

Valoración del servicio ecosistémico de retención de sedimentos  
Cuenca del Río Meléndez  
Parque Nacional Natural Farallones de Cali



**VALORACIÓN DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE RETENCIÓN DE SEDIMENTOS CUENCA  
DEL RÍO MELÉNDEZ PARQUE NACIONAL NATURAL FARALLONES DE CALI**

**PRESENTADO POR: MIGUEL ÁNGEL BEDOYA PANIAGUA  
SUBDIRECCIÓN DE SOSTENIBILIDAD Y NEGOCIOS AMBIENTALES**

**PARQUES NACIONALES NATURALES DE COLOMBIA  
BOGOTÁ D.C.  
2017**

## Contenido.

1	RESUMEN.....	6
2	INTRODUCCIÓN.....	7
3	UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	8
4	IDENTIFICACIÓN DE ACTORES.....	9
4.1	Usos del suelo.....	9
4.1.1	Cuenca Alta.....	9
4.1.2	Cuenca Media.....	9
4.1.3	Cuenca baja.....	9
4.2	Usos del agua.....	9
4.3	Coberturas del suelo en la cuenca.....	11
4.4	Usuarios del recurso hídrico:.....	12
4.5	Usuarios más demandantes de recurso hídrico:.....	14
4.5.1	Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Cali:.....	14
5	MARCO MÉTODOLÓGICO DE LA VALORACIÓN.....	16
5.1	Cálculo de los sedimentos exportados.....	16
5.2	Características del modelo.....	17
5.2.1	Limitaciones.....	17
5.2.2	Información Utilizada.....	17
6	ESQUEMA GENERAL DE VALORACIÓN ECONÓMICA.....	19
6.1	Línea base del servicio ecosistémico:.....	19
6.2	Análisis de la relación del SE y el beneficio económico del usuario.....	20
6.3	Cambios en el beneficio económico del usuario por mejora o afectación del servicio ecosistémico.....	20
7	VALORACIÓN ECONÓMICA.....	21
7.1	Servicio ecosistémico de retención de sedimentos.....	21
7.1.1	Método de costos evitados:.....	21
8	TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN PARA EL CÁLCULO DE LOS SEDIMENTOS EXPORTADOS.....	24
8.1	Modelo de elevación digital.....	24
8.2	Erosividad de la lluvia (Factor R).....	24
8.3	Delimitación de la cuenca para evaluación de la exportación de sedimentos.....	25

8.4	Coberturas del suelo.....	26
8.5	Escenarios contemplados:.....	26
9	RESULTADOS.....	27
9.1	Cálculo de los sedimentos exportados. ....	27
9.1.1	Sedimentos exportados en condiciones de año medio.....	27
9.1.2	Sedimentos exportados en escenario de año húmedo.....	28
9.1.3	Sedimentos exportados en escenario de cambios de cobertura (año medio con transformación de bosques del Parque en pastos).....	29
9.1.4	Sedimentos exportados en escenario de cambios de cobertura (año húmedo con transformación de bosques del parque en pastos).....	30
9.1.5	Sedimentos exportados en escenario de conservación – año medio (cambio de coberturas antrópicas en el parque a coberturas boscosas).....	31
9.1.6	Sedimentos exportados en escenario de conservación – año humedo (cambio de coberturas antrópicas en el parque a coberturas boscosas).....	32
9.1.7	Resultados a nivel de cuenca hasta la bocatoma de La Reforma. ....	33
9.2	Sedimentos retenidos. ....	34
9.3	Valoración económica.....	36
9.3.1	Costos evitados en año medio.....	36
9.3.2	Costos evitados en año húmedo.....	37
9.3.3	Ahorros en escenario de conservación.....	37
10	Bibliografía.....	39

## **Índice de tablas.**

Tabla 1. Distribución de las coberturas en la cuenca.....	12
Tabla 2. Usuarios del recurso hídrico con concesión de aguas en la Cuenca del Río Meléndez. ....	12
Tabla 3. Información necesaria para el modelo de retención de sedimentos. ....	18
Tabla 4. Insumos para la valoración económica por costos evitados hacia el sector hidroeléctrico. .	23
Tabla 5. Estaciones con información de precipitación analizadas. ....	25
Tabla 6. Resultados totales para los diferentes escenarios. ....	33
Tabla 7. Cálculos para la valoración de los costos evitados por sedimentación en año medio. ....	36
Tabla 8. Cálculos para la valoración de los costos evitados por sedimentación en escenario de año húmedo. ....	37
Tabla 9. Cálculos para la valoración económica de los ahorros en escenario de conservación. ....	38

## **Índice de gráficos.**

Gráfico 1. Porcentaje del volumen concesionado de agua para los diferentes usos. ....	14
Gráfico 2. Escenarios contemplados en la modelación. ....	26
Gráfico 3. Sedimentos exportados para los escenarios contemplados. ....	33

## **Índice de mapas.**

Mapa 1. Ubicación general de la Cuenca del Río Meléndez. ....	8
Mapa 2. Coberturas de la cuenca 2005-2009. ....	11
Mapa 3. Cuenca del Río Meléndez hasta la bocatoma de agua de la Planta La Reforma. ....	15
Mapa 4. Sedimentos exportados en escenario de año medio. ....	27
Mapa 5. Sedimentos exportados en escenario de año húmedo. ....	28
Mapa 6. Sedimentos retenidos en condiciones de año medio. ....	34
Mapa 7. Sedimentos retenidos en condiciones de año húmedo. ....	35

## 1 RESUMEN.

El presente trabajo muestra los resultados de la valoración del servicio ecosistémico de retención de sedimentos que brinda el Parque Nacional Natural Farallones de Cali en la Cuenca del Río Meléndez, bajo escenarios de variabilidad climática como el fenómeno de la niña y escenarios de cambio de coberturas; con el propósito de reconocer el aporte del parque en términos del control de la erosión y así mismo los costos evitados o ahorros que se tendrían por la existencia del área protegida hacia un sector económico de importancia significativa.

Como parte de la valoración se realizó una modelación de la retención de sedimentos para determinar el aporte del parque en términos de la prestación del servicio ecosistémico. Así mismo, se consideró la información de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Cali (EMCAL), con el fin de relacionar la información sobre el costo de remoción de sedimentos como insumo para la valoración económica de los beneficios de la existencia del parque frente a este servicio.

Con base en lo anterior se presenta un marco metodológico de la valoración biofísica y monetaria, con la cual se obtienen los elementos base para la aproximación de los beneficios monetarios uno de los servicios ecosistémicos hidrológicos del área protegida. De esta manera, la valoración se configura como una oportunidad para avanzar en la apropiación, reconocimiento y negociación de los servicios ecosistémicos como una manera de identificar, establecer, estrategias o alianzas, para favorecer la sostenibilidad financiera del PNN Farallones de Cali.

## 2 INTRODUCCIÓN.

En los últimos años se han suscitado diferentes avances y experiencias frente al abordaje de los servicios ecosistémicos y el reconocimiento de su importancia para los seres humanos y el desarrollo de sus actividades. Los esfuerzos en este sentido se han dado entre otras cosas, con el fin de reconocer en los servicios ecosistémicos como los beneficios que obtienen las personas por el medio ambiente natural. Concepto por el cual se busca fortalecer un lenguaje que sirva como un puente entre la biodiversidad y el ser humano.

Los ecosistemas y sus funciones ecológicas tienen la capacidad de brindar elementos como el suelo, plantas, animales, aire, agua limpia, entre otras cosas en cosas que nosotros valoramos. No obstante, en muchos casos, existen limitaciones en el reconocimiento del valor y la importancia de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, lo cual favorece que al momento de la toma de decisiones sobre el territorio se primen aquellas acciones que generan beneficios económicos tangibles a corto plazo.

Ante situaciones como esta se presenta lo que se conoce como como “Invisibilidad económica de la naturaleza”, concepto abordado por Pavan Sukhdev a partir de la evaluación de los ecosistemas del milenio (Millennium Ecosystem Assessment,2005). Esta invisibilidad representa entonces el desconocimiento de la contribución de la biodiversidad y los S.E. al desarrollo económico y social.

Una de las alternativas para fortalecer el reconocimiento de la importancia de los S.E. de las áreas protegidas consiste en su valoración que considere un lenguaje tanto económico como biofísico y social, a fin de identificar las diferentes formas en que los ecosistemas brindan bienestar a la sociedad.

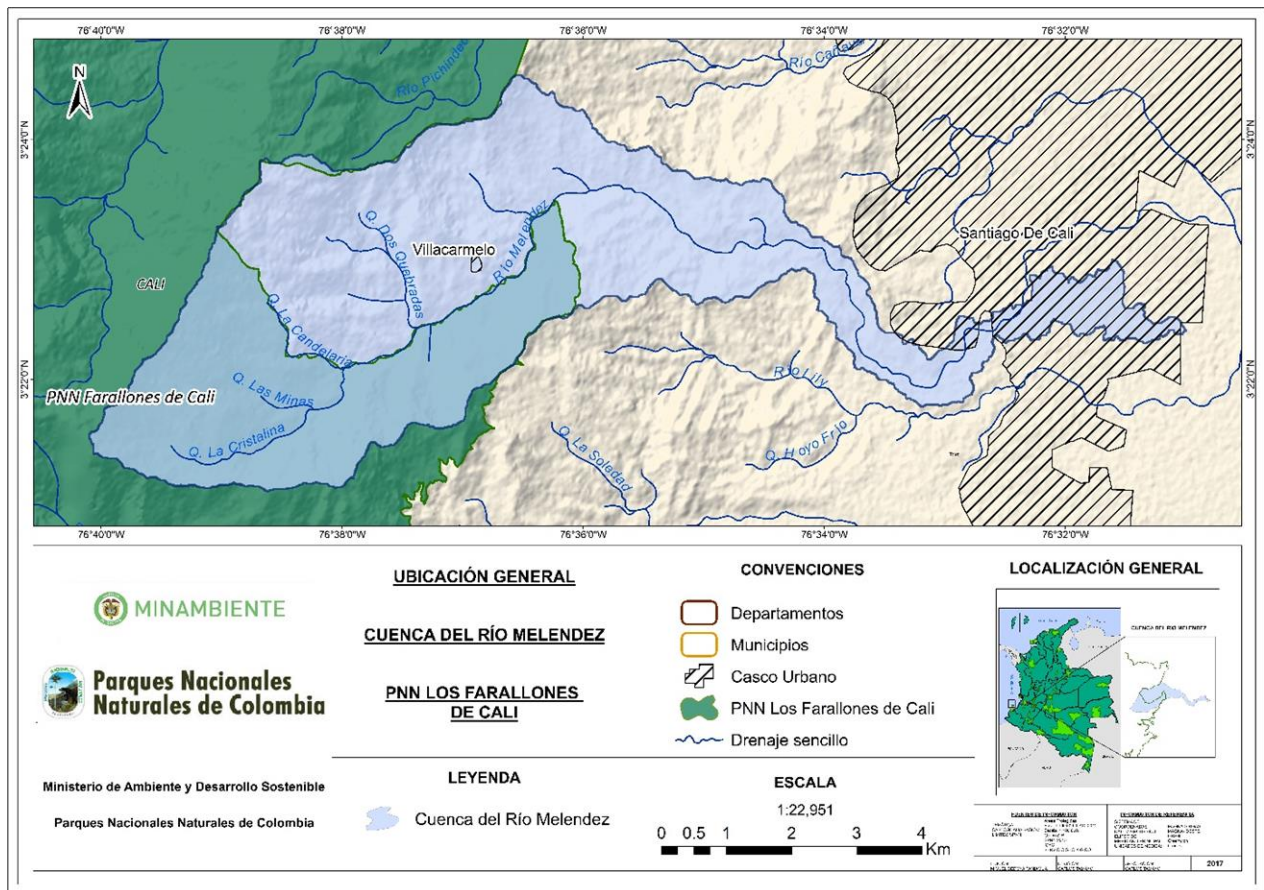
En este sentido, el presente trabajo, realizado desde el Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia, aborda un ejercicio de valoración del servicio ecosistémico hidrológico de retención de sedimentos en la Cuenca del Río Meléndez – Parque Nacional Natural Farallones de Cali; bajo un enfoque de valoración biofísica y económica en donde se identifica la capacidad del ecosistema para evitar la pérdida de suelo por erosión y el efecto económico que la afectación que este servicio ecosistémico tiene en materia económica hacia la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Cali (EMCALI), en su planta de tratamiento de Agua de La Reforma, la cual se abastece del agua del Río Meléndez.

El ejercicio de valoración comprende una modelación hidrológica que da cuenta de la adicionalidad (ganancia) o pérdida en el servicio ecosistémico de retención de sedimentos en la cuenca y su efecto en términos de los “costos evitados” por la empresa de acueducto frente a la conservación del área protegida, con el fin de contar con información e insumos sobre la importancia de la conservación y el efecto positivo que la misma frente al abastecimiento de la ciudad de Cali.

### 3 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

La cuenca del Río Meléndez Nace en las estribaciones de la cordillera occidental a una altura aproximada de 2800 msnm, con un recorrido de 25 km en dirección oeste – este. Se localiza entre las cuencas de los ríos cañaveralejo y lili, en jurisdicción de los corregimientos de La Buitrera y Villacarmelo y dentro de las Comunas 16, 17, 18 y 22 del área urbana del municipio de Santiago de Cali.

Mapa 1. Ubicación general de la Cuenca del Río Meléndez.



Fuente: Elaboración propia.



## **4 IDENTIFICACIÓN DE ACTORES.**

### **4.1 Usos del suelo.**

#### **4.1.1 Cuenca Alta.**

Las actividades de la cuenca Alta incluyen agricultura cafetera, cultivos de pancoger, cría de pollos de campo y en galpones, así como cerdos y algunas especies menores. En algunos casos se lleva a cabo extracción y aserrío ilegal de madera. (Claustro Abierto, 2009), citado por (Castrillón, 2014).

#### **4.1.2 Cuenca Media.**

Se presenta actividad agrícola a pequeña escala, con presencia de fincas y casas campestres alrededor del río utilizada para descanso y recreación, las cuales llegan incluso al borde del río. Existe un riesgo significativo por presencia de asentamientos humanos ilegales como los denominados “La Colchona y Las Palmas” (parte superior de la comuna 18), donde se presentan viviendas ubicadas en la margen izquierda del río y que invaden la zona de protección forestal, lo que representa un gran riesgo para la comunidad en términos de procesos torrenciales que pueden representar fenómenos de remoción en masa e inundaciones. (Castrillón, 2014).

#### **4.1.3 Cuenca baja.**

La cuenca baja se ubica en el área urbana de la ciudad de Cali, atravesando las comunas 17,18, 22 y parte de la 16. La vegetación en esta zona es generalmente pobre; encontrándose en diferentes puntos establecimientos que utilizan la margen del río como límite predial, ocupando la zona de protección forestal. Casi la totalidad de la cuenca baja se encuentra urbanizada, lo cual se refleja en el tipo de actividades desarrolladas (residencial, comercial e institucional) y en los vertimientos de aguas residuales realizados principalmente a través de canales y tuberías del alcantarillado, además de basuras domésticas y escombros, que deterioran la calidad del ecosistema. (DAGMA , 2013).

### **4.2 Usos del agua.**

La cuenca del Río Meléndez es una fuente de abastecimiento de agua para las comunidades asentadas en la cuenca. En la zona rural se encuentran las bocatomas para los barrios La Sirena y La Buitrera. Entre tanto, en el área urbana de la cuenca se abastece el acueducto de La Reforma, la cual suministra por gravedad agua a las zonas de la ladera (Comunas 18 y 20 de la Ciudad de Cali), que no pueden ser atendidas por algún otro sistema de distribución. (Castrillón, 2014).

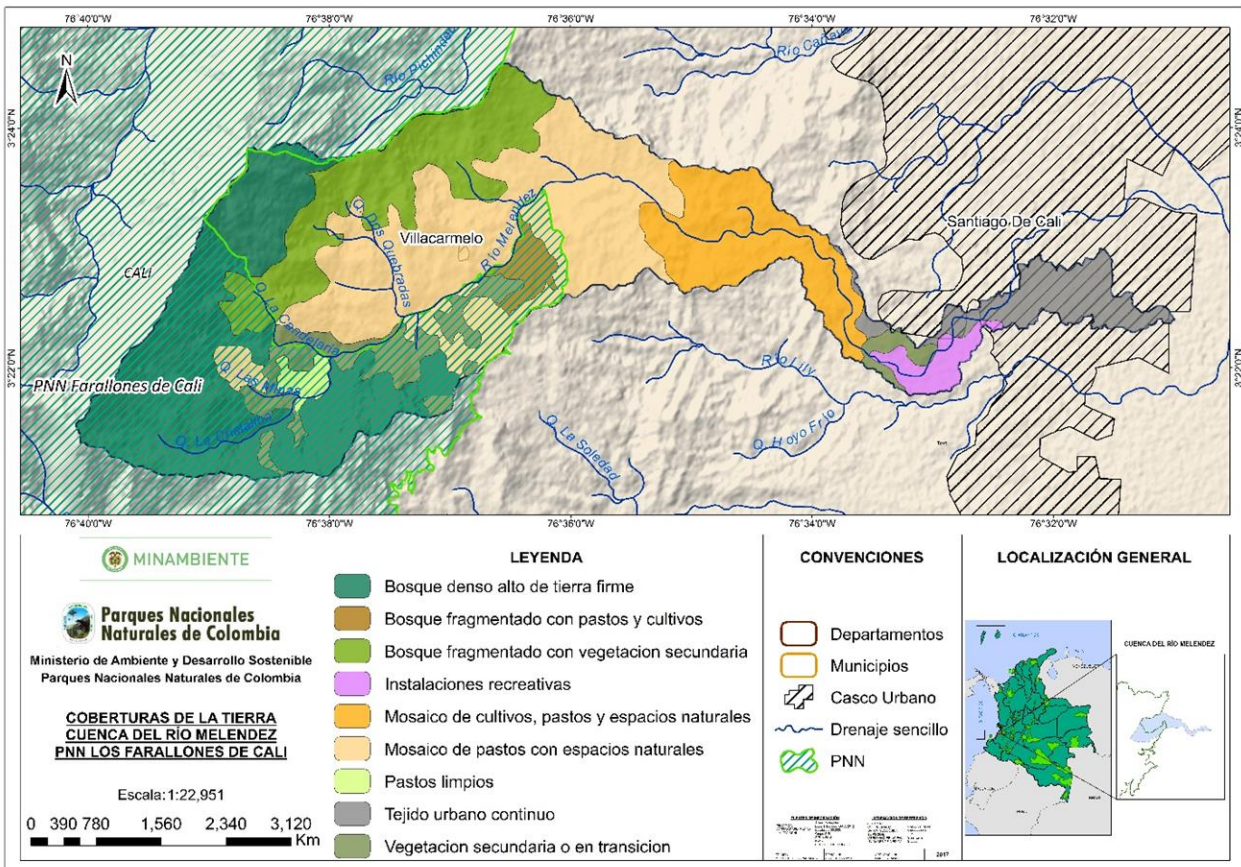
La planta de tratamiento de agua de La Reforma fue diseñada para  $1 \text{ m}^3 * \text{s}^{-1}$ , pero capta y trata un promedio de  $300 \text{ L} * \text{s}^{-1}$ , valor del caudal concesionado por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). De igual forma, el río ha sido utilizado además, como fuente de irrigación y recreación, así como un elemento de importancia en términos paisajísticos y culturales para la ciudad.

El potencial hídrico del Río Meléndez se ve afectado por los procesos de densificación de los asentamientos humanos existentes, la construcción de vías, la contaminación con aguas residuales y los acelerados procesos de erosión que tienen como principal causa los cambios en el uso del suelo particularmente en la cuenca media. (Claustro Abierto, 2009), citado por (Castrillón, 2014). Además el río presenta problemas de regulación hídrica tanto en verano como en invierno. En época seca el río presenta caudales muy bajos, con lo cual se han presentado racionamientos para los sectores que se surten del acueducto de La Reforma. Por otro lado durante la temporada de lluvias se presentan cierres en la planta de tratamiento de agua debido a los altos niveles de turbidez en el río.

### 4.3 Coberturas del suelo en la cuenca.

Como parte del proceso de valoración, es necesario identificar tanto los diferentes beneficiarios del recurso hídrico como los actores que conforman y hacen parte de la cuenca, y que a través de sus diferentes actividades hacen un uso del suelo afectando de manera diferencial el ecosistema. Una forma hacer esta identificación consiste en revisar las coberturas de la tierra en la cuenca, para lo cual se construyó un mapa de dichas coberturas para el periodo 2005-2009, a partir de la información del Sistema de Información Ambiental Colombiano (SIAC).

Mapa 2. Coberturas de la cuenca 2005-2009.



Fuente: Elaboración propia con base en (IDEAM, 2012)

La distribución de las coberturas de la cuenca se presenta a continuación:

Tabla 1. Distribución de las coberturas en la cuenca.

Cobertura	Hectáreas	% en la cuenca
Bosque denso alto de tierra firme	1070.46	27.04%
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	68.59	1.73%
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	552.48	13.96%
Instalaciones recreativas	85.36	2.16%
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	439.16	11.09%
Mosaico de pastos con espacios naturales	1184.33	29.92%
Pastos limpios	40.85	1.03%
Tejido urbano continuo	227.12	5.74%
Vegetación secundaria o en transición	290.19	7.33%
<b>Total</b>	<b>3958.55</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia con base en (IDEAM, 2012).

#### 4.4 Usuarios del recurso hídrico:

A partir de la información sobre los reportes de cobro de las tasas por utilización de aguas de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), se identificaron los usuarios del recurso hídrico en la cuenca, así como el volumen concesionado para cada uno. (Tabla 2.)

Tabla 2. Usuarios del recurso hídrico con concesión de aguas en la Cuenca del Río Meléndez.

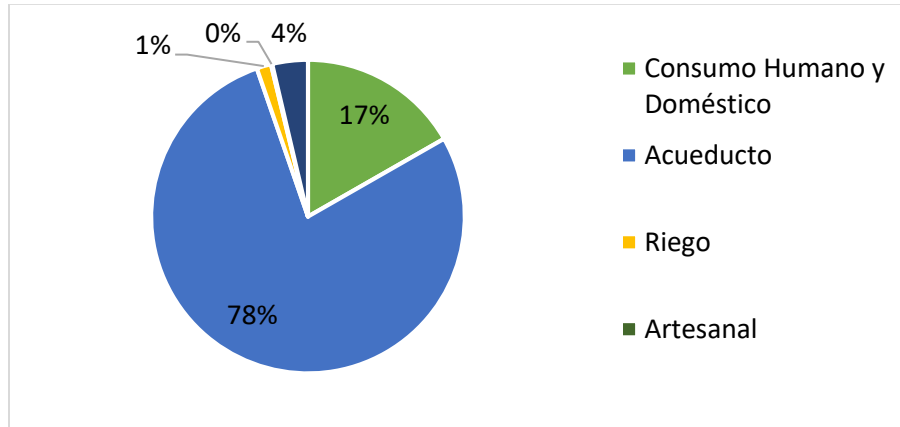
NOMBRE O RAZON SOCIAL DEL USUARIO	RESOLUCIÓN CONCESION N°	TIPO DE USO	VOLUMEN CONCESIONADO (M3)	NOMBRE DE LA FUENTE	SITIO DE CAPTACION	INDICE ESCASEZ
ALZATE C. MANUEL HUMBERTO	520	CONSUMO HUMANO Y DOMESTICO	10886.4	QDA. LA CRISTALINA	LA CLARITA	0.55
ANGULO HERNANDEZ ZENEIDA	1047	CONSUMO HUMANO Y DOMESTICO	2177.28	LA CRISTALINA	VILLA MARIELA	0.55
ASOC. DE SUSCRIPTORES DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DEL PARAJE LA LUISA	257	CONSUMO HUMANO Y DOMESTICO	49144.32	MELENDEZ	PARAJE LA LUISA	0.55
ASOCIACION DE SUSCRIPTORES DEL	883	ACUEDUCTO	178848	MELENDEZ	ASABLASI	0.55

NOMBRE O RAZON SOCIAL DEL USUARIO	RESOLUCIÓN CONCESION N°	TIPO DE USO	VOLUMEN CONCESIONADO (M3)	NOMBRE DE LA FUENTE	SITIO DE CAPTACION	INDICE ESCASEZ
ACUEDUCTO DEL BARRIO LA SIRENA						
ASOCIACION DE SUSCRIPTORES DEL ACUEDUCTO DEL BARRIO LA SIRENA	883	ACUEDUCTO	178848	MELENDEZ	ASABLASI	0.55
ASOCIACION DE SUSCRIPTORES DEL ACUEDUCTO DEL BARRIO LA SIRENA	883	ACUEDUCTO	55524.096	MELENDEZ	ASABLASI	0.55
CONSTRUCTORA LIMONAR S.A.	48288	RIEGOS	155520	MELENDEZ	CUCARACHAS BAJO	0.55
CORPORACION CLUB CAMPESTRE DE CALI	145	CONSUMO HUMANO Y DOMESTICO	933120	MELENDEZ	CLUB CAMPESTRE	0.55
CORPORACION CLUB CAMPESTRE DE CALI	145	CONSUMO HUMANO Y DOMESTICO	933120	MELENDEZ	CLUB CAMPESTRE	0.55
EMPRESAS MUNICIPALES DE CALI E.I.C.E. E.S.P.	689	ACUEDUCTO	4665600	MELENDEZ	ACUEDUCTO LA REFORMA	0.55
EMPRESAS MUNICIPALES DE CALI E.I.C.E. E.S.P.	689	ACUEDUCTO	4665600	MELENDEZ	ACUEDUCTO LA REFORMA	0.55
FUNDACION HOGARES CLARET - CENTRO DE REEDUCACION DE ADICTOS	1183	CONSUMO HUMANO Y DOMESTICO	7776	MELENDEZ	HOGAR C NUEVA LUZ	0.55
GARZON GUZMAN MARIA	705	CONSUMO HUMANO Y DOMESTICO	933.12	LA CRISTALINA	BRISAS DEL VALLE	0.55
JUNTA ADMINISTRADORA DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE LA CABECERA CGTO DE V/CARMELO	1209	CONSUMO HUMANO Y DOMESTICO	74649.6	DOS QUEBRADAS	ACUEDUCTO VILLACARMELO	0.55
KORBER FRANZ JOSEF	161	RIEGOS	31104	MELENDEZ	POLVORINES	0.55
PERRY MUÑOZ NELLIE ANDREA DONOHEW	148	CONSUMO HUMANO Y DOMESTICO	77760	LA CRISTALINA	LAS PALMERA	0.55
SANDOVAL MARIA DORA	850	ARTESANAL	15552	MELENDEZ	LA PLAYITA	0.55
SENDOYA DE ORDOÑEZ MARIA ELISA	539	CONSUMO HUMANO Y DOMESTICO	1244.16	LA CRISTALINA	PARCELA LA LINDA	0.55
UNIVERSIDAD DEL VALLE	106	ORNAMENTAL	279936	MELENDEZ	UNIVERSIDAD DEL VALLE	0.55
UNIVERSIDAD DEL VALLE	106	ORNAMENTAL	178848	MELENDEZ	UNIVERSIDAD DEL VALLE	0.55

Fuente: CVC 2014.

En la siguiente gráfica se aprecian los volúmenes concesionados de agua en la cuenca para los diferentes usos.

Gráfico 1. Porcentaje del volumen concesionado de agua para los diferentes usos.



Fuente: Elaboración propia con base en CVC 2014.

Como se aprecia, el abastecimiento de agua corresponde al uso más significativo en la cuenca, teniendo en cuenta la presencia de EMCALI, a través de su planta de tratamiento de la reforma, con la cual se abastece de agua parte de la ciudad de Cali.

#### 4.5 Usuarios más demandantes de recurso hídrico:

##### 4.5.1 Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Cali:

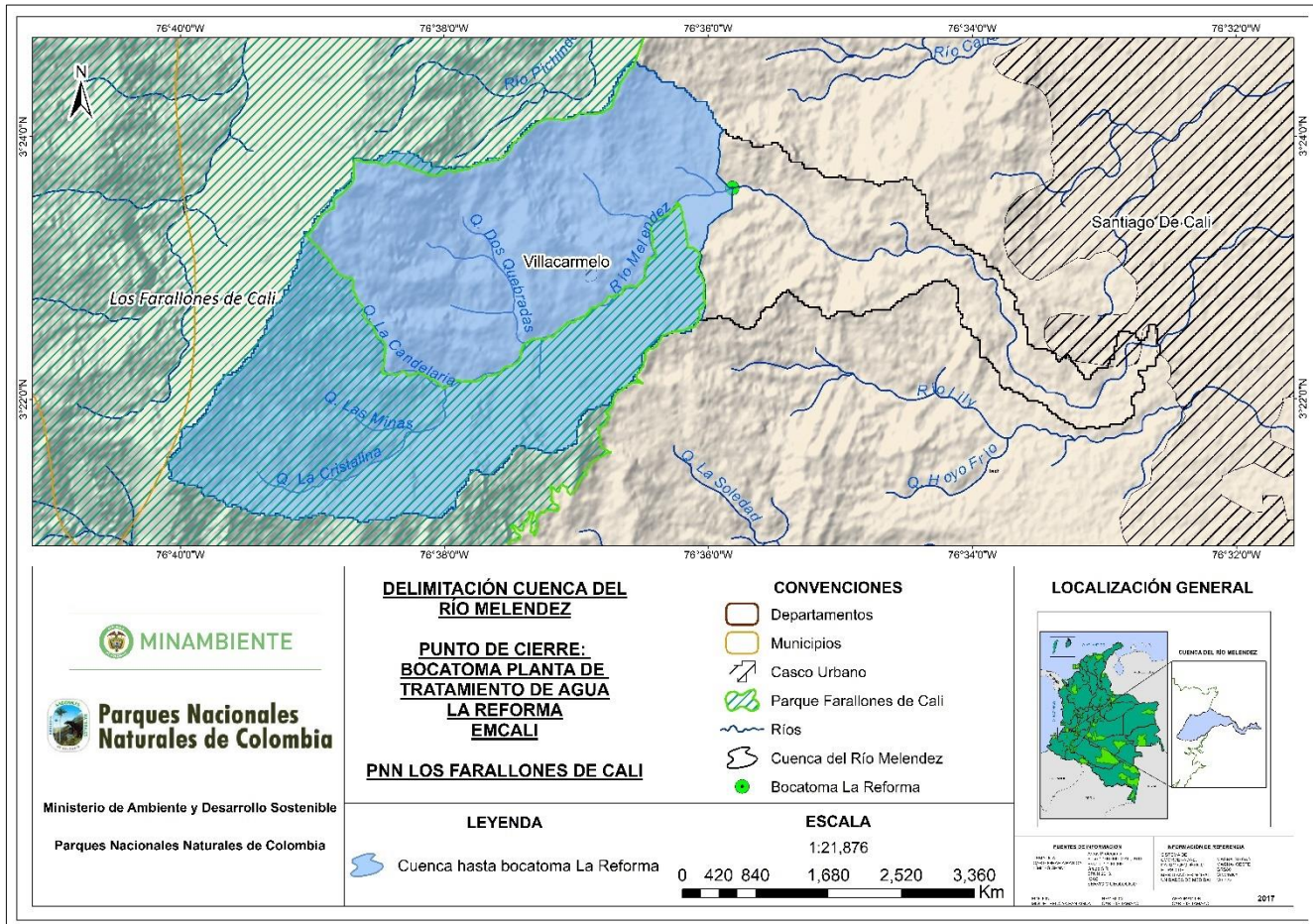
La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Cali (EMCAL), corresponde al sector beneficiario más significativo de la cuenca del Río Meléndez, por parte de su captación de agua a través de la planta de tratamiento de Agua Potable La Reforma, la cual se encuentra localizada en el municipio de Santiago de Cali en el corregimiento de Villa Carmelo, a una altura de 1300 mts sobre el nivel del mar. Es una planta tipo convencional simplificado que se alimenta del Río Meléndez el cual tiene excelentes calidades fisicoquímicas y Bacteriológicas. (EMCALI, s.f.)

La planta de La Reforma tiene una capacidad máxima de  $1 \text{ m}^3 * \text{s}^{-1}$  y atiende a una población de aproximadamente 120.000 usuarios localizados en la zona de la ladera de la ciudad. Esta planta cuenta con una bocatoma mixta (fondo y lateral) y una unidad desarenadora con dos compartimentos, la conducción tiene una longitud de 2390 m en tuberías de diferentes diámetros.

En el siguiente mapa se muestra la bocatoma de agua de la planta de tratamiento La Reforma, ubicada en la cuenca:



Mapa 3. Cuenca del Río Meléndez hasta la bocatoma de agua de la Planta La Reforma.



Fuente: Elaboración propia.

## **5 MARCO MÉTODOLÓGICO DE LA VALORACIÓN**

Como parte de la identificación de servicios ecosistémicos relacionados con el recurso hídrico en la cuenca del Río Meléndez se identificó que la cuenca presenta significativos problemas relacionados con la erosión y la sedimentación lo cual afecta de manera significativamente la prestación del servicio de acueducto. En este sentido se reconoció como servicio ecosistémico importante la retención de sedimentos y control de erosión que brinda el Parque Nacional Natural Farallones de Cali y los ecosistemas conservados en la cuenca del Río Meléndez y como dichos ecosistemas permiten la generación de beneficios económicos a un actor importante, como lo es la empresa de acueducto y alcantarillado EMCALI y su planta de tratamiento de agua, La Reforma, la cual se abastece del Río Meléndez.

Conforme lo anterior, la valoración se enfoca en el servicio ecosistémico de retención de sedimentos a partir de una modelación hidrológica que involucra entre otros aspectos el efecto del PNN Farallones de Cali en relación a los beneficios obtenidos por el acueducto de Cali en torno a la disminución de costos de tratamiento de agua debido a los efectos positivos de la conservación en términos del control de la erosión.

De esta forma, se usó el modelo InVEST (Valoración Integrada de Servicios Ecosistémicos y Costos de Oportunidad), desarrollada por el proyecto de Capital Natural), con la cual se estima la capacidad de una parcela de tierra para producir sedimentos utilizando información sobre geomorfología, clima, vegetación y prácticas de manejo. A partir de estos resultados es posible asociar los resultados como de exportación de sedimentos en una cuenca con sus costos de remoción o dragado, con el fin de aproximarse a una valoración económica relacionada con los costos evitados de un sector económico en particular debido al servicio ecosistémico de control de erosión que brinda una cuenca.

### **5.1 Cálculo de los sedimentos exportados.**

La erosión y la sedimentación son procesos que ocurren de forma natural en los ecosistemas, sin embargo, de forma excesiva pueden contribuir a la pérdida de la calidad de un determinado entorno y ecosistema en términos de la pérdida de suelo. La erosión excesiva puede afectar la productividad agrícola, aumentar las inundaciones y el transporte de contaminantes, de igual modo puede afectar infraestructura como puentes, vías, obras de producción de energía, entre otras. (Sharp, y otros, 2015).

La erosión puede conducir a la acumulación de sedimentos, lo cual aumenta los costos de tratamiento de agua. Las prácticas en el manejo del suelo pueden aumentar los niveles de sedimentación en una cuenca. En este sentido es importante contar con información sobre el grado en el que diferentes partes de un territorio contribuyen a la retención de sedimentos, y como el uso del suelo puede afectar esta retención.



## 5.2 Características del modelo.

El modelo de retención de sedimentos permite estimar la pérdida anual del suelo de una parcela de tierra, y así mismo existe la posibilidad de evaluar el costo anual de la remoción de sedimentos.

Un factor determinante de la capacidad de retención del suelo, es el tipo de uso que se le da y el tipo de cubierta vegetal. Con base ello, INVEST basa su funcionamiento en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (RUSLE). (PNUD, 2013), la cual integra información sobre los factores de uso del suelo y las propiedades del suelo, así como el modelo de elevaciones digitales y precipitaciones. De esta forma, el modelo arroja cálculos por pixel que permiten representar la heterogeneidad del paisaje.

El modelo de retención de sedimentos emplea la ecuación universal de pérdida de suelo (RUSLE) (Wischmeier, & Smith, 1978), el cálculo básico del modelo integra información sobre uso de la tierra, patrones de las propiedades del suelo, altitud, precipitaciones y datos climáticos para estimar la erosión del suelo en una celda determinada:

Ecuación universal de la pérdida de suelo:

$$RUSLE_I = (R * K * L * S * C * P)_I$$

Donde R es la erosividad de la lluvia, K es el factor de erodabilidad del suelo, LS es el factor de longitud-pendiente, C es el factor de manejo de cultivos y P es el factor de prácticas de apoyo.

### 5.2.1 Limitaciones.

La principal limitación consiste en la falta de información histórica sobre sedimentos que permitan comparar y calibrar de manera adecuada el modelo, ya que solo fue posible obtener datos de exportación de sedimentos en el POMCA del Río Chinchiná para el año 2013. Por lo cual, es importante señalar que los resultados deben considerarse como una primera aproximación relacionada con la valoración del servicio ecosistémico y que en la medida en que se cuenta con mayor información disponible se podrá llegar a estimaciones más precisas.

### 5.2.2 Información Utilizada.

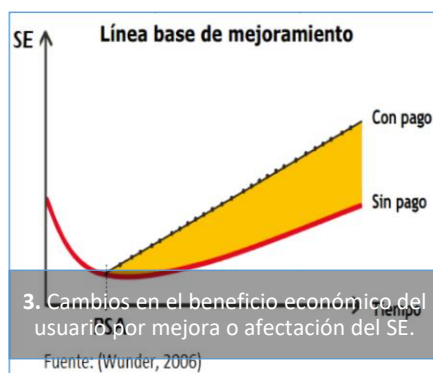
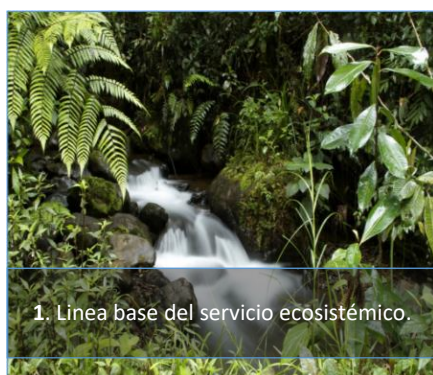
En la siguiente tabla se muestran los insumos y sus fuentes correspondientes para la ejecución del modelo de rendimiento hídrico.

Tabla 3. Información necesaria para el modelo de retención de sedimentos.

ITEM	Formato	Fuente	Descripción/Observaciones
Modelo de elevación digital.	Raster	Proyectos adelantados por misiones de la NASA: <a href="http://earthexplorer.usgs.gov/">http://earthexplorer.usgs.gov/</a>	Capa uniforme con información sobre alturas del terreno. Se corrigió el Dem con algebra de mapas de Arcgis
Índice de erosividad de la lluvia.	Raster	Calculo con base a la ecuación del Índice Modificado de Fournier. (IMF)	Considera la capacidad de la lluvia para erosionar el suelo, es uno de los factores que entra en la ecuación universal de pérdida de suelo revisada (RUSLE).
Factor K (Erodabilidad del suelo)	Raster	Estudio de suelos del IGAC para el departamento de Caldas, clase textural permite una clasificación del factor K.	Mide el grado por el cual un suelo es susceptible a erosionarse. Es uno de las variables de entrada de la RUSLE.
Cobertura del suelo.	Shape	Plan de Ordenación y Manejo de La Cuenca del Río Chinchiná. 2013.	Shape de coberturas de la cuenca que dan cuenta de las diferentes actividades y usos que se presentan en el área de estudio.
Factor C	Dato incluido en la tabla biofísica	Referencias Bibliográficas. (Wischmeier, & Smith, 1.978)	Mide la influencia de diferentes tipos de cultivo para erosionar el suelo. Ahora se cuenta con mayor bibliografía de estudios relacionados con la erosión para obtener este valor.
Factor P	Dato incluido en la tabla biofísica	Factor que considera las prácticas de manejo, cuando se presentan en los diferentes cultivos. (Wischmeier, & Smith, 1.978)	Este valor cambia de acuerdo con la aplicación de diferentes prácticas de manejo en los cultivos. (Para el presenta caso no se consideraron prácticas de manejo en la cuenca, por lo tanto, se toma el valor de 1).

## 6 ESQUEMA GENERAL DE VALORACIÓN ECONÓMICA.

Teniendo en cuenta que el usuario con mayor demanda de recurso hídrico corresponde a La Empresa de Acueducto EMCALI, se propone dirigir la valoración en relación a los beneficios que obtiene este usuario por algunos servicios ecosistémicos hidrológicos que brinda la cuenca. En este sentido los servicios ecosistémicos a valorar corresponden a la retención de sedimentos para lo cual se resaltan los siguientes elementos a tener en cuenta para la valoración económica de los mismos.



A continuación, se explica con más detalle los pasos propuestos:

### 6.1 Línea base del servicio ecosistémico:

Como elemento base fundamental para la valoración económica de los servicios ecosistémicos de retención de sedimentos y regulación hídrica, será necesario contar con información sobre el estado del servicio ecosistémico en la actualidad, dicha condición puede estar representada como un escenario de condiciones promedio reconocida como la línea base.

De acuerdo con (MAVDT, 2003), la línea base se considera como la información básica para la caracterización del estado actual (uso-presión) en términos de cantidad, disponibilidad y calidad del medio ambiente con el fin de contar con un punto de referencia para realizar comparaciones y seguimientos al estado de los servicios ecosistémicos.

La necesidad de establecer una línea base frente a los servicios ecosistémicos a valorar radica en que a partir de allí se podrán establecer escenarios de intervención en la cuenca, con lo cual se podrá definir cambios y tendencias en los SE y su afectación al bienestar de un sector económico de importancia significativa, como es el caso de EMCALI, en relación a su planta de tratamiento de agua potable “La Reforma”.

## **6.2 Análisis de la relación del SE y el beneficio económico del usuario.**

Los servicios ecosistémicos de retención de sedimentos y regulación hídrica son determinantes en la actividad de la planta de tratamiento de agua la reforma. En el primer caso, la erosión presentada en la cuenca se refleja en los niveles de turbidez del agua, con lo cual se incrementa el consumo de productos químicos utilizados para potabilizar aguas crudas, y así mismo, es ampliamente reconocida como criterio de calidad de agua tanto en las fuentes de abastecimiento como en los procesos de potabilización y sistemas de distribución (Montoya, Loaiza, Torres, Cruz, & Escobar, 2011). En este sentido una cuenca con alto grado de erosión implica costos significativos y pérdidas de ganancias para el beneficiario, que en este caso corresponde al Acueducto de Cali.

Un factor determinante de la capacidad de retención del suelo, es el tipo de uso que se le da y el tipo de cubierta vegetal. (PNUD, 2013), por lo cual, al contar con información sobre la cantidad de sedimentos exportados en la cuenca con base en la cobertura del suelo, se puede analizar la influencia en términos económicos de la existencia de coberturas naturales con relación al beneficio de EMCALI, asociado con ahorros en tratamiento de agua o gastos adicionales incurridos en dicho tratamiento al presentarse mayores niveles de turbidez en el agua.

## **6.3 Cambios en el beneficio económico del usuario por mejora o afectación del servicio ecosistémico**

Con la información sobre la línea base de los servicios ecosistémicos sobre retención de sedimentos se analizan las tendencias de dicho servicio frente a diferentes escenarios con el fin de llegar a medidas de valor biofísicas y económicas relacionadas con los siguientes aspectos:

Es importante señalar que la valoración económica se enfocará principalmente en la retención de sedimentos, con lo cual a través de la modelación de la cuenca se identificará si los niveles de sedimentos exportados alcanzan a repercutir en afectaciones significativas a la empresa de acueducto.



### **Retención de sedimentos:**

- Ahorros en el tratamiento de agua para consumo humano bajo un escenario de mejora en las coberturas naturales de la cuenca.
- Costos adicionales en los cuales incurriría la empresa de acueducto en el tratamiento de agua para consumo humano por el incremento en los niveles de turbidez generados por pérdida de coberturas naturales.

## **7 VALORACIÓN ECONÓMICA.**

### **7.1 Servicio ecosistémico de retención de sedimentos.**

#### **7.1.1 Método de costos evitados:**

Este método es utilizado para medir los gastos en los que incurren diferentes sectores beneficiarios de los servicios ecosistémicos, por reducir o evitar las consecuencias o efectos ambientales no deseados, que se presentan cuando se afectan dichos SE.

El método de costos evitados (MCE) es utilizado ampliamente para estimar los beneficios por daños evitados; por ejemplo, en el caso de una industria que haga un uso intensivo del agua, con determinados requerimientos de parámetros de calidad. El deterioro de la calidad del recurso hídrico le genera obligaciones adicionales por aumento en los costos de tratamiento del agua, lo que a su vez repercute en el aumento total de los costos de producción y en la disminución de los beneficios netos. (Universidad Nacional, 2012). De no tomar medidas al respecto, estos costos se consideran como gastos incrementales significativos para la empresa.

El valor monetario asociado al servicio ecosistémico está representado por los costos incurridos por los sectores dada una afectación del SE priorizado. Este supuesto se basa en el hecho de que, si las personas están dispuestas a incurrir en este tipo de costos para evitar los daños para evitar los daños

causados por la pérdida de un SE, entonces el valor de estos servicios, representa por lo menos, el monto que la gente paga por ellos (Ministerio del Ambiente, 2015).

#### 7.1.1.1 Supuestos del método.

- ✓ Debe existir la evidencia que las personas o la sociedad tienen la intención y capacidad de efectuar un gasto relacionado con la afectación de un servicio ecosistémico.

El cálculo de los costos evitados se realiza con base en las siguientes ecuaciones.

$$CE = (Sed_1 - Sed_0) * CR$$

Donde:

- $CE$ : Costos evitados en año medio.
- $Sed_1$ : Sedimentos exportados bajo un escenario dado.
- $Sed_0$ : Sedimentos exportados en escenario de línea base.
- $CR$ : Costos anuales en \$ de la remoción o el tratamiento de sedimentos.

Luego del cálculo de los costos evitados por remoción o tratamiento de sedimentos, se calcula el valor presente de dichos costos a considerando un periodo de tiempo de interés en años, con base en la siguiente fórmula<sup>1</sup>:

$$VP = CR * \sum_{t=0}^{T-1} \frac{1}{(1+r)^t}$$

Donde:

- $VP$ : Valor presente de los costos evitados por remoción o tratamiento de sedimentos.
- $T$ : Año considerado para el cálculo del valor presente.  $(T - 1)$ .
- $r$ : Tasa de descuento: Se acoge la propuesta por el Departamento Nacional de Planeación de acuerdo con (CEPAL, 2006 (12%)), sin embargo, es posible considerar otras tasas de descuento como análisis de sensibilidad.

---

<sup>1</sup> El horizonte de tiempo para la evaluación del valor presente puede darse para la vida útil del proyecto obra o actividad; así mismo, es posible considerar otro periodo de tiempo como una medida de los beneficios o costos relacionados con los cambios del servicio ecosistémico analizado.

### 7.1.1.2 Ventajas.

- ✓ La implementación del método no es costosa y la información requerida puede ser fácil de conseguir.

### 7.1.1.3 Limitaciones.

- ✓ Complejidad en la demostración sobre la sustitución entre el servicio ecosistémico y el bien que cuenta con un mercado.

### 7.1.1.4 Información utilizada para la valoración económica.

En la siguiente tabla se presentan los insumos utilizados para la valoración económica.

*Tabla 4. Insumos para la valoración económica por costos evitados hacia el sector hidroeléctrico.*

Insumo	Descripción	Fuente
Costos de remoción de sedimentos	Costos relacionados con la remoción de los sedimentos para para la Planta de Tratamiento de La Reforma de EMVCALI, cuyo costo corresponde de 38 a 40\$ por metro cubico.	(Fundación CIPAV, 2011)
Sedimentos exportados diferentes escenarios. bajo	Sedimentos exportados en con las coberturas actuales en comparación con un escenario de praderización del parque, a fin de comparar el incremento en los costos de recolección de sedimentos para el sector hidroeléctrico. Así mismo los sedimentos exportados en escenario de incremento del área boscosa.	Resultados del presente estudio.

Luego de recopilar la información necesaria, la estimación de los sedimentos en m<sup>3</sup> se realizó a partir de la conversión de Tn a m<sup>3</sup>. Esta conversión se realizó considerando el cálculo de la densidad aparente del suelo; para lo cual se usó el programa SPAW, donde a partir de los valores de la clase textural de las unidades de suelo, se obtuvo un valor de densidad aparente. Finalmente, a partir de un promedio ponderado se obtuvo un valor de (1.42g/cc).

## 8 TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN PARA EL CÁLCULO DE LOS SEDIMENTOS EXPORTADOS.

Como parte de las necesidades de información para la ejecución del modelo de retención de sedimentos de InVEST, es necesario realizar un tratamiento a las entradas del modelo con el fin de contar con los insumos más detallados posibles. De esta forma se presenta a continuación la descripción del tratamiento de los insumos de entrada al modelo:

### 8.1 Modelo de elevación digital.

El modelo de elevación digital (DEM) por sus siglas en inglés, corresponde a una capa espacializada en formato raster cuyas celdas contienen valores de altura. Dicha capa fue obtenida a través del satélite Alos Palsar con una resolución de 12,5m.

Finalmente, con la capa en formato raster se realizaron las correcciones pertinentes, las cuales consisten en verificar que no existan celdas sin información, así como relleno de sumideros y procedimientos de corrección para las posibles desviaciones o irregularidades que puedan presentarse por el efecto de la precipitación en la toma de la imagen del satélite, así como una verificación del drenaje con el fin de corroborar su recorrido en las cuencas. Dichos procedimientos fueron realizados por medio de sistemas de información geográfica.

### 8.2 Erosividad de la lluvia (Factor R).

La erosividad de la lluvia ( $EI_{30}$ ), corresponde a una medida que refleja la manera como se combinan la energía y la intensidad de una tormenta y define los efectos conjuntos del impacto de las gotas de lluvia y la turbulencia de la escorrentía en el transporte de las partículas de suelo provenientes de un campo. (Pérez Arango & Mesa Sanchez, 2.002), citado por (Echeverri & Obando, 2.010).

Este factor es uno de los insumos de la ecuación universal de pérdida de suelos y se expresa en ( $MJ * mm * ha^{-1}$ ). Para el cálculo de la erosividad de la lluvia, se consideró en primera medida la ecuación propuesta por (Arnoldus, 1.997), con relación al Índice Modificado de Fournier, calculado a partir de la siguiente ecuación; vale la pena señalar que el IMF, es considerado como un buen estimador de la erosividad de las lluvias para el modelamiento de los procesos erosivos en zonas tropicales. (Hoyos, Waylen, & Jaramillo, 2005).

$$IMF = \sum_{i=1}^{i=12} \frac{pi^2}{P}$$

Donde, IMF: índice modificado de Fournier, i: número del mes, p: precipitación mensual en mm, y P: precipitación promedio anual en mm.

Para esta estimación se solicitó información al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) sobre precipitación mensual en el periodo de 1980 hasta el 2016 para 13 estaciones meteorológicas con registros sobre precipitación a nivel mensual ubicadas en zonas



cercanas a la cuenca del Río Meléndez. No obstante, frente a la respuesta del IDEAM solo fue posible obtener información completa para 6 estaciones (Tabla 5); a estas estaciones se les realizó un análisis de homogeneidad, con el cual se corroboró la consistencia de su información. El análisis de consistencia fue realizado por el método de “dobles masas”, el cual consiste en consolidar los promedios de la información de precipitación a través de una estación patrón y comparar las sumas acumuladas de precipitación de cada estación, frente a la estación patrón y calcular el R<sup>2</sup> o coeficiente de correlación de Spearman con el fin de identificar la correlación o interdependencia de las variables. (Los resultados de este análisis se encuentran en la carpeta “anexos”).

Con base en lo anterior y al contar con información en las estaciones de análisis sobre precipitaciones mensuales para el periodo comprendido entre 1997-2016, se usó la anterior ecuación para el cálculo del IMF con el fin de estimar el factor r (EI<sub>30</sub>), conforme a la siguiente ecuación presentada por (Ramírez, O.A.F., 2.007)

$$EI_{30} = \sum_{12}^1 30,4(IMF) + 28,3$$

Donde, EI<sub>30</sub>: erosividad de la lluvia  $MJ * mm * ha^{-1}$  y IMF: Índice modificado de Fournier (promedio mensual).

Finalmente, a partir de las anteriores ecuaciones, se obtiene el factor r para cada estación en diferentes escenarios climáticos y se espacializa a partir de una interpolación para el área de estudio, la cual fue realizada a través del método del Inverso de la distancia (IDW), por sus siglas en inglés.

Tabla 5. Estaciones con información de precipitación analizadas.

NOMBRE	CÓDIGO	LONGITUD	LATITUD	ELEVACIÓN (msnm)
CALI SEDE IDEAM	26080310	7631 W	0328 N	970
APTO A BONILLA AUT	26075040	7623 W	0332 N	961
QUEREMAL	53100040	7642 W	0331 N	1496
PICHINDE	26080280	7636 W	0326 N	1651
UNIV DEL VALLE	26055070	7632 W	0322 N	985
ING BENGALA	26045010	7624 W	0315 N	1000

### 8.3 Delimitación de la cuenca para evaluación de la exportación de sedimentos.

Teniendo en cuenta que el sector priorizado para la valoración económica corresponde a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Cali (EMCALI), se ubicó la bocatoma de agua en la Planta de Tratamiento de La Reforma con el fin de considerar en la modelación hidrológica la cantidad de sedimentos exportados que se presentarían bajos distintos escenarios hasta este punto (Mapa 5). De esta manera ante la comparación de las diferencias entre las cantidades de sedimentos exportados es posible aproximarse a medidas de valor económico teniendo en cuenta los costos de remoción de sedimentos que presenta la empresa de acueducto.

## 8.4 Coberturas del suelo.

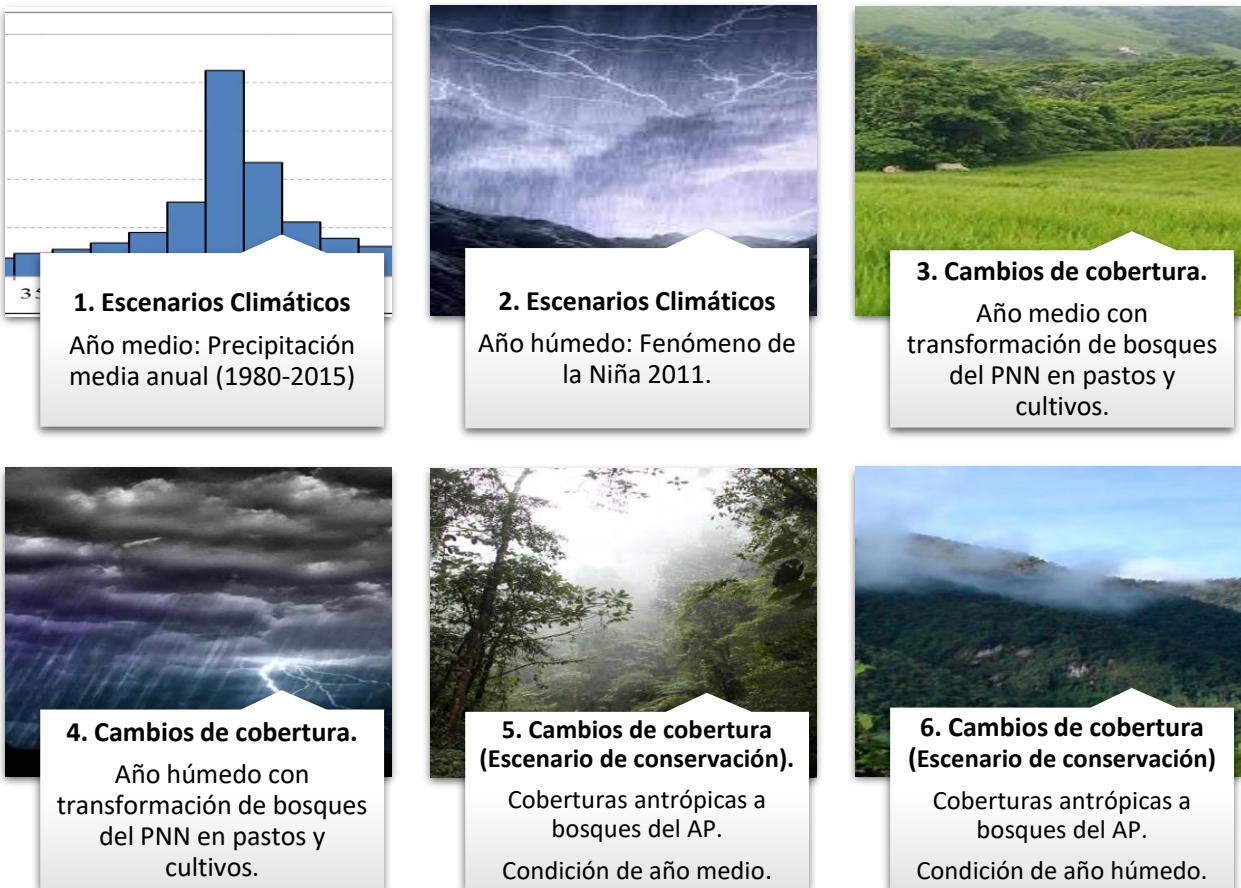
El uso del suelo y las coberturas que se encuentren en una cuenca son un insumo fundamental para la cuantificación de la exportación de sedimentos, ya que cada cobertura o uso del suelo incide de manera diferenciada en la pérdida de suelo por erosión. De esta manera, es importante tener en cuenta que si bien la sedimentación es un proceso natural en los ecosistemas las características de las concentraciones de sedimento en los ríos dependen, casi exclusivamente, de las actividades humanas (manejo de la tierra) a nivel de cuencas hidrográficas (García-Chevesich, 2008).

Conforme lo anterior el insumo de las coberturas se preparó conforme a la información brindada por la Corporación Autónoma Regional el presente año, la cual se puede apreciar en el mapa 2.

## 8.5 Escenarios contemplados:

La modelación de sedimentos exportados se realizó conforme los siguientes escenarios.

Gráfico 2. Escenarios contemplados en la modelación.



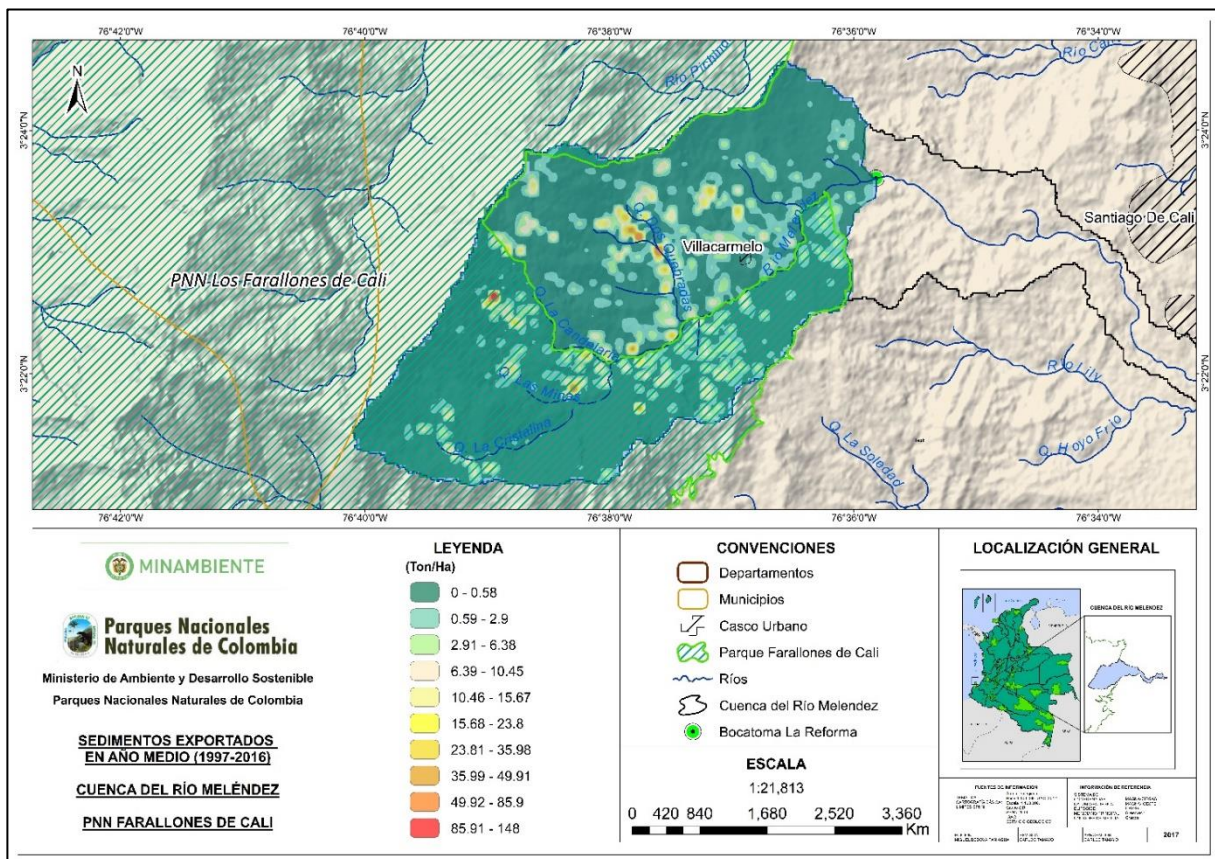
## 9 RESULTADOS.

### 9.1 Cálculo de los sedimentos exportados.

Como parte del cálculo de sedimentos es necesario adelantar un proceso de validación y calibración de los resultados. En este sentido se solicitó a EMCALI información sobre transporte de sedimentos, sin embargo, no fue posible contar con dichas mediciones, por lo cual se presentan los cálculos sobre sedimentos exportados teniendo en cuenta la necesidad de validar eventualmente los resultados conforme a la disponibilidad de información.

#### 9.1.1 Sedimentos exportados en condiciones de año medio.

Mapa 4. Sedimentos exportados en escenario de año medio.



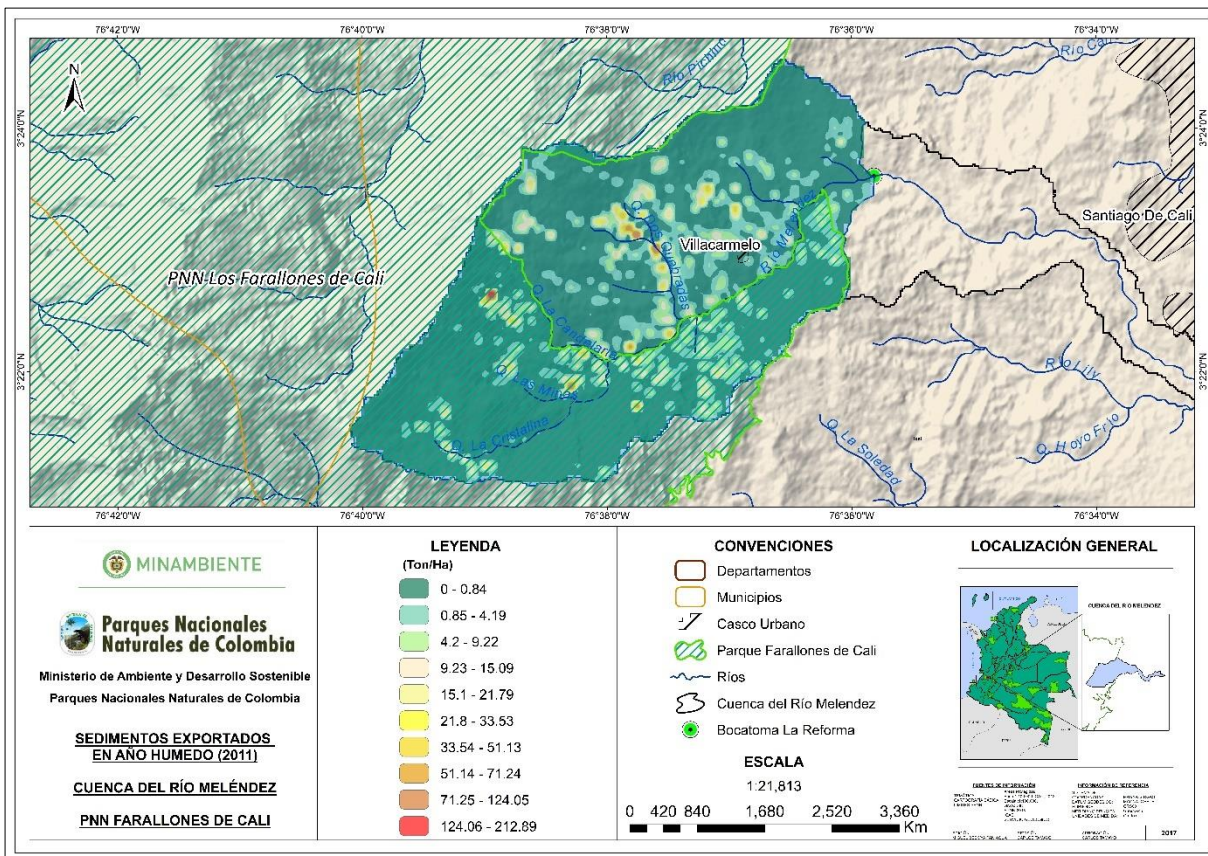
Fuente: Elaboración propia con base en salida de programa InVEST – modelo de retención de sedimentos.



La ejecución del modelo permite obtener resultados de manera espacializada sobre exportación de sedimentos, así como valores totales para la cuenca del Río Meléndez hasta su punto de cierre en la bocatoma de agua de la Planta de Tratamiento de La Reforma. De esta manera se réstala que, en condiciones de año medio, se encuentran zonas que pueden alcanzar hasta las  $148 \text{ Ton} * \text{Ha}^{-1}$ . Así mismo se observa que las mayores fuentes de exportación de sedimentos se encuentran en la Quebrada “Dos Quebradas”, y que, por otra parte, los menores niveles de exportación se encuentran precisamente en la Cuenca Alta en coberturas boscosas del área protegida.

### 9.1.2 Sedimentos exportados en escenario de año húmedo.

Mapa 5. Sedimentos exportados en escenario de año húmedo.

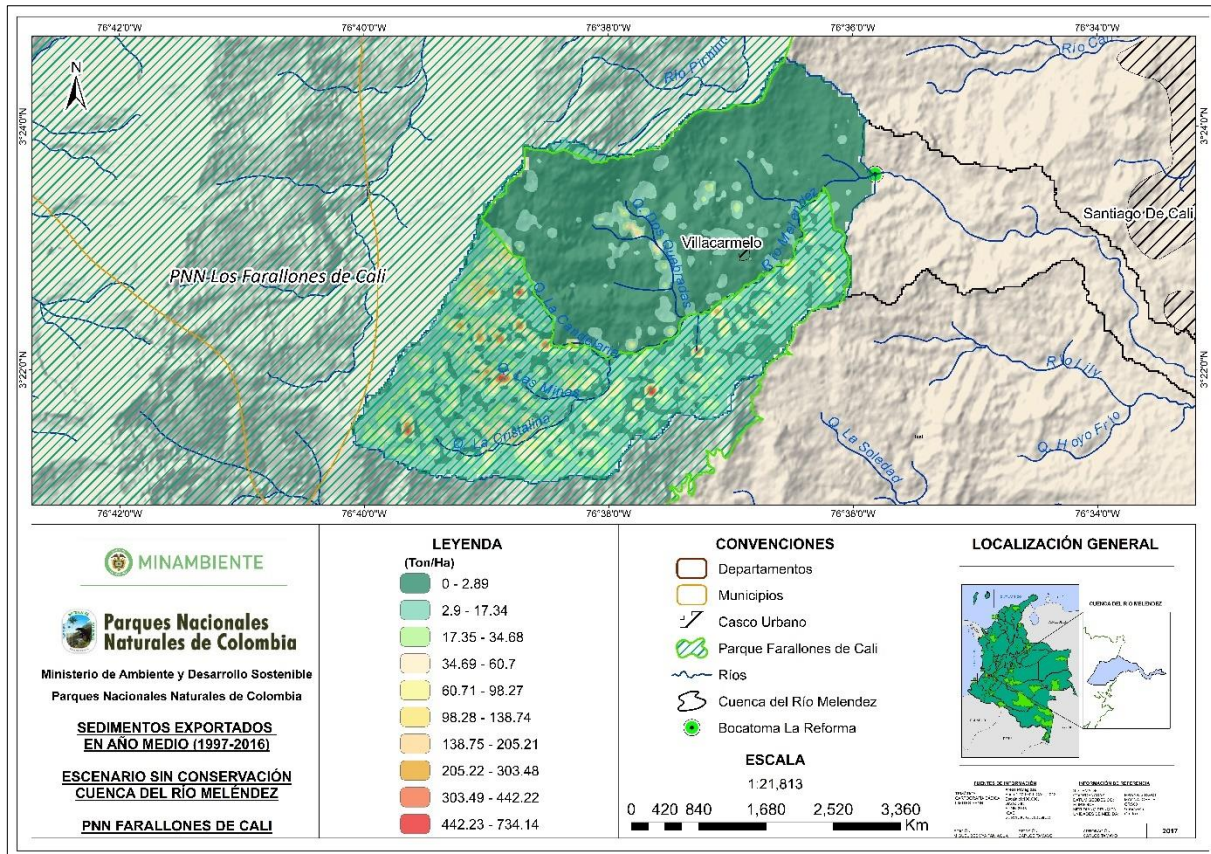


Fuente: Elaboración propia con base en salida de programa InVEST – modelo de retención de sedimentos.

Los resultados de la simulación en condiciones de año húmedo, reflejan un incremento significativo en la cantidad de sedimentos exportados, lo cual se explica en mayor medida por el incremento en las precipitaciones que repercute en un aumento en el factor de erosividad de la lluvia, lo que finalmente ocasiona mayores niveles de pérdida de suelo por erosión. De esta forma, se observa entonces las diferentes zonas del área de estudio que presentan una mayor exportación de sedimentos, presentándose una tendencia similar al anterior escenario frente al escenario anterior. En este sentido,

para el presente escenario, la exportación de sedimentos puede alcanzar hasta las  $212,89 \text{ Ton} * \text{Ha}^{-1}$ .

### 9.1.3 Sedimentos exportados en escenario de cambios de cobertura (año medio con transformación de bosques del Parque en pastos).

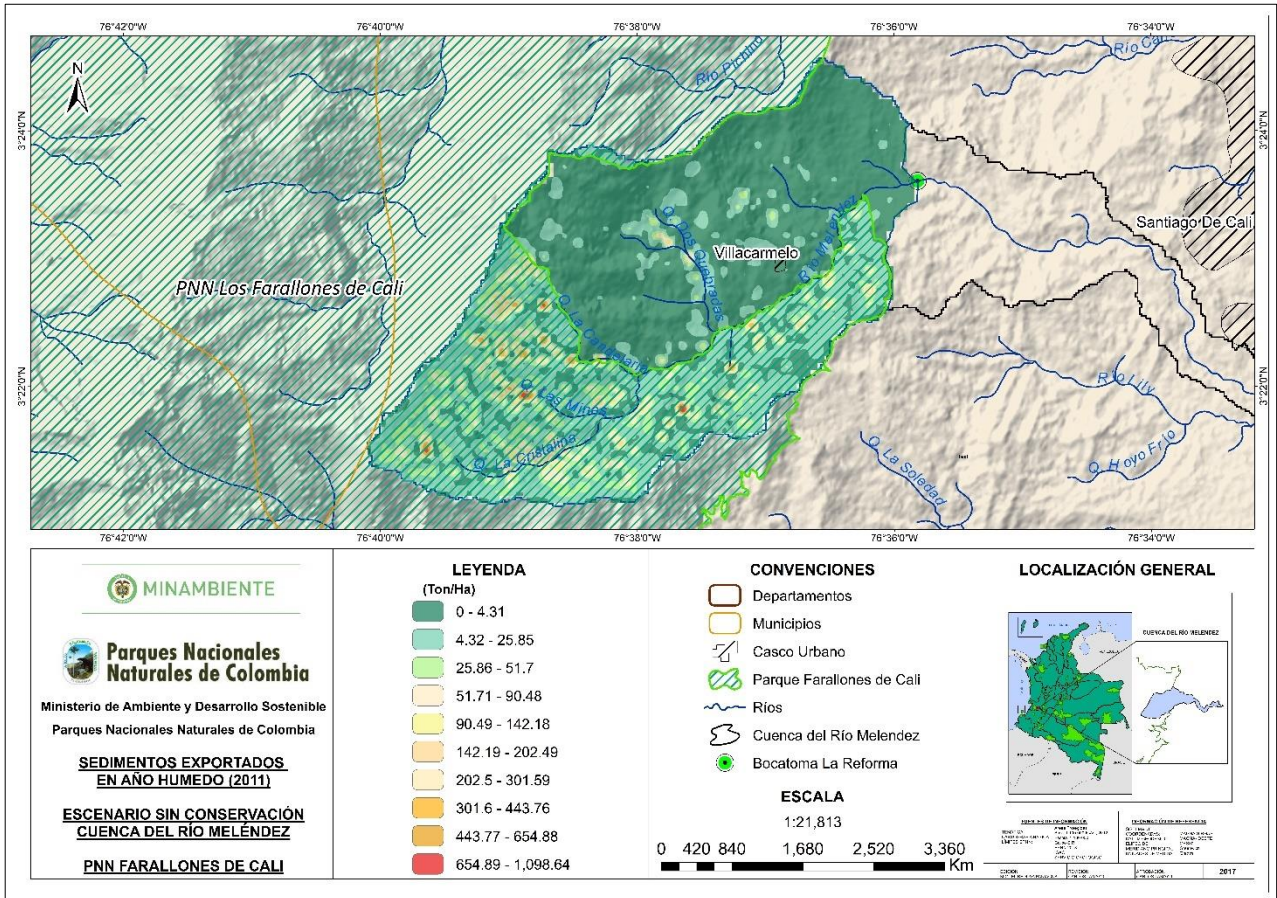


Fuente: Elaboración propia con base en salida de programa InVEST – modelo de retención de sedimentos.

Como se observa, al cambiar las coberturas que se encuentran en el parque por pastos, los niveles de sedimentos exportados se incrementan considerablemente con respecto al escenario de año medio sin cambios de cobertura. De esta forma, se identifican zonas que pueden alcanzar hasta las  $734 \text{ Ton} * \text{Ha}^{-1}$  aproximadamente. Entre tanto, se observa que, sin la existencia de las coberturas boscosas del Parque Farallones de Cali, se presentarían nuevos focos de exportación de sedimentos, lo que se traduce finalmente aumentos de la pérdida de suelo por erosión.



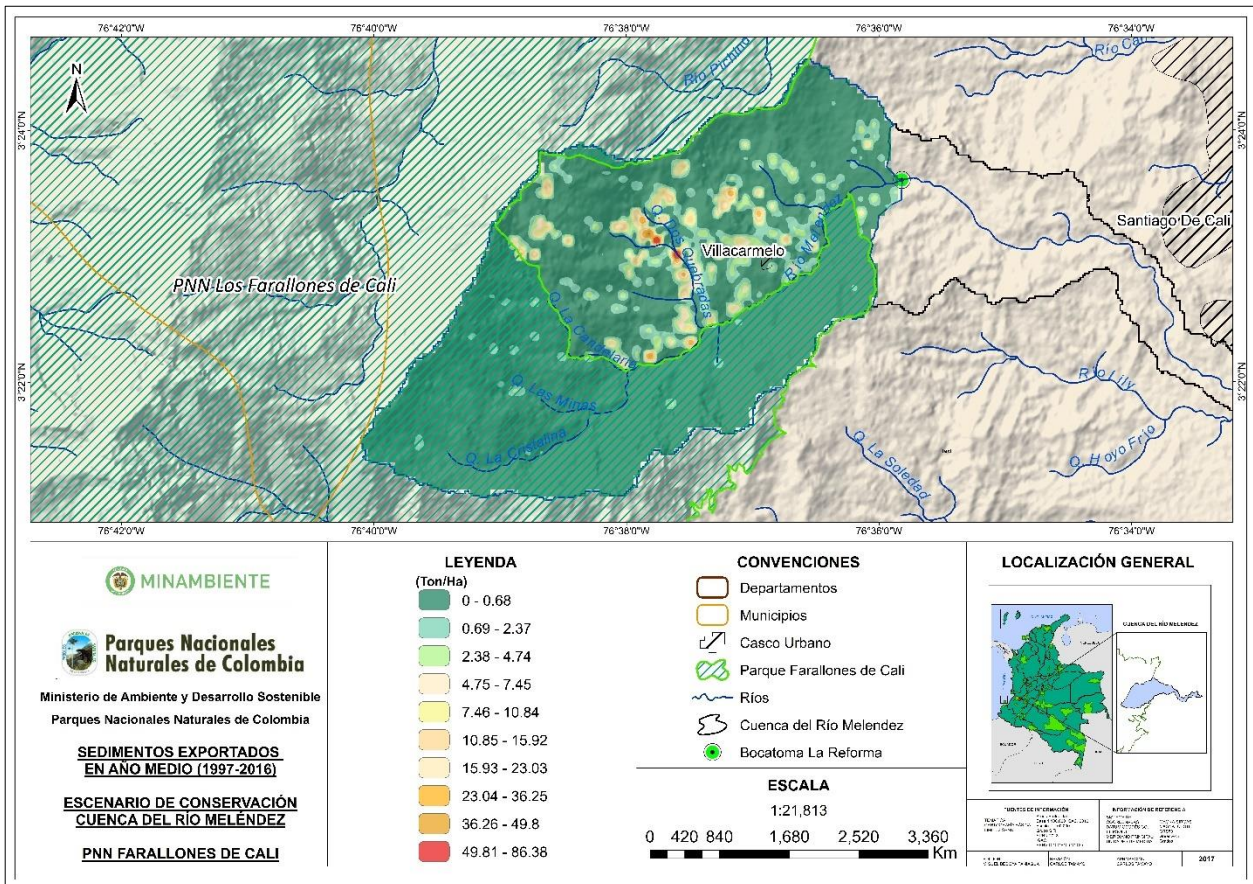
### 9.1.4 Sedimentos exportados en escenario de cambios de cobertura (año húmedo con transformación de bosques del parque en pastos)



Fuente: Elaboración propia con base en salida de programa InVEST – modelo de retención de sedimentos.

Al igual que en el anterior escenario, existe una tenencia similar frente a la distribución espacial de los sedimentos exportados en condiciones de cambios de bosques por pastos, lo cual se explica si se tiene en cuenta que el suelo desnudo es más susceptible a erosionarse y que los bosques, al contar con raíces profundas, retienen el suelo. De esta forma, frente a un suelo desnudo y una mayor erosividad de la lluvia; es de esperarse que el efecto de la pérdida de suelo sea mucho mayor. Con lo cual se identifican zonas que pueden alcanzar hasta las  $1098.64 \text{ Ton} * \text{Ha}^{-1}$  aproximadamente. De igual manera al eliminarse la condición de conservación del área protegida, los focos de exportación de sedimentos se incrementan de manera espacial y sus efectos son mucho mayores en términos de suelo erosionado.

**9.1.5 Sedimentos exportados en escenario de conservación – año medio (cambio de coberturas antrópicas en el parque a coberturas boscosas).**

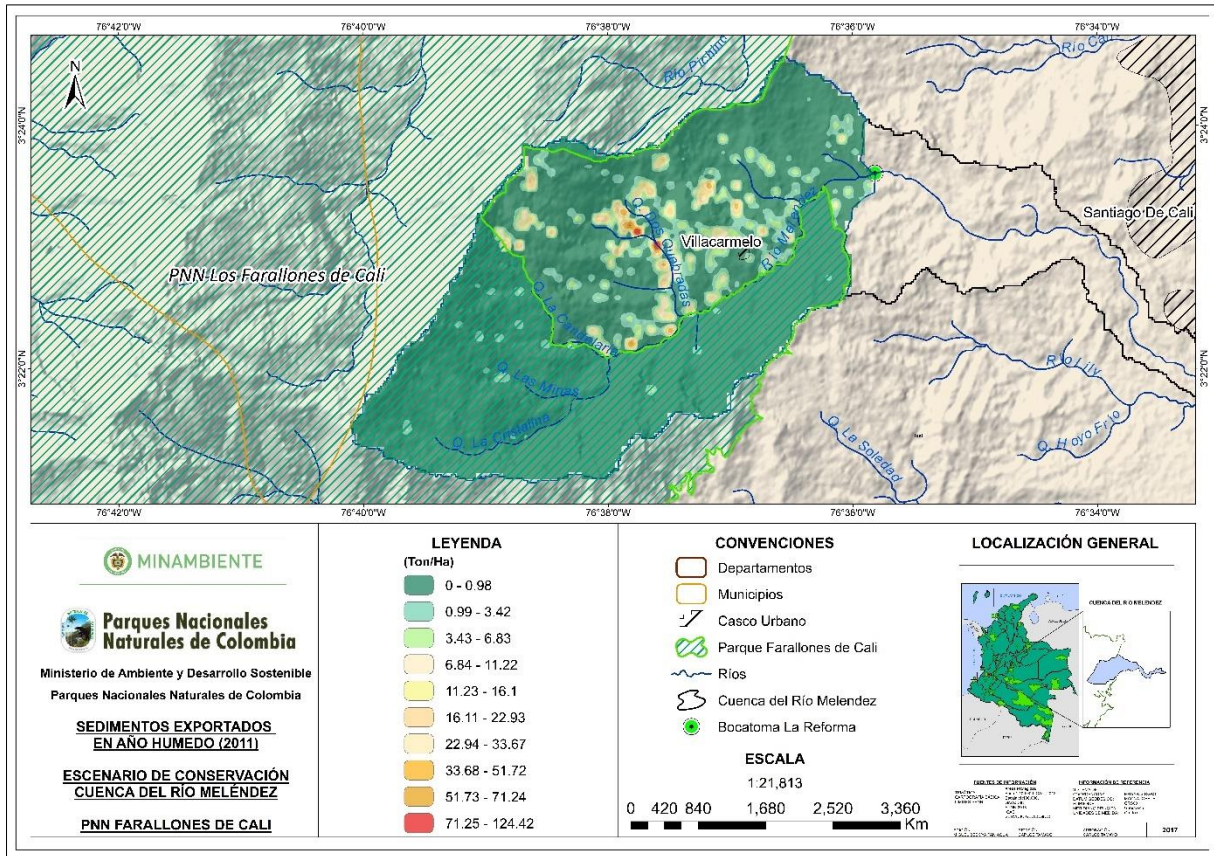


Fuente: Elaboración propia con base en salida de programa InVEST – modelo de retención de sedimentos.

Los resultados presentan los efectos de la exportación de sedimentos frente a un escenario de conservación optimista en el cual el total del límite del área protegida del Parque Farallones de Cali se encuentra con presencia de coberturas boscosas en la cuenca del Río Meléndez. De esta manera se puede apreciar una reducción considerable en los focos de pérdida de suelo, así como también una disminución significativa en los intervalos de sedimentos exportados, llegando a alcanzar hasta los  $86.38 \text{ Ton} * \text{Ha}^{-1}$ . Entre tanto, es posible apreciar que los menores niveles de exportación de sedimentos se consolidan en el parque y zonas aledañas, lo que finalmente se traduce en menores sedimentos totales exportados.



**9.1.6 Sedimentos exportados en escenario de conservación – año húmedo (cambio de coberturas antrópicas en el parque a coberturas boscosas).**



Fuente: Elaboración propia con base en salida de programa InVEST – modelo de retención de sedimentos.

Frente al escenario de conservación, ante las condiciones de año húmedo se pueden apreciar reducciones significativas en los intervalos de sedimentos exportados, en comparación con la línea base en condiciones de fenómeno de la niña y aún más en año húmedo sin conservación. De esta manera, se presentan zonas que pueden alcanzar hasta las  $124.22 \text{ Ton} * \text{Ha}^{-1}$ . De igual manera, como en el escenario anterior, se evidencia que, ante la aplicación de las coberturas boscosas, el ecosistema retiene mayores sedimentos, lo que finalmente se traduce en menores niveles de pérdida de suelo por erosión.



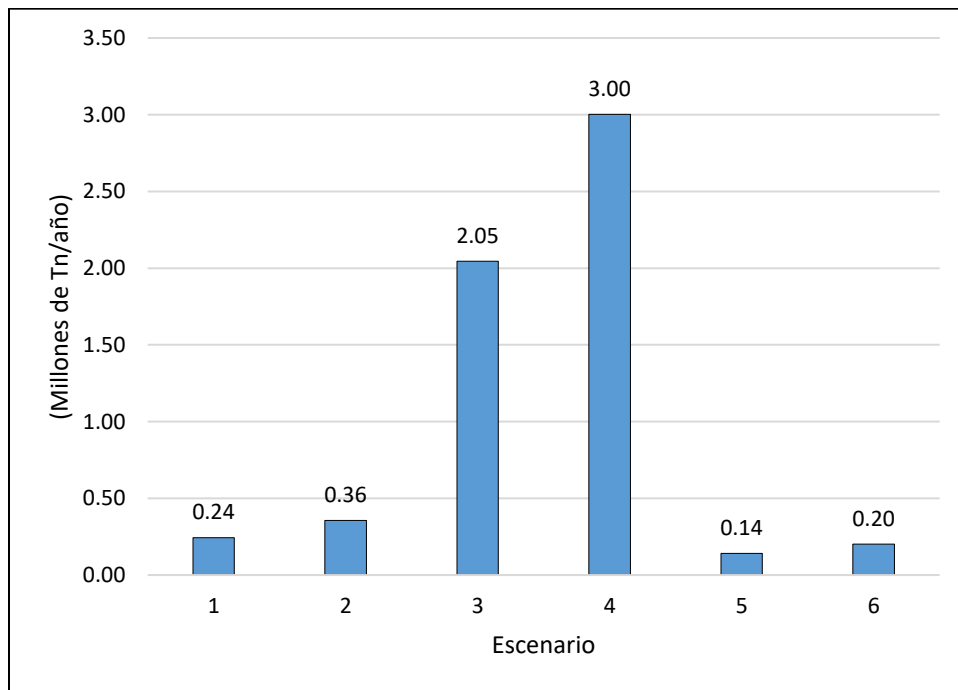
### 9.1.7 Resultados a nivel de cuenca hasta la bocatoma de La Reforma.

Conforme a la identificación de la distribución de sedimentos exportados y sus tendencias frente a los escenarios analizados, se presenta la estimación total de los sedimentos exportados que estarían llegando a la bocatoma de agua de la Reforma del acueducto de Cali. Los resultados de estas estimaciones se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6. Resultados totales para los diferentes escenarios.

Escenario	Condición Climática	Cobertura	Sedimentos exportados (Millones de toneladas/año)
1	Año medio	Actual	0.24
2	Año húmedo	Actual	0.36
3	Año medio	Bosques a pastos	2.04
4	Año húmedo	Bosques a pastos	3.00
5	Año medio	Cob. Antrópica a bosques en el PNN Farallones	0.14
6	Año húmedo	Cob. Antrópica a bosques en el PNN Farallones	0.20

Gráfico 3. Sedimentos exportados para los escenarios contemplados.



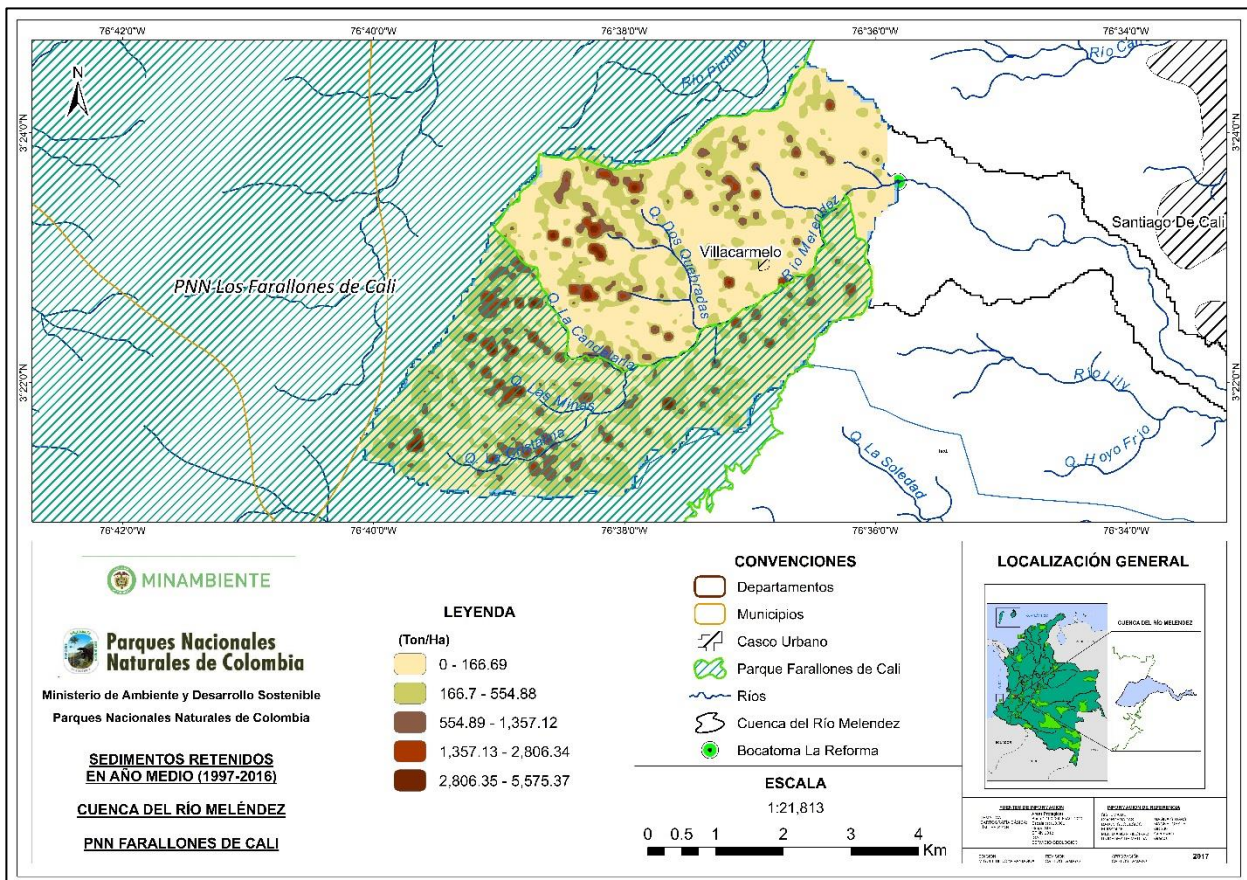
Fuente: Elaboración propia con base en salida de programa InVEST – modelo de retención de sedimentos.

## 9.2 Sedimentos retenidos.

Con el fin de reconocer las áreas con mayor potencial para la prestación del servicio ecosistémico de retención de sedimentos se realizó una estimación de manera distribuida sobre los niveles de sedimentos retenidos en la cuenca del Río Meléndez, así como los valores totales frente a condiciones de año medio y año húmedo; teniendo en cuenta que la retención de sedimentos, en este caso, corresponde a la diferencia entre la cantidad de suelo erosionado bajo las condiciones actuales de cobertura del suelo y una condición hipotética en la cual toda la cuenca se encuentra cubierta por suelo desnudo.

Conforme lo anterior en los siguientes mapas se puede apreciar la distribución de la retención de sedimentos a lo largo de la cuenca.

Mapa 6. Sedimentos retenidos en condiciones de año medio.

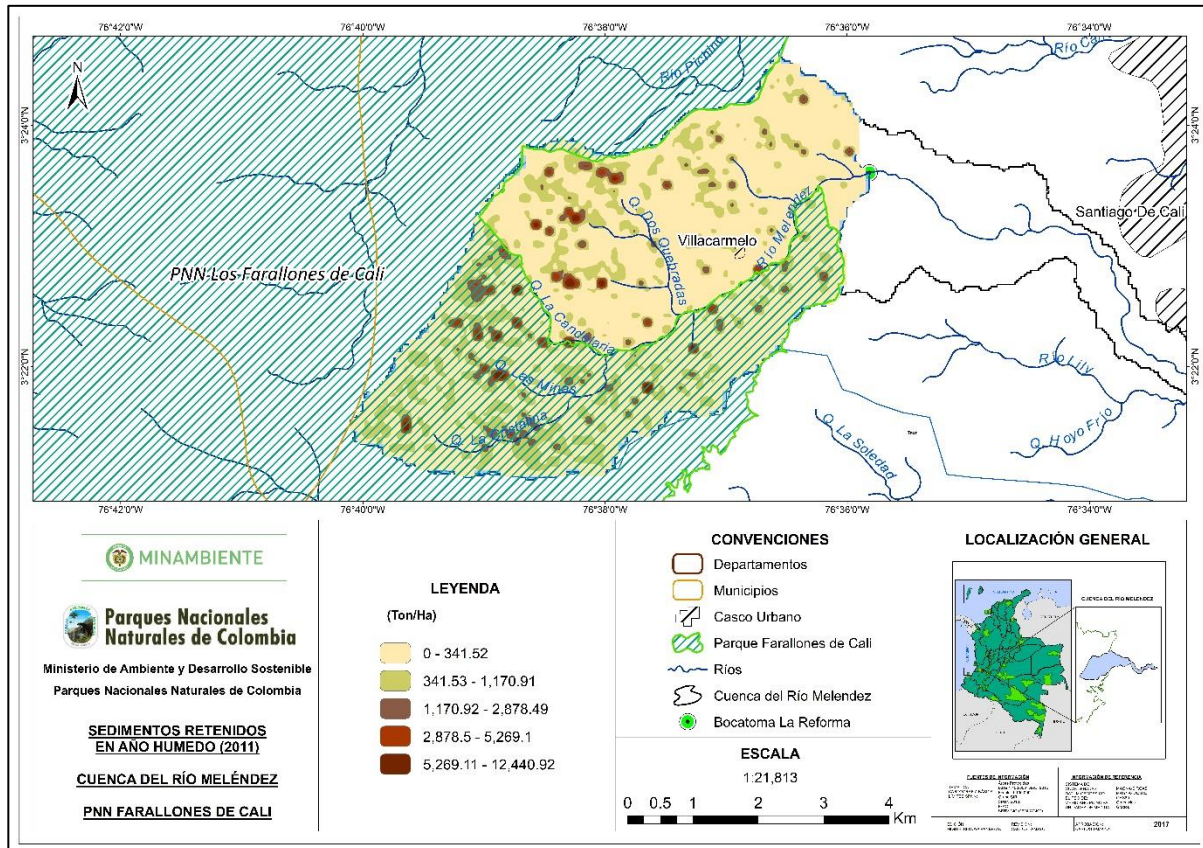


Fuente: Elaboración propia con base en salida de programa InVEST – modelo de retención de sedimentos.

Los resultados reflejan que las áreas cubiertas por bosques precisamente las que se encuentran al interior del Parque Farallones son las que presentan una mayor retención de sedimentos, con valores que pueden alcanzar hasta las  $5735.37 \text{ Ton} * \text{Ha}^{-1}$ . De igual forma, se identifican focos con alto potencial para retener sedimentos en áreas boscosas con fragmentación y vegetación secundaria

como las que se encuentran al norte de la cuenca media. Finalmente se identifica que en la cuenca baja se disminuye notablemente la retención de sedimentos, lo cual se explica al tener en cuenta la presencia de coberturas relacionadas con pastos y cultivos.

Mapa 7. Sedimentos retenidos en condiciones de año húmedo.



Fuente: Elaboración propia con base en salida de programa InVEST – modelo de retención de sedimentos.

Frente a un escenario de fenómeno de la niña, se puede apreciar aún más el efecto de las coberturas vegetales del parque y zona de influencia frente a la retención de sedimentos, ya que precisamente ante una condición de mayores precipitaciones es de esperarse que una cobertura boscosa presente una mayor retención de sedimentos que una cobertura de suelo desnudo. De esta forma, se identifican áreas que pueden alcanzar hasta las  $12440.92 \text{ Ton} * \text{Ha}^{-1}$  de suelo retenido. Así mismo se identifica que precisamente en las áreas con presencia de actividades agropecuarias se obtienen los menores niveles de retención de sedimentos, es decir, son estas zonas donde este servicio ecosistémicos se encuentra significativamente afectado.

### 9.3 Valoración económica

A partir de los valores estimados sobre sedimentos exportados en diferentes escenarios se calcularon valores económicos asociados al servicio ecosistémico de retención de sedimentos conforme al método de costos evitados. Para este fin se buscó información sobre los costos relacionados con la remoción de sedimentos que tiene que asumir EMCALI para brindar agua potable a la población y con dicho valores se realizaron los cálculos sobre el ahorro que tiene este sector por la presencia del Parque Farallones bajo los siguientes escenarios:

- Año medio (Escenario de línea base) frente al escenario sin conservación.
- Año húmedo frente al escenario sin conservación.
- Ahorros en escenario de conservación para año medio.

Conforme lo anterior se tuvo en cuenta los siguientes aspectos para la valoración económica:

- Los valores de sedimentos exportados en toneladas se convierten a  $m^3$  por medio del cálculo de la densidad del suelo ( $1.42 \frac{g}{cm^3}$ )
- Se estima que la remoción de sedimentos puede llegar a costar entre \$38 y 48\$ por metro cúbico (Fundación CIPAV, 2011). Es importante mencionar que este valor corresponde al costo promedio que la empresa debe asumir en químicos como el Sulfato de Aluminio, el cual es ampliamente utilizado para retirar sedimentos y por ende disminuir los niveles de turbidez del agua.
- *poner los químicos utilizados.*
- Se calculan los costos evitados, llevados a un valor presente, con una tasa de descuento del 12%.

#### 9.3.1 Costos evitados en año medio.

La valoración en este escenario considera el incremento en sedimentos totales exportados estimados que se presentarían si se cambian las coberturas del Parque Farallones de Cali en la cuenca del Río Meléndez, por pastos.

Tabla 7. Cálculos para la valoración de los costos evitados por sedimentación en año medio.

Condición climática	Cobertura	Sedimentos exportados (Millones de toneladas/año)
Año medio	Línea base CVC	0,24
Año medio	Bosques del parque en la cuenca a pastos	2,04
<b>Diferencia (Incremento)</b>		<b>1,80</b>

Fuente: Elaboración propia con base en salida de programa InVEST – modelo de retención de sedimentos.

Los resultados indican que las coberturas boscosas del Parque Farallones de Cali en la cuenca del Río Meléndez, evitan que se exporten alrededor de 1.8 millones de toneladas de sedimentos, lo que representa un ahorro de \$456.304,23 millones a valor presente durante 20 años.

### 9.3.2 Costos evitados en año húmedo.

La valoración económica en este escenario considera el incremento en sedimentos totales exportados que se presentarían si se cambian las coberturas boscosas del PNN Farallones de Cali en la cuenca, por pastos, en condiciones de fenómeno de la niña del 2011.

*Tabla 8. Cálculos para la valoración de los costos evitados por sedimentación en escenario de año húmedo.*

Condición climática	Cobertura	Sedimentos exportados (Millones de toneladas/año)
<b>Año húmedo</b>	Línea base CVC	0,35
<b>Año húmedo</b>	Bosques del parque en la cuenca a pastos	3,0
<b>Diferencia (Incremento)</b>		<b>2,64</b>

Fuente: Elaboración propia con base en salida de programa InVEST – modelo de retención de sedimentos.

Los resultados indican que las coberturas boscosas del PNN Farallones en condición de año húmedo, evitan que se exporten 2.64 millones de Toneladas de sedimentos anuales, lo que representa un ahorro de \$80.193,45 millones anuales.

### 9.3.3 Ahorros en escenario de conservación.

Con el propósito de estimar los posibles ahorros que se tendrían en un escenario en el cual se cambien las coberturas antrópicas en el área del parque en la cuenca, por coberturas boscosas, en una condición de escenario de conservación; se plantea entonces el cálculo de los sedimentos exportados totales bajo estas condiciones, con lo cual se estiman las reducciones en costos que tendría EMCALI por una mejora en la conservación del área protegida.

Tabla 9. Cálculos para la valoración económica de los ahorros en escenario de conservación.

<b>Condición Climática</b>	<b>Cobertura</b>	<b>Sedimentos exportados (Millones de toneladas/año)</b>
<b>Año medio</b>	Actual	0,24
<b>Año medio</b>	Cob. Antrópica a bosques en el Parque	0,14
<b>Diferencia (Reducción)</b>		0,10

De acuerdo con los resultados ante una condición de conservación del parque en la cuenca del río Meléndez, se presentaría una reducción de 0.10 millones de Tn de sedimentos, lo que finalmente se traduce, en términos de ahorros económicos, en alrededor de \$3.148,80 anuales.



## 10 Bibliografía

- Castrillón, Y. (2014). *ESTRATEGIAS PARA EL CONTROL DE INUNDACIONES EN LA ZONA URBANA DE LA CUENCA DEL RÍO MELÉNDEZ*. Cali, Colombia: Universidad del Valle. Obtenido de <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/7667/1/3750-0446268.pdf>
- CATIE. (2006). *Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas*. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Claustro Abierto. (2009). *Caracterización biofísica, social y de infraestructura para la formulación del POMCH de la cuenca de los ríos Meléndez, Lili y Cañaveralejo en el marco del proyecto DAGMA BP 42442*. Santiago de Cali, Colombia.
- DAGMA . (2013). *Diagnóstico Ambiental de la Calidad del Agua en los Ríos de Santiago de Cali*. Santiago de Cali, Colombia: Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente - DAGMA.
- EMCALI. (s.f.). *Plantas de Producción de Agua Potable*. Recuperado el 5 de Noviembre de 2017, de [https://www.emcali.com.co/web/water\\_service/nuestro-acueducto/tecnologia-e-infraestructura](https://www.emcali.com.co/web/water_service/nuestro-acueducto/tecnologia-e-infraestructura)
- Fundación CIPAV. (2011). *Diseño de un esquema de compensaciones - Pago por Servicios Ambientales en la Cuenca del Río Cali*. Cali, Valle del Cauca: Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria, CIPAV.
- García-Chevesich. (2008). *Procesos y control de la erosión*. *Outskirts Press*, 276.
- Hoyos, N., Waylen, P., & Jaramillo, R. (2005). Seasonal and spatial patterns of erosivity in a tropical watershed of the Colombian Andes. *Journal of Hydrology*, 177-191.
- IDEAM. (2012). *Mapa de Coberturas de la Tierra, Metodología Corine Land Cover Adaptada para Colombia Escala 1:100.000 - Periodo 2005-2009*. Bogotá D.C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- MAVDT. (2003). *CONSTRUCCIÓN DE LA LÍNEA BASE DE INFORMACIÓN AMBIENTAL PARA COLOMBIA Y ELABORACIÓN DEL DIAGNÓSTICO AMBIENTAL CON CORTE A 2001*. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Guía Nacional de Valoración Económica del Patrimonio Natural*. Lima - Perú: Ministerio del Ambiente Puerú.
- Montoya, C., Loaiza, D., Torres, P., Cruz, C., & Escobar, J. (2011). EFECTO DEL INCREMENTO EN LA TURBIEDAD DEL AGUA CRUDA SOBRE LA EFICIENCIA DE PROCESOS CONVENCIONALES DE POTABILIZACIÓN. *Escuela de Ingeniería de Antioquia*, 137-148. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n16/n16a11.pdf>
- PNUD. (2013). *Evaluación del bienestar humano y ambiente en el corredor seco oriental de Guatemala*. Guatemala: Programa Naciones Unidas para el Desarrollo.

- Sharp, R., Tallis, H., Ricketts, T., Guerry, A., Wood, S., Chaplin-Kramer, R., . . . Bierbower, W. (2015). *InVEST +VERSION+ User's Guide*. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund.
- Universidad Nacional. (2012). *Valoración económica ambiental: conceptos, métodos y aplicaciones*. Bogotá D.C.: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA - CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA - CAR.
- Wischmeier,, W., & Smith, D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. Washington DC.: USDA-ARS Agriculture Handbook.