenca hidrográfica; y en el caso de las termoeléctricas, transferirán el 1.5% de estas ventas al municipio en donde se encuentre localizada la planta generadora.

### **Recursos de los usuarios (costos evitados de EMCALI)**

Si se toma como base el ahorro potencial, consecuencia de la reducción de la sedimentación, se tiene un valor promedio que supera los 48 millones anuales para el período de 2011 – 2015, en un escenario donde se reduce el 39% de los sedimentos.

## **Empresas privadas**

Aportes de empresas privadas de Cali o del Valle del Cauca, entidades a quienes se puede cautivar haciendo uso del Incentivo Tributario “Para el Impulso de Actividades de Investigación y Protección al Medio Ambiente”, es decir ofrecerles invertir en proyectos de PSA, con lo cual se obtendrán incentivos tributarios. El sustento jurídico se encuentra en los siguientes artículos del Estatuto Tributario: A. Ley 29 de 1990 - de ciencia y tecnología y el Artículo 6° de la Ley 29 de 1990 , B. Estatuto Tributario Nacional y Ley 223 de 1995, Artículo 125 del Estatuto Tributario Nacional: Deducción por Donaciones, Artículo 22 del Estatuto Tributario Nacional: Entidades que no son contribuyentes.

La consecución de recursos de empresa privada, se hará al demostrar que con los aportes de sus recursos obtendrán un beneficio tributario.

## **Arreglos institucionales para ejecutar estrategias o esquemas de PSA**

---

Los arreglos institucionales, se entienden como todas aquellas regulaciones, medidas, ordenaciones, gestiones, aclaraciones, modificaciones, asociaciones o alianzas que deban hacer las entidades públicas y privadas para aportar recursos en dinero o en especie a una estrategia de PSA.

### **Para los recursos públicos del Municipio de Cali**

Para que el Municipio pueda invertir en esquemas de PSA, se debe adelantar los trámites respectivos, que incluyen reglamentos por parte del Ministerio de Ambiente y el Alcalde de Cali.

### **Recursos de EMCALI**

Esta empresa través de diferentes proyectos ha estado realizando inversiones en la cuenca del Río Cali, Por consiguiente, esta empresa social y comercial del Estado, está facultada normativamente para poder invertir en esquemas de PSA.

### **Recursos privados**

Recursos aportados por las Juntas Administradoras de Agua y por entidades de derecho privado bajo la figura de donaciones o aportes. Para efectos de lo anterior se puede hacer uso de la asociación de la ANDI, entidad que reúne las grandes empresas vallecaucanas.

## **Sostenibilidad de la estrategia de PSA**

---

La fuente de financiamiento más sólida, con la que se contaría en estos momentos, son los recursos que por Ley le corresponde ejecutar al Municipio de Cali en esquemas de PSA, y los posibles recursos de la empresa privada.

Por otra parte, también se lograría que las estrategias de PSA, sean sostenibles, una vez queden incluidas como proyectos en los diferentes planes de ordenación y manejo que regulan ambiental y territorialmente el área rural de Cali. La estrategia de PSA, debe quedar incluida en los siguientes planes de manejo:

- Plan de ordenación y manejo de la Cuenca del Río Cali
- Plan de Ordenamiento Territorial
- Plan de Manejo de la Zona de Reserva Forestal Protectora de Cali

- Plan de Manejo del PNN Farallones de Cali
- Y demás planes de manejo que determine la normatividad legal y vigente.

### Administración de los recursos aportados por entes públicos y privados

Se expondrán tres posibles formas de administración de los recursos (públicos y privados) que financien una estrategia de PSA.

Una figura usada regularmente mediante la cual entidades derecho público y entidades de derecho privado unen esfuerzos en pro de un fin común, es el Convenio de Asociación o Cooperación que para el caso que nos ocupa sería la “La ejecución de una estrategia de PSA en la Cuenca del Río Cali”.

La opción básica de ejecución de recursos públicos y privados en el marco de una estrategia de PSA, sería que cada uno de los aportantes a la estrategia invirtiera sus recursos de manera independiente, para lo cual acordarían ¿quién ejecuta qué? y ¿cuándo lo ejecuta?, es decir, cada entidad realiza sus contrataciones y entrega unos productos definidos que le aportan a la estrategia de PSA. Esta forma de administración de recursos, se puede hacer suscribiendo un convenio de cooperación, en este caso sería un convenio donde no se aportan recursos y cada entidad se obliga a ejecutar unas actividades acordadas. Pero también se puede ejecutar la estrategia de PSA donde cada entidad ejecuta lo que le corresponde sin que medie un convenio de cooperación.

1. Que en el convenio de cooperación se pacte, que la administración financiera de los recursos aportados por entidades públicas y privadas, se realice a través de un contrato de fiducia<sup>4</sup> o administración de fondos, para efectos de lo anterior se invita a participar en el Convenio de Cooperación a una entidad fiduciaria, quien debe aportar una contrapartida al mismo. En el convenio se establece que los recursos que aportan cada unas de las entidades se entregan a la entidad fiduciaria y esta última ejecuta la parte de la estrategia de PSA que se acordó entre las partes del convenio, conforme lo ordene el comité (técnico o directivo) que se defina como instancia de decisión del convenio, igualmente con cargo a los recursos aportados por las partes se cubrirán los costos de administración que demande la entidad

<sup>4</sup> Así, el artículo 1226 del Código de Comercio establece:

**“Artículo 1226.- La fiducia mercantil** es un negocio jurídico en virtud del cual una persona, llamada **fiduciante** o fideicomitente, **transfiere** uno o más bienes especificados a otra, llamada **fiduciario, quien se obliga a administrarlos o enajenarlos** para cumplir una finalidad determinada por el constituyente, en provecho de este o de un tercero llamado beneficiario o fideicomisario.

Una persona puede ser al mismo tiempo fiduciante y beneficiario.

Y luego, el artículo 1233 del mismo Código dispone:

**“Artículo 1233.-** Para todos los efectos legales, los bienes fideicomitidos deberán mantenerse separados del resto del activo del fiduciario y de los que correspondan a otros negocios fiduciarios, **y forman un patrimonio autónomo afecto a la finalidad contemplada en el acto constitutivo**” (Destaca la Sala).

fiduciaria. La supervisión de cada uno de los contratos realizados por la entidad fiduciaria en cumplimiento a lo establecido en los términos de referencia de la estrategia de PSA y a lo establecido en el convenio, podría ser realizado por una o varias de las partes convinientes. Los rendimientos financieros que se obtengan en el marco de la fiducia deberán ser aportados al fondo fiduciario.

2. Que en el convenio de cooperación se pacte, que la administración y ejecución de los recursos la realice una Fundación (escogida con base en criterios técnicos y jurídicos determinados en el proyecto de PSA), la que también suscribiría el convenio y aportaría una contrapartida al mismo; ésta entidad haría la ejecución de los recursos de conformidad con lo señalado en los términos de referencia de la estrategia de PSA, es decir contrataría personal, bienes, servicios (suministros, mantenimientos), arriendos, entre otros conceptos con personas naturales o jurídicas (fundaciones).

En las propuestas de administración financiera aquí expuestas, se manifiesta que mediante el convenio de cooperación se ejecutará parte de la estrategia de PSA, lo anterior en razón, a que en el marco del Contrato celebrado entre Patrimonio Natural y CIPAV, se está diseñando la estrategia piloto de PSA para la cuenca Cali y por ende muchos de los productos necesarios para poner en marcha una estrategia de PSA, serían aportados por el contrato citado, por lo que ya no habría necesidad de invertir recursos en esos productos.

### **Duración y mecanismo de operación del convenio de cooperación**

La duración del convenio de cooperación puede ser de mínimo dos años y máximo cinco años, pero en todo caso la duración se acuerda entre las partes convinientes.

### **Etapas para la implementación de una estrategia de PSA**

Teniendo claro cuáles son los mecanismos jurídico-administrativos para operar el piloto de PSA en la Cuenca del Rio Cali, a continuación se propone las etapas del proceso:

1. Definición del Problema a solucionar o minimizar a través de la estrategia de PSA, para ello se realiza un análisis de información secundaria, se desarrolla el SWAT y otros análisis técnicos. (Trabajo Interinstitucional – Orientado por CIPAV).
2. Definición del Sector del Municipio de Cali (Cuenca, ecosistema, corregimientos, veredas) donde se realizará la ejecución de la estrategia de PSA. (Trabajo Interinstitucional – Orientado por CIPAV).
3. Análisis de la situación jurídica predial de la zona donde se realizará la aplicación de la Estrategia de PSA. En esta etapa se debe desarrollar el menú<sup>5</sup> jurídico para posteriormente seleccionar los posibles proveedores del servicio ambiental. (Trabajo Interinstitucional – Orientado por CIPAV).
4. Definición del servicio ambiental que se debe desarrollar o aplicar (definición de actividades pertinentes para atender el problema identificado). Incluye la valoración económica, análisis de actividades insostenibles vs actividades sostenibles, o de actividades sostenibles no óptimas para minimizar la presión.

---

<sup>5</sup> Entiéndase por Menú Jurídico, el listado que contiene las calidades jurídicas que deben demostrar los habitantes del sector donde se desarrollará la estrategia de PSA, para poder aplicar como proveedores de los servicios ambientales.

5. Acciones insostenibles identificadas vs actividades sostenibles óptimas. En esta etapa se deben desarrollar los menús técnicos para posteriormente seleccionar los posibles proveedores del servicio ambiental. (Trabajo Interinstitucional – Orientado por una organización especializada en el tema.)
6. Definición de los actores públicos y privados que aportarán recursos (dinero o especie) a la estrategia de PSA. (Trabajo Interinstitucional – Orientado por CIPAV)
7. Inclusión en las planeaciones anuales de las entidades públicas y entidades privadas del aporte a la estrategia de PSA.
8. Definición y acuerdo sobre el mecanismo jurídico-administrativo que operará la implementación de la estrategia de PSA, (Trabajo Interinstitucional – Orientado por CIPAV)
9. Realización de la convocatoria para aplicar a la ejecución de la estrategia de PSA, en calidad proveedor del servicio ambiental definido. La convocatoria contiene: área donde se aplicara la estrategia de PSA, requisitos técnicos y jurídicos con los que tiene que contar el predio que debe aplicar, requisitos de contrapartida que debe ofrecer el propietario/ocupante entre otros aspectos. (Responsable: Mecanismo jurídico-administrativo definido para ejecutar la estrategia).
10. Publicación de la Convocatoria mediante medios masivos de comunicación y medios comunitarios de comunicación, según el sector donde se vaya a implementar la estrategia. (Falta definir términos, días de publicación) - (Responsable: Mecanismo jurídico-administrativo definido para ejecutar la estrategia).
11. Etapa de recepción de aclaraciones y ampliaciones sobre la convocatoria para ser proveedor en la estrategia de PSA. (Falta definir términos, días que se otorgan para esta etapa) - (Responsable: Mecanismo jurídico-administrativo definido para ejecutar la estrategia).
12. Recepción de documentación para aplicar a la convocatoria para ser proveedor en la estrategia de PSA. (Falta definir términos, días máximos para recepción de documentación) - (Responsable: Mecanismo jurídico-administrativo definido para ejecutar la estrategia).
13. Verificación de documentación aportada, análisis de soportes presentados por quienes se presentaron a la convocatoria. En esta etapa queda incluido lo siguiente: (evaluación de la propuesta, para ello se requiere profesionales idóneos técnicos y jurídicos, evaluaciones en campo etc..., aquí se debe dar aplicación al menú técnico para abordar la siguiente etapa (selección de proveedores) - (Responsable: Mecanismo jurídico-administrativo definido para ejecutar la estrategia).
14. Selección de proveedores del SA. (Responsable: Mecanismo jurídico-administrativo definido para ejecutar la estrategia).
15. Contratación de proveedores del SA. (Responsable: Mecanismo jurídico-administrativo definido para ejecutar la estrategia).
16. Aprestamiento para ejecución del contrato con el proveedor del S.A. (Planificación Predial, inversiones básicas a los predios seleccionados) - (Responsable: Mecanismo jurídico-administrativo definido para ejecutar la estrategia).

17. Seguimiento a la Contratación de proveedores SA. (Recibido a satisfacción de productos del contrato de PSA con el proveedor del SA y autorización de pagos)- (Responsable: Mecanismo jurídico-administrativo definido para ejecutar la estrategia)
18. Presentación de avances técnicos y de ejecución financiera de la estrategia de PSA. Periodicidad - (Responsable: Mecanismo jurídico-administrativo definido para ejecutar la estrategia).

## **10. Esquema de monitoreo**

---

Aunque las mejoras en aspectos como la cobertura boscosa, la disminución del vertimiento de contaminantes y la protección del suelo mejoran sin duda la provisión y la calidad de agua, los efectos de las prácticas de reconversión o protección pueden no verse en el corto plazo o pueden ser difíciles de percibir sino corresponden a un porcentaje importante de la cuenca. Por esta razón en programas de monitoreo de servicios ambientales hídricos se tienen en cuenta medidas de proceso, como hectáreas de coberturas boscosas recuperadas, kilómetros de corredores ribereños protegidos; y medidas de impacto o efecto sobre de protección del suelo, como la cantidad y calidad del agua.

En cuanto a las medidas sobre los ambientes acuáticos o sobre la cantidad y calidad del agua, es importante tener en cuenta las fluctuaciones normales de los caudales por efecto de las estaciones lluviosas o secas. Estas fluctuaciones de caudal pueden afectar otros parámetros fisicoquímicos o biológicos.

Se plantea basar el monitoreo en unas medidas de proceso para determinar los avances en acciones, usos de la tierra y prácticas que contribuyan a garantizar la regulación hídrica y a reducir la contaminación difusa y puntual, y unas medidas de impacto que evalúen las condiciones de la calidad del agua mediante parámetros físico-químicos y bióticos.

### **Monitoreo de la implementación de las actividades o usos del suelo**

---

Objetivo: determinar si las prácticas agropecuarias o cobertura vegetal se están direccionando hacia el objetivo y acuerdos convenidos.

Medidas del proceso o indicadores:

- Kilómetros de la quebrada protegidos mediante cerca para evitar actividades agropecuarias y entrada del ganado.
- Hectáreas de bosques maduros en el área de captación
- Hectáreas de bosques secundarios en el área de captación
- Número de vertimientos puntuales que caen directa o indirectamente a los cuerpos de agua (efluentes de lagos, de establos y de porquerizas)
- % de vertimientos controlados por el proyecto
- Número de focos de erosión presentes.

Se espera que los tres primeros indicadores se incrementen a través del tiempo mientras que los tres últimos deben irse reduciendo pues contribuyen a deteriorar la calidad del agua.

El análisis de coberturas se realizará a partir de los siguientes insumos:

<b>Insumo</b>	<b>Descripción</b>
Determinación de la cobertura actual	Se cuenta con un mapa de uso del suelo, el cual es la base para el cálculo de la tasa de cambio de la cobertura vegetal (Fuente CVC).
Actualización de los mapas de ecosistemas y cobertura y preparación del registro/indicador	Se empleara la información del mapa de cobertura vegetal para calcular la tasa de cambio en la cobertura de bosques. Adicionalmente se adoptaria la metodología denominada CORINE LAND COVER para la actualización del mapa de coberturas. Se propone plantear el indicador <i>tasa de cambio de cobertura de bosques</i> .
Validación de la información	La validación y actualización de la cobertura en la zona de estudio se realizara de acuerdo al análisis de fotografías aéreas de la zona.

### **Monitoreo de la sedimentación**

---

Objetivo: determinar si las condiciones de sedimentación en la corriente han mejorado.

Método: por medio de los registros continuos de concentración de sedimentos, o midiendo los sedimentos removidos en las bocatomas.

Indicador:

Metros cúbicos de sedimento.

### **Medidas de impacto**

---

Objetivo: determinar el efecto de las medidas sobre la regulación hídrica y la calidad del agua.

Método: Para determinar el efecto sobre la regulación hídrica se debe hacer una medición del caudal del afluente con una periodicidad mensual y correlacionando esta información con la precipitación caída en la zona.

Medidas del proceso o indicadores:

- Demanda bioquímica de oxígeno
- Nitritos
- Fosfatos
- Coliformes totales
- Coliformes fecales

Estas medidas deben tomarse al menos semestralmente.

### **Biota acuática**

---

La información sobre calidad de agua debe complementarse con la información de la biota acuática para lo que se propone utilizar la metodología desarrollada por Giraldo et al

(2010). Esta metodología no requiere de material sofisticado y puede realizarse por personal de la comunidad debidamente entrenado en las técnicas.

Los parámetros que deben medirse en este aspecto son la riqueza de familias y el índice BMWP. La medida de abundancia de organismos capturados puede usarse como complemento pero no es determinante pues requiere un método uniforme de muestreo y esta condición no se cumple fácilmente en trabajos con la comunidad.

Esta información biótica puede medirse, al igual que la calidad del agua, cada seis meses.

## 11. Objetivos, metas y costos de implementación el esquema de PSA propuesto definidos

El esquema de PSA se desarrollará a partir del análisis detallado (SIG) de los posibles predios en los polígonos seleccionados: según la previa selección de cuatro polígonos de los 10 priorizados en el presente documento, realizado bajo la concertación con las instituciones participantes. Por medio del SIG se ubicarán los posibles predios y se definirán las áreas tanto en predios privados como públicos donde se hará la intervención. Con las instituciones se definieron los polígonos 3, 4, 5 y 6 que incluyen la zona media y baja de Felidia y la zona baja de Pichindé (Felidia/Pajuil; Nieves baja; La Cajita/Pichindé; Pichindé/Providencia). En los predios identificados se realizarán las intervenciones que incluyen corredores y protección de nacimientos, 30 metros a cada lado de las orillas. Esta medida se propuso como unidad mínima para la estabilidad del cauce, el mantenimiento de hábitats acuáticos, la disminución de sedimentos, el control de inundaciones, y la capacidad para disminuir la entrada de nutrientes solubles, y otros impactos de origen agropecuario.

### Objetivos

Implementar un esquema de compensación de servicios ambientales con la participación activa de las instituciones y actores locales en la cuenca río Cali.

O.E.1. • Capacitar actores sociales e institucionales en el esquema de PSA y restauración ecológica para la cuenca Río Cali.

O.E.2. • Iniciar la implementación del esquema en predios públicos y privados.

### Metas

La intervención del 48% de los predios priorizados en los 10 polígonos mencionados en el capítulo de línea base bajo el modelo SWAT (Tabla 5), específicamente en los polígonos 3, 4, 5 y 6, aportará a la reducción de sedimentos del 36% en la subcuencas Felidia y Pichindé (Tabla 18).

**Tabla 18.** Polígonos, predios y disminución de sedimentos esperados bajo la intervención del esquema de PSA la cuenca del río Cali.

Polígono		No predios	Predios a intervenir	Área a intervenir	Aporte gral. de sedimentos	Disminución de sedimentos
3	46.29	50	44	18.08	6.26	2.55
4	51.63	30	27	31.1	102.62	78.44
5	66.27	1	1	52.93	135.99	14.75

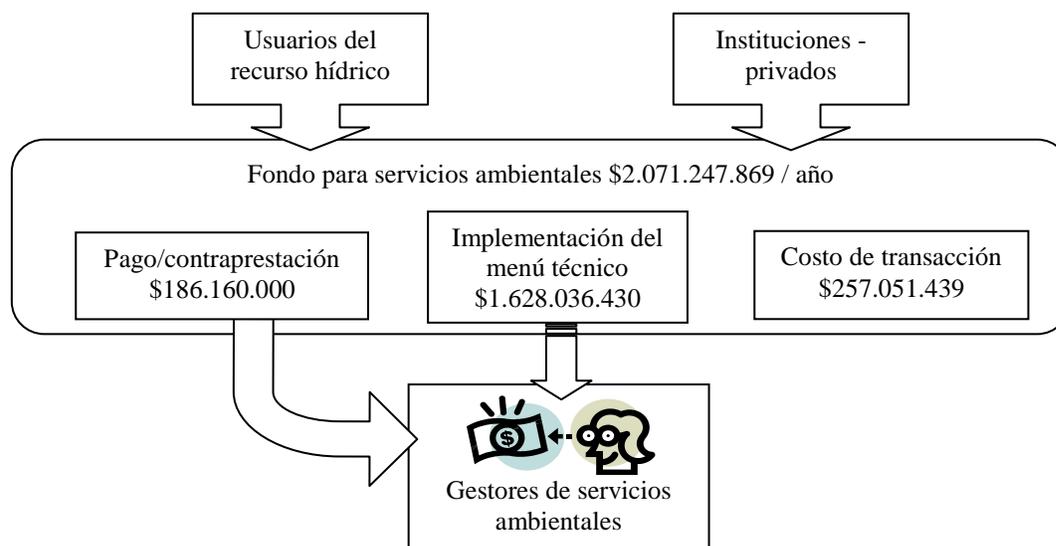
6	42.72	41	27	11.58	1.78	0.38
suma	<b>206.91</b>	<b>122</b>	<b>99</b>	<b>113.69</b>	<b>246.65</b>	<b>96.12</b>
Porcentaje	75%	48%	39%	30%	93%	36%

La protección de 30 metros lineales a cada lado de la ribera del río en los polígonos priorizados, llega a 205 ha (modelación SWAT); en estas, las áreas de rastrojo llegan a 73,4 ha, con un valor de protección y restauración de \$214.197,214; y los sistemas agropecuarios que deben ser intervenidos suman 131 ha, con un costo de \$1.153'839.216 (Tabla 19 y Gráfica 13).

**Tabla 19.** Resumen de los costos de implementación de la propuesta de corredores.

Áreas a intervenir	Cantidad	Costo intervención /ha	Total
Rastrojo (ha)	73,4	2.918.218	214.197.214
Sistemas agropecuarios (ha)	131,6	8.767.775	1.153.839.216
Sistemas saneamiento básico (unidad)	104	2.500.000	260.000.000
<b>Total</b>	<b>205</b>		<b>1.628.036.430</b>

Si se tiene en cuenta el valor de compensación por hectárea calculado en la sección de costo de oportunidad: \$389.848 por hectárea, y se supone además, compensar la totalidad del área a intervenir (205 hectáreas), se llegaría a un monto anual cercano a los \$80 millones. Bajo este escenario, la disponibilidad máxima a pagar por EMCALI correspondería a más del 50%, quedando un restante \$32 millones anuales por cubrir. En la Tabla 20 se presenta la distribución de costos, en cinco años, en los cuales se financiaría las 205 ha.



**Gráfica 13.** Esquema de contraprestación por servicios ambientales en la cuenca río Cali.

**Tabla 20.** Propuesta de flujo de recursos del esquema de PSA en la cuenca río Cali.

Año	No. hectáreas	Menú técnico	Costo transacción	Valor a pagar
1	30	241.636.373	45.600.000	7.800.000

2	59	475.218.201	48.336.000	23.140.000
3	90	724.909.120	51.236.160	46.540.000
4	30	241.636.373	54.310.330	54.340.000
5			57.568.949	54.340.000
<b>Total</b>	<b>209</b>	<b>1.683.400.067</b>	<b>257.051.439</b>	<b>186.160.000</b>
Población beneficiada, aprox.				400.000
Costo/beneficiario				\$5.317

## 12. Actores participantes en el esquema, roles y arreglos institucionales identificados.

### Mecanismo de operación para la consolidación del PSA

En la Gráfica 14, se presenta el mecanismo de operación propuesto, el cual se basa en un *convenio de cooperación* que establece una o más organizaciones públicas con una organización sin ánimo de lucro.

En este convenio tendrán participación las entidades de carácter ambiental y territorial con injerencia en la cuenca, que a bien lo suscriban y una organización no-gubernamental especializada de carácter nacional, que pueda fungir como administradora de los recursos y cumplir con el papel de secretaría técnica. Este convenio tendrá como máximo órgano de administración un Comité Directivo que será el operador del esquema a través de una de las organizaciones participantes del convenio, en este caso la organización no-gubernamental participante ó como alternativa una fiducia que ejecutará las acciones que se deriven de los mandatos de las decisiones que tome el Comité Directivo.

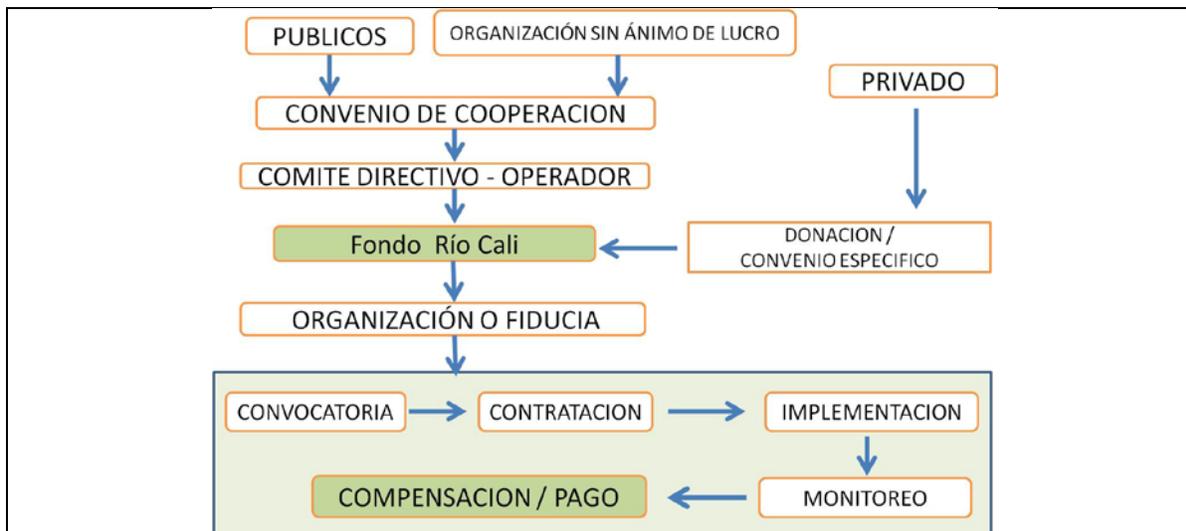
Para operar el esquema se establecerá el “Fondo Río Cali” el cual contará con un reglamento operativo que debe ser construido desde el Comité Directivo. Este fondo se creará con recursos en efectivo ó especie que aporten los miembros y podrá recibir donaciones para fines específicos del sector privado. Se buscará mecanismos para que estas donaciones permitan a estos privados, obtener exenciones tributarias.

A través de convocatorias focalizadas en áreas específicas de la cuenca, se invertirán recursos de compensación /pago por servicios ambientales a través de la organización no-gubernamental ó fiducia, se realizará el ciclo de convocatoria – contratación – implementación – monitoreo y finalmente compensación /pago.

En el desarrollo de esquema de de compensación /pago por servicios ambientales, tal y como está concebido los recursos se focalizarán a la restauración de los corredores riparios de las quebradas que drenan sus aguas a los Ríos Pichindé y Felidia, con el objetivo de re-establecer las coberturas y disminuir el nivel de sedimentos.

Ya que se cuenta con predios públicos y privados en dichas áreas, los predios públicos se financiarán con recursos públicos de la institución a la cual pertenezcan y no serán sujetos a pago alguno. Los predios privados aplicarán de acuerdo a convocatorias específicas que estarán sujetas a criterios pre-definidos de selección y una vez cumplan con los requisitos predefinidos, pasarán al proceso de contratación para establecer compromisos contractuales

de liberación de áreas de corredores ribereños que serán restauradas con recursos del fondo. Estas áreas estarán sujetas a monitoreo permanente y el pago se realizará dos veces por año iniciando a los 6 meses de la firma de contrato.



**Gráfica 14.** Esquema de operación para la consolidación del esquema de PSA en las subcuencas Felidia y Pichindé.

## Bibliografía

Arnold J., J. Williams, R. Srinivasan and K. King. 1998. SWAT—Soil and Water Assessment Tool. USDA: Temple, TX; 92.

Arriagada R, E. Sills, S. Pattanayak and P. Ferraro. 2009. Combining Qualitative and Quantitative Methods to Evaluate Participation in Costa Rica's Program of Payments for Environmental Services. *Journal of Sustainable Forestry* 28(3): 343–67

Asquith N, M. Vargas and S. Wunder. 2008. Selling two environmental services: In-kind payments for bird habitat and watershed protection in Los Negros, Bolivia, *Journal of Ecological Economics* 65(4).

Borda C., R. Moreno-Sánchez, S. Wunder. 2009. Pagos por Servicios Ambientales en Marcha: La Experiencia en la Microcuenca de Chaina, Departamento de Boyacá, Colombia. Borrador suministrado por los autores.

Chará J. 2004. Manual de evaluación biológica de ambientes acuáticos en microcuencas ganaderas. 2 ed. Cali, CO, Fundación Cipav. 72 p.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVCC. 2007. Balance Oferta – Demanda de agua superficial. Cuenca río Cali. Informe técnico. Santiago de Cali.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVCC. 1997. Estudio General de suelos de la Zona Andina, Santiago de Cali. 374 p.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC. 2010. Distribución Espacial Red de Estaciones Meteorológicas empleadas en el Estudio - Valle del Cauca. Grupo de Recursos Hídricos Cali, Valle del Cauca – Colombia. URL: <http://www.cvc.gov.co/vsm38cvc/data/RecursoHidrico/aplicativos/Climatologia/DistriEspacialRedClimaValle.php> Acceso: 24 noviembre 2010.

Departamento Administrativo de Planeación Municipal – DAPM-. 2008. Plan de Desarrollo 2008 – 2011 Corregimiento Pichindé. URL: [http://planeacion.cali.gov.co/PlanDesarrollo/Planes\\_Territoriales/PERIODO%202008-2011/Corregimientos/57%20Pichinde.pdf](http://planeacion.cali.gov.co/PlanDesarrollo/Planes_Territoriales/PERIODO%202008-2011/Corregimientos/57%20Pichinde.pdf)

\_\_\_\_\_ (2008) Plan de Desarrollo 2008 – 2011 Corregimiento Felidia

\_\_\_\_\_ (2008) Plan de Desarrollo 2008 – 2011 Corregimiento La Leonera

\_\_\_\_\_ (2008) Plan de Desarrollo 2008 – 2011 Corregimiento Los Andes

\_\_\_\_\_ (2008) Plan de Desarrollo 2008 – 2011 Corregimiento El Saladito

Díaz F. 2006. Restauración ecológica participativa, en la zona de recuperación natural del Parque Nacional Natural Farallones de Cali. Unidad Administrativa Especial de Sistemas de Parques Nacionales Naturales de Colombia – UAESPNN. Santiago de Cali.

Fundación para la Vida en Comunidad – FUNVIVIR-. 2005. Mapa Social Corregimientos El Saladito, Felidia, Los Andes. Alcaldía de Santiago de Cali – Unidad de Asistencia Técnica Agropecuaria (UMATA).

Gil S. 2005. Estudio de Caso sobre Gestión Descentralizada de Áreas Protegidas en Colombia, Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005

Giraldo L., A. Chará-Serna, J. Chará, M. Zúñiga, G. Pedraza. 2010. Monitoreo de la calidad del agua con macroinvertebrados de la zona andina colombiana. CIPAV, Cali. Plegable.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia –IDEAM-. 2004. Informe anual sobre el estado del medio ambiente y los recursos naturales renovables en Colombia. Bogotá. Colombia.

Instituto Geografico Agustin Codazzi –IGAC-. 1986. Estudio Semidetallado de Suelos del Valle Geográfico del Río Cauca, Bogotá, D.C. p. 180-181, 193-195.

Loaiza, W. 2007. Plan de Ordenamiento y Manejo Ambiental de la cuenca hidrográfica del río Cali – Diagnóstico. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), Universidad del Valle (UV), Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (Dagma). Santiago de Cali, Colombia

Millenium Ecosystem Assessment. 2003. Ecosystems and human well-being: a framework for assessment. Washington, DC: Island Press.

Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial –MAVDT-.2008. Estrategia Nacional De Pago Por Servicios Ambientales. Bogotá 2008.

Neitsch S., J. Arnold, J. Kiniry, and J. Williams. 2001. Soil and Water Assessment Tool theoretical documentation version 2000. URL: <http://www.brc.tamus.edu/swat/doc.html>. Acceso 24 de octubre de 2011

Paredes S., M. González, O. Buitrago, R. Castillo, L. Echavarría, D. Parra, A. Peña, E. Zapata, G. Roldan G. 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Uso del Método BMWP/Col. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín, 170p.

Unidad Administrativa Especial de Parques Nacionales Naturales de Colombia – UAESPNN-. 2005. Plan de Manejo Parque Nacional Natural Farallones de Cali 2005 – 2009. Santiago de Cali, Colombia.

\_\_\_\_\_ (2007) Resolución 0002 del 17 de septiembre de 2007.

\_\_\_\_\_ (2009) Auto Número (001\_030209) de Febrero 03 de 2009

Universidad del Valle y CVC. 2007. Plan de ordenamiento y manejo ambiental de la cuenca hidrográfica del Río Cali. Diagnóstico. Cali.

Wunder S., and M. Albán. 2008. Decentralized payments for environmental services: The cases of Pimampiro and PROFAFOR in Ecuador. *Journal of Ecological Economics* 65(4): 685-698.

Constitución Nacional de Colombia

Normatividad Ambiental:

Decreto Ley 2811 de 1974

Ley 23 de 1973

Ley 99 de 1993

Ley 388 de 1997

Decreto 1729 de 2002

Decreto 1604 de 2002

Decreto Ley 216 de 2003

Ley 1151 de 2007

Ley 200 de 1936

Ley 489 de 1998

Decreto 777 de 1992

Decreto 1403 de 1992