

2016

Valoración del servicio ecosistémico de retención de sedimentos Cuenca del Río Chinchiná – Parque Nacional Natural Los Nevados

PRESENTADO POR:

MIGUEL ÁNGEL BEDOYA PANIAGUA

Valoración del servicio ecosistémico de retención de sedimentos Cuenca del Río Chinchiná – Parque Nacional Natural Los Nevados



MINAMBIENTE



**TODOS POR UN
NUEVO PAÍS**
PAZ EQUIDAD EDUCACIÓN

**INFORME SOBRE VALORACIÓN DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE RETENCIÓN DE
SEDIMENTOS CUENCA DEL RÍO CHINCHINÁ – PARQUE NACIONAL NATURAL LOS
NEVADOS**

PRESENTADO POR:

MIGUEL ÁNGEL BEDOYA PANIAGUA

SUBDIRECCIÓN DE SOSTENIBILIDAD Y NEGOCIOS AMBIENTALES

PARQUES NACIONALES NATURALES DE COLOMBIA

BOGOTÁ D.C.

2016

Contenido

1	RESUMEN.....	6
2	INTRODUCCIÓN.....	7
3	ÁREA DE ESTUDIO.....	8
4	IDENTIFICACIÓN DE ACTORES.....	10
4.1	Coberturas de la cuenca del Río Chinchiná.....	10
4.2	Concesiones de agua en la cuenca.....	12
4.3	Central Hidroeléctrica de Caldas – Chec.....	13
4.3.1	Acueductos municipales.....	14
5	MARCO METODOLÓGICO DE LA VALORACIÓN.....	15
5.1	Calculo de los sedimentos exportados.....	15
5.2	Características del modelo.....	15
5.2.1	Limitaciones.....	16
5.2.2	Información Utilizada.....	16
5.3	Valoración económica.....	17
5.3.1	Método de Valoración por costos evitados.....	17
6	TRATAMIENTO DE INFORMACIÓN PARA EL CÁLCULO DE SEDIMENTOS EXPORTADOS.....	20
6.1	Modelo de elevación digital.....	20
6.2	Erosividad de la lluvia (Factor R).....	20
6.3	Delimitación de la cuenca.....	22
6.4	Cobertura del suelo.....	23
6.5	Escenarios contemplados.....	24
7	RESULTADOS.....	25
7.1	Calculo de sedimentos exportados.....	25
7.1.1	Validación de los resultados en año medio.....	25
7.1.2	Sedimentos exportados en condiciones de año medio.....	25
7.1.3	Sedimentos exportados en condiciones de año húmedo.....	27
7.1.4	Sedimentos exportados en escenario de cambios de cobertura (Año medio con transformación de bosques en pastos y cultivos).....	28
7.1.5	Sedimentos exportados en escenario de cambios de cobertura (año húmedo con transformación de bosques en pastos y cultivos).....	29

7.1.6	Sedimentos exportados en año medio - escenario de conservación: (coberturas antrópicas a bosques (Buffer 5 km desde el PNN en la cuenca)	30
7.1.7	Sedimentos exportados en año húmedo. Escenario de conservación: Coberturas antrópicas a bosques (Buffer 5 km desde el PNN)	31
7.1.8	Resultados a nivel de la cuenca hasta la estación Montevideo.	32
7.2	Valoración económica.....	33
7.2.1	Costos evitados en año medio.....	33
7.2.2	Costos evitados en año húmedo.....	34
7.2.3	Ahorros en escenario de conservación.	34
8	Conclusiones y recomendaciones.	35
9	Bibliografía	36

Índice de tablas

Tabla 1.	Área de las coberturas de la Cuenca del Río Chinchiná.	11
Tabla 2.	Concesiones de agua en la cuenca del Río Chinchina por municipios.	13
Tabla 3.	Información necesaria para el modelo de retención de sedimentos.	16
Tabla 4.	Insumos para la valoración económica por costos evitados hacia el sector hidroeléctrico. .	18
Tabla 5.	Estaciones de precipitación analizadas.	21
Tabla 6.	Comparación de los sedimentos exportados simulados y registrados en el POMCA para el año 2013.....	25
Tabla 7.	Resultados totales para los diferentes escenarios.....	32
Tabla 8.	Cálculos para la valoración de los costos evitados por sedimentación en año medio.	33
Tabla 9.	Cálculos para la valoración de los costos evitados por sedimentación en año medio.	34
Tabla 10.	Cálculos para la valoración de los ahorros en escenario de conservación.	34

Índice de gráficos.

Gráfico 1.	Sedimentos exportados para los escenarios contemplados.....	32
------------	---	----

Índice de mapas.

Mapa 1.	Ubicación General – Cuenca del Río Chinchiná.	8
Mapa 2.	Subcuencas del Río Chinchiná.	9
Mapa 3.	Coberturas de la Cuenca del Río Chinchiná.	10
Mapa 4.	Concesiones de agua en la Cuenca del Río Chinchiná.	12

Mapa 5. Delimitación de la cuenca hasta la estación Montevideo de la Chec.	22
Mapa 6. Coberturas de la cuenca hasta su delimitación en la estación Montevideo.	23
Mapa 7. Sedimentos exportados en escenario de año medio.	26

1 RESUMEN.

El presente trabajo muestra los resultados de la valoración del servicio ecosistémico de retención de sedimentos que brinda el Parque Nacional Natural (PNN) Los Nevados, 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.

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 del sector hidroeléctrico; en este caso la Central Hidroeléctrica de Caldas, 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 Los Nevados.

2 INTRODUCCIÓN.

En las últimas décadas se han presentado avances en el abordaje, discusión e inclusión del reconocimiento de los servicios ecosistémicos (S.E.), entiendo dichos servicios como aquellos suministrados por el medio ambiente, a partir de sus funciones ecológicas las cuales brindan elementos como el suelo, plantas, animales, aire, entre otros, que nosotros valoramos. (Finlayson, C., & D' Cruz, R. 2005).

A pesar de lo anterior, en muchos casos existen limitaciones en el reconocimiento del valor 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. Es entonces como al no contar con elementos o argumentos de valor asociados a los ecosistemas, se presenta lo que se conoce 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.

Con base en lo anterior, el presente trabajo aborda una valoración del servicio ecosistémico de retención de sedimentos en la cuenca del Río Chinchiná – de la cual forma parte la Subcuenca del Río Claro que nace en el Parque Nacional Natural Los Nevados. De esta manera, se utilizó el método de costos evitados para determinar desde el punto de vista económico los beneficios de la existencia del parque con relación a la retención de sedimentos y control de la erosión.

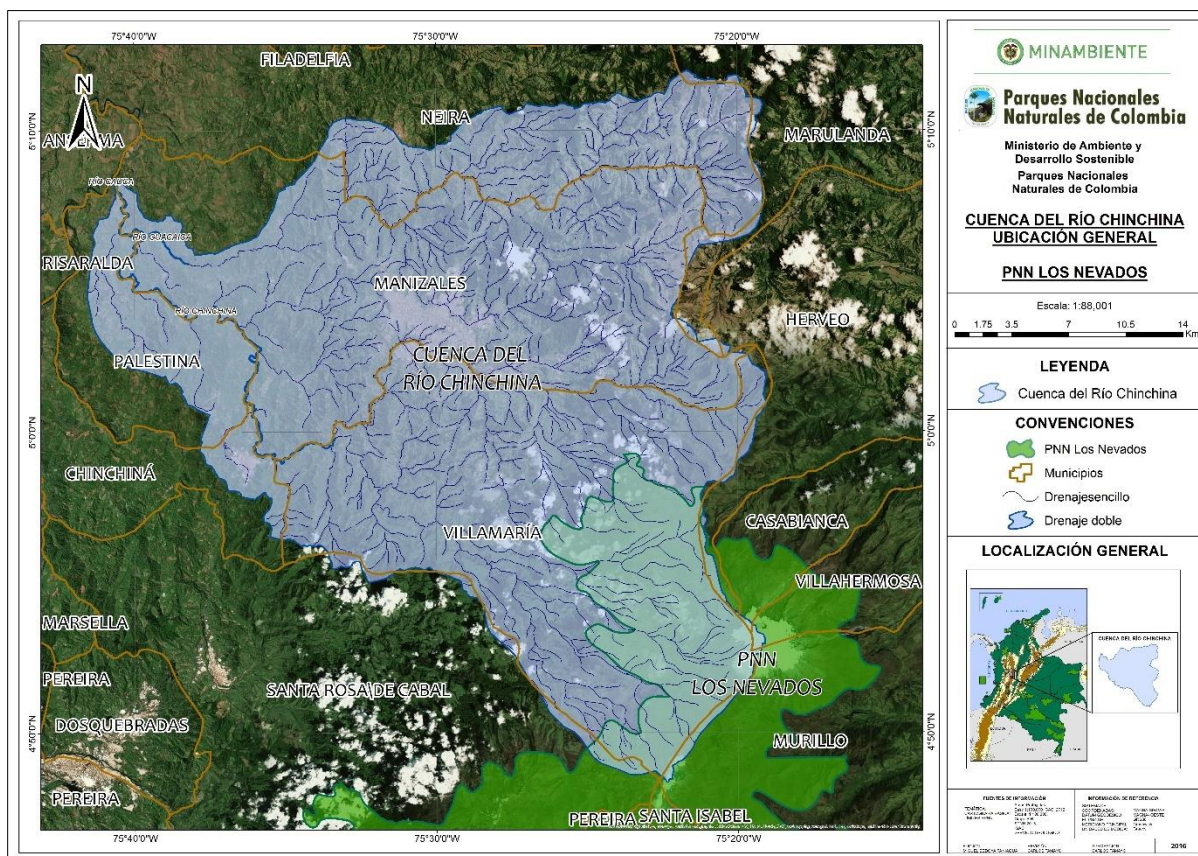
Bajo el interés de reflejar un reconocimiento del beneficio de la existencia del área protegida y su conservación, se consideran diferentes escenarios que comprenden una valoración ecológica de la capacidad del parque para retener sedimentos bajo condiciones de año medio e invierno. Así mismo se consideraron escenarios de cambios de coberturas relacionados con la pérdida de bosques por pastos y finalmente un escenario de conservación, el cual señala de manera aproximada los posibles ahorros hacia el sector hidroeléctrico si se presentara cambios de coberturas antrópicas por bosques para el área del parque y un buffer de 5 kilómetros en la cuenca.

3 ÁREA DE ESTUDIO.

La cuenca del río Chinchiná se localiza en la región Centro-sur del departamento de Caldas, sobre la vertiente occidental de la cordillera Central. Se encuentra en jurisdicción de 5 municipios: Manizales, Villamaría, Chinchiná, Palestina y Neira. La cuenca pertenece a la zona Hidrográfica Magdalena-Cauca y es el afluente más importante del río Cauca por su margen derecha. Limita al Sur y al Oriente con los departamentos de Risaralda y Tolima respectivamente, al Norte con el municipio de Neira y al Occidente con el municipio de Anserma. La extensión de la cuenca, basada en la delimitación de este estudio, es de 1052.25 km². (Corpocaldas, 2010).

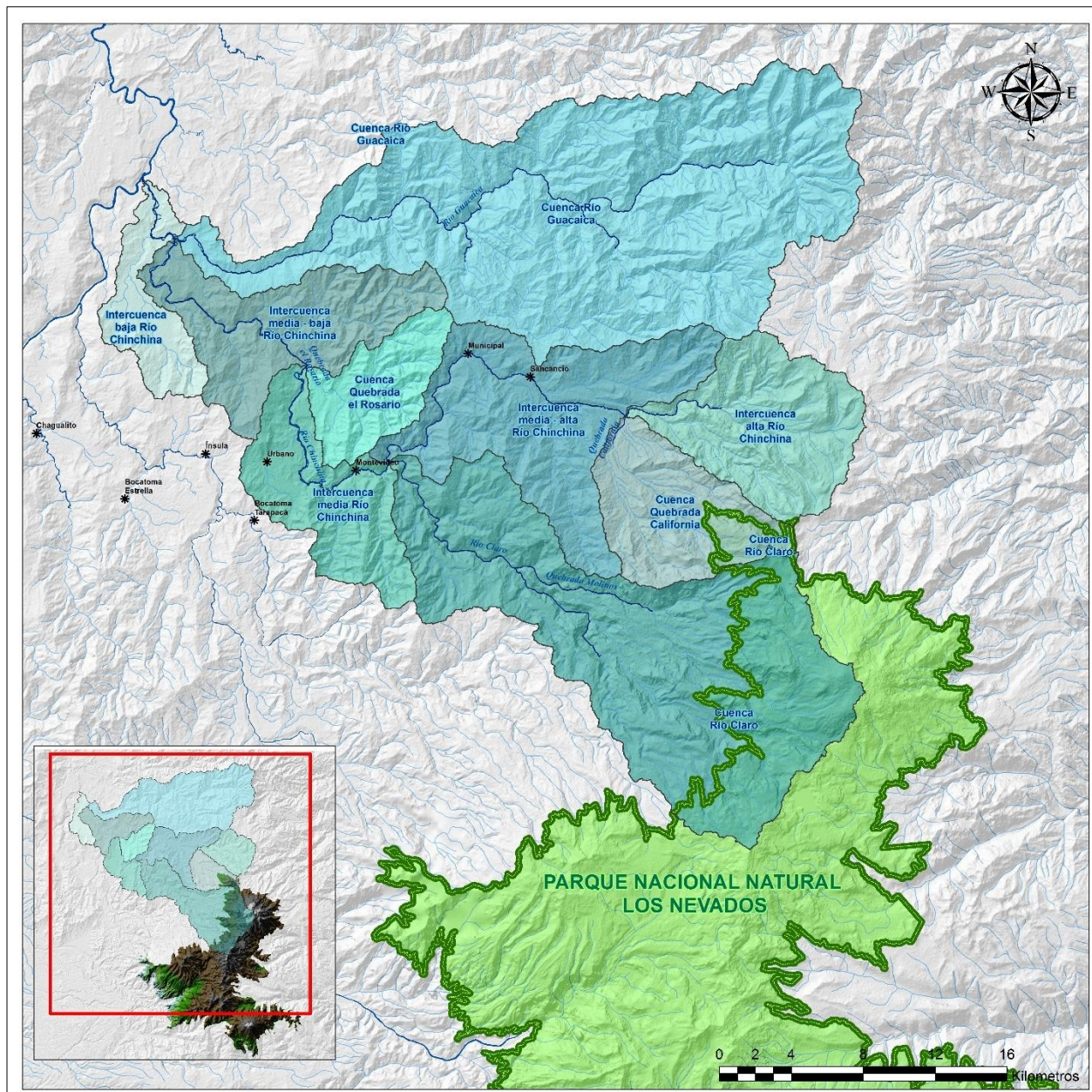
Con relación a la cuenca alta, esta se encuentra en Occidental de la Cordillera Central, en el departamento de Caldas y comprende área de los municipios de Manizales, Villamaría y Neira. Esta se extiende desde los puntos más elevados de la cordillera Central, nacimiento de los Ríos Claro, Chinchiná y Guacaica, a los 5200 metros de altitud, ubicados en el Volcán Nevado del Ruiz y disminuye hasta los 800 metros de altitud, sector en el que el río Chinchiná desemboca en el río Cauca. El río Chinchiná nace en la Laguna Negra del páramo de Letras a una altura de 3600 metros de altitud. (PNN, 2013). Cabe resaltar que el 14% de la cuenca del Río Chinchiná se encuentra en jurisdicción del Parque, el cual tiene como objetivo de conservación de la cuenca alta que brinda servicios ecosistémicos importantes para la región.

Mapa 1. Ubicación General – Cuenca del Río Chinchiná.



Fuente: Elaboración propia.

Mapa 2. Subcuencas del Río Chinchiná.



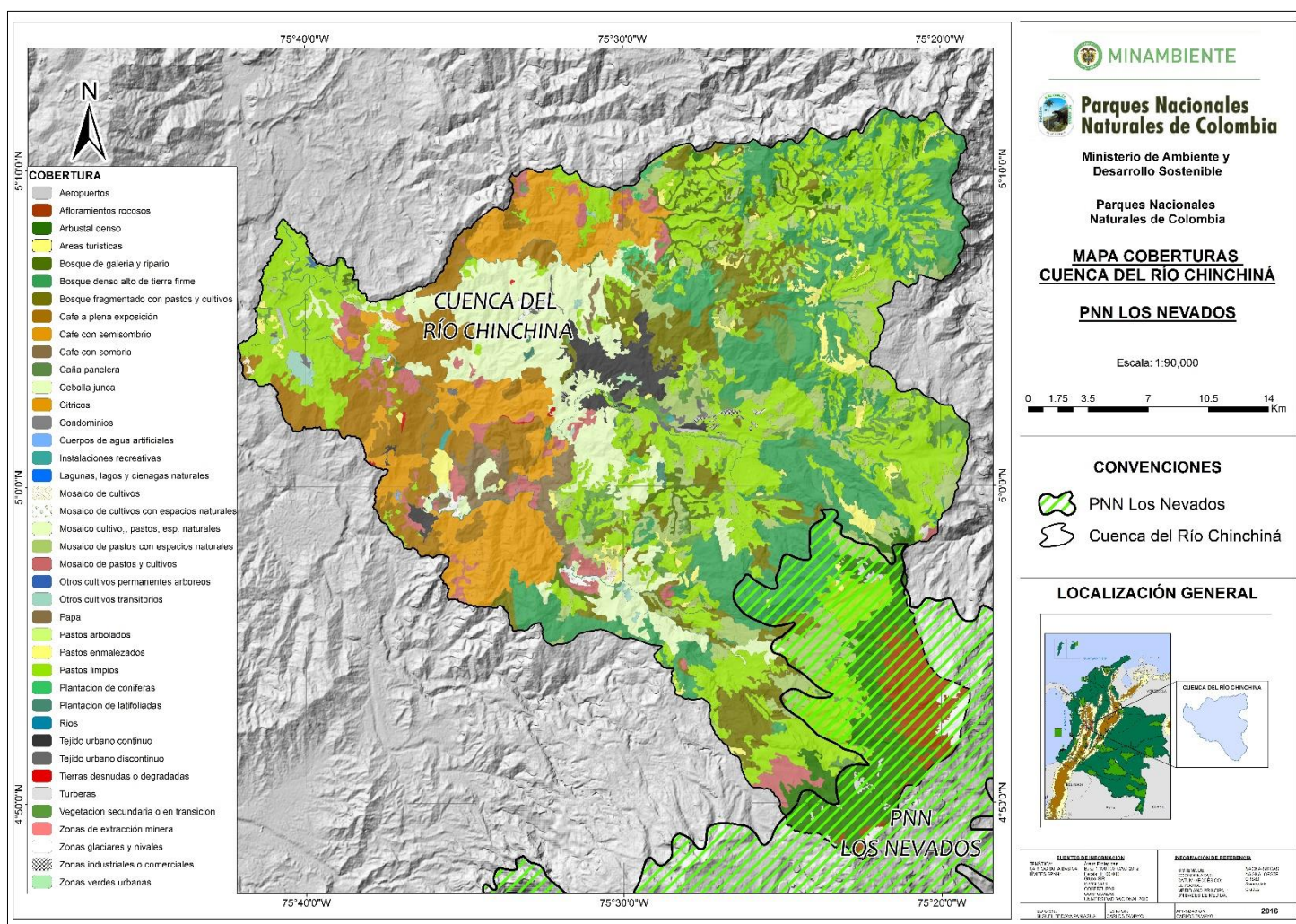
Elaboración: Luis Gómez – PNN Los Nevados.

4 IDENTIFICACIÓN DE ACTORES.

4.1 Coberturas de la cuenca del Río Chinchiná.

Con el interés de reconocer los sectores presentes en la cuenca, así como los usos del suelo, se identifica en el siguiente mapa, las coberturas de la tierra, de acuerdo con el Plan de Ordenación y Manejo de Cuenca del Río Chinchiná.

Mapa 3. Coberturas de la Cuenca del Río Chinchiná.



Fuente: Elaboración propia con base en coberturas POMCA del Río Chinchiná.

Las coberturas de la cuenca reflejan una participación significativa de los pastos limpios (26%), lo cual evidencia alta presencia de ganadería extensiva en el área de estudio,

Tabla 1. Área de las coberturas de la Cuenca del Río Chinchiná.

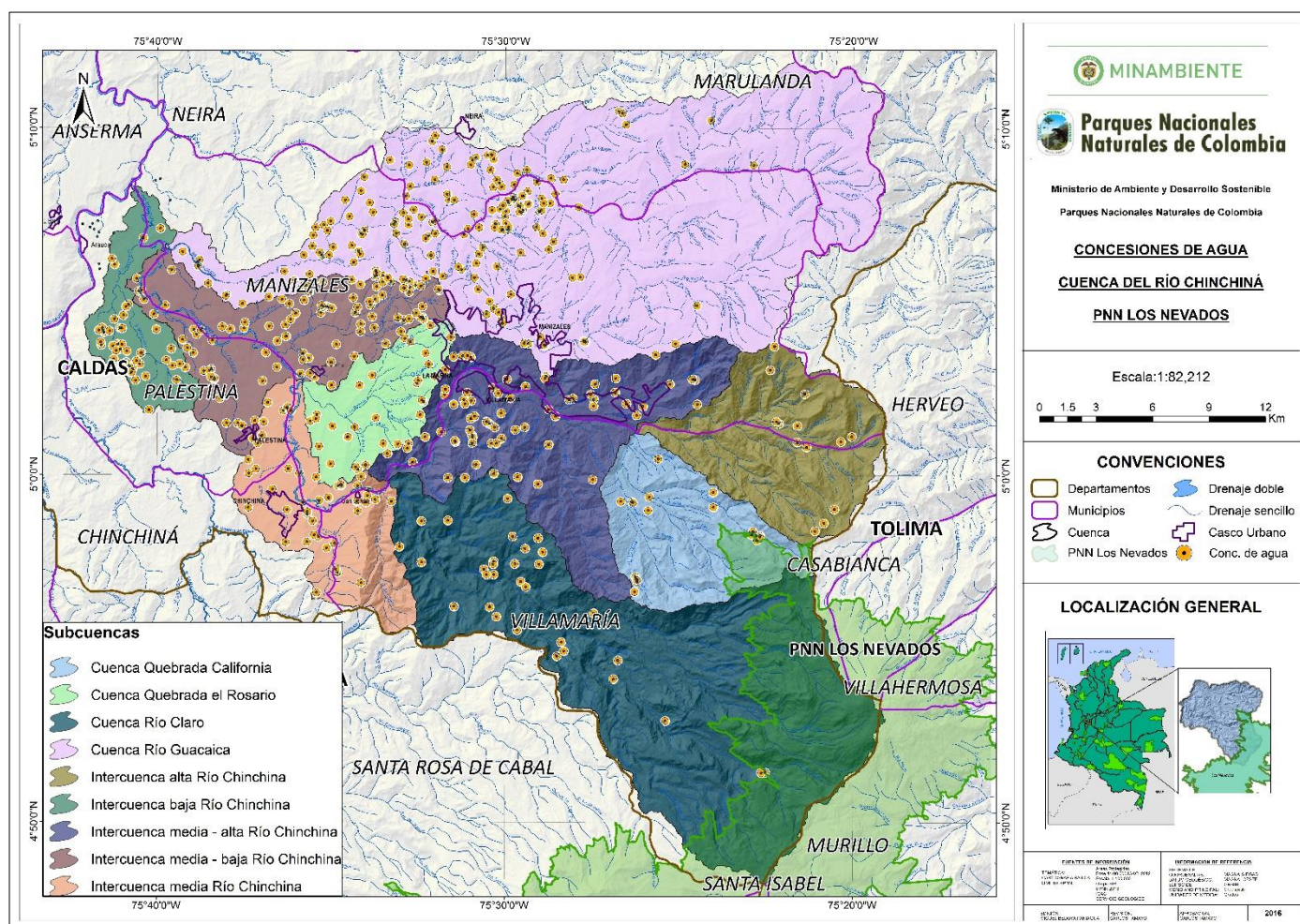
Cobertura	Área	Participación %
Aeropuertos	66.86	0.06%
Afloramientos rocosos	2211.00	2.11%
Arbustal denso	5353.00	5.11%
Áreas turísticas	69.89	0.07%
Bosque de galería y Ripario	1264.00	1.21%
Bosque denso alto de tierra firme	15780.00	15.05%
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	6247.00	5.96%
Café a plena exposición	6951.00	6.63%
Café con semisombrío	8599.00	8.20%
Café con sombrío	1401.00	1.34%
Caña panelera	21.71	0.02%
Cebolla junca	117.20	0.11%
Cítricos	81.06	0.08%
Condominios	4.17	0.00%
Cuerpos de agua artificiales	14.34	0.01%
Instalaciones recreativas	53.74	0.05%
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	1.20	0.00%
Mosaico de cultivos	134.60	0.13%
Mosaico de cultivos con espacios naturales	352.40	0.34%
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	9809.00	9.36%
Mosaico de pastos con espacios naturales	7049.00	6.72%
Mosaico de pastos y cultivos	2859.00	2.73%
Otros cultivos permanentes arbóreos	33.00	0.03%
Otros cultivos transitorios	319.30	0.30%
Papa	8.96	0.01%
Pastos arbolados	28.58	0.03%
Pastos enmalezados	1884.00	1.80%
Pastos limpios	27260.00	26.00%
Plantación de coníferas	396.00	0.38%
Plantación de latifoliadas	98.90	0.09%
Ríos	301.40	0.29%
Tejido urbano continuo	1854.00	1.77%
Tejido urbano discontinuo	231.10	0.22%
Tierras desnudas o degradadas	68.57	0.07%
Turberas	245.10	0.23%
Vegetación secundaria o en transición	3102.00	2.96%
Zonas de extracción minera	10.34	0.01%
Zonas glaciares y nivales	384.20	0.37%
Zonas industriales o comerciales	122.80	0.12%
Zonas verdes urbanas	44.38	0.04%
TOTAL	104832.80	100.00%

Fuente: Elaboración propia con base en coberturas POMCA del Río Chinchiná.

4.2 Concesiones de agua en la cuenca.

La identificación de las concesiones permite tener presente los diferentes usuarios del recurso hídrico teniendo en cuenta su ubicación espacial. En este sentido, de acuerdo con el POMCA del Río Chinchiná, se presenta a continuación las concesiones para la cuenca con relación a la jurisdicción de Corpocaldas.

Mapa 4. Concesiones de agua en la Cuenca del Río Chinchiná.



Fuente: Elaboración propia con base en coberturas POMCA del Río Chinchiná.

A continuación, se presenta un listado de la cantidad de concesiones de agua en los municipios al interior del área de la cuenca del Río Chinchiná, y sus principales usos.

Tabla 2. Concesiones de agua en la cuenca del Río Chinchiná por municipios.

Municipio	N° concesiones	Principales Usos
Villamaría	231	Doméstico, agropecuario, recreación, minería, riego, industrial.
Neira	85	Doméstico, agropecuario.
Manizales	695	Doméstico, industrial, agropecuario, recreación.
Chinchiná	49	Doméstico, agropecuario, avícola.
Palestina	208	Agropecuario, doméstico, recreación, riego.

De acuerdo con (CORPOCALDAS, 2010), se tienen 1254 concesiones asignadas para un caudal total de 16722 L/s. Los principales usos asignados por concesión son: generación de energía eléctrica, con concesiones en 3 puntos del cauce principal del río Chinchiná (14300 L/s); consumo humano, por las concesiones otorgadas a Aguas de Manizales (1680 L/s), Aquamaná (730 L/s) y Empocaldas (173.4 L/s); uso industrial, con 16 concesiones por un caudal de 223.3 L/s (Contraloría, 2008). Según Corpocaldas (2008), las concesiones ascienden a 527,98 Mm³/año, de las cuales el 85,4% corresponden a la generación eléctrica.

4.3 Central Hidroeléctrica de Caldas – Chec.

La Central Hidroeléctrica de Caldas fue fundada en 1944, como Asociación Limitada gracias a los aportes económicos suministrados por el Departamento de Caldas, los municipios de Villamaría, Palestina y Chinchiná. Posteriormente entraron a formar parte de la sociedad, los municipios de Anserma, Risaralda, Aranzazu, Santa Rosa, Marsella y Quinchía. (CHEC, 2013). La empresa tiene por objeto la prestación de servicios públicos esenciales de energía, incluidos el servicio público domiciliario de energía eléctrica, mediante los negocios de Generación, Distribución y Comercialización.

De acuerdo con (CORPOCALDAS, 2010), La CHEC tiene dos embalses artificiales, Camaguadua y San Francisco. El embalse de Camaguadua, también denominado lago o represa de Balsora, es una represa de tipo hidráulica, localizada en el municipio de Chinchiná; posee un espejo de agua de 5.5 Ha, alimentada por los ríos Chinchiná (11.1 m³/s) y las quebradas Camaguadua (63.3 L/s) y Campoalegre (6,5 m³/s); esta última no hace parte de la cuenca del río Chinchiná. El embalse de San Francisco, denominado también lago o represa La Esmeralda, es una represa de tipo hidráulica que tiene un espejo de agua de 20 Ha, con un canal de entrada de 26 m³/s; toma agua de los ríos San Eugenio, San Francisco, quebrada la Estrella y el embalse Camaguadua.

4.3.1 Acueductos municipales.

De acuerdo con el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Chinchiná, se presenta a continuación los acueductos municipales de la cuenca junto con sus fuentes hídricas abastecedoras.

Tabla 3. Acueductos municipales y fuentes hídricas abastecedoras.

Empresa de Servicios Públicos	Municipio	Fuente hídrica
AGUAS DE MANIZALES	MANIZALES	Río Blanco
		Quebrada Cajones
		Quebrada California
		Río Chinchiná
		Quebrada La Guerra
		Quebrada La María
		Quebrada Olivares
		Quebrada Pinares
		Quebrada Romerales
		Quebrada Termales
		Quebrada Chupaderos
AQUAMANÁ	VILLAMARÍA	Quebrada Chupaderitos
EMPOCALDAS	NEIRA	Quebrada Berlín
		Quebrada La Floresta
		Quebrada San Juan

Fuente: Resolución 865 de 2004, Citado por (CORPOCALDAS, 2010).

5 MARCO METODOLÓGICO DE LA VALORACIÓN.

La valoración del servicio ecosistémico de retención de sedimentos considera una modelación hidrológica con la herramienta InVEST (Valoración Integrada de Servicios Ecosistémicos y Costos de Oportunidad), desarrollada por el proyecto de Capital Natural. Esta herramienta INVEST estima la capacidad de una parcela de tierra para producir sedimentos utilizando datos sobre las prácticas, geomorfología, clima, vegetación y prácticas de manejo. Estas estimaciones al combinarse con datos sobre los costos de remoción o traslado de los sedimentos, permiten aproximarse a una valoración económica de los costos evitados por la retención de sedimentos de 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 ambiental de un determinado entorno. 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 4. 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: http://earthexplorer.usgs.gov/	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. –	Shape de coberturas de la cuenca que dan cuenta de las diferentes

ITEM	Formato	Fuente	Descripción/Observaciones
		Coberturas elaboradas por Corpocaldas en el 2010.	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).

5.3 Valoración económica.

5.3.1 Método de Valoración por costos evitados.

El método de costos evitados se utiliza para medir los gastos en que incurren los agentes económicos, gobiernos, empresas, e individuos para reducir o evitar los efectos ambientales no deseados, cuando los bienes o servicios son sustituidos. (Ministerio del Ambiente, 2015).

Este método se basa en el hecho en que si las personas o sectores están dispuestos a incurrir en ciertos costos para evitar los daños causados por la pérdida de un servicio ecosistémicos, entonces una medida de su valor corresponde, por lo menos, al monto pagado por dichos daños.

5.3.1.1 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.

5.3.1.2 Ventajas.

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

5.3.1.3 Limitaciones.

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

5.3.1.4 Información utilizada para la valoración económica.

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

Tabla 5. 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 el sector hidroeléctrico. Este valor corresponde a \$7.552/m ³	Central Hidroeléctrica del Caldas (Chec)
Sedimentos exportados en la bocatoma de agua de la Chec	Sedimentos totales exportados hacia las fuentes hídricas que llegan a la bocatoma Montevideo, la cual recibe agua desde la Subcuenca del Río Claro y Subcuenca del Río Chinchiná.	Plan de Ordenación y Manejo de Cuenca del Río Chinchiná.
Sedimentos exportados bajo diferentes escenarios.	Sedimentos exportados en con las coberturas actuales en comparación con un escenario de pradeización 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 recopila la información necesaria, la estimación de los sedimentos en m³ se realizó a partir de la conversión de Tn a m³. 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). De esta forma, a partir de esta estimación es se asumen que todos los sedimentos que llegan a la bocatoma Montevideo de la Chec, llegan al embalse de Cameguadua.

Finalmente, el cálculo de los costos evitados en condiciones de año medio 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 en m^3 en escenario de año medio con cambio de bosques a pastos y cultivos.
- Sed_0 : Sedimentos exportados en m^3 en escenario de año medio con las coberturas actuales del POMCA.
- CR : Costos evitados anuales de remoción de sedimentos en $\frac{\$}{m^3}$

Luego del cálculo de los costos evitados por remoción de sedimentos en año medio, se calcula el valor presente de dichos costos a 20 años con base en la siguiente formula.

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

Donde:

- VP : Valor presente de los costos evitados por remoción de sedimentos.
- T : Año considerado para el cálculo del valor presente. ($T - 1$). En este caso 20 años.
- 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.

6 TRATAMIENTO DE INFORMACIÓN PARA EL CÁLCULO DE SEDIMENTOS EXPORTADOS.

Como se señaló anteriormente, el modelo InVEST de retención de sedimentos requiere de diferentes insumos con los cuales se estima de manera aproximada la cantidad de sedimentos exportados hacia las fuentes hídricas. De esta manera, se presenta a continuación las características y descripción de las necesidades de información necesarias para esta estimación.

6.1 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 proporcionada por el profesional de Sistemas de Información Geográfica, Luis Gómez, del PNN Los Nevados, a través del satélite Alos Palsar, el cual permitió obtener un DEM para el área de estudio con una resolución de 12,5m.

Luego de realizar esta descarga se realizaron correcciones pertinentes al DEM, las cuales consisten en verificar que no existan celdas sin datos, rellenar los sumideros y ejecutar un procedimiento de corrección para las posibles desviaciones o irregularidades que pueden presentarse por la acción de la vegetación. Estos procedimientos se realizaron con el software Arcgis 10.3.

6.2 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 (1982-2015) para 17 estaciones meteorológicas ubicadas al interior y zonas cercanas a la cuenca del Río Chinchiná (Tabla 6); a estas estaciones se les realizó un análisis de homogeneidad sencillo, con el cual se corroboró que la

información sobre precipitación es consistente. 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^2 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 1.980 – 2.015, se usó la anterior ecuación para el IMF, y luego se calcula el factor r (EI_{30}), con base en la siguiente ecuación presentada por (Ramírez, O.A.F., 2.007)

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

Donde, EI_{30} : 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.

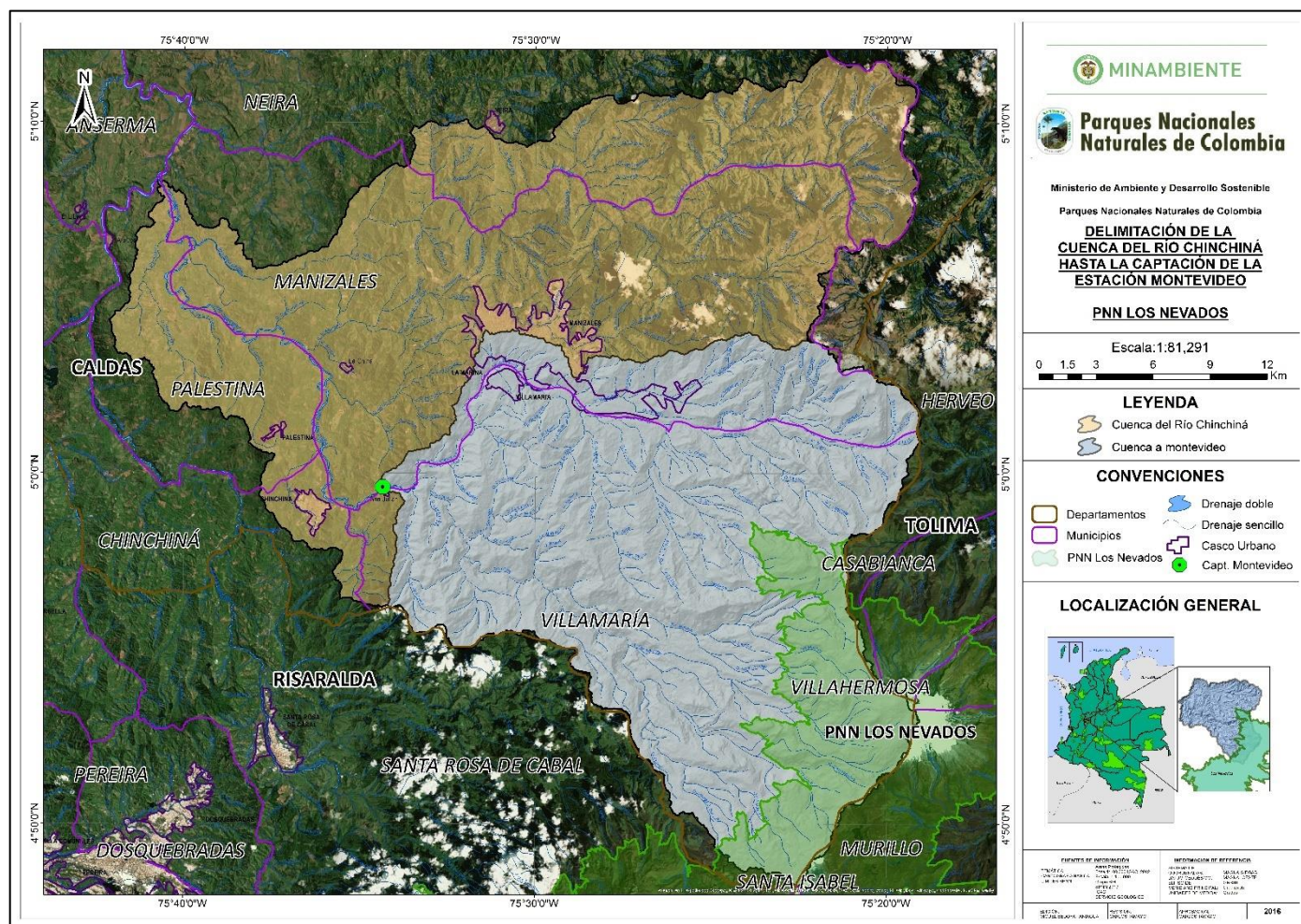
Tabla 6. Estaciones de precipitación analizadas.

NOMBRE	CÓDIGO	LONGITUD	LATITUD	ELEVACIÓN (msnm)
ALTO DEL OSO	21250050	-75,25	4,85	3150
APTO LA NUBIA	26155110	-75,47	5,03	2104
APTO MATECANA	26135040	-75,74	4,82	1199
ARAUCA	26150060	-75,70	5,11	917
BOQUERON	21250170	-75,25	4,90	3740
BRISAS LAS	26155150	-75,35	4,93	4133
CRISTALINA LA	26160120	-75,44	5,19	2411
ESPERANZA LA	26150160	-75,36	5,02	3341
MARULANDA	23020090	-75,27	5,28	1700
NEIRA	26160100	-75,52	5,16	198
PAPAYAL	26150150	-75,49	4,95	2304
POTREROS	26130170	-75,56	4,89	2134
RECUERDO EL	26130200	-75,74	4,96	1587
SAN REMO	26135160	-75,58	4,84	1947
STA BARBARA	21250480	-75,22	4,91	3371
TERMALES	26130020	-75,56	4,84	21
VERACRUZ	26135110	-75,63	4,87	17

6.3 Delimitación de la cuenca.

Considerando que el sector hidroeléctrico corresponde al actor hacia el cual se dirige la valoración económica sobre los costos evitados por los sedimentos retenidos por el parque, se debe delimitar la cuenca con el fin de estimar los sedimentos aproximados que estarían llegando al punto en el cual la Chec toma el agua para su operación. En este sentido se consideró la ubicación de la estación Montevideo de la de la empresa como punto de cierre de la cuenca.

Mapa 5. Delimitación de la cuenca hasta la estación Montevideo de la Chec.



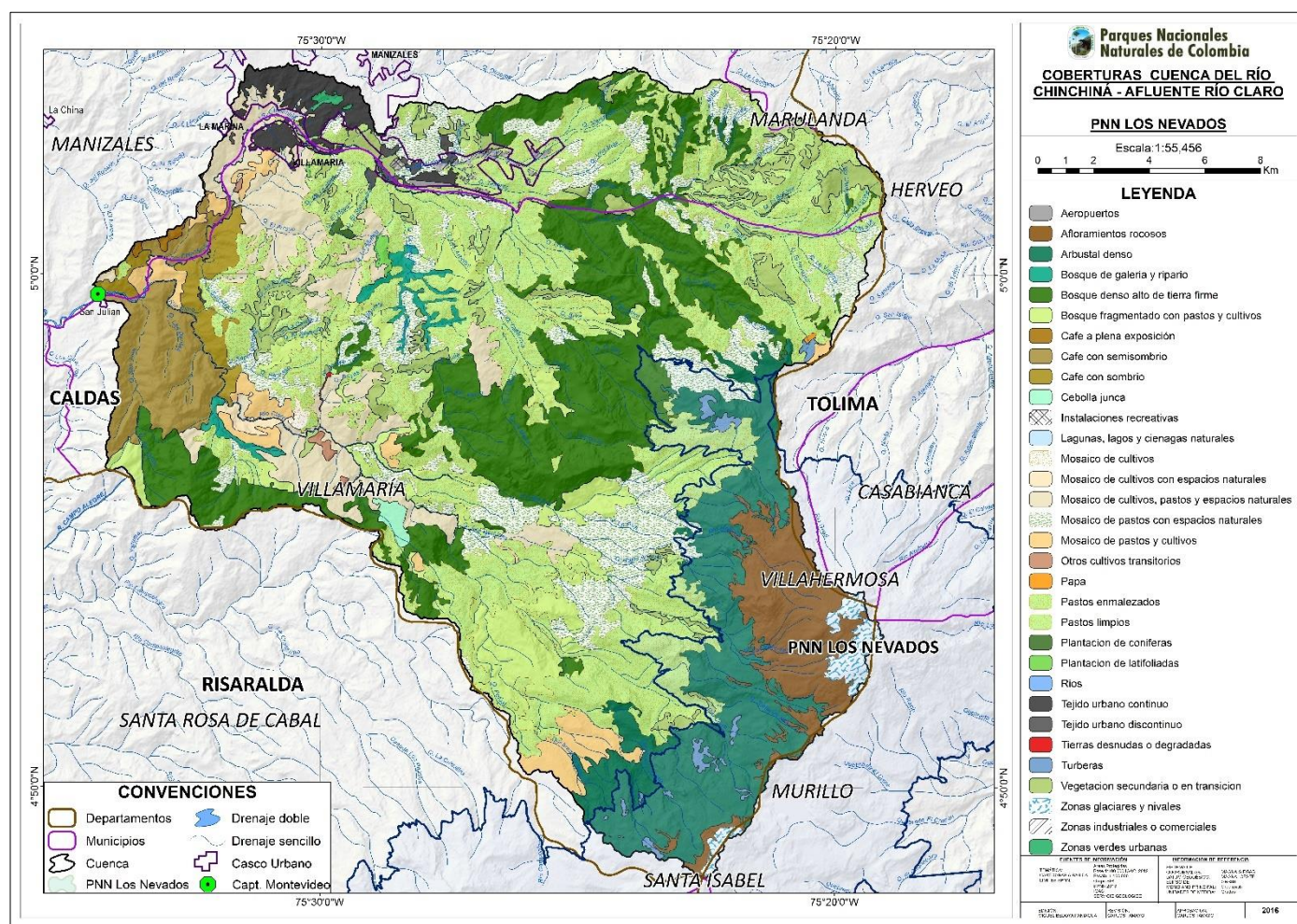
Fuente: Elaboración propia.

6.4 Cobertura del suelo.

Las coberturas del suelo son insumo importante en la cuantificación de los sedimentos exportados en una cuenca, ya que cada cobertura incide manera diferenciada en esta exportación y más aun considerando 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)

En este sentido se presenta a continuación las coberturas de la tierra presentes en el área de estudio, las cuales se consideraron como un punto de partida para el escenario de línea base que presenta el estado de la cuenca actualmente.

Mapa 6. Coberturas de la cuenca hasta su delimitación en la estación Montevideo.

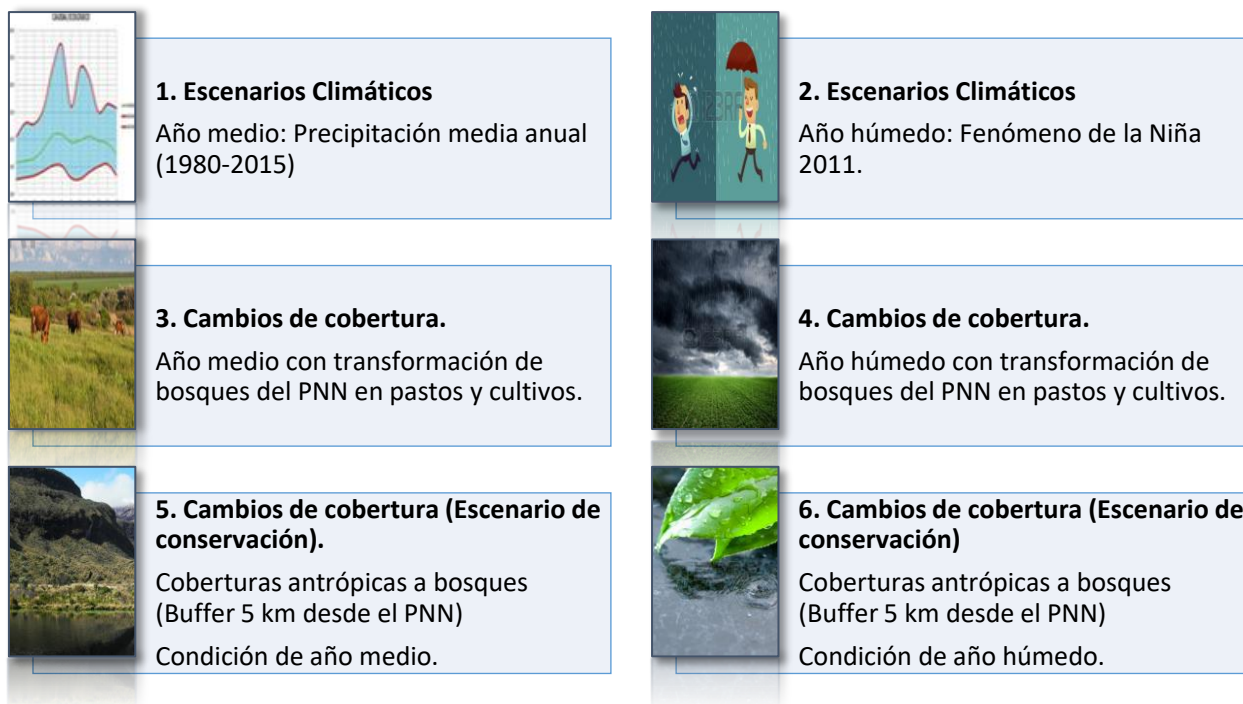


Fuente: Elaboración propia con base en (CORPOCALDAS, 2010).

6.5 Escenarios contemplados.

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

Ilustración 1. Escenarios contemplados en la modelación.



7 RESULTADOS.

7.1 Calculo de sedimentos exportados.

7.1.1 Validación de los resultados en año medio.

Al consolidar los insumos del modelo de retención de sedimentos de InVEST se procedió a realizar la simulación bajo las condiciones de año medio, para validar los resultados con la información sobre sedimentos totales en la estación Montevideo de la Chec, de acuerdo con el Plan de Ordenación y Manejo de Cuenca del Río Chinchiná. De esta manera se presenta a continuación los resultados de esta comparación.

Tabla 7. Comparación de los sedimentos exportados simulados y registrados en el POMCA para el año 2013.

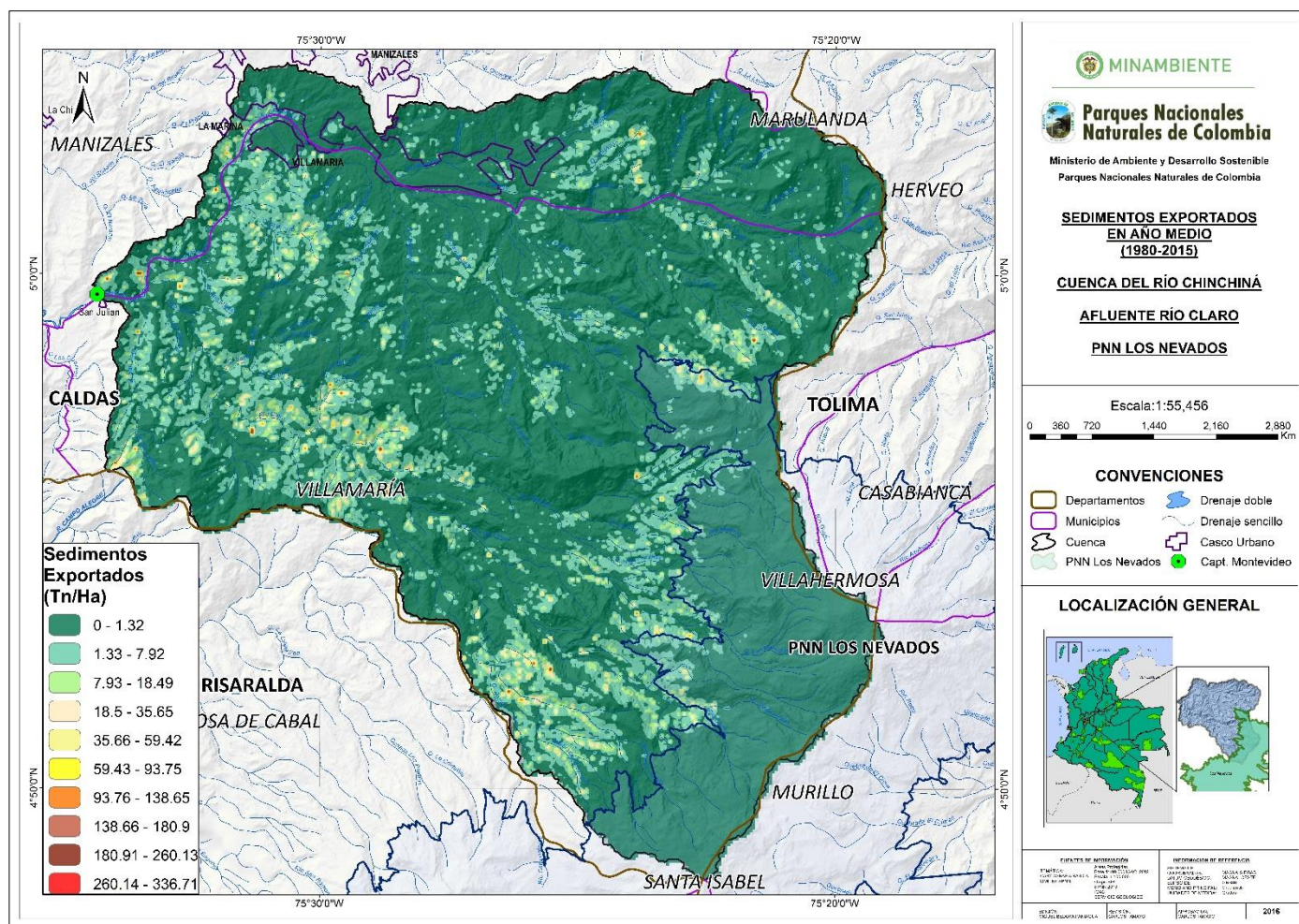
Condición	Valor (Millones de Tn)	Fuente
Sedimentos exportados estación Montevideo	5,713	POMCA.
Simulación año medio	5,692	Salida de programa InVEST
Diferencia %	0.35%	

Es importante recalcar que debido a la falta de información histórica sobre sedimentos exportados en la estación Montevideo, solo fue posible comparar la simulación para el año 2013, por lo cual es fundamental tener en cuenta que en la medida en que se cuente con más información sobre mediciones de sedimentos las estimaciones podrán ser más precisas.

7.1.2 Sedimentos exportados en condiciones de año medio.

Al ejecutar el modelo de retención de sedimentos se obtienen resultados de manera espacializada y valores totales por la Cuenca del Río Chinchiná hasta su punto de cierre de la estación Montevideo. De esta manera, en el mapa 5, es posible apreciar los intervalos de sedimentos exportados para el área de estudio y así mismo las zonas con mayor exportación y por ende mayor pérdida de suelo por erosión.

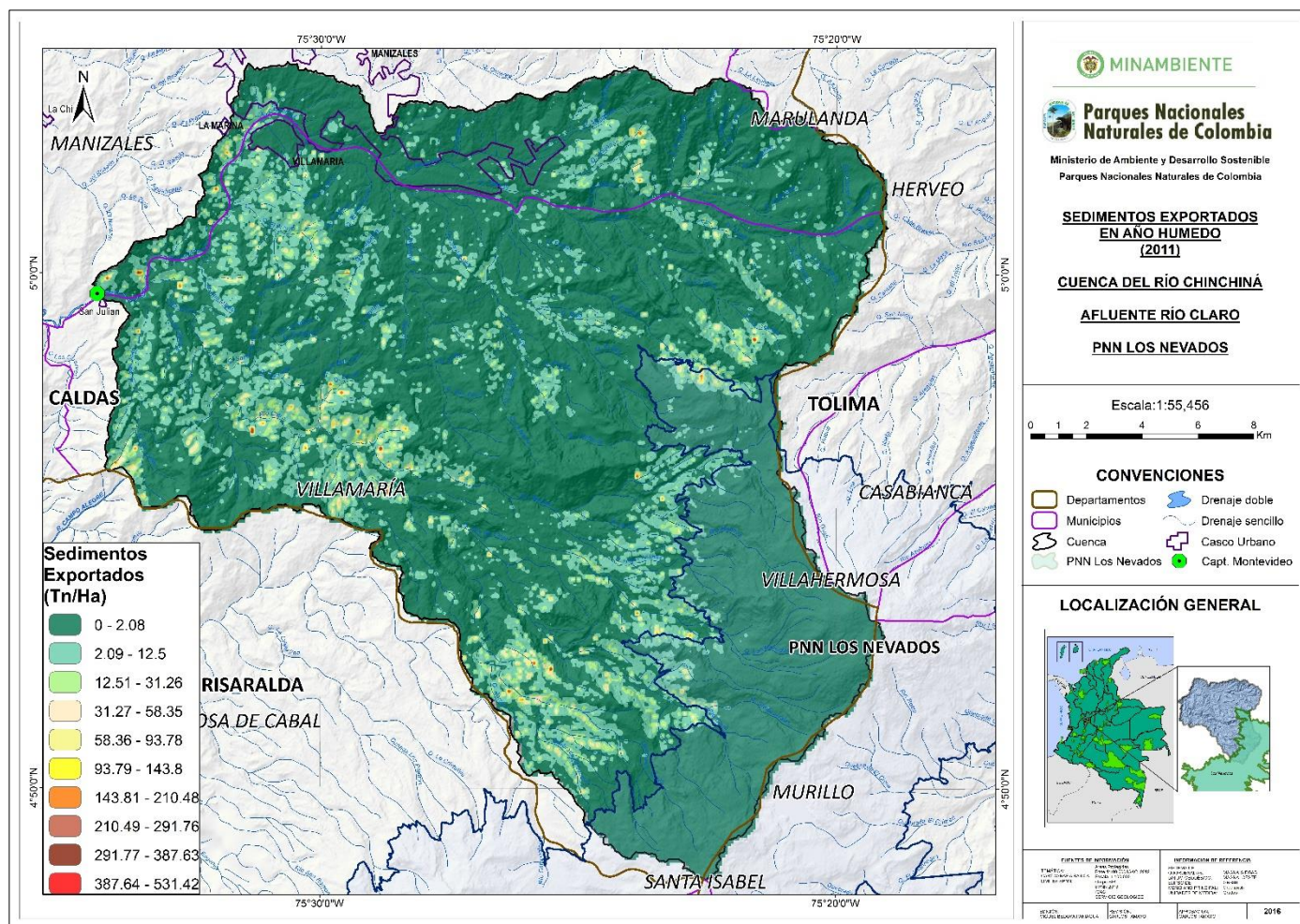
Mapa 7. Sedimentos exportados en escenario de año medio.



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

Los resultados en este escenario, señalan que, en condiciones de año medio, se encuentran zonas cuyos sedimentos exportados pueden alcanzar hasta los $336,71 \text{ Ton} * \text{Ha}^{-1}$. Entre tanto se observa que las zonas que presentan una mayor exportación se encuentran cerca a la estación de Montevideo, y áreas cercanas al parque; por otra parte, en el área protegida, los sedimentos exportados son significativamente bajos, excepto en las zonas con presencia de coberturas antrópicas.

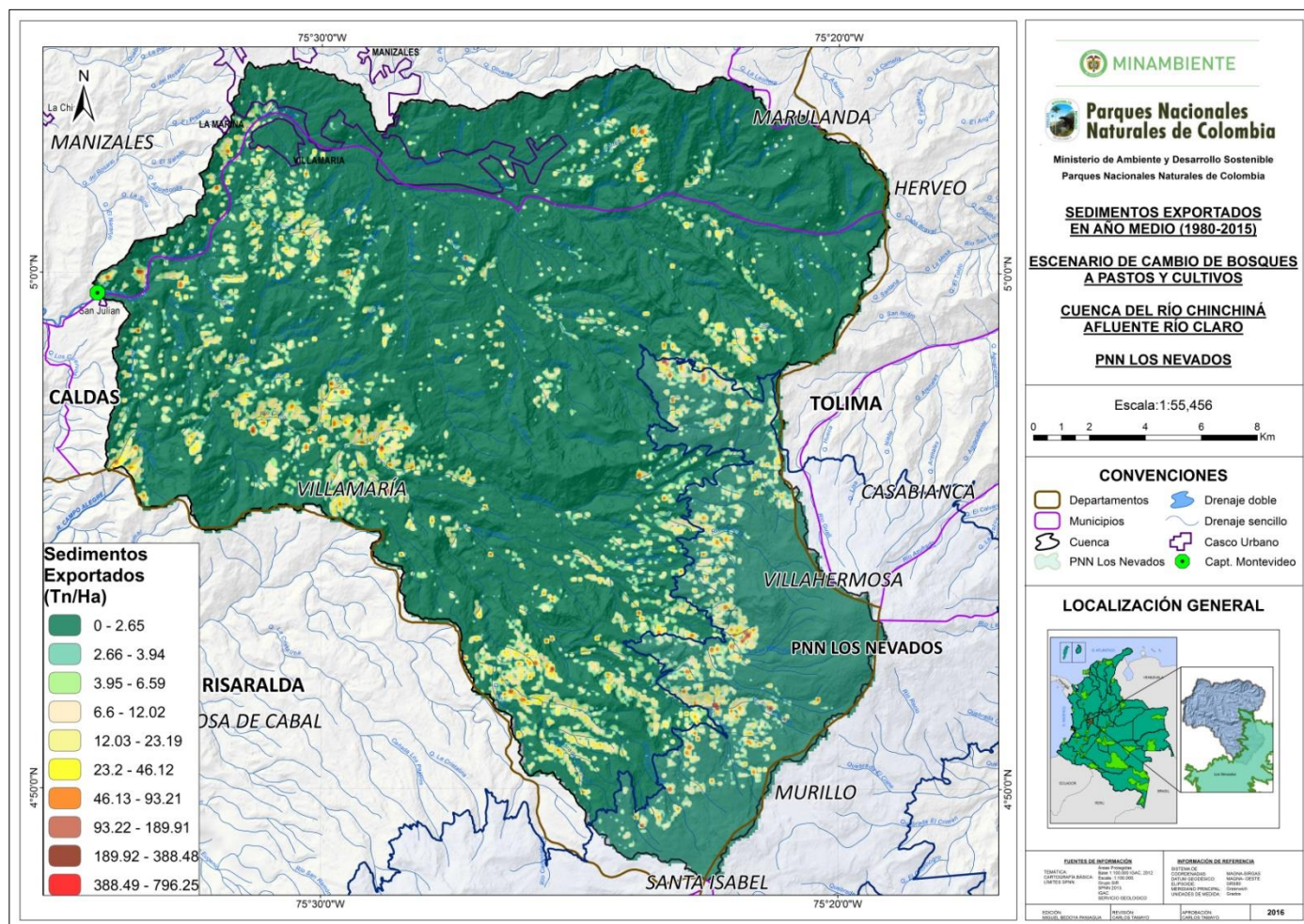
7.1.3 Sedimentos exportados en condiciones de año húmedo.



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

Los resultados para esta simulación en condiciones de año húmedo, reflejan un incremento en la cantidad de sedimentos exportados, lo cual se explica teniendo en cuenta los incrementos en las precipitaciones, lo que finalmente aumenta la erosión. De esta manera, se observa entonces las diferentes zonas del área de estudio que presentan una mayor exportación de sedimentos, presentándose la misma tendencia que en las condiciones de año medio. En este sentido, para este caso la exportación de sedimentos puede alcanzar hasta los $531,42 \text{ Ton} * \text{Ha}^{-1}$ en zonas cercanas a la estación Montevideo, mientras que en el área del parque se presentan los menores valores.

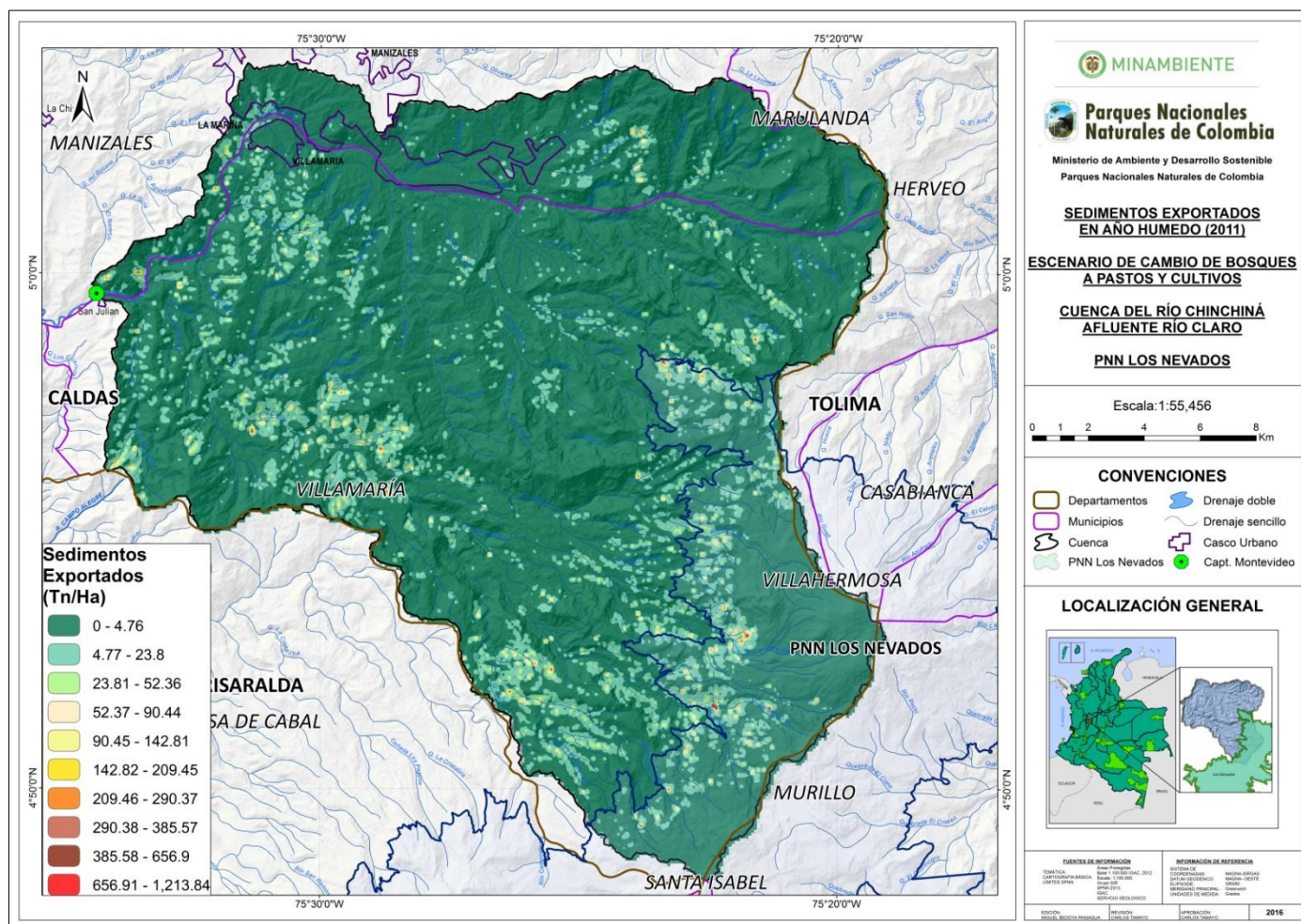
7.1.4 Sedimentos exportados en escenario de cambios de cobertura (Año medio con transformación de bosques en pastos y cultivos).



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

Como se observa, al reemplazar las coberturas boscosas por pastos y cultivos, los niveles de sedimentos exportados se incrementan considerablemente con respecto al escenario de año sin cambios de coberturas, encontrándose zonas que pueden alcanzar hasta los $796\,531,42\,Ton * Ha^{-1}$ aproximadamente. Entre tanto, se observa que sin la existencia de las coberturas naturales del Parque Los Nevados, se presentarían nuevos focos de exportación de sedimentos, lo que se traduce en aumentos de la pérdida de suelo por erosión.

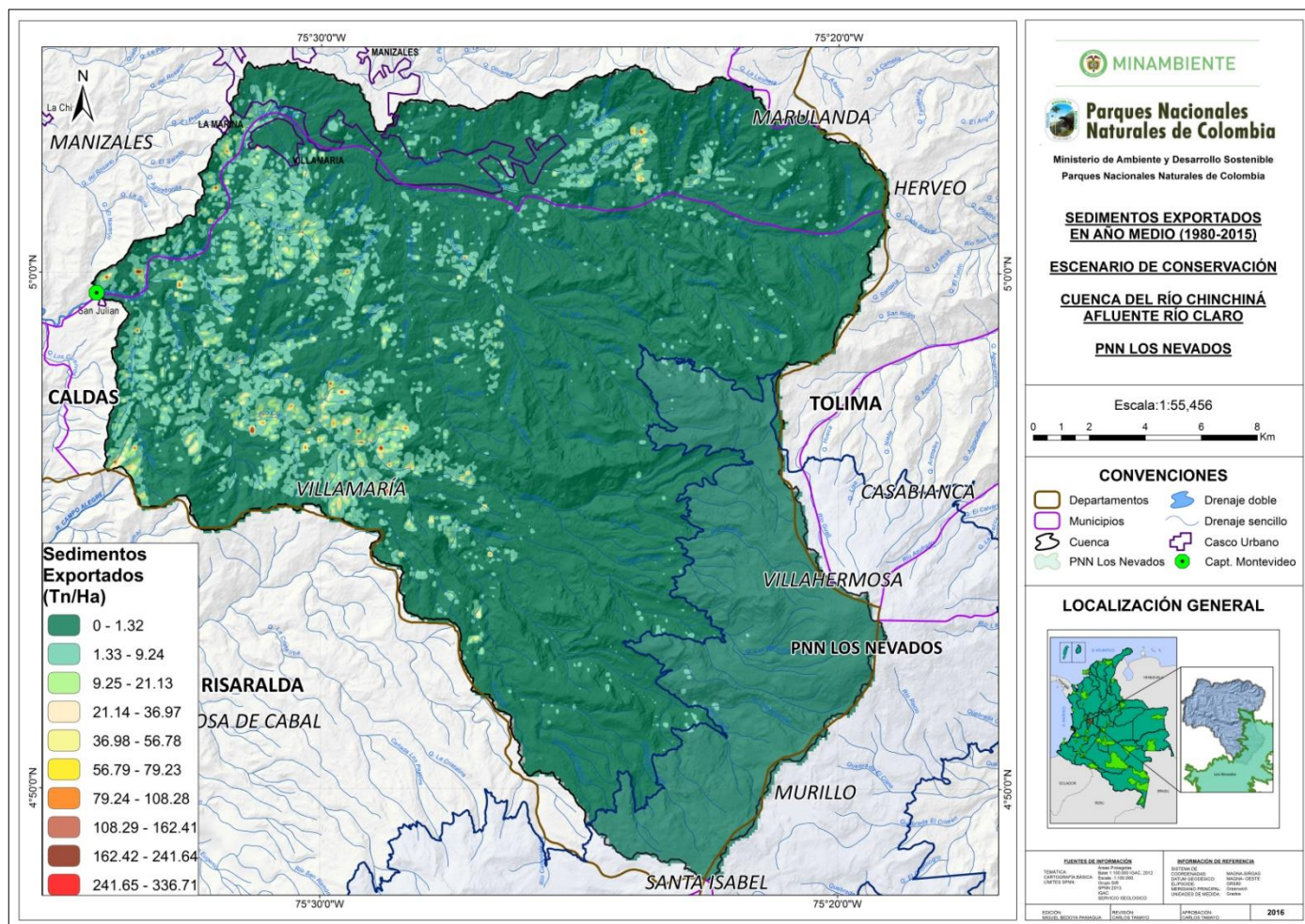
7.1.5 Sedimentos exportados en escenario de cambios de cobertura (año húmedo con transformación de bosques en pastos y cultivos).



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

Conforme la tendencia, en condiciones de año húmedo (fenómeno de la niña del año 2011), teniendo en cuenta el cambio de las coberturas naturales del parque por pastos y cultivos, se obtiene un incremento de los sedimentos exportados, reflejado en zonas que pueden alcanzar hasta los 1213 $Ton * Ha^{-1}$. Esta tendencia se explica considerando el incremento en las lluvias acompañado de un escenario en el cual crece la frontera agropecuaria, eliminando las coberturas naturales existentes del Parque Los Nevados; en otras palabras, se aprecia la aparición de nuevos focos de pérdida de suelo por erosión en el caso en que no exista el área protegida.

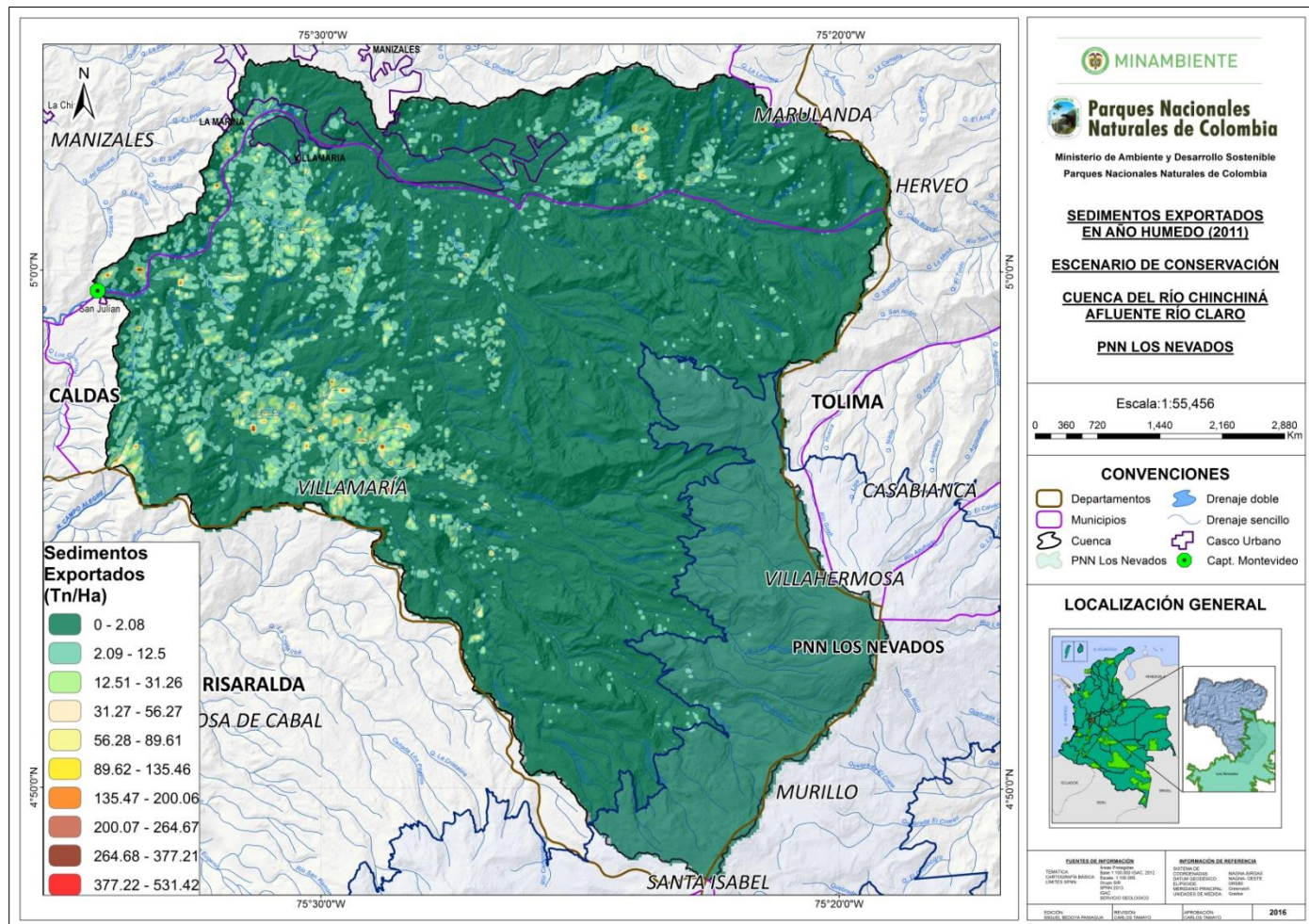
7.1.6 Sedimentos exportados en año medio - escenario de conservación: (coberturas antrópicas a bosques (Buffer 5 km desde el PNN en la cuenca))



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

Los resultados presentan la condición de un escenario de conservación optimista, en el cual las coberturas antrópicas presentes en el parque y extendiéndose hasta 5km más en la cuenca, son cambiadas por bosques. 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 $336 \text{ Ton} * \text{Ha}^{-1}$. 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.

7.1.7 Sedimentos exportados en año húmedo. Escenario de conservación: Coberturas antrópicas a bosques (Buffer 5 km desde el PNN)



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, los cuales pueden alcanzar hasta $531 \text{ Ton} * \text{Ha}^{-1}$. 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 sedimentos exportados.

7.1.8 Resultados a nivel de la cuenca hasta la estación Montevideo.

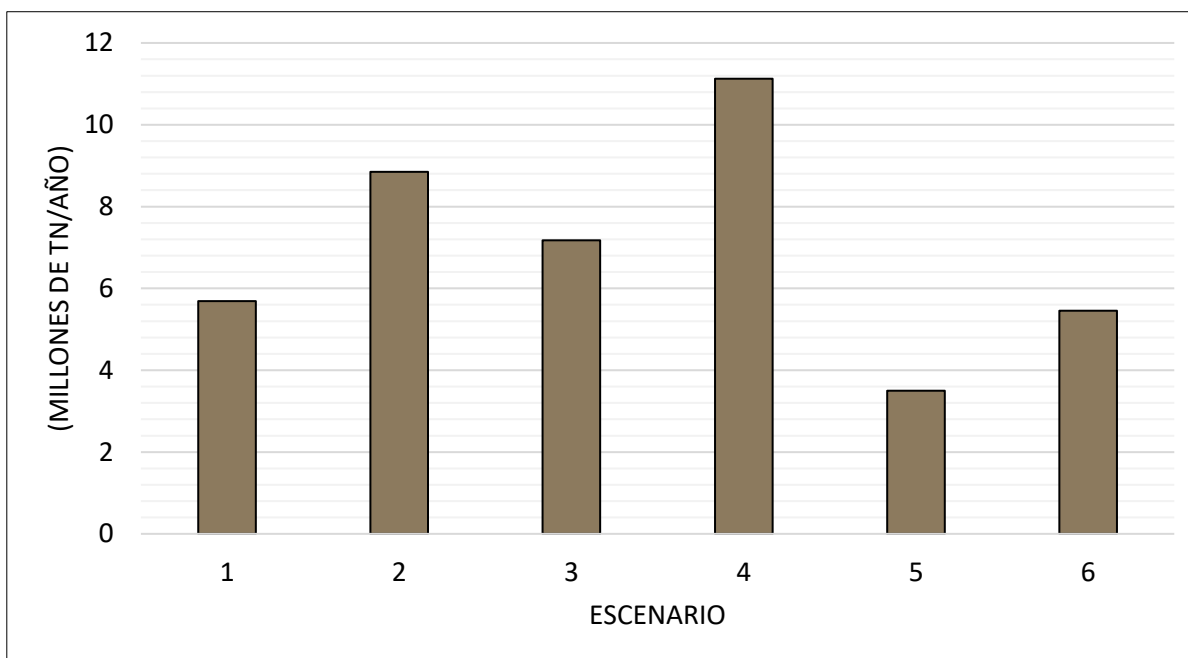
Luego de identificar la distribución de los sedimentos exportados y la tendencia frente a diferentes escenarios, se consolidaron los resultados de la cantidad de sedimentos totales que estarían llegando hasta la estación Montevideo de la Chec, los resultados de esta estimación se presentan a continuación.

Tabla 8. Resultados totales para los diferentes escenarios.

Escenario	Condición Climática	Cobertura	Sedimentos exportados (Millones de toneladas/año)
1	Año medio	Actual	5,69
2	Año húmedo	Actual	8,85
3	Año medio	Bosques a pastos y cultivos	7,18
4	Año húmedo	Bosques a pastos y cultivos	11,12
5	Año medio	Cob. Antrópica a bosques (5 km buffer)	3,5
6	Año húmedo	Cob. Antrópica a bosques (5 km buffer)	5,45

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

Gráfico 1. Sedimentos exportados para los escenarios contemplados.



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

7.2 Valoración económica.

A partir del método de costos evitados se estimó el valor asociado al servicio ecosistémico de retención de sedimentos en año medio y escenario de fenómeno de la niña, teniendo en cuenta los costos que tendría que incurrir la Chec, en caso tal que las coberturas boscosas del PNN fueran cambiadas por pastos, así mismo se estimaron los ahorros aproximados que se tendrían en condiciones año medio frente a un escenario de conservación.

Con base en lo anterior se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones para la valoración económica:

- Valores de sedimentos en Tn se convierten a m³ por medio de la densidad aparente (1.42g/cc).
- Se estima que la remoción de sedimentos puede llegar a costar \$7.552/m³ de sedimento (CHEC 2016).
- Se asume el supuesto de que todos los sedimentos que llegan a la bocatoma Montevideo llegan al embalse.
- Se calculan los costos evitados (ahorros), llevados a valor presente por 20 años, a una tasa de descuento del 12%.

7.2.1 Costos evitados en año medio.

La valoración en este escenario considera incremento en sedimentos totales exportados estimados que se presentarían si se cambiaran las coberturas boscosas del PNN Los Nevados por pastos.

Tabla 9. Cálculos para la valoración de los costos evitados por sedimentación en año medio.

Condición Climática	Cobertura	Sedimentos exportados (Millones de toneladas/año)
Año medio	Actual	5,692
Año medio	Bosques a pastos y cultivos	7,176
Diferencia (incremento)		1,484

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

Los resultados indican que las coberturas boscosas del PNN Los Nevados evitan que se exporten 1.48 millones de Tn de sedimentos, lo que representa un ahorro de \$65.722,96 millones a valor presente durante 20 años.

7.2.2 Costos evitados en año húmedo.

La valoración en este escenario considera incremento en sedimentos totales exportados estimados que se presentarían si se cambiaran las coberturas boscosas del PNN Los Nevados por pastos en las condiciones del escenario de fenómeno de la niña 2011.

Tabla 10. Cálculos para la valoración de los costos evitados por sedimentación en año medio.

Condición Climática	Cobertura	Sedimentos exportados (Millones de toneladas/año)
Año húmedo	Actual	8,846
Año húmedo	Bosques a pastos y cultivos	11,124
Diferencia (incremento)		2,278

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

Los resultados indican que las coberturas boscosas del PNN Los Nevados en condición de año húmedo evitan que se exporten 2,28 millones de Tn de sedimentos anuales, lo que representa un ahorro de \$12.059,98 millones anuales.

7.2.3 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 incluyendo 5 km adicionales, como buffer en la cuneca del Río Chinchiná. Ante esta condición se plantea la posible reducción en costos para la Chec frente a dicho escenario.

Tabla 11. Cálculos para la valoración de los ahorros en escenario de conservación.

Condición Climática	Cobertura	Sedimentos exportados (Millones de toneladas/año)
Año medio	Actual	5,692
Año medio	Cob. Antrópica a bosques (5 km buffer)	3,501
Diferencia (Reducción)		2,191

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

De acuerdo con los resultados al presentarse una reducción de 2,19 millones de Tn de sedimentos, lo que representa un ahorro de \$11.597,86 millones anuales.

8 Conclusiones y recomendaciones.

- En la medida en que se presenten acciones en apoyo a la gestión de PNN para la protección y conservación de la SZH, no solo se fortalecerá la preservación del ecosistema, sino que además se mejorara la retención de sedimentos y se presentaran ahorros en sectores como el hidroeléctrico.
- Es más rentable conservar las coberturas naturales en la cuenca alta del Río, que realizar acciones para la remoción y retirar, sedimentos. Es entonces como la conservación se configura como una oportunidad para el desarrollo económico y social de los beneficiarios de los servicios ecosistémicos.
- Es fundamental la generación de espacios con los diferentes sectores beneficiados del recurso hídrico del PNN Los Nevados y los entes territoriales relacionados, con el fin de consolidar la importancia del recurso hídrico como servicio ecosistémico.
- Al considerar los servicios ecosistémicos de la cuenca, se señala la oportunidad de abordar otros métodos de valoración que permitan analizar la capacidad de regulación bajo condiciones de clima cambiante, procesos hidrobiológicos, relaciones culturales con el agua y otros. En este sentido, es recomendable que en la medida en que se cuente con mayor información se contemplen servicios de regulación.

9 Bibliografía

- CHEC. (2013). *Informe de presentación al Mercado Reasegurador*. Manizales - Caldas.: Grupo EPM - Central Hdroeléctrica de Caldas S.A. E.S.P.
- CORPOCALDAS. (2010). *Plan de Ordenación y Manejo de Cuenca del Río Chinchiná*. Manizales: Corporación Autónoma Regional De Caldas " CORPOCALDAS".
- DANE. (s.f.). *Producto Interno Bruto*. Bogotá D.C.: Departamento Nacional de Estadística. Obtenido de https://www.dane.gov.co/files/faqs/faq_pib.pdf
- FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*.
- 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.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Guía Nacional de Valoración Económica del Patrimonio Natural*. Lima - Perú: Ministerio del Ambiente Puerú.
- Orjuela, H. (26 de Abril de 2013). *HIDRACO*. Recuperado el 29 de Abril de 2016, de <http://www.hidraco.co/blog-hidraco/distritos-de-riego-en-colombia-una-necesidad-latente>
- PNN. (2013). *Plan de Manejo 2015-2019 Parque Nacional Natural Los Nevados*. Manizales: Parques Nacionales Naturales de Colombia.
- 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.
- Wischmeier,, W., & Smith, D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. Washington DC.: USDA-ARS Agriculture Handbook.
- Young, R. (2005). *Determining The Economic Value of Water*. Whashington: Resources for the Future.