

VALORACIÓN DE SERVICIOS ECOSITÉMICOS HIDROLÓGICOS DE LOS PARQUES NACIONALES NATURALES DE COLOMBIA - MACROCUCENCA MAGDALENA CAUCA

SUBDIRECCIÓN DE SOSTENIBILIDAD Y NEGOCIOS AMBIENTALES
2021



El ambiente
es de todos

Minambiente

**VALORACIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS HIDROLÓGICOS
DE LOS PARQUES NACIONALES NATURALES DE COLOMBIA
MACROCUEENCA MAGDALENA CAUCA**

**SUBDIRECCIÓN DE SOSTENIBILIDAD Y NEGOCIOS AMBIENTALES
PARQUES NACIONALES NATURALES DE COLOMBIA**

2021



**El ambiente
es de todos**

Minambiente



**Directora General
Julia Miranda Londoño**

**Subdirectora de Gestión y Manejo de Áreas Protegidas
Edna María Carolina Jarro Fajardo**

**Subdirector de Sostenibilidad y Negocios Ambientales
Carlos Mario Tamayo Saldarriaga**

**Subdirectora Administrativa y Financiera
Nubia Lucía Wilches Quintana**

**Directora Territorial Amazonía
Diana Castellanos Méndez**

**Directora Territorial Caribe
Luz Elvira Angarita Jiménez**

**Director Territorial Pacífico
Robinson Galindo Tarazona**

**Director Territorial Andes Occidentales
Jorge Eduardo Ceballos Betancourt**

**Director Territorial Andes Nororientales
Fabio Villamizar Durán**

**Director Territorial Orinoquía
Edgar Olaya Ospina**

Elaborado por:

**Miguel Ángel Bedoya Paniagua
Mayra Alejandra González Archila**

Con el apoyo de:

Dora Elena Estrada

Revisado por:

**Carlos Mario Tamayo Saldarriaga
Subdirección de Sostenibilidad y Negocios Ambientales
Parques Nacionales Naturales de Colombia**

2021

CONTENIDO

1	RESÚMEN	5
2	INTRODUCCIÓN	6
3	METODOLOGÍA	7
3.1	Área de estudio	7
3.1.1.	Cuencas priorizadas para la valoración económica de la provisión de agua al sector agrícola	13
3.1.2.	Cuencas priorizadas para la valoración del servicio ecosistémico de control de erosión	15
3.2	Caracterización de la oferta hídrica	18
3.1.3.	Adicionalidad de la oferta hídrica	20
3.3	Demanda Hídrica	22
3.4	Valoración Económica	22
3.4.1.	Valoración Económica de la provisión de agua al sector agrícola	22
3.5	Valoración económica del servicio ecosistémico de control de erosión	24
3.5.1.	Información utilizada	25
3.5.2.	Costos evitados de sedimentos retenidos	26
3.5.3.	Valoración económica de la provisión de agua a los principales embalses para generación de energía hidroeléctrica.	28
4	RESULTADOS VALORACIÓN BIOFÍSICA	30
4.1	Caracterización de la oferta hídrica	30
4.1.1.	Modelo estadístico para el cálculo de la adicionalidad	34
5	DEMANDA DE RECURSO HÍDRICO	36
5.1	Demanda de agua para uso doméstico	36
5.2	Demanda de agua para uso agrícola	41
5.3	Demanda de agua para uso energético	42
6	RESULTADOS VALORACIÓN ECONÓMICA	46
6.1	Valoración Económica de La Provisión de Agua para el sector agrícola aplicada a Cuencas Priorizadas- Magdalena Cauca	46
6.1.1.	Oferta hídrica en cuencas priorizadas- Área Hidrográfica Magdalena cauca:	47
6.1.2.	Demanda hídrica del sector agrícola en cuencas priorizadas- área hidrográfica Magdalena Cauca	49
6.1.3.	Desarrollo del modelo econométrico para cuencas priorizadas	52

6.1.1.1	Ecuación del modelo econométrico	54
6.1.1.2	Estimación del beneficio económico: Función de producción en cuencas prioritizadas	55
6.2	Valoración económica a nivel nacional - provisión de agua al sector agrícola: aporte al PIB nacional	57
6.3	Valoración económica del servicio ecosistémico de control de erosión en el Área Hidrográfica Magdalena Cauca	59
6.1.4.	Estimación del beneficio económico a partir del Ahorro en costos de remoción de sedimentos: Costos evitados	63
6.4	Aporte económico del recurso hídrico de los PNN a los principales embalses: provisión de agua para la generación de energía.	67
7	CONCLUSIONES	69
8	BIBLIOGRAFÍA	71
9	ANEXOS	73

Índice de gráficos

Gráfico 3-1.	Metodología general.....	7
Gráfico 3-2.	Metodología para la cuantificación del rendimiento hídrico superficial	19
Gráfico 3-3.	Metodología para la estimación de la oferta hídrica de los PNN	20
Gráfico 4-1.	Diagrama de cajas y bigotes áreas hidrográficas y rendimiento hídrico.....	31
Gráfico 4-2.	Diagrama de cajas y bigotes- Rendimiento hídrico área hidrográfica Magdalena Cauca	33
Gráfico 4-3.	Resultados modelo de adicionalidad	35
Gráfico 6-1.	Escorrentía en cuencas prioritizadas	49
Gráfico 6-2.	Productividad agrícola en cuencas prioritizadas	53
Gráfico 6-3.	Proceso metodológico para la estimación del beneficio económico del agua de los PNN a nivel nacional	58

Índice de Figuras

Figura 3-1.	Área hidrográfica Magdalena Cauca y áreas protegidas de SPNN asociadas	8
Figura 3-2.	Área hidrográfica Orinoquía y áreas protegidas del SPNN asociadas.....	9
Figura 3-3.	Área hidrográfica Amazonía y áreas protegidas del SPNN asociadas	10
Figura 3-4.	Área hidrográfica Pacífico y áreas protegidas del SPNN asociadas.....	11
Figura 3-5.	Área hidrográfica Caribe y áreas protegidas del SPNN asociadas.....	12
Figura 3-6.	Cuencas prioritizadas con influencia de áreas protegidas.....	13
Figura 3-7.	Cuencas prioritizadas sin influencia de áreas protegidas.....	14
Figura 3-8.	Cuencas prioritizadas para valoración de control de erosión	15

Índice de tablas

Tabla 3-1. Área de cuencas hidrográficas priorizadas	16
Tabla 3-2. Variables utilizadas para el modelo de adicionalidad hídrica en año medio y seco	21
Tabla 3-3. Información utilizada para el modelo de retención de sedimentos.....	25
Tabla 3-4. Proyectos hidroeléctricos en Parques Nacionales Naturales.....	29
Tabla 4-1. Descripción del modelo estadístico.....	30
Tabla 4-2. Resultados modelo de rendimiento hídrico en año medio	34
Tabla 4-3. Resultados modelo de rendimiento hídrico en año seco	34
Tabla 4-4. Resultados modelo de rendimiento hídrico en año seco	35
Tabla 5-1. Demanda hídrica para uso doméstico- aporte de PNN.....	36
Tabla 5-2. Grandes centrales eléctricas beneficiarias del recurso hídrico de PNN.....	42
Tabla 5-3. Pequeñas centrales eléctricas beneficiarias del recurso hídrico de PNN	44
Tabla 5-4. Centrales eléctricas beneficiarias del recurso hídrico de PNN.....	45
Tabla 6-1. Oferta hídrica en cuencas con influencia de PNN.....	47
Tabla 6-2. Oferta hídrica cuencas sin influencia de PNN.....	48
Tabla 6-3. Cultivos en cuencas priorizadas con influencia de PNN	50
Tabla 6-4. Cultivos en cuencas sin influencia de PNN.....	51
Tabla 6-5. Resumen modelo econométrico	54
Tabla 6-6. Variables del modelo	56
Tabla 6-7. PIB atribuible a las cuencas con influencia de áreas protegidas del SPNN.....	58
Tabla 6-8. Sedimentos retenidos y exportados en cuencas priorizadas	59
Tabla 6-9. Costos de referencia de dragados hidráulicos	64
Tabla 6-10. Beneficio económico de los PNN a los principales embalses hidroeléctricos	67

1 RESÚMEN

El suministro de servicios ecosistémicos por parte de las áreas protegidas a los sistemas productivos, cobra cada vez más relevancia, dada la continua y acelerada degradación de los ecosistemas naturales. En ese sentido, se busca no solo identificar y reconocer los servicios ecosistémicos que prestan áreas del Sistema de Parques Nacionales Naturales (SPNN), sino valorar el beneficio económico que representa la provisión de estos servicios ecosistémicos al bienestar y a diferentes actores productivos que dependen de ellos. En el siguiente estudio de valoración de orden Nacional, se analizan dos de los múltiples servicios ecosistémicos que proveen las áreas protegidas y que están en función del recurso hídrico, tales son: la provisión de agua y retención de sedimentos, los cuales, tienen dos grandes sectores como beneficiarios directos: el sector agrícola y el sector energético. Este documento se divide en dos grandes partes, la primera en donde se realiza una valoración biofísica de los servicios ecosistémicos en estudios, cuantificando el aporte hídrico de los Parques Nacionales Naturales y los sedimentos que son retenidos por sus coberturas y, finalmente, en una segunda parte, se realiza la valoración económica de dichos servicios ecosistémicos para determinar el aporte de las áreas protegidas al bienestar social y productivo. En este sentido, se destaca que los resultados del presente estudio permitirán fortalecer la gestión para la conservación de los recursos naturales, en articulación con diferentes actores y comunidades que se benefician de las áreas protegidas.

2 INTRODUCCIÓN

La identificación de los servicios ecosistémicos de las áreas protegidas representa un paso muy importante para la valoración y el reconocimiento de los beneficios de la biodiversidad, tanto para la sociedad en general como para los sectores productivos. El conocimiento de las diferentes interacciones a nivel de los ecosistemas en las áreas protegidas contribuye a la valoración integral de la biodiversidad (Rincón, y otros, 2014). En esta medida, los diferentes esfuerzos por profundizar en el entendimiento de las relaciones sobre servicios ecosistémicos y bienestar humano contribuyen al desarrollo de diferentes estrategias y políticas que fortalecen, entre otras cosas, el reconocimiento de las acciones de conservación y la sostenibilidad financiera de las áreas protegidas.

La valoración permite favorecer la comunicación y la comprensión de los servicios ecosistémicos y sus interacciones con relación a los sectores beneficiarios. Las áreas protegidas brindan una serie de beneficios que son reconocidos de acuerdo con la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos, como los beneficios directos e indirectos que nos brinda la naturaleza. La valoración lo que busca en este aspecto, es traducir dichos beneficios en diferentes lenguajes, desde el punto de vista económico, social y ambiental. En este sentido, la inclusión de valores desde diferentes puntos de vista y hacia diferentes actores favorece la apropiación y el reconocimiento de la importancia de la conservación de las áreas protegidas como proveedores de servicios ecosistémicos.

Las características de las cuencas hidrográficas conservadas de las áreas protegidas favorecen la prestación de servicios ecosistémicos, dos de ellos, de especial interés para la economía nacional, corresponden a la provisión de agua y al control de erosión, el cual se favorece en mayor medida ante buenas condiciones de cobertura boscosa por el efecto de amarre en el suelo que presentan las raíces profundas de los árboles. Teniendo en cuenta que los servicios ecosistémicos en mención están significativamente ligados al desarrollo socioeconómico de las regiones que comprenden la Macrocuenca Magdalena Cauca y que esta misma zona es la que mayores aportes hace al producto interno bruto (PIB), se realizó una caracterización de la oferta hídrica y el control de la erosión para su valoración económica como los usos del agua más representativos que corresponden al sector agropecuario, energético y doméstico.

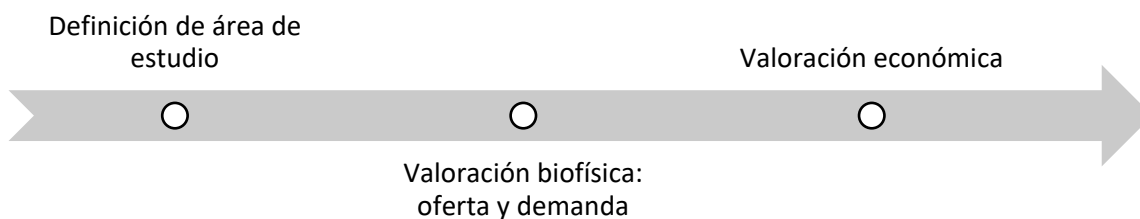
En este sentido, el presente documento considera en primera instancia el marco metodológico para la valoración biofísica y económica, seguido de la caracterización de la oferta hídrica como insumo para la estimación de la adicionalidad ecosistémica que aborda la conservación de las áreas protegidas y su relación con la oferta hídrica. Así mismo, se presenta la estimación de la demanda de agua como una forma de reconocer los principales sectores que se benefician del recurso hídrico de las áreas protegidas. Por otro lado, se presentan los resultados de la valoración biofísica y económica de servicios ecosistémicos hidrológicos en la Macrocuenca Magdalena Cauca como una primera aproximación de los beneficios económicos de la conservación de las áreas protegidas en el área hidrográfica en mención.

3 METODOLOGÍA

Dado que la principal demanda del recurso hídrico de las áreas protegidas del Sistema de Parques Nacionales Naturales (SPNN) está dada por el sector agrícola, energético y el consumo doméstico, el estudio de valoración nacional se focaliza en estos principales sectores beneficiarios. La provisión de agua para el sector agrícola y la generación de energía hidroeléctrica, así como el control de erosión para el sector hidroeléctrico, se consideran los principales servicios ecosistémicos objeto de valoración que se abordan en este estudio.

En este sentido y como principal apartado metodológico se define el área de estudio, en donde se realiza una priorización de cuencas hidrográficas para la cuantificación biofísica de los servicios ecosistémicos. Posteriormente, se realiza la valoración biofísica a partir de la caracterización de oferta hídrica para las cuencas objeto de estudio y se realiza una estimación de la adicionalidad de oferta hídrica que representa la ganancia o mejoramiento del bien ecosistémico lograda por la conservación de las áreas protegidas del Sistema de Parques Nacionales Naturales. Seguidamente se realiza una estimación de la demanda hídrica a partir de los registros del Estudio Nacional del Agua (ENA) de 2018 y finalmente, se elige el método de valoración económica para cada uno de los tres servicios ecosistémicos objeto de estudio: provisión de agua para el sector agrícola y energético y el control de erosión, tal y como se muestra a continuación:

Gráfico 3-1. Metodología general

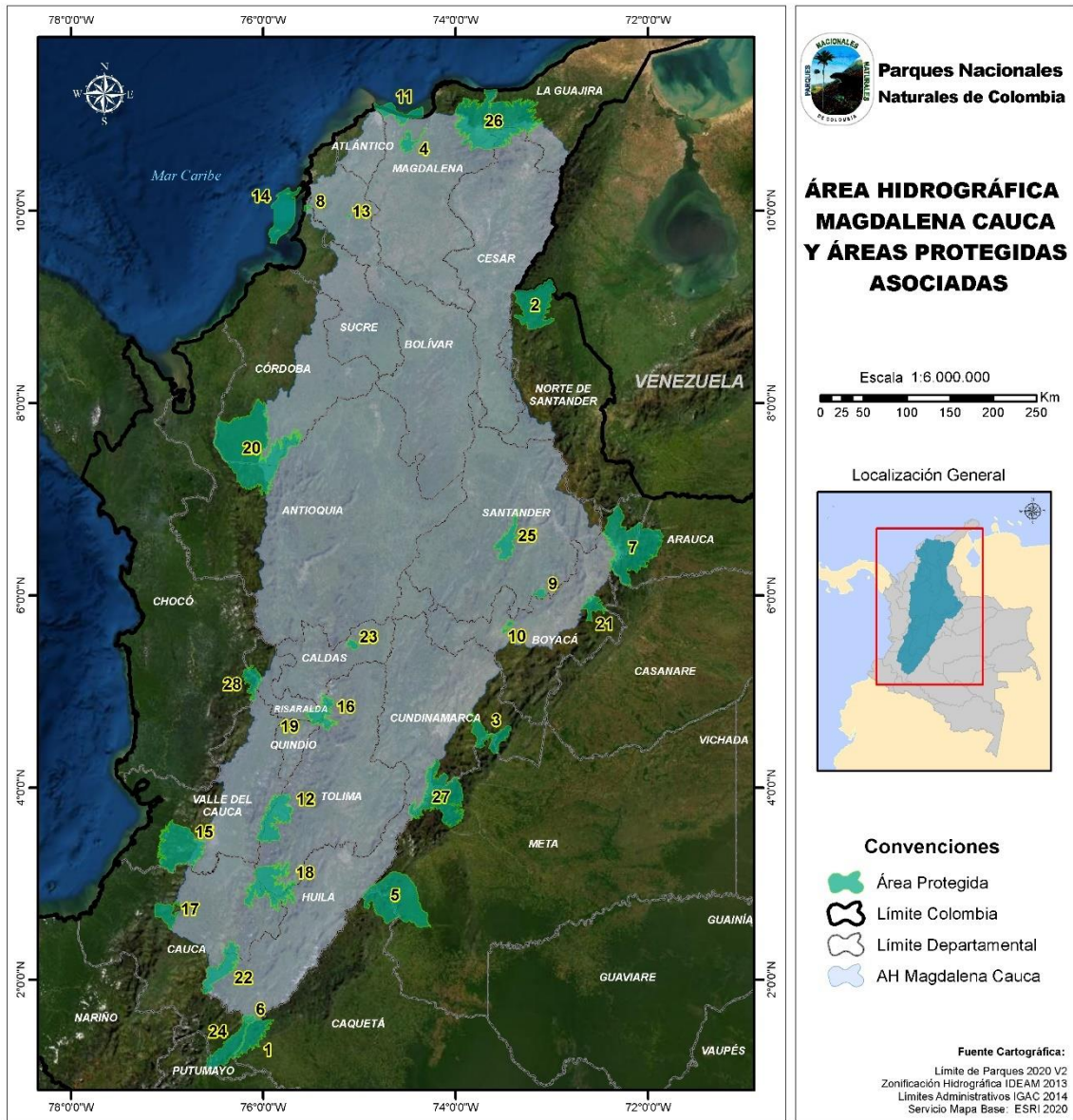


Fuente: Este estudio

3.1 Área de estudio

La valoración del servicio ecosistémico de provisión de agua y la identificación de la demanda general de recurso hídrico para los diferentes usos se realizó para las áreas hidrográficas de Magdalena Cauca, Caribe, Amazonas, Orinoquía y Pacífico (Figuras 3-1, 3-2, 3-3, 3-4, 3-5). En dichas zonas, se identifica que de los 63.789 m³/s de escorrentía superficial de Colombia, el área Magdalena-Cauca contribuye con el 14% (8.595 m³/s), la Amazonia con 37% (23.626 m³/s), la Orinoquia con 26% (16.789 m³/s), el Caribe –incluida la cuenca del río Catatumbo– contribuye con el 9% (5.799 m³/s) y el Pacífico aporta el 14% (8.980 m³/s) (IDEAM, 2014).

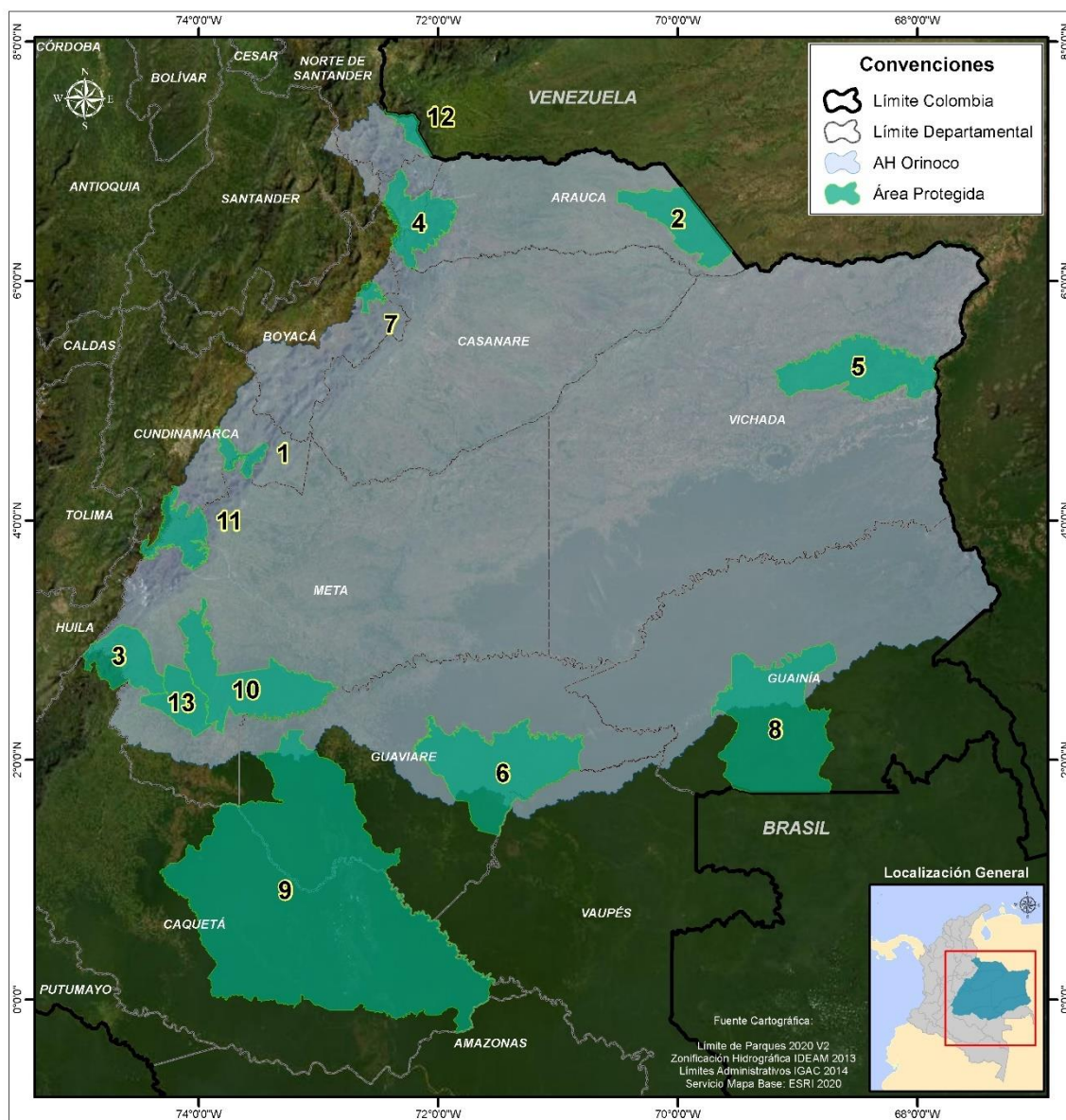
Figura 3-1. Área hidrográfica Magdalena Cauca y áreas protegidas de SPNN asociadas


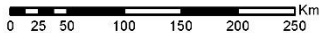


ÁREAS PROTEGIDAS ASOCIADAS					
No.	Área Protegida	No.	Área Protegida	No.	Área Protegida
1	PNN Alto Fragua Indi Wasi	11	VP Isla de Salamanca	21	PNN Pisba
2	PNN Catatumbo Barí	12	PNN Las Herosas "Gloria Valencia de Castaño"	22	PNN Puracé
3	PNN Chingaza	13	SFF Los Colorados	23	PNN Selva de Florencia
4	SFF Ciénaga Grande de Santa Marta	14	PNN Los Corales del Rosario y San Bernardo	24	PNN Serranía de los Churumbelos Auka Wasi
5	PNN Cordillera de los Picachos	15	PNN Farallones de Cali	25	PNN Serranía de los Yariguíes
6	PNN Cueva de los Guácharos	16	PNN Los Nevados	26	PNN Sierra Nevada de Santa Marta
7	PNN El Cocuy	17	PNN Munchique	27	PNN Sumapaz
8	SFF El Corchal "El Mono Hernandez"	18	PNN Nevado del Huila	28	PNN Tatamá
9	SFF Guanentá Alto Rio Fonce	19	SFF Otun Quimbaya		
10	SFF Iguaque	20	PNN Paramillo		

Fuente: Elaboración propia con base en capa de áreas protegidas de PNN y Zonificación hidrográfica del IDEAM

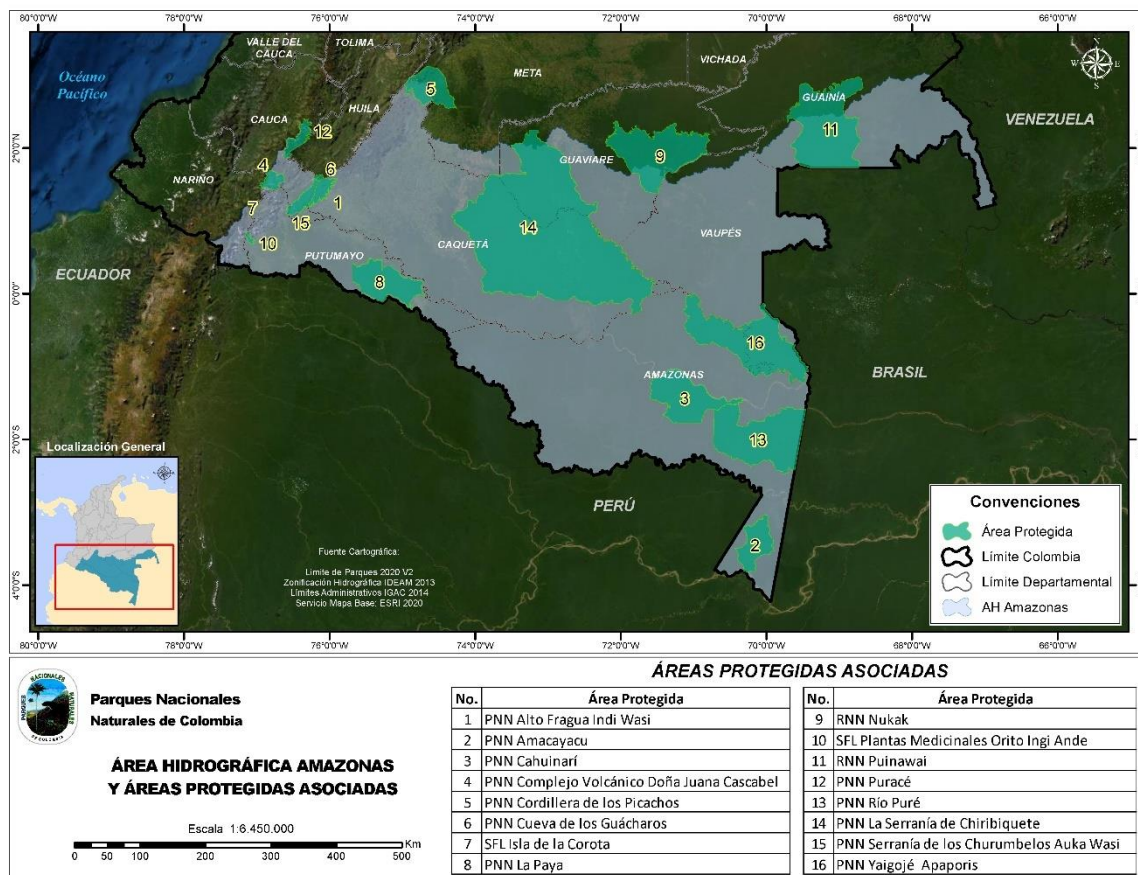
Figura 3-2. Área hidrográfica Orinoquía y áreas protegidas del SPNN asociadas



 Parques Nacionales Naturales de Colombia			
ÁREA HIDROGRÁFICA ORINOCO Y ÁREAS PROTEGIDAS ASOCIADAS			
Escala 1:4.800.000			
			
ÁREAS PROTEGIDAS ASOCIADAS			
No.	Área Protegida	No.	Área Protegida
1	PNN Chingaza	8	RNN Puinawai
2	DNMI Cinaruco	9	PNN La Serranía de Chiribiquete
3	PNN Cordillera de los Picachos	10	PNN Sierra de la Macarena
4	PNN El Cocuy	11	PNN Sumapaz
5	PNN El Tuparro	12	PNN Tamá
6	RNN Nukak	13	PNN Tinigua
7	PNN Pisba		

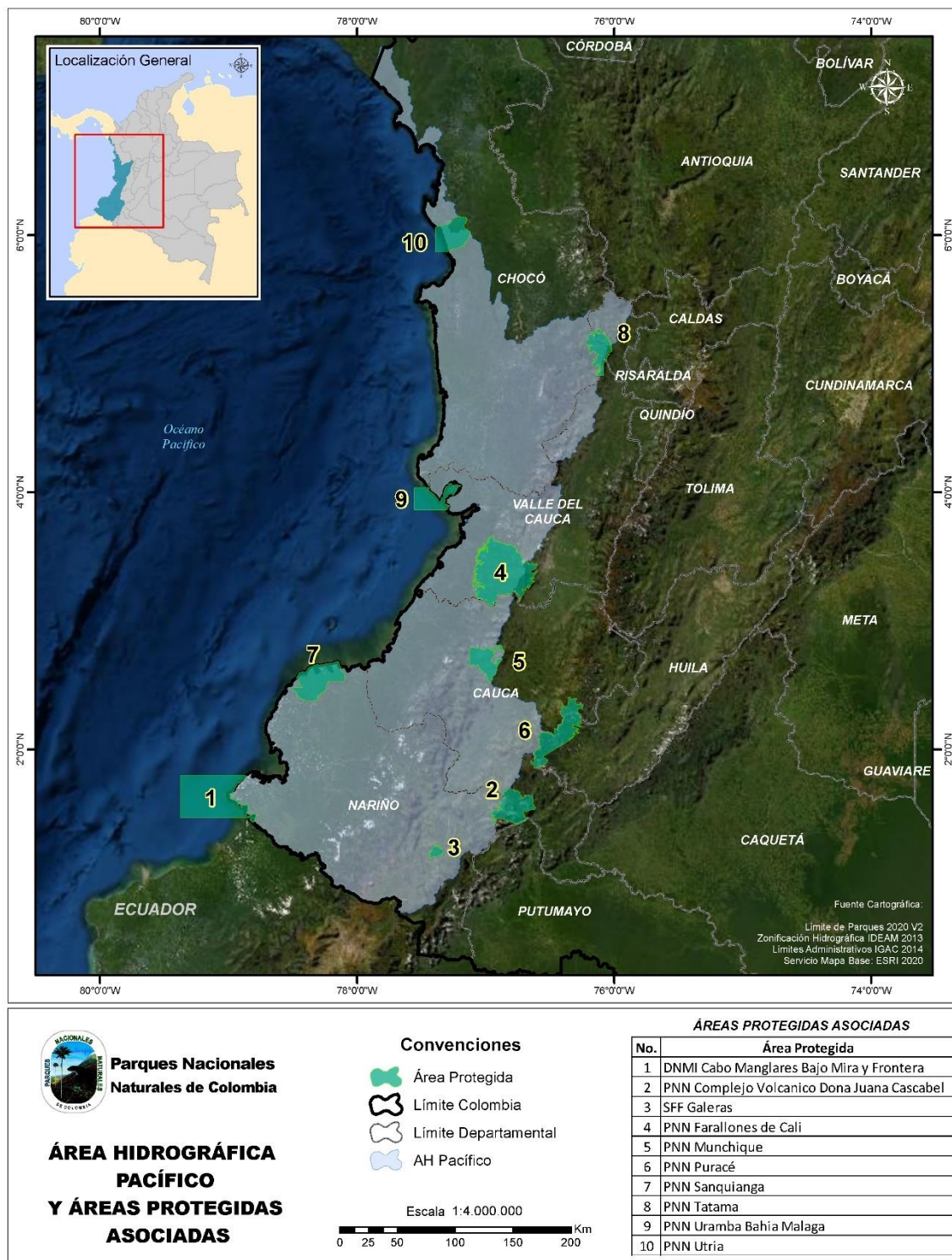
Fuente: Elaboración propia con base en capa de áreas protegidas de PNN y Zonificación hidrográfica del IDEAM

Figura 3-3. Área hidrográfica Amazonía y áreas protegidas del SPNN asociadas



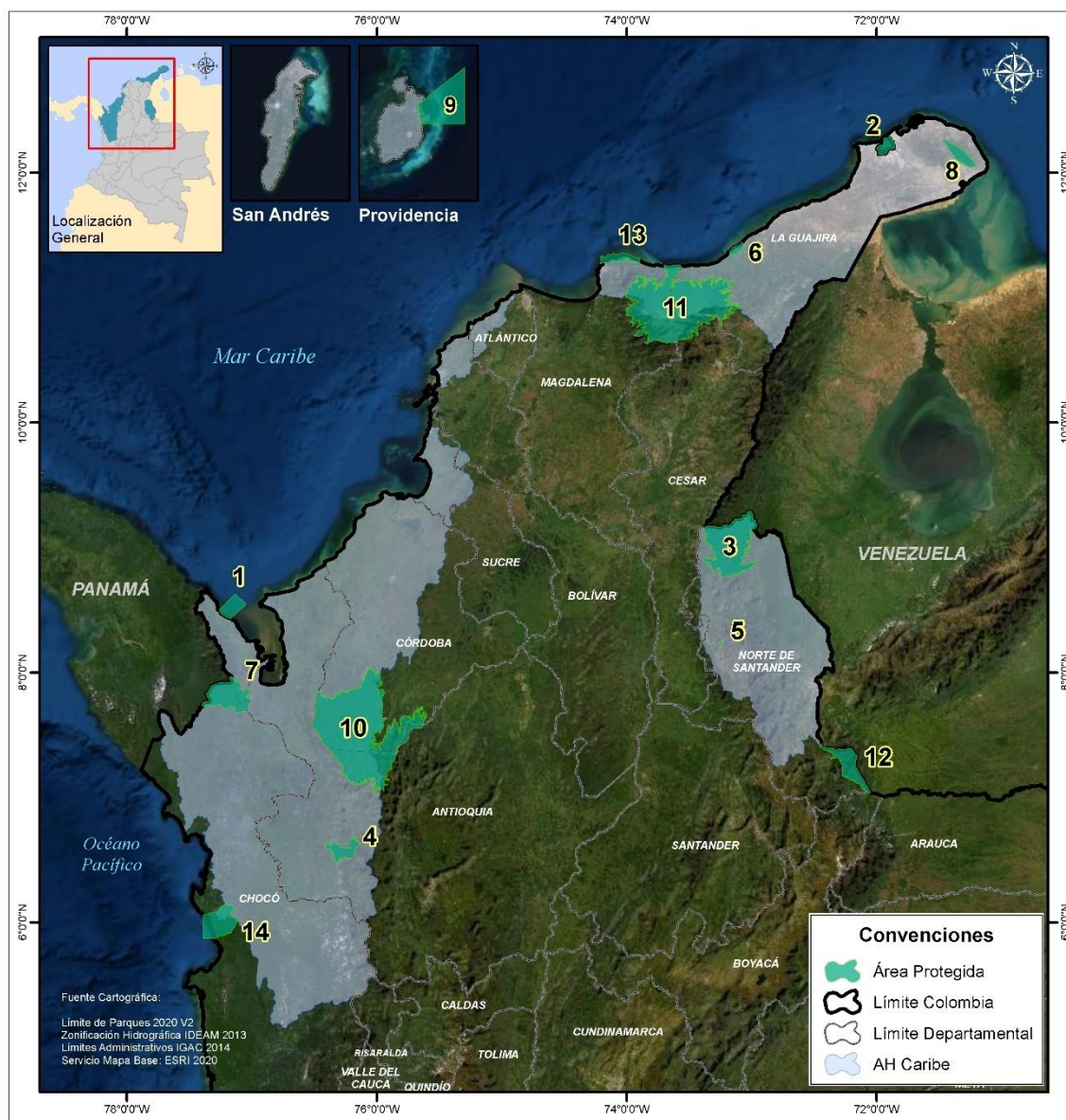
Fuente: Elaboración propia con base en capa de áreas protegidas de PNN y Zonificación hidrográfica del IDEAM

Figura 3-4. Área hidrográfica pacífico y áreas protegidas del SPNN asociadas



Fuente: Elaboración propia con base en capa de áreas protegidas de PNN y Zonificación hidrográfica del IDEAM

Figura 3-5. Área hidrográfica Caribe y áreas protegidas del SPNN asociadas



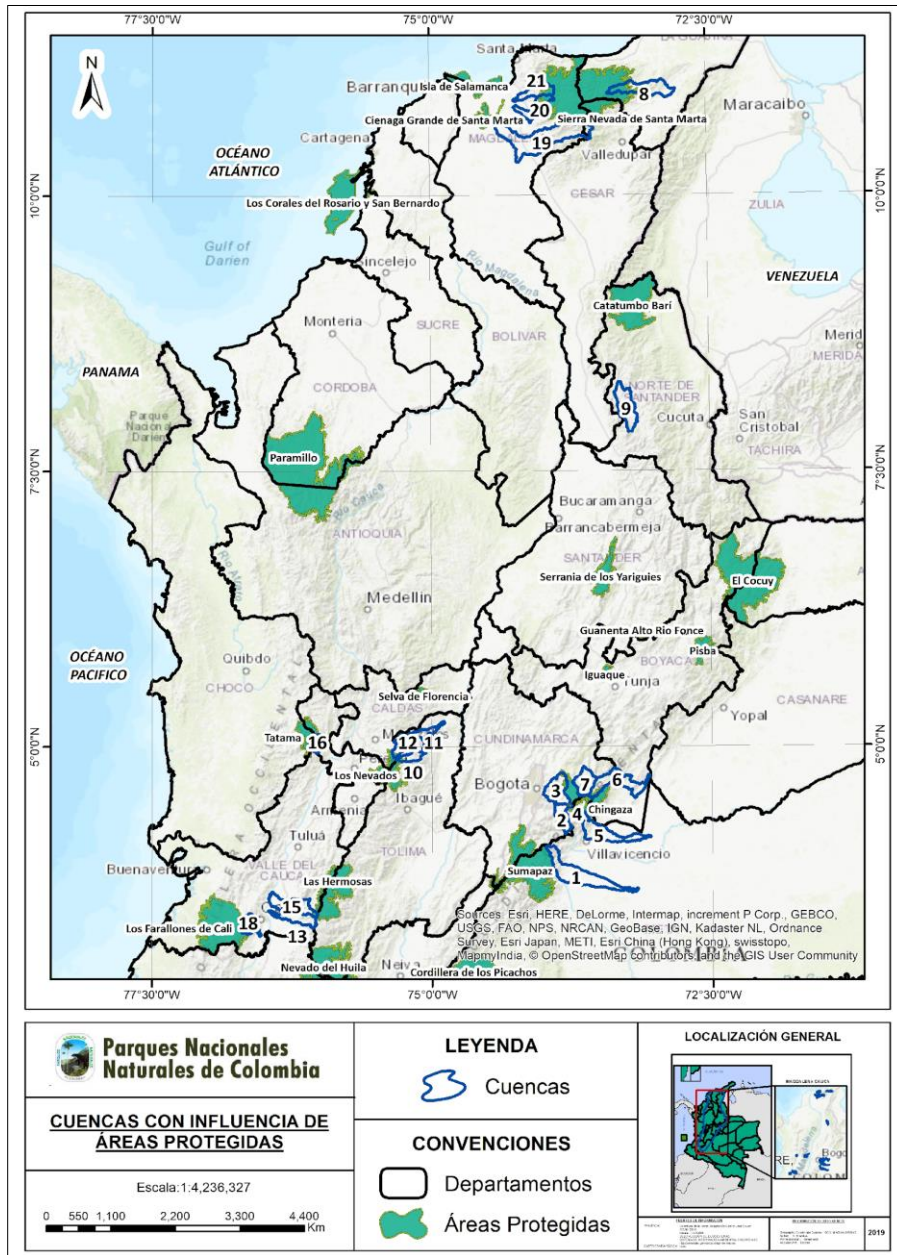
Parques Nacionales Naturales de Colombia		ÁREAS PROTEGIDAS ASOCIADAS		
 <p>ÁREA HIDROGRÁFICA CARIBE Y ÁREAS PROTEGIDAS ASOCIADAS</p> <p>Escala 1:4.600.000</p> <p>0 25 50 100 150 200 250 Km</p>	No.	Área Protegida	No.	Área Protegida
	1	SFA Acandí Playón y Playona	8	PNN Macuira
	2	PNN Bahía Portete Kaurrele	9	PNN Old Providence Mc Bean Lagoon
	3	PNN Catatumbo Barí	10	PNN Paramillo
	4	PNN Las Orquídeas	11	PNN Sierra Nevada de Santa Marta
	5	ANU Los Estoraques	12	PNN Tamá
	6	SFF Los Flamencos	13	PNN Tayrona
	7	PNN Los Katíos	14	PNN Utría

Fuente: Elaboración propia con base en capa de áreas protegidas de PNN y Zonificación hidrográfica del IDEAM

3.1.1. Cuencas prioritizadas para la valoración económica de la provisión de agua al sector agrícola

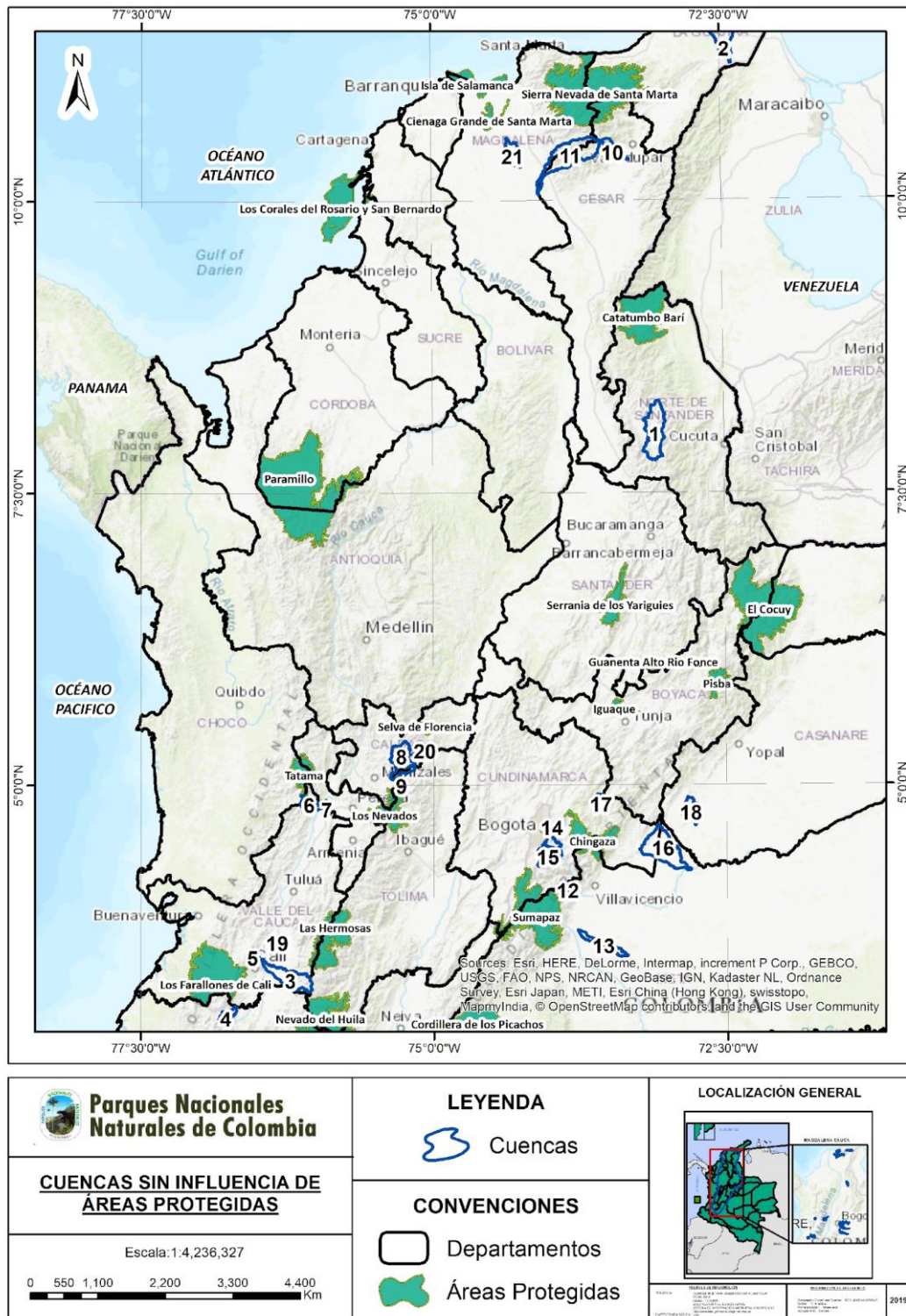
La oferta hídrica fue cuantificada para las cuencas hidrográficas prioritizadas con influencia de figuras de protección (PNN) y sin influencia de estas, como se presentan en las Figuras 3-6 y 3-7 respectivamente.

Figura 3-6. Cuencas prioritizadas con influencia de áreas protegidas



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-7. Cuencas prioritizadas sin influencia de áreas protegidas

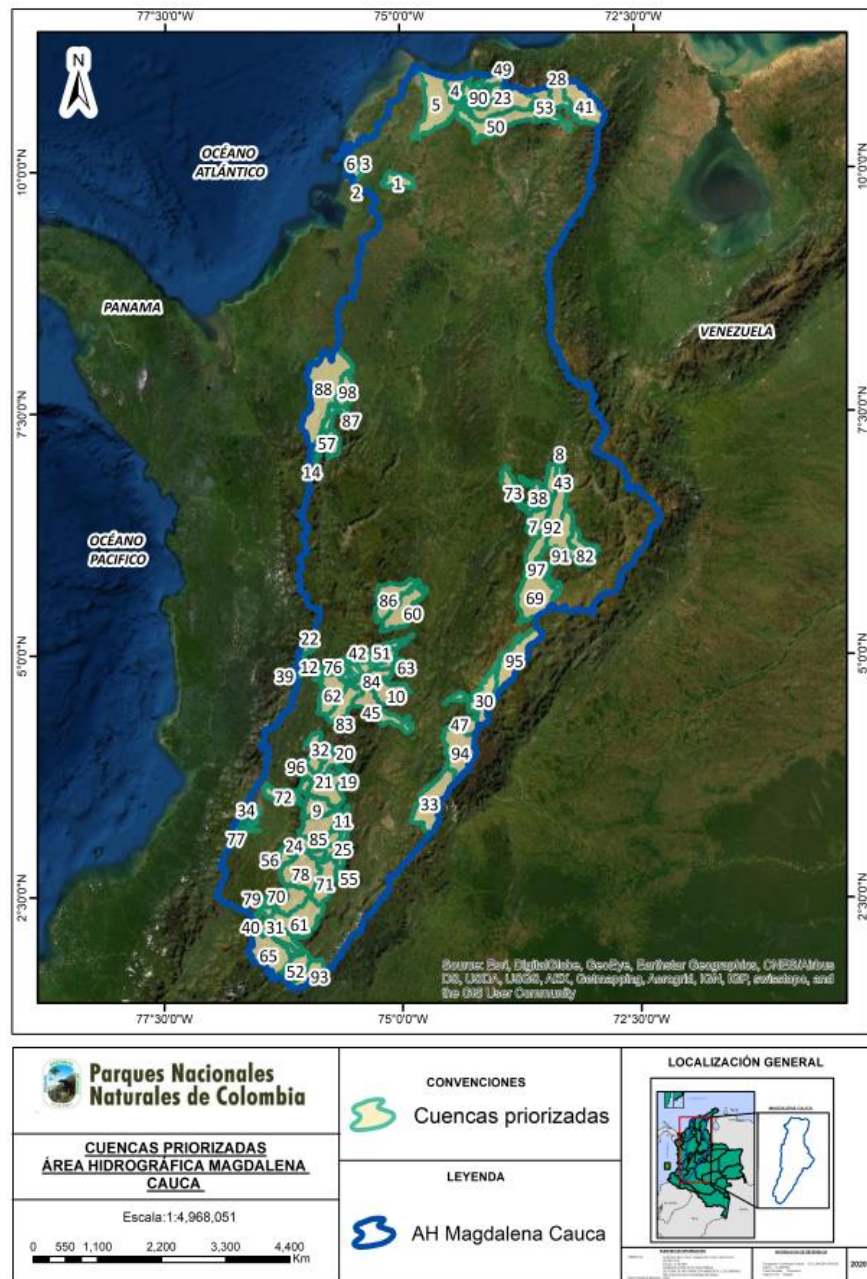


Fuente: Elaboración propia

3.1.2. Cuencas priorizadas para la valoración del servicio ecosistémico de control de erosión

La priorización de las cuencas hidrográficas para el servicio ecosistémico se realizó considerando las cuencas nivel 1 que se encuentran más cercanas a las áreas protegidas del SPNN.

Figura 3-8. Cuencas priorizadas para valoración de control de erosión



Fuente: Elaboración propia

La valoración del servicio ecosistémico de retención de sedimentos implicó la priorización de 99 cuencas en el área hidrográfica del Magdalena Cauca, que se muestran en la Figura 3-8 y en la siguiente tabla:

Tabla 3-1. Área de cuencas hidrográficas priorizadas

#	Nombre Cuenca	Subzona Hidrográfica	Zona Hidrográfica	Hectáreas
1	Arroyo Grande	Directos al Bajo Magdalena entre El Plato y Calamar	Bajo Magdalena	43810
2	Caño Correa	Canal del Dique margen izquierda	Bajo Magdalena	15240
3	Caño Garrapatas y otros directos al Canal del Dique (mi)	Canal del Dique margen izquierda	Bajo Magdalena	4661
4	Ciénaga Grande de Santa Marta	Ciénaga Grande de Santa Marta	Bajo Magdalena	44160
5	Complejo humedales Ciénaga Grande de Santa Marta	Ciénaga Grande de Santa Marta	Bajo Magdalena	235000
6	Directos al Mar Caribe entre Caños Doña Luisa y Lequerica	Canal del Dique margen izquierda	Bajo Magdalena	22710
7	Quebrada Aragua	Río Opón	Medio Magdalena	29710
8	Quebrada del Medio	Río Sogamoso	Sogamoso	14550
9	Quebrada El Bosque	Alto Saldaña	Saldaña	65520
10	Quebrada El Neme	Río Totare	Alto Magdalena	87340
11	Quebrada El Pescado	Río Atá	Saldaña	21860
12	Quebrada La Bella y otros directos al Río Otún (mi)	Río Otún y otros directos al Cauca	Cauca	13040
13	Quebrada Las Dantas	Río Chinchiná	Cauca	24370
14	Quebrada Peque	Directos Río Cauca entre Río San Juan y Pto Valdivia	Cauca	6192
15	Quebrada San Gabriel	Río Atá	Saldaña	23110
16	Quebrada San Juan	Directos Río Cauca entre Río San Juan y Pto Valdivia	Cauca	5913
17	Quebrada Santa Elena	Ríos Pescador - RUT - Chanco - Catarina y Cañaverál	Cauca	4923
18	Río Amaime	Ríos Amaime y Cerrito	Cauca	17530
19	Río Ambeima	Río Amoyá	Saldaña	38090
20	Río Amoyá	Río Amoyá	Saldaña	39570
21	Río Anamichú	Alto Saldaña	Saldaña	80430
22	Río Apia	Río Risaralda	Cauca	13020
23	Río Aracataca	Ciénaga Grande de Santa Marta	Bajo Magdalena	146500
24	Río Ata	Río Atá	Saldaña	39950
25	Río Ata (md) entre Quebradas Las Juntas y Agua Dulce	Río Atá	Saldaña	47550
26	Río Azufrado	Río Lagunilla y Otros Directos al Magdalena	Alto Magdalena	20760
27	Río Baché	Río Baché	Alto Magdalena	10220
28	Río Badillo	Alto Cesar	Cesar	62040
29	Río Barbo	Río Otún y otros directos al Cauca	Cauca	6061
30	Río Bogotá entre desembocaduras de Ríos Teusacá y Calandaima	Río Bogotá	Alto Magdalena	125300
31	Río Bordones	Ríos Directos al Magdalena (mi)	Alto Magdalena	44900
32	Río Bugalagrande	Río Bugalagrande	Cauca	47510
33	Río Cabrera	Río Cabrera	Alto Magdalena	169800
34	Río Cali	Ríos Cali	Cauca	12020
35	Río Campo Alegre	Río Otún y otros directos al Cauca	Cauca	20930
36	Río Cañaverál	Ríos Pescador - RUT - Chanco - Catarina y	Cauca	6197

#	Nombre Cuenca	Subzona Hidrográfica	Zona Hidrográfica	Hectáreas
		Cañaveral		
37	Río Cañaverelejo	Ríos Lili, Meléndez y Cañaverelejo	Cauca	2593
38	Río Cascajales	Río Opón	Medio Magdalena	59370
39	Río Catarina	Ríos Pescador - RUT - Chanco - Catarina y Cañaveral	Cauca	9979
40	Río Cauca	Alto Río Cauca	Cauca	29840
41	Río Cesar	Alto Cesar	Cesar	140700
42	Río Chinchiná	Río Chinchiná	Cauca	25660
43	Río Chucurí	Río Sogamoso	Sogamoso	38660
44	Río Claro	Ríos Claro y Jamundí	Cauca	11130
45	Río Coello (mi) entre Quebradas Palmira y Chagualá	Río Coello	Alto Magdalena	103800
46	Río Cofre	Ríos Tulúa y Morales	Cauca	19950
47	Río Cuja	Río Sumapaz	Alto Magdalena	36720
48	Río El Carmen	Río Baché	Alto Magdalena	8836
49	Río Frío	Ciénaga Grande de Santa Marta	Bajo Magdalena	35690
50	Río Fundación	Ciénaga Grande de Santa Marta	Bajo Magdalena	152600
51	Río Gualí	Río Gualí	Medio Magdalena	47140
52	Río Guarapas	Alto Magdalena	Alto Magdalena	70600
53	Río Guatapurí	Alto Cesar	Cesar	90080
54	Río Guayabo	Río Atá	Saldaña	16630
55	Río Iquira	Río Yaguará y Río Iquira	Alto Magdalena	16610
56	Río Isabelilla	Río Palo	Cauca	19030
57	Río Ituango	Directos Río Cauca entre Río San Juan y Pto Valdivia	Cauca	67480
58	Río Jamundí	Ríos Claro y Jamundí	Cauca	7879
59	Río Jordán	Ríos Claro y Jamundí	Cauca	5305
60	Río La Miel	Río La Miel (Samaná)	Medio Magdalena	110500
61	Río La Plata	Río Páez	Alto Magdalena	153000
62	Río La Vieja (md) entre Quebrada de Cristales y desembocadura al Río Cauca	Río La Vieja	Cauca	107700
63	Río Lagunilla	Río Lagunilla y Otros Directos al Magdalena	Alto Magdalena	18560
64	Río Lili	Ríos Lili, Meléndez y Cañaverelejo	Cauca	2739
65	Río Magdalena	Alto Magdalena	Alto Magdalena	161200
66	Río Magdalena (mi) entre Quebrada El Mambe y desembocadura de Río Bordonos	Alto Magdalena	Alto Magdalena	14470
67	Río María	Río Risaralda	Cauca	9629
68	Río Meléndez	Ríos Lili, Meléndez y Cañaverelejo	Cauca	4616
69	Río Monquirá	Río Suárez	Sogamoso	179900
70	Río Negro	Río Páez	Alto Magdalena	76280
71	Río Negro de Narváez	Río Páez	Alto Magdalena	94410
72	Río Nima y otros directos al Río Amaime (mi)	Ríos Amaime y Cerrito	Cauca	48200
73	Río Opón (md) entre Río Verde y Caño de la Rompida	Río Opón	Medio Magdalena	49910
74	Río Oponcito	Río Opón	Medio Magdalena	30550
75	Río Otún	Río Otún y otros directos al Cauca	Cauca	16100
76	Río Otún (md) entre Río San Juan y desembocadura al Río Cauca	Río Otún y otros directos al Cauca	Cauca	21490
77	Río Ovejas	Río Timba	Cauca	21780

#	Nombre Cuenca	Subzona Hidrográfica	Zona Hidrográfica	Hectáreas
78	Río Páez	Río Páez	Alto Magdalena	148200
79	Río Palacé	Río Palacé	Cauca	25490
80	Río Palo	Río Palo	Cauca	19450
81	Río Pance	Ríos Claro y Jamundí	Cauca	8440
82	Río Pienta	Río Fonce	Sogamoso	70660
83	Río Quindío	Río La Vieja	Cauca	73090
84	Río Recio	Río Lagunilla y Otros Directos al Magdalena	Alto Magdalena	40280
85	Río Saldaña	Alto Saldaña	Saldaña	96310
86	Río Samaná	Río La Miel (Samaná)	Medio Magdalena	116100
87	Río San Agustín	Río Taraza - Río Man	Cauca	35890
88	Río San Jorge	Alto San Jorge	Bajo Magdalena- Cauca -San Jorge	315100
89	Río San Luis	Río Otún y otros directos al Cauca	Cauca	12370
90	Río Sevilla	Ciénaga Grande de Santa Marta	Bajo Magdalena	37230
91	Río Suárez entre Quebradas San Puno y La Molina	Río Suárez	Sogamoso	101300
92	Río Suárez (mi) entre Quebradas Guatoqueros y Totumaleña	Río Suárez	Sogamoso	143200
93	Río Suaza	Río Suaza	Alto Magdalena	57810
94	Río Sumapaz	Río Sumapaz	Alto Magdalena	153300
95	Río Teusacá	Río Bogotá	Alto Magdalena	145300
96	Río Tuluá	Ríos Tuluá y Morales	Cauca	26860
97	Río Ubazá	Río Suárez	Sogamoso	35390
98	Río Ure	Alto San Jorge	Bajo Magdalena- Cauca -San Jorge	52370
99	Río Vinagre	Alto Río Cauca	Cauca	14680

Fuente: este estudio

3.2 Caracterización de la oferta hídrica

A partir de la información presentada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en el Estudio Nacional del Agua (ENA) de 2018, se estimó la cantidad de agua que brindan las áreas protegidas del SPNN conforme a la capa de rendimiento hídrico media multianual para las 42 cuencas objeto de estudio. El rendimiento hídrico estimado representa la cantidad de agua superficial disponible por unidad de área de una cuenca, en un intervalo de tiempo determinado, que para este caso corresponde a ($l/s \cdot km^2$).

Para obtener la capa de rendimiento hídrico se estima la oferta hídrica a nivel de Subzonas Hidrográficas a partir de dos aproximaciones: 1) serie de caudales medios y 2) balance hídrico. En el primer caso los caudales registrados en las estaciones hidrológicas son convertidos en escorrentía mediante una relación caudal área. Los valores puntuales de escorrentía de las estaciones se pueden representar espacialmente por medio de la asignación de la escorrentía al polígono del área aferente a la estación (IDEAM, 2015).

La segunda aproximación utilizada para la estimación de la escorrentía consiste en hacer uso de la ecuación de balance hídrico sobre las unidades de estudio. En este caso se considera a nivel anual el

modelo de balance hídrico de largo plazo para la condición de año medio, en el que puede considerarse que el cambio de almacenamiento de agua en el volumen de control es nulo (Álvarez, Vélez, & Poveda, 2008), citado por (IDEAM, 2015). De esta forma la escorrentía es igual a la precipitación menos la evapotranspiración, tal y como se muestra en la siguiente ecuación:

$$ESC = P - ETR$$

Donde,

ESC: Escorrentía hídrica superficial (mm).

P: Precipitación (mm).

ETR: Evapotranspiración real (mm).

En este orden de ideas, la oferta hídrica fue cuantificada para las cuencas hidrográficas priorizadas con influencia de figuras de protección y sin influencia de las mismas, a partir de las metodologías mencionadas. No obstante, para las Subzonas Hidrográficas (SZH) que no cuentan con registros de caudales medios o información suficiente sobre precipitación y evapotranspiración, se aplica una estimación alternativa a partir de una interpolación espacial de la escorrentía.

Conforme con lo anterior, la metodología abordada en el ENA para la cuantificación de la oferta hídrica superficial se presenta en el Gráfico 3-2.

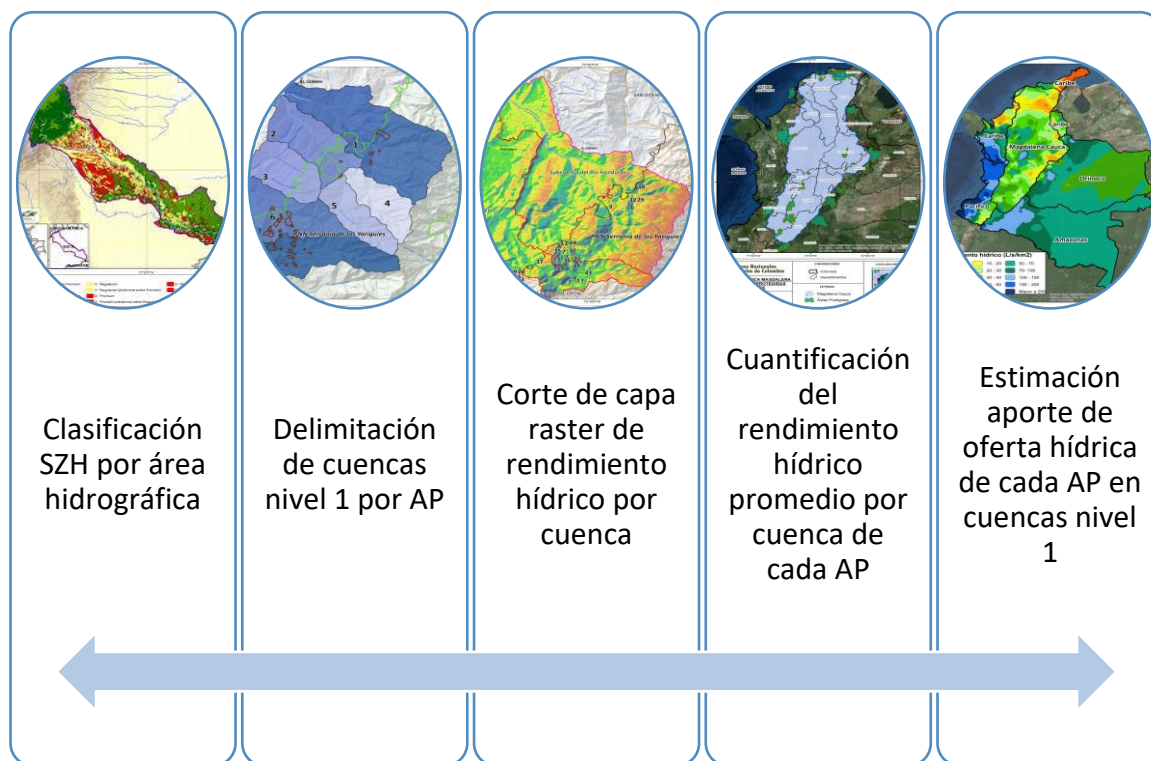
Gráfico 3-2. Metodología para la cuantificación del rendimiento hídrico superficial



Fuente: Elaboración propia con base en metodología de cuantificación de la oferta hídrica superficial (IDEAM, 2015).

A partir de la capa raster de rendimiento hídrico superficial se calculó la oferta hídrica de cada cuenca, hidrográfica realizando cortes a nivel de cuencas nivel 1 delimitadas previamente. En este sentido se presenta en el Gráfico 3-3 la metodología para la caracterización de la oferta hídrica de las áreas protegidas.

Gráfico 3-3. Metodología para la estimación de la oferta hídrica de los PNN



Fuente: Elaboración propia

La estimación de la oferta hídrica de las áreas protegidas se realizó con dos insumos fundamentales 1): la capa raster de rendimiento hídrico en año medio del ENA 2018 y 2): la delimitación de cuencas nivel 1 de las AP¹. A partir de estas capas se estimaron los valores de escorrentía media multianual para cada una de las cuencas nivel 1 de las áreas protegidas y finalmente se estima la oferta equivalente al polígono de las áreas protegidas, con el fin de presentar los datos consolidados de oferta para cada cuenca.

3.1.3. Adicionalidad de la oferta hídrica

La adicionalidad en términos de servicios ecosistémicos hidrológicos corresponde a la ganancia positiva o mejoramiento de un bien ecosistémico, lograda con la implementación de acciones que puedan contribuir a la mitigación de los motores de pérdida de biodiversidad (Sanchez Rodríguez,

¹ La delimitación de cuencas fue desarrollada por la profesional de Sistemas de Información Geográfica de la SNNA con el apoyo del Grupo de Sistemas de Información y Radiocomunicaciones de la SGM.

Bedoya Paniagua , & Rojas Sanchez, 2018). Para esta estimación se requiere de un referente o línea base de un cuerpo hídrico que permita en primera instancia conocer el estado actual del servicio o bien ecosistémico. (MADS, 2012). Esto conforme con los resultados de la línea base en los que se comparan los posibles efectos de determinados programas y/o políticas en un cuerpo hídrico y se evalúa si existe una mejora en términos de servicios ecosistémicos y si es el caso, quiere decir que dichos programas y/o políticas generan “adicionalidad” (Wunder, 2006).

Dado lo anterior, la metodología para el cálculo de la adicionalidad se planteó para el servicio ecosistémico de provisión de agua a partir de la comparación de la escorrentía superficial de cada SZH por Área Hidrográfica. Para este fin se organizó una base de datos que considera las siguientes variables:

Tabla 3-2. Variables utilizadas para el modelo de adicionalidad hídrica en año climatológico medio y seco

Variable	Unidades	Descripción	Fuente
Rendimiento hídrico en año medio y seco	l/s-km ²	Cantidad de agua superficial por unidad de una cuenca en un intervalo de tiempo dado. Este concepto permite expresar la escorrentía por unidad de área para cuantificar la oferta hídrica superficial, estimar valores en unidades hidrográficas no instrumentadas y establecer comparaciones en diferentes unidades de análisis. (IDEAM, 2015)	Capa raster de rendimiento hídrico en año medio y seco del Estudio Nacional del Agua 2014
Área protegida en la Subzona Hidrográfica	%	Porcentaje de participación del AP en la Subzona Hidrográfica	Coberturas 2015 de las áreas protegidas a escala 1:100.000 interpretada por el Grupo de Sistemas de Información y Radiocomunicaciones
Coberturas boscosas en la cuenca al interior de un AP	%	Porcentaje de área con cobertura boscosa con respecto a la parte del área protegida presente en la subzona hidrográfica	Coberturas 2015 de las áreas protegidas a escala 1:100.000 interpretada por el Grupo de Sistemas de Información y Radiocomunicaciones
Coberturas de cultivos en la cuenca al interior de un AP	%	Porcentaje de área con coberturas de cultivos con respecto a la parte del área protegida presente en la subzona hidrográfica	Coberturas 2015 de las áreas protegidas a escala 1:100.000 interpretada por el Grupo de Sistemas de Información y Radiocomunicaciones
Coberturas de Pastos en la cuenca al interior de un AP	%	Porcentaje de área con coberturas de pastos con respecto a la parte del área protegida presente en la subzona hidrográfica	Coberturas 2015 de las áreas protegidas a escala 1:100.000 interpretada por el Grupo de Sistemas de Información y Radiocomunicaciones
Rendimiento hídrico en año medio y seco	l/s-km ²	Cantidad de agua superficial por unidad de una cuenca en un intervalo de tiempo dado. Este concepto permite expresar la escorrentía por unidad de área para cuantificar la oferta hídrica superficial, estimar valores en unidades hidrográficas no instrumentadas y establecer comparaciones en diferentes unidades de análisis. (IDEAM, 2015)	Capa raster de rendimiento hídrico en año medio y seco del Estudio Nacional del Agua 2014

Variable	Unidades	Descripción	Fuente
Área protegida en la Subzona Hidrográfica	%	Porcentaje de participación del AP en la Subzona Hidrográfica	Coberturas 2015 de las áreas protegidas a escala 1:100.000 interpretada por el Grupo de Sistemas de Información y Radiocomunicaciones
Coberturas boscosas en la cuenca al interior de un AP	%	Porcentaje de área con cobertura boscosa con respecto a la parte del área protegida presente en la subzona hidrográfica	Coberturas 2015 de las áreas protegidas a escala 1:100.000 interpretada por el Grupo de Sistemas de Información y Radiocomunicaciones
Coberturas de cultivos en la cuenca al interior de un AP	%	Porcentaje de área con coberturas de cultivos con respecto a la parte del área protegida presente en la subzona hidrográfica	Coberturas 2015 de las áreas protegidas a escala 1:100.000 interpretada por el Grupo de Sistemas de Información y Radiocomunicaciones
Coberturas de Pastos en la cuenca al interior de un AP	%	Porcentaje de área con coberturas de pastos con respecto a la parte del área protegida presente en la subzona hidrográfica	Coberturas 2015 de las áreas protegidas a escala 1:100.000 interpretada por el Grupo de Sistemas de Información y Radiocomunicaciones

Fuente: Autores

La información sobre las coberturas se relativizó teniendo en cuenta que las áreas de las subzonas hidrográficas son significativamente diferentes. De esta forma, al tener la participación porcentual de áreas protegidas dentro de cada SZH se cuenta con un criterio común de análisis para la construcción de modelos econométricos por cada área hidrográfica, que permitan validar si existe causalidad y/o relación entre las coberturas y usos del suelo y el rendimiento hídrico.

3.3 DEMANDA HÍDRICA

De acuerdo con el informe de Demanda Hídrica de los Parques Nacionales Naturales de Colombia (Pinilla 2019), se presenta la información de demanda hídrica para los principales sectores económicos que se abastecen del recurso hídrico de las áreas protegidas. En este informe se estableció la demanda de uso doméstico, agrícola y uso energético, a partir del cruce de capas e información del Estudio Nacional del Agua 2014.

3.4 VALORACIÓN ECONÓMICA

3.4.1. Valoración Económica de la provisión de agua para el sector agrícola

El servicio ecosistémico de provisión de agua para el sector agrícola es uno de los servicios priorizados en el presente estudio de valoración, para identificar el beneficio económico que generan las áreas

protegidas al sector agrícola. Para ello se hace una caracterización de oferta hídrica de cuencas hidrográficas con presencia de áreas protegidas del SPNN y sin presencia de las mismas, en función del rendimiento hídrico en año medio en las 6 áreas hidrográficas: Amazonía, Caribe, Pacífico, Magdalena Cauca y Orinoquía.

Dado que, el área hidrográfica que presenta una mayor oferta hídrica diferenciada ante la presencia de áreas protegidas en subzonas hidrográficas es Magdalena Cauca se procede a realizar la valoración económica en dicha área geográfica. Con el fin de verificar la adicionalidad en la provisión de agua se construyó un modelo estadístico que permitiera estimar el rendimiento hídrico en cuencas con presencia de Parques Nacionales Naturales y sin presencia de las mismas, a partir de variables como: porcentaje de área protegida al interior de la cuenca; porcentajes de bosques, pastos y cultivos. Posteriormente, se realiza un análisis de oferta hídrica para las cuencas priorizadas en el área hidrográfica de Magdalena Cauca a partir de las estadísticas zonales obtenidas de la capa raster de rendimiento hídrico superficial del ENA 2018.

Teniendo en cuenta la importancia de la valoración que a nivel del Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia (SPNN) ha tenido el recurso hídrico como herramienta para el relacionamiento con los sectores productivos del país, así como el soporte de los argumentos para destacar la importancia y el papel de las áreas protegidas (AP) en materia de provisión y regulación hídrica, se presenta en este escrito una valoración que refleja los beneficios económicos del recurso hídrico ofertado por las áreas protegidas a la productividad agrícola de las cuencas en las zonas aledañas a éstas.

Para determinar el valor económico y la importancia del recurso hídrico como insumo en la productividad agrícola de las cuencas objeto de estudio, especialmente para los cultivos representativos, se recopiló no solo la información de los cultivos en las zonas objeto de estudio que se mostrará en modelos econométricos teniendo en cuenta el censo agrícola del 2014, sino que también se recopiló la información de la oferta hídrica de las zonas con influencia de Parques Nacionales Naturales y sin influencia de los mismos.

La estimación del valor presente neto (VPN) de la producción está dada por:

$$VPN = \sum \frac{(Pt \text{ cultivo} Y_i - C)}{(1 + r)^t}$$

Donde:

Pt cultivo: precio de mercado de una tonelada del respectivo producto,

Yi: producción anual en toneladas de la cuenca i del área de influencia,

C: costos de producción anuales,

T: horizonte de tiempo y

R: tasa de descuento.

De acuerdo con Reyes, 2014, es necesario estimar la proporción de agua atribuida a las áreas de conservación, denominada β . Para ello se realiza una comparación de la oferta hídrica superficial de las cuencas hidrográficas con influencia de Parques Nacionales Naturales y de las cuencas sin influencia de áreas protegidas y el porcentaje hídrico adicional presentado en las cuencas con influencia de áreas protegidas será el valor del β . De esta manera, el valor presente neto será calculado teniendo en cuenta la proporción de agua que es insumo productivo en la agricultura y que proviene de áreas protegidas, tal y como se muestra a continuación

$$VPN_{Cultivo(PNN)} = (VPN_{cultivo i})_{\beta}$$

3.5 Valoración económica del servicio ecosistémico de control de erosión

El servicio ecosistémico de control de erosión es de gran importancia en la conservación de cuencas hidrográficas, así como para la provisión de agua potable para consumo humano y la generación de energía hidroeléctrica. Son precisamente estos dos sectores las que se ven mayormente beneficiadas por las áreas protegidas, debido a la retención de sedimentos que presentan las coberturas boscosas en buen estado de conservación. En este sentido, para la valoración del servicio ecosistémico de control de erosión se realizó una modelación de la cantidad de sedimentos exportados y retenidos en condiciones de año medio con el fin de establecer el efecto de las coberturas de áreas protegidas de la macrocuenca Magdalena Cauca en el control de erosión.

La modelación se desarrolló con el software InVEST desarrollado por el proyecto de capital natural. Este software se especializa en mapeo de servicios ecosistémicos y genera salidas anuales. El programa cuenta con el módulo espacialmente explícito para evaluar la retención de sedimentos en cuencas. El modelo trabaja a una resolución espacial del ráster del Modelo Digital de Elevación (DEM) de entrada, calcula la cantidad de suelo anual perdida a nivel de píxel y la tasa de entrega de sedimentos que es la proporción de la pérdida de suelo que realmente llega a la corriente. Una vez que el sedimento llega a la corriente, se asume que termina en la salida de la cuenca, por lo que no se modelan procesos en la corriente (Sharp, y otros, 2018). El modelo estima la pérdida de suelo a partir de la ecuación universal de pérdida de suelo revisada (RUSLE), la cual viene dada por:

$$usle = R * K * LS * C * P$$

donde,

- R es la erosividad de la lluvia (unidades: $MJ \cdot mm (Ha \cdot hr) -1$),
- K Es la erosionabilidad del suelo (unidades: $Ton \cdot Ha \cdot hr (MJ \cdot Ha \cdot mm) -1$),
- LS es un factor de longitud de pendiente (sin unidades)
- P es un factor de práctica de apoyo.
- C es el factor de prácticas de cultivo y uso del suelo

3.5.1. Información utilizada

En la

Tabla 3-3 se muestran los insumos y sus fuentes correspondientes para la ejecución del modelo de retención de sedimentos de InVEST

Tabla 3-3. Información utilizada 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 álgebra de mapas de Arcgis.
Índice de erosividad de la lluvia.	Raster	Cálculo con base a la ecuación del Índice Modificado de Fournier. (IMF) (Arnoldus, 1977). La información de la precipitación media anual que sirve como base para el cálculo del índice se obtuvo de los promedios climatológicos del IDEAM 1980-2010.	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	Capa de Factor K para Colombia del IDEAM (IDEAM, 2019).	Mide el grado por el cual un suelo es susceptible a erosionarse. Es una de las variables de entrada de la RUSLE.
Cobertura del suelo.	Shape	Capa de Leyenda cobertura de suelo de la leyenda nacional de coberturas utilizada en el Estudio Nacional del Agua 2018 (IDEAM, 2019).	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 e (IDEAM, 2019)	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.

ITEM	Formato	Fuente	Descripción/Observaciones
Factor P	Dato incluido en la tabla biofísica	Factor que considera las prácticas de manejo, cuando se presentan en los diferentes cultivos. Se obtuvo a partir del promedio de factores P para cada cobertura de la capa nacional de Factor P del Estudio Nacional del Agua 2018 (IDEAM, 2019).	Este valor cambia de acuerdo con la aplicación de diferentes prácticas de manejo en los cultivos.

Fuente: Elaboración propia con base en (Sharp, y otros, 2018).

La modelación contempló un escenario de año medio (1980 - 2010). Los resultados de la simulación para cada cuenca corresponden a los sedimentos retenidos y exportados en el área hidrográfica del Magdalena Cauca. Las cuencas priorizadas en esta área hidrográfica fueron aquellas de las que se obtuvo toda la información sobre las variables analizadas y que coincidieran con la presencia de áreas protegidas del SPNN.

3.5.2. Costos evitados de sedimentos retenidos

Para el servicio de retención de sedimentos se aborda el método de valoración de costos evitados, que permite medir los gastos en los que incurren diferentes sectores beneficiarios de los servicios ecosistémicos (SE) para 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 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). En este contexto se consolidó información sobre costos asociados a las estrategias de manejo de sedimentos en los embalses.

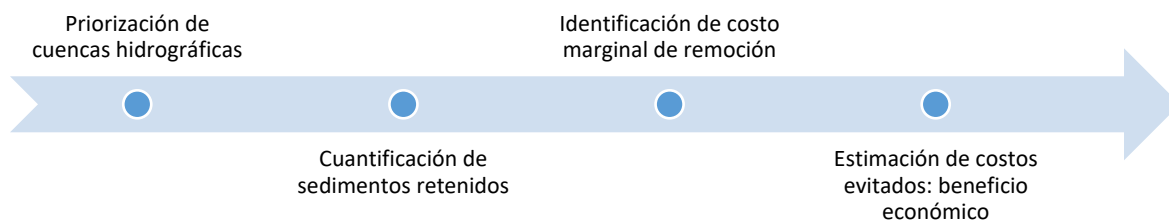
De acuerdo con (Montañez Guillén , 2017), existen múltiples estrategias para el manejo de sedimentos en los embalses de hidroeléctricas y en sistemas de acueducto, cuatro de las más utilizadas globalmente son:

- Reducción del aporte de sedimentos aguas arriba del embalse: esta estrategia considera las cuencas tributarias de los embalses y el control sobre el aporte de sedimentos con el fin de reducir la entrada de sedimentos al embalse, principalmente mediante tres grupos de estrategias: Control en los procesos de erosión de la cuenca desde la superficie en el yacimiento, control en los procesos de erosión en el canal y la retención de sedimentos erosionados aguas arriba del embalse (Montañez Guillén , 2017)
- Control del trayecto de sedimentos o enrutamiento de sedimentos: consiste en mantener el flujo de sedimentos entrante en movimiento evitando su acumulación en el embalse, ya sea pasando la carga de sedimentos alrededor o a través de la zona de almacenamiento (Sumi & Kantoush, 2011), citado por (Montañez Guillén , 2017). Incluye cualquier método que permita la manipulación hidráulica y/o geometría del embalse reduciendo o enfocando la depositación.
- Remoción de depósitos de sedimentos y lavado de sedimentos: comprende las técnicas que permiten la remoción de los sedimentos acumulados en el embalse (Sumi & Kantoush, 2010), citados por (Montañez Guillén , 2017). Las técnicas son descarga y lavado de sedimentos, y dragados y excavaciones por métodos mecánicos o hidráulicos.
- Medidas de no manipulación de sedimentos: Esta categoría comprende las estrategias para combatir los impactos de la sedimentación que no implican el manejo o manipulación de sedimentos (Morris, 2015), citado por (Montañez Guillén , 2017), tales como: Reasignar el almacenamiento y mejorar la eficiencia operativa; Modificar estructuras para evitar sedimentos; Elevar la presa para aumentar el volumen o construir proyecto de reemplazo; Control y conservación de pérdidas de agua e infraestructura de desmantelamiento.

Para efectos de este estudio de valoración se tendrá en cuenta una de las estrategias utilizadas para la gestión de sedimentos y sus costos asociados. Se identifican los costos de la estrategia de remoción de depósitos de sedimentos y lavado de los mismos a través de dragados hidráulicos, dado que esta es una de las estrategias más utilizadas frente a la saturación y reducción de la capacidad de almacenamiento de los embalses. La empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá en su Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado manifiesta que, debido al flujo de sedimentos y acrecentamiento progresivo de los procesos de colmatación, sedimentación y terraceo se produce un taponamiento de canales y ríos, los cuales deben ser dragados por la empresa permanentemente, ocasionando elevados costos de operación.

Por medio de este estudio de valoración se busca identificar los sedimentos que son retenidos por las coberturas presentes en las áreas protegidas que hacen parte de la gran cuenca Magdalena-Cauca y que finalmente, representan costos que se evitan las empresas en la gestión y manejo de sedimentos y más específicamente, en el dragado de los embalses o cauces, teniendo en cuenta el siguiente proceso metodológico:

Gráfico 3-4. Proceso metodológico para la valoración de sedimentos retenidos por PNN



Fuente: Autores

De acuerdo con Roa y Parra (2016), los sistemas fluviales que se dirigen al mar Caribe transporta aproximadamente 168 millones de toneladas al año que son depositados al mar, de los cuales, el río Magdalena aporta el 87% con una tasa de transporte neto de 560 toneladas por kilómetro cuadrado al año o un transporte de sedimentos de $143,9 \times 10^6$ Toneladas por año. Dada la condición de sedimentación, la Corporación Autónoma Regional del Río Magdalena mantiene continuos esfuerzos en recuperar la navegabilidad del río y ello implica la ejecución de dragados al lecho del río para remover los sedimentos que lo afectan (Roa Rodríguez & Parra Canchón, 2016).

3.5.3. Valoración económica de la provisión de agua a los principales embalses para generación de energía hidroeléctrica.

Uno de los sectores más representativos que se abastecen del agua de los PNN es el sector hidroeléctrico, el cual se surte de agua de muchas de las áreas protegidas del SPNN. En este sentido y con el fin de aproximarnos al valor económico de la provisión de agua hacia este sector, se identificaron los principales embalses para la generación de energía hidroeléctrica beneficiados del aporte de agua de las áreas protegidas. A partir de allí se delimitaron las cuencas aportantes y se estimó el aporte hídrico con base en las capas de rendimiento hídrico medio del Estudio Nacional del Agua (ENA) 2014. De esta forma, se estimó la oferta hídrica total que llega al embalse, así como la oferta atribuible a PNN, con el fin de establecer el aporte de las áreas protegidas en términos de la provisión de agua al embalse.

Con la información de la oferta hídrica atribuible a las áreas protegidas se estimó el porcentaje de generación de energía atribuible a cada parque de la cuenca aportante, a partir de la relación entre la oferta hídrica total de la cuenca hasta el embalse y la oferta hídrica atribuible al área protegida. Con este porcentaje y teniendo en cuenta un costo estimado de 1 kWh de energía de \$375,18, se estableció el valor económico del aporte de oferta hídrica al multiplicar el valor económico del kWh de energía por el porcentaje de oferta hídrica atribuible a los PNN en año medio. De esta manera, se obtuvo una

aproximación relacionada con el aporte del recurso hídrico de los PNN a los principales proyectos hidroeléctricos a nivel nacional que cuentan con embalses, tal y como se muestra a continuación:

Tabla 3-4. Proyectos hidroeléctricos en Parques Nacionales Naturales

No.	PROYECTO HIDROELÉCTRICO	PARQUES APORTANTES
1	Represa Alto Anchicayá	PNN Los Farallones de Cali
2	Embalse Urrá I	PNN Paramillo
3	Represa Bajo Anchicayá	PNN Los Farallones de Cali
4	Represa de Betania	PNN Alto Fragua Indi – Wasi, PNN Nevado del Huila, PNN Puracé, PNN Cueva de Los Guácharos, PNN Serranía de los Churumbelos
5	Embalse del Quimbo	PNN Alto Fragua Indi – Wasi, PNN Cueva de Los Guácharos, PNN Puracé, PNN Serranía de Los Churumbelos
6	Embalse Miel 1	PNN Selva de Florencia
7	Embalse del Guavio	PNN Chingaza
8	Hidosogamoso	PNN Serranía de Yariguíes, PNN El Cocuy, SFF Guanentá Alto Río Fonce, SFF Iguaque, PNN Pisba
9	Cadena Hidroeléctrica del río Bogotá - Embalse del Muña	PNN Chingaza - PNN Sumapaz
10	Embalse de La Salvajina	PNN Munchique - PNN Puracé
11	Embalse de Camaguadua - Central Esmeralda	PNN Los Nevados
No.	PROYECTO HIDROELÉCTRICO	PARQUES APORTANTES
1	Represa Alto Anchicayá	PNN Los Farallones de Cali
2	Embalse Urrá I	PNN Paramillo
3	Represa Bajo Anchicayá	PNN Los Farallones de Cali
4	Represa de Betania	PNN Alto Fragua Indi – Wasi, PNN Nevado del Huila, PNN Puracé, PNN Cueva de Los Guácharos, PNN Serranía de los Churumbelos
5	Embalse del Quimbo	PNN Alto Fragua Indi – Wasi, PNN Cueva de Los Guácharos, PNN Puracé, PNN Serranía de Los Churumbelos
6	Embalse Miel 1	PNN Selva de Florencia
7	Embalse del Guavio	PNN Chingaza
8	Hidosogamoso	PNN Serranía de Yariguíes, PNN El Cocuy, SFF Guanentá Alto Río Fonce, SFF Iguaque, PNN Pisba
9	Cadena Hidroeléctrica del río Bogotá - Embalse del Muña	PNN Chingaza - PNN Sumapaz
10	Embalse de La Salvajina	PNN Munchique - PNN Puracé

Fuente: Autores

4 RESULTADOS VALORACIÓN BIOFÍSICA

4.1 Caracterización de la oferta hídrica

Luego de consolidar la información de las variables para cada área hidrográfica, se estimaron las correlaciones correspondientes entre la presencia o no presencia de áreas protegidas en una SZH frente al rendimiento hídrico en dicho cuerpo hídrico. Esto con el fin de comprobar si ante la presencia de un área protegida en una SZH se incrementa la oferta hídrica superficial representada en el rendimiento hídrico.

Conforme con lo anterior, el primer modelo ejecutado presenta una variable dicotómica como independiente con relación a la presencia de áreas protegidas y como variable dependiente, se considera el rendimiento hídrico en año medio. De esta forma, en la Tabla 4-1 se presenta en mayor detalle las variables consideradas:

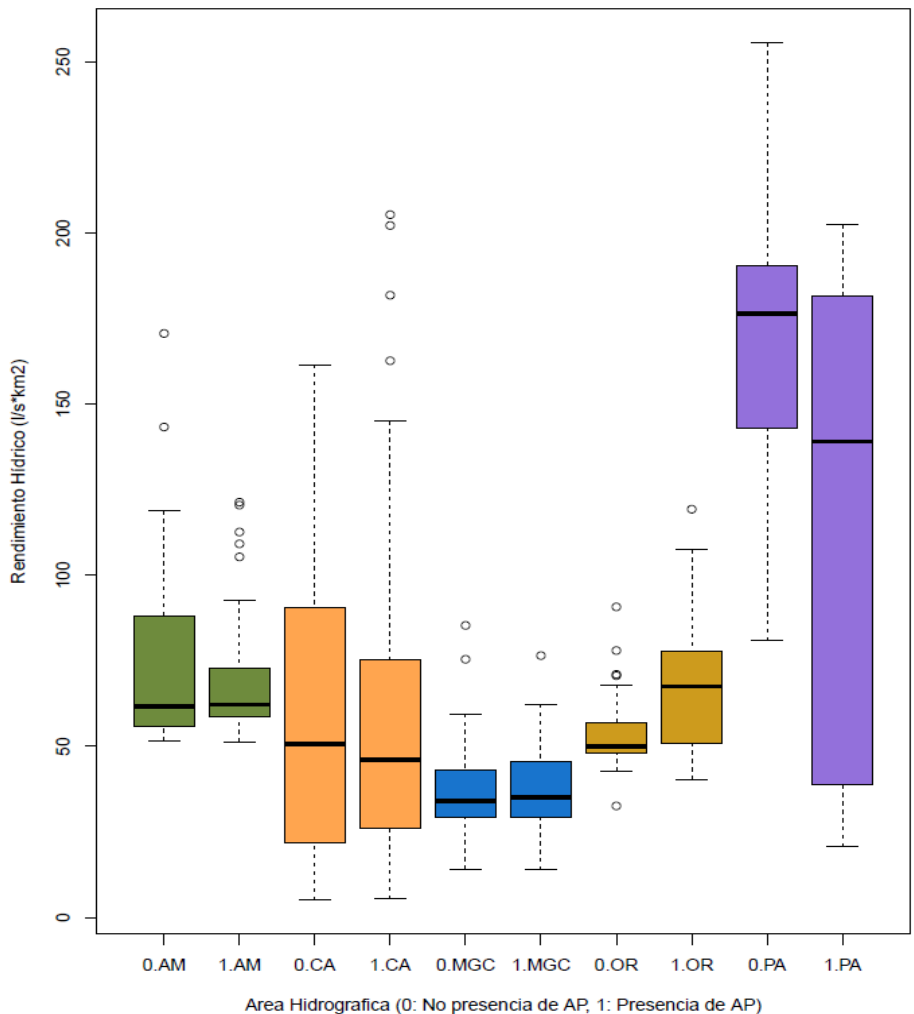
Tabla 4-1. Descripción del modelo estadístico

Modelo estadístico	Variable dependiente	Variable Independiente
Relación presencia/ausencia de PNN y oferta hídrica en una SZH	Rendimiento hídrico en l/s-Km2	Presencia de PNN en la Subzona Hidrográfica (Variable dicotómica donde 1 es presencia y 0 es ausencia de área protegida del SPNN)

Fuente: Autores

Como parte del proceso de validación de la relación entre la existencia de un área protegida de orden nacional y el rendimiento hídrico se realizó una prueba de correlación en cada una de las áreas hidrográficas, con el fin de contar con la certeza de una relación de causalidad que permitiera desarrollar modelos posteriores que incluyan otro tipo de variables y que permitieran estimar la adicionalidad en la provisión de agua. Conforme lo anterior, se presenta en el Gráfico 4-1 los diagramas de cajas y bigotes asociados con la correlación estimada.

Gráfico 4-1. Diagrama de cajas y bigotes áreas hidrográficas y rendimiento hídrico



La ausencia de AP se presenta con 0 y la presencia de AP en una SZH se presenta con 1.
Fuente: Salida de R Studio.

El gráfico anterior se presenta para cada área hidrográfica la comparación del rendimiento hídrico en una subzona hidrográfica promedio con presencia de un área protegida del SPNN versus un área hidrográfica promedio sin área protegida. De esta forma, es posible verificar si el hecho de tener una figura de conservación de orden nacional representa algún tipo de adicionalidad en la provisión de agua de una subzona hidrográfica promedio. Los resultados para cada área hidrográfica se explican a continuación:

- **Área Hidrográfica Amazonia:**

No existe una diferencia significativa entre el rendimiento hídrico de una subzona hidrográfica promedio con presencia de un AP en comparación con una que no tiene. Esto se explica teniendo en cuenta que la Región Amazónica cuenta con una alta pluviosidad media anual, la cual es tan alta que hace que sea indiferente la existencia de áreas protegidas para la generación de escorrentía superficial. Así mismo, se destaca que a nivel general existe una gran cobertura de áreas de bosques en zonas que no están en el SPNN, por lo cual esta condición no podría explicar diferencias en el rendimiento hídrico de las cuencas en esta área hidrográfica.

- **Área hidrográfica Caribe:**

No existe una diferencia significativa entre el rendimiento hídrico de una subzona hidrográfica que tiene área protegida y una SZH que no tiene. De hecho, se presenta una mayor oferta hídrica en las SZH que no tienen área protegida. Lo cual se explica por la alta variabilidad de la precipitación en las SZH que hacen parte de esta área hidrográfica.

- **Área hidrográfica Pacífico:**

Se presenta un rendimiento hídrico promedio mucho mayor en las SZH que no cuentan con un AP que en las SZH que cuentan con un AP. Lo cual se explica, al igual que en el caso del área hidrográfica Amazonia, por la alta pluviosidad registrada en la zona. De esta manera, y teniendo en cuenta que la lluvia corresponde a la principal entrada del balance hídrico; es de esperarse que ante condiciones de tan alta pluviosidad como las del Chocó Biogeográfico, se presente una escorrentía significativamente alta en la mayoría de las SZH, por lo cual la existencia de un AP no tendría un papel preponderante en el rendimiento hídrico.

- **Área hidrográfica Magdalena Cauca:**

En esta área hidrográfica se aprecia levemente que, ante la presencia de un área protegida en una SZH, existe una tendencia a un mayor rendimiento hídrico. Si bien, esta tendencia no es significativamente alta, si es un elemento importante a tener en cuenta para evaluar un poco más a fondo el efecto de las coberturas asociadas con la conservación en la adicionalidad de la provisión de agua. Esto se explica teniendo en cuenta que esta área hidrográfica concentra la mayor parte de los páramos del país y así mismo concentra la mayor cantidad de demanda hídrica y la mayor densidad de actividades económica, por lo cual la presencia de ecosistemas estratégicos protegidos resulta de especial importancia para satisfacer la demanda de recurso hídrico.

- **Área hidrográfica Orinoquia:**

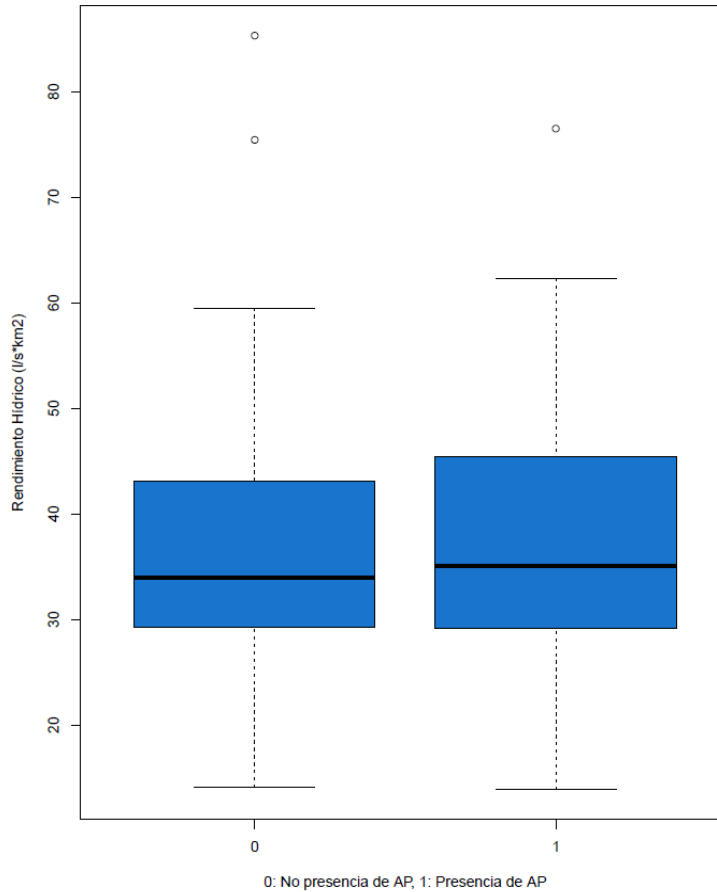
Para esta área hidrográfica, se destaca que ante la presencia de un AP en una SZH promedio se tendría un mayor rendimiento hídrico que en una SZH que no cuente con un AP.

De acuerdo con los resultados, se destaca que si bien, las áreas hidrográficas de Magdalena Cauca y Orinoquia presentarían una mayor oferta hídrica ante la presencia de un AP en una SZH promedio; es importante considerar que la zonificación de la oferta hídrica presentada por el ENA 2014 es más consistente para el área hidrográfica de Magdalena Cauca, que la de Orinoquia, teniendo en cuenta que para la Macrocuenca Magdalena Cauca se cuenta con mayor registro de estaciones climáticas e hidrológicas lo que favorece un cálculo más aproximado del rendimiento hídrico y la escorrentía superficial.

En contraste, y como se menciona en (IDEAM, 2015), para la zonificación de la escorrentía superficial del área hidrográfica Orinoquia, se llevó a cabo una interpolación por el método del inverso de la distancia (IDW), debido a la falta de estaciones climáticas e hidrológicas, por lo cual la escorrentía presentada corresponde tan solo a una referencia, teniendo en cuenta la carencia de registros e instrumentos de medición en la Orinoquia.

Dado lo anterior se seleccionó solamente el área hidrográfica de Magdalena Cauca para el análisis de adicionalidad y valoración económica, teniendo en cuenta que presentó adicionalidad en el rendimiento hídrico a partir del diagrama de cajas y bigotes (Gráfico 4-2) y que así mismo representa el área hidrográfica con mayor demanda hídrica.

Gráfico 4-2. Diagrama de cajas y bigotes- Rendimiento hídrico área hidrográfica Magdalena Cauca



La ausencia de AP se presenta con 0 y la presencia de AP en una SZH se presenta con 1. Fuente: Salida de R Studio.

4.1.1. Modelo estadístico para el cálculo de la adicionalidad

A partir de la comparación del rendimiento hídrico ante la presencia o ausencia de AP del SPNN en una SZH promedio, se priorizó el área hidrográfica de Magdalena Cauca para la construcción de un modelo estadístico que permitiera estimar la adicionalidad presentada en cuencas hidrográficas. Para este fin se consideraron las variables presentadas en la Tabla 3-2 teniendo en cuenta las coberturas que cuentan con mayor incidencia en el balance hídrico de largo plazo, a fin de estimar la contribución particular de cada una en la escorrentía superficial.

Conforme con lo anterior, se presenta en las tablas Tabla 4-2 y Tabla 4-3 los resultados de esta estimación:

Tabla 4-2. Resultados modelo de rendimiento hídrico en año medio

Variable dependiente	Variable explicativa	Coficiente	P Value	Significancia
Rendimiento Hídrico	Presencia de AP	1.021	0.147	No es significativa
	% de AP	0.288	0.07263	Significativa al 10%
	% de Bosque	0.7106	0.005758	Significativa al 1%
	% Pasto	12.47	0.1444	No es significativa

	% de Cultivos	5.656	0.02542	Significativa al 5%
--	---------------	-------	---------	---------------------

Fuente: Elaboración propia con base en salida de R Studio

Tabla 4-3. Resultados modelo de rendimiento hídrico en año seco

Variable dependiente	Variable explicativa	Coefficiente	P value	Significancia
Rendimiento Hídrico	Presencia de AP	0.2251	0.8552	No es significativa
	% de AP	0.1148	0.1228	No es significativa
	% de Bosque	0.3514	0.003022	Significativa al 1%
	% Pasto	0.5475	0.8902	No es significativa
	% de Cultivos	1.2429	0.2896	No es significativa

Fuente: Elaboración propia con base en salida de R Studio

De acuerdo con los resultados, para la condición de año medio las variables % de AP, % de bosque y % de cultivos son significativas al 10, 1 y 5% respectivamente, con lo que se descartan los pastos y la presencia de área protegida como variables determinantes en el rendimiento hídrico, indicando que la oferta hídrica superficial es condicionada realmente por las coberturas y el uso del suelo, siendo más determinante el bosque en provisión de agua.

Entre tanto, para la condición de año seco solo la variable % de bosques presenta significancia con el 99% de confianza lo que indica que las áreas boscosas son determinantes en la oferta hídrica superficial y aún más en condiciones de año seco. Finalmente, para la condición de año medio se ejecutó otro modelo solo con las variables significativas con el fin de contar con un estimativo más aproximado sobre la adicionalidad. Los resultados de esta estimación se presentan a continuación:

Tabla 4-4. Resultados modelo de rendimiento hídrico en año seco

Variable explicativa	Coefficiente	Vp	Significancia
% de AP	-0.647	0.065	No es significativa
% de Bosque	1.507	0.007	Significativa al 1%
% de Cultivos	2.250	0.498	No es significativa

Fuente: Elaboración propia con base en salida de R Studio

Como se observa, solo la variable % de bosque resulta significativa en el nuevo modelo planteado, por lo cual nuevamente se destaca que los bosques representan un papel fundamental en la generación de escorrentía superficial. En este sentido se presenta a continuación la interpretación de los modelos:

Gráfico 4-3. Resultados modelo de adicionalidad



Fuente: Elaboración propia con base en salida de R Studio

5 DEMANDA DE RECURSO HÍDRICO

A partir del informe de aporte de demanda hídrica de Parques Nacionales Naturales de (Pinilla, 2019), se recopiló la información de demanda hídrica de las áreas protegidas para los usos más representativos a nivel nacional.

5.1 Demanda de agua para uso doméstico

De acuerdo con la metodología utilizada por (Pinilla 2019), la población que se beneficia del recurso hídrico que proveen las áreas protegidas es de aproximadamente 26,996,679 de personas, lo que equivale a casi la mitad de la población colombiana, con un consumo doméstico de 1559.19 millones de metros cúbicos por año (Mm³/año). Esta población beneficiada se concentra en ciudades principales como: Bogotá, Cali, Santa Marta, Manizales, Pereira, Ibagué, Montería, Popayán, Pasto Valledupar y Riohacha, además de numerosos municipios que hacen uso del agua para abastecer a

acueductos urbanos y rurales. En la Tabla 5-1 se muestra la demanda de recurso hídrico para uso doméstico, de acuerdo con aporte de las áreas protegidas del Sistema de Parques Nacionales Naturales.

Tabla 5-1. Demanda hídrica para uso doméstico- aporte de PNN

ZONA HIDROLÓGICA	SUBZONA HIDROLÓGICA	PNN	POBLACIÓN BENEFICIADA	VOLUMEN DE AGUA CONSUMIDO (Mm ³ /AÑO)	CIUDADES - MUNICIPIOS BENEFICIADOS
Alto Magdalena	Alto Magdalena	Alto Fragua	11,307,824	566.09	Bogotá
	Bache	Puracé			Ibagué
	Rio Bogotá	Cordillera de los Picachos			Neiva
	Rio Cabrera				
	Rio Coello	Nevado del Huila			
	Rio Lagunilla y otros	Chingaza			
	Directos al Magdalena	Sumapaz			
	Rio Páez	Los Nevados			
	Rio Sumapaz	Guácharos			
	Rio Totaré	Churumbelos			
	Rio Yaguará				
	Ríos Directos al Magdalena			(116 Municipios)	
Bajo Magdalena	Ciénaga Grande de Santa Marta	Sierra Nevada de Santa Marta	1,555,609	170.74	Ciénaga
	Canal del Dique	Colorados			El Carmen de Bolívar
	Directos bajo Magdalena (Plato y calamar)	Ciénaga			Cartagena
		Corchal			(31 Municipios)
		VIPIS			
Bajo Magdalena-Cauca – San Jorge					Monte Líbano Puerto Libertador

ZONA HIDROLÓGICA	SUBZONA HIDROLÓGICA	PNN	POBLACIÓN BENEFICIADA	VOLUMEN DE AGUA CONSUMIDO (Mm ³ /AÑO)	CIUDADES - MUNICIPIOS BENEFICIADOS
	Alto San Jorge	Paramillo	145,745	6.98	San José de Ure Itüango Planeta Rica
Cauca	Alto Rio Cauca	Puracé	7,331,777	492.64	Popayán, Palmira
	Directos al Rio Cauca	Farallones de Cali			Cali
	Rio Pescador	Paramillo			Manizales
	Rio Amaime	Tatamá			Armenia
	Rio Bugalagrande	Las Hermosas			Pereira
	Rio Chinchiná	Nevado del Huila			
	Rio Claro	Otún			
	Rio Desbaratado	Quimbaya			
	Rio Fraile y otros directos al Cauca	Los Nevados			
	Rio La Vieja				
	Rio Otún				
	Rio Palo				
	Rio Jamundí				
	Rio Palace				
	Rio Risaralda				
	Rio Taraza				
	Rio Man				
	Rio Timba				
	Rio Tuluá				
	Rio Cali				
				(95 Municipios)	

ZONA HIDROLÓGICA	SUBZONA HIDROLÓGICA	PNN	POBLACIÓN BENEFICIADA	VOLUMEN DE AGUA CONSUMIDO (Mm ³ /AÑO)	CIUDADES - MUNICIPIOS BENEFICIADOS
Cesar	Alto Cesar	Sierra Nevada de Santa Marta	128,243	6.08	San Juan del Cesar La Jagua del Pilar El Molino Villanueva Urumita La Paz
Medio Magdalena	Rio Gualí Río Opón Río La Miel	Los Nevados Serranía de los Yariguies Selva de Florencia	431,701	20.0	Barrancabermeja La Dorada Honda
Saldaña	Alto Saldaña Río Amoya Río Ata	Las Hermosas Nevado del Huila	65,377	7.25	Chaparral Ortega Planadas
Sogamoso	Río Chicamocha Río Sogamoso Río Suarez Río Fonce	El Cocuy Serranía de los Yariguies Iguaque Guanentá Pisba	1,439,335	95.01	Tunja Girón Barranca Piedecuesta Duitama (otros municipios)
Atrato - Darién	Río Sucio Directos Atrato entre Río Quito y Río Muni Río Bojayá Río Sucio Río Cacarica	Paramillo Orquídeas Katios Utría	277,301	11.5	Quibdó Urrao Medio Atrato

ZONA HIDROLÓGICA	SUBZONA HIDROLÓGICA	PNN	POBLACIÓN BENEFICIADA	VOLUMEN DE AGUA CONSUMIDO (Mm ³ /AÑO)	CIUDADES - MUNICIPIOS BENEFICIADOS
	Directos Rio Atrato entre Rio Sucio y Desembocadura Rio Tárela y otros directos al caribe				
Caribe – Guajira	Rio Guachaca Rio Piedras Rio Manzanares Rio Ancho y otros Directos al Caribe Rio Don Diego Rio Ranchería Rio Tapias Rio Carraipia	Sierra Nevada de Santa Marta Flamencos Macuira Tayrona	1,601,695	49.83	Santa Marta Riohacha San Juan del Cesar
Sinú	Alto Sinú Urra Medio Sinú	Paramillo	248,784	9.16	Monteria Tierra alta Monte Líbano
Tapaje-Dagua Directos	Rio Anchicaya Rio Naya Rio Timba y otros directos al pacifico	Farallones de Cali	48,465	2.43	Buenaventura Lopez (7municipios)
Patía	Río Guachicono Rio Juananbu Rio Mayo Rio Patía Alto	Puráce Tatama Galeras Sanquianga	1,063,420	84	Pasto Tumaco Ipiales

ZONA HIDROLÓGICA	SUBZONA HIDROLÓGICA	PNN	POBLACIÓN BENEFICIADA	VOLUMEN DE AGUA CONSUMIDO (Mm ³ /AÑO)	CIUDADES - MUNICIPIOS BENEFICIADOS
	Rio San Juan Río Tamana y otros directos San Juan				(73 municipios)
Apure	Alto Río Apure Río Bojaba Río Chitaga Río Cobugon Río Cobaría Río Margua	Tama	17,287	0.1	Toledo
Casanare	Río Casanare Río Cravo Norte Río Ariari Río Guape Río Guayabero	El Cocuy	254,514	5.89	Arauca Tame Araucita
Meta	Embalse del Guavio Río Metica Río Cravo Sur Río Guacavía Río Guatiquia Río Guayuriba Río Humea Río Pauto	Chingaza Sumapaz Pisba	905,901	14.3	Villavicencio Yopal (52 municipios)
Guaviare	Río Ariari	Sumapaz	201,924	10.7	Acacias Granada

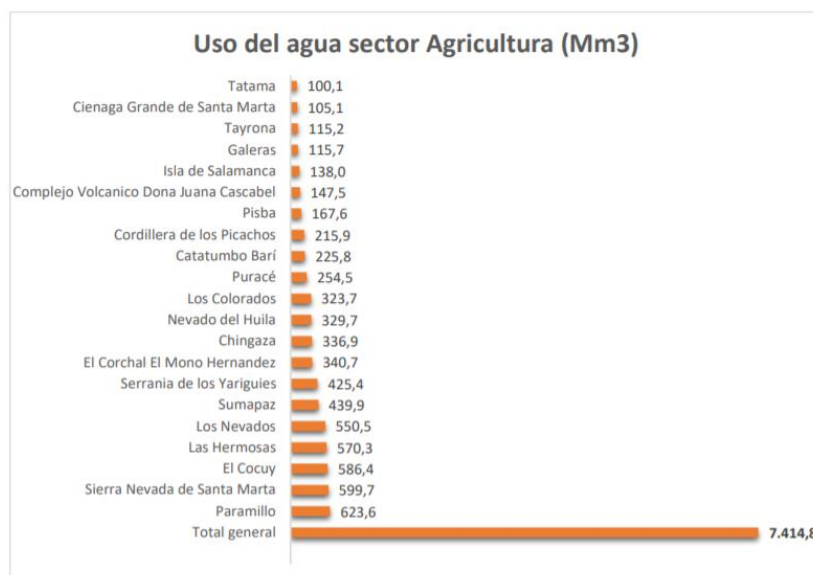
ZONA HIDROLÓGICA	SUBZONA HIDROLÓGICA	PNN	POBLACIÓN BENEFICIADA	VOLUMEN DE AGUA CONSUMIDO (Mm ³ /AÑO)	CIUDADES - MUNICIPIOS BENEFICIADOS
					Vistahermosa
Caquetá	Caquetá	Doña Juana Cascabel Puracé Churumbelos	108,521	4.39	Puerto Guzmán
Caguan	Rio Caguan Alto	Picachos	140,280	2.1	San Vicente del Caguan Cartagena del Chaira Puerto Rico
		TOTAL	26,996,679	1559.19	

Fuente: Adaptado de (Pinilla, 2019)

5.2 Demanda de agua para uso agrícola

De acuerdo con (Pinilla 2019), el desarrollo de las actividades agrícolas requiere de la regularidad, cantidad y calidad del agua necesaria que proveen los ecosistemas de páramo que se encuentran en las áreas protegidas del SPNN. Se estima que este sector consume 7414,8 millones de metros cúbicos (Mm³/año) que provienen de las áreas protegidas, que a su vez representarían 197.469,00 hectáreas de distritos de riego con 31.677 beneficiarios. En el siguiente gráfico se presenta la demanda hídrica para el sector agrícola:

Gráfico 5-1. Uso del agua para el sector agrícola



Fuente: (Pinilla, 2019)

5.3 Demanda de agua para uso energético

Las áreas protegidas del Sistema de Parques Nacionales Naturales proveen servicios de aprovisionamiento hídrico para la generación de energía eléctrica, directamente a las centrales hidroeléctricas como la de Urrá I, en el Parque Paramillo, y Alto y Bajo Anchicayá, en el PNN Farallones de Cali, las cuales tienen una capacidad efectiva neta (MW) de 340 MW y 439 MW respectivamente. En la Tabla 5-2 se relacionan las grandes centrales eléctricas que se benefician del recurso hídrico que proveen las áreas protegidas del SPNN.

Tabla 5-2. Grandes centrales eléctricas beneficiarias del recurso hídrico de PNN

SUBZONA HIDROGRÁFICA	PNN	DEPARTAMENTO	EMPRESA	CENTRAL HIDROELÉCTRICA	CAPACIDAD EFECTIVA NETA (MW)
PROYECTOS DE ENERGÍA EN OPERACIÓN					
Rio Dagua	Farallones de Cali	Valle del Cauca	EPSA	Alto Anchicayá	365
Rio Dagua	Farallones de Cali	Valle del Cauca	EPSA	Bajo Anchicayá	74
Medio Sinú	Paramillo	Cordoba	URRA S.A E.S.P	Urrá I	338
Rio La Miel	Selva de Florencia	Antioquia	ISAGEN S.A	La Miel	396

SUBZONA HIDROGRÁFICA	PNN	DEPARTAMENTO	EMPRESA	CENTRAL HIDROELÉCTRICA	CAPACIDAD EFECTIVA NETA (MW)
Rio Yaguará Rio Iquira	Nevado del Huila Puracé	Huila	CHB	Betania	540
Ríos Directos al Magdalena	Alto Fragua Guacharos Puracé Churumbelos	Huila	EMGESA	El Quimbo	400
Rio Guavio	Chingaza	Cundinamarca	EMGESA	Guavio	1,250
Rio Bogotá	Chingaza Sumapaz	Cundinamarca	EMGESA	Cadena Hidroeléctrica del Rio Bogotá – Embalse del muña	1,150
Rio Cauca	Munchique Puracé	Cauca	EPSA	La Salvajina	285
Chivor	Chingaza	Cundinamarca	Chivor	Chivor	1,000
SUBTOTAL DE EMPRESAS EN OPERACIÓN TOTAL					5,798
PROYECTOS RECIENTES					
Rio Chicamocha	Yariguies Iguaque Guanenta Pisba Cocuy	Santander	ISAGEN	*Hidrosogamoso	820
Rio Cauca	Paramillo	Antioquia	EPM	*Hidroituango	2,400
SUBTOTAL DE EMPRESAS EN RECIENTE OPERACIÓN O PRÓXIMAS A OPERAR					3,220
CAPACIDAD EFECTIVA NETA (MW)					9,018

Fuente: Adaptado de (Pinilla, 2019). *La hidroeléctrica de Hidrosogamoso entró recientemente al mercado energético. Por su parte, para Hidroituango se presenta la proyección de provisión de agua para cuando esté en funcionamiento.

Así mismo, se presenta en las Tabla 5-3 y Tabla 5-4, el aporte de los PNN en recurso hídrico a las Pequeñas Centrales Eléctricas, conforme con la información presentada en (Pinilla 2019).

Tabla 5-3. Pequeñas centrales eléctricas beneficiarias del recurso hídrico de PNN

SUBZONA HIDROGRÁFICA	PNN	DEPARTAMENTO	EMPRESA	CENTRAL HIDROELÉCTRICA	CAPACIDAD EFECTIVA NETA (MW)
Rio Chinchiná	Los Nevados	Caldas	CHEC	La Esmeralda	30
Rio Chinchiná	Los Nevados	Caldas	CHEC	La Ínsula	19
Rio Chinchiná	Los Nevados	Caldas	CHEC	San Francisco	135
Alto Rio Cauca	Puracé	Cauca	CEDELCA	Florida	20
Embalse del Guavio	Chingaza	Cundinamarca	EMGESA	Charquito	19.5
Embalse del Guavio	Chingaza	Cundinamarca	EMGESA	La Junca	19.4
Embalse del Guavio	Chingaza	Cundinamarca	EMGESA	El Limonar	18
Directos al Rio Cauca	Farallones de Cali	Valle del Cauca	EPSA	Rio Cali	1.8
Rio Amaime	Las Hermosas	Valle del Cauca	EPSA	Nima I	4.7
Rio Amaime	Las Hermosas	Valle del Cauca	EPSA	Nima II	4.7
Rio Amaime	Las Hermosas	Valle del Cauca	EPSA	Amaime	18.6
Alto Rio Cauca	Puracé	Valle del Cauca	Electricidad de Tuluá	Rio Frio	11
Tolima	Las Hermosas	Tolima	Generadora de los Andes S.A.	Rio Ambeima	45
Rio Yaguara	Nevado del Huila	Huila	EECundinamarca	Rio Negro	10
	Doña Juana	Nariño	Centrales Eléctricas Nariño E.S.P.	Rio Mayo	20
TOTAL					259

Fuente: Adaptado de (Pinilla, 2019)

Tabla 5-4. Centrales eléctricas beneficiarias del recurso hídrico de PNN

SUBZONA HIDROGRÁFICA	PNN	DEPARTAMENTO	EMPRESA	CENTRAL HIDROELÉCTRICA	CAPACIDAD EFECTIVA NETA (MW)
Rio Cauca	Puracé	Cauca	CCG Energy	Patico – La Cabrera	1.48
	Doña Juana – Churumbelos	Cauca	Centrales Eléctricas Nariño	Rio Bobo	4
	Galeras	Nariño	Centrales eléctricas Nariño	Julio Bravo	1.5
	Las Hermosas	Valle del Cauca	Tuluá E.S.P.	Rumor	2.5
	Nevado del Huila	Huila	Huila E.S.P.	Iquira I	4.32
	Nevado del Huila	Huila	Huila E.S.P.	Iquira II	5.4
	Nevados	Risaralda	Pereira E.S.P.	Belmonte	3.4
	Nevados	Risaralda	Pereira E.S.P.	Nuevo Libare	5.1
	Las Hermosas	Valle del Cauca	Pacifico E.S.P.	Bajo Tuluá	19.9
	Las Hermosas	Valle del Cauca	Pacifico E.S.P.	Alto Tuluá	19.9
	Puracé	Cauca	Empresa Municipal de Energía Eléctrica	Coconuco	4.5
	Nevados	Caldas	Empresas Públicas de Medellín	Intermedia	0.96
	Nevados	Caldas	Empresas Públicas de Medellín	San Cancio	2
	Nevados	Caldas	Empresas Públicas de Medellín	Municipal	1.4
	Nevados	Caldas	Empresas Públicas de Medellín	Ínsula	19
	Guanenta	Santander	Vatia S.A E.S.P.	Palmas San Gil	15
	Nevados	Tolima	Energética S.A E.S.P.	Coello	1.2
	Selva de Florencia	Caldas	Generadora Colombiana de Electricidad	San José	0.38

SUBZONA HIDROGRÁFICA	PNN	DEPARTAMENTO	EMPRESA	CENTRAL HIDROELÉCTRICA	CAPACIDAD EFECTIVA NETA (MW)
	Orquídeas	Antioquia	Genercomercial S.A.S E.S.P.	Urrao	1.03
	Chingaza	Cundinamarca	IAC Energy	La Naveta	4.8
	Nevados	Tolima	Vatia S.A E.S.P.	Mirolindo	3.75
	Nevados	Tolima	Vatia S.A E.S.P.	Ventana A	2.5
	Nevados	Tolima	Vatia S.A E.S.P.	Ventana B	2.5
	Nevados	Tolima	Vatia S.A E.S.P.	Rio Recio	0.3
	Nevados	Tolima	Vatia S.A E.S.P.	Pastizales	0.7
TOTAL, CAPACIDAD EFECTIVA NETA (MW)					40

Fuente: Adaptado de (Pinilla, 2019)

Las áreas protegidas del Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia aportan al año 5,372.0 millones de metros cúbicos (Mm³/año), para generar aproximadamente 6,618 MW en las grandes centrales hidroeléctricas y 299 MW en las pequeñas centrales hidroeléctricas. Se calcula que cerca del 59% de la energía que se produce en el país proviene de las áreas protegidas del SPNN, siendo las más representativas el PNN Serranía de los Yariguies, PNN Chingaza y PNN Paramillo. Este sector tiene una representación del 28.3% del total de la demanda hídrica en PNN (Pinilla, 2019).

6 RESULTADOS VALORACIÓN ECONÓMICA

6.1 Valoración Económica de La Provisión de Agua para el sector agrícola aplicada a Cuencas Priorizadas- Magdalena Cauca

A partir de la priorización de la Macrocuenca Magdalena Cauca, por la adicionalidad en recurso hídrico que se abordó anteriormente, se realizó la valoración económica del servicio ecosistémico de provisión de agua para el sector agrícola focalizado en el área hidrográfica del Magdalena Cauca, en la cual se priorizaron 42 cuencas hidrográficas, 21 de las cuales contaban con presencia de Parques Nacionales Naturales y 21 sin presencia de áreas protegidas. La priorización de estas cuencas se realizó considerando que estuvieran en áreas protegidas del SPNN y que estuvieran en zonas ó áreas cercanas de Páramo. De igual manera, se buscó que las demás cuencas fueran aquellas cercanas a las cuencas protegidas, pero que no contaran con ninguna figura de protección del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP).

6.1.1. Oferta hídrica en cuencas priorizadas- Área Hidrográfica Magdalena Cauca:

Como variables indicadoras de oferta hídrica para las cuencas objeto de estudio, se tuvo en cuenta el promedio de escorrentía en mm y el caudal de las cuencas en m³/s, las cuales se calcularon a partir de las estadísticas zonales obtenidas de la capa raster de rendimiento hídrico superficial del ENA 2018, cuyo procesamiento se llevó a cabo a través del Software Arcgis Desktop 10.5 y se obtuvo la siguiente información:

Tabla 6-1. Oferta hídrica en cuencas con influencia de PNN

Número	Cuenca	Promedio de escorrentía en (mm)
1	Acequia Pantanito	440
2	Arroyo Caraballo	461.72
3	Ay. Tawaya	110.76
4	Caño Camoa	2,021.25
5	Guayuriba (Río Manzanares)	2,950.2
6	Parte Alta Río La Miel	2,506.66
7	Quebrada Salazar	682
8	Río Ariguani	301.58
9	Río Arroyo Hondo	296.33
10	Río Cabuyarito	2,109.85
11	Río Callao	202.28
12	Río Cáqueza	506.18
13	Río Catarina	1,049.14
14	Río Fraile	802.55
15	Río Guarinó	1,439.37
16	Río Los Hoyos	1,882.5
17	Río Marilopez	1,301.6
18	Río Muchindote	1,100.25
19	Río Palmar	471.75
20	Río Perrillo	1,144.8

Número	Cuenca	Promedio de escorrentía en (mm)
21	Río Tarra	550.3

Fuente: elaboración propia con base en capa de rendimiento hídrico ENA 2018

Tabla 6-2. Oferta hídrica cuencas sin influencia de PNN

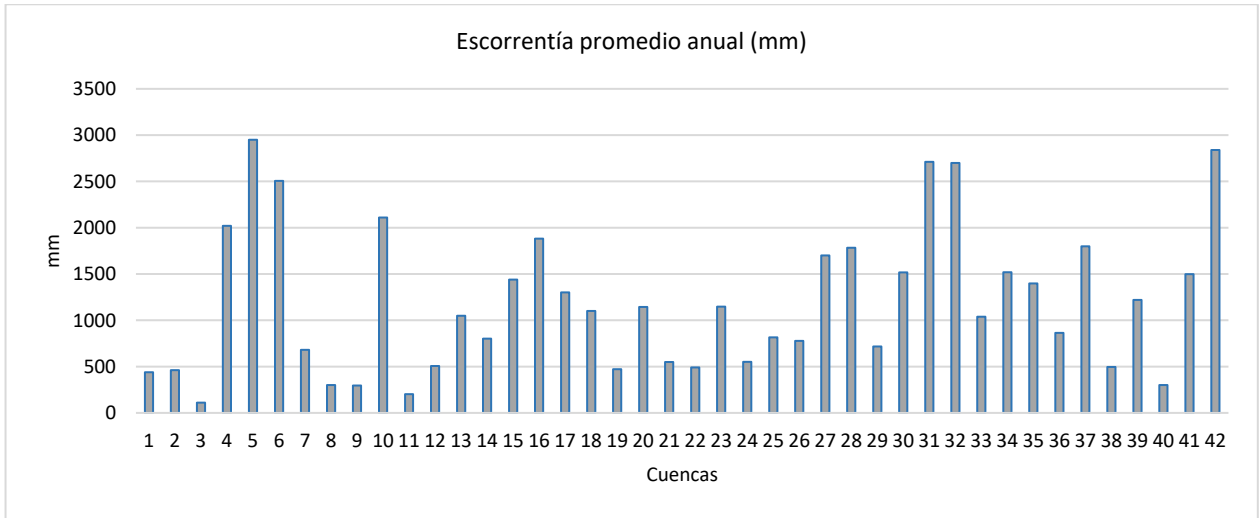
Número	Cuenca	Promedio de escorrentía en (mm)
22	Río Algodonal	491.76
23	Río Azufrado	1,147.28
24	Río Blanco	551.3
25	Río Bolo	815.75
26	Río Cali	777.4
27	Río Cañaveral	1,700.5
28	Río Frío	1,782.83
29	Río Fundación	718.25
30	Río Gualí	1,517.92
31	Río Guatiquía (mi) entre Quebrada Escandalosa y Caño El Caibe	2,711.35
32	Río Guavio (md) entre Quebrada Las Mercedes y Río Amarillo	2,699.47
33	Río Lagunilla	1,038.14
34	Río María	1,519.25
35	Río Miraflores	1,399.16
36	Río Negro	863.5
37	Río Negro (mi) entre Quebradas Negra y Perdices	1,799.88
38	Río Nima y otros directos al Río Amaime (mi)	497.06
39	Río Pance	1,220
40	Río Ranchería	300.34

41	Río Sevilla	1,498.92
42	Ríos Guamal	2,838.94

Fuente: elaboración propia con base en capa de rendimiento hídrico ENA 2018

Conforme con lo anterior, se presenta en el Gráfico 6-1 la escorrentía promedio para las cuencas analizadas.

Gráfico 6-1. Esorrentía en cuencas priorizadas



Fuente: Autores

En la anterior gráfica se puede evidenciar como la escorrentía en cuencas con influencia de Parques Nacionales Naturales (a partir de la cuenca 21) es generalmente superior que en cuencas sin influencia de PNN. Al calcular el promedio se obtiene que, para las cuencas con influencia de área protegida el promedio de escorrentía es 20% mayor que en áreas sin influencia de Parques Nacionales Naturales.

6.1.2. Demanda hídrica del sector agrícola en cuencas priorizadas- área hidrográfica Magdalena Cauca

Para calcular la demanda hídrica de las cuencas objeto de análisis, se tuvo en cuenta el cultivo principal en cada una de las cuencas a partir del Censo Nacional Agropecuario (2014) y el coeficiente de uso del cultivo (kc) para coberturas de cultivos presentado en (IDEAM, 2019).

Tabla 6-3. Cultivos en cuencas priorizadas con influencia de PNN

Cuenca	Tipo de cultivo	Hectáreas cosechadas (Ha)	Demanda hídrica (m ³ /Ha/año)
Río Algodonal	Maíz amarillo	1,758.87	17,085.13
Río Azufrado	plátano	3,237.46	13,544.3
Río Blanco	papas	842.53	11,593.04
Río Bolo	Caña de azúcar	2,6427.90	16,831.5
Río Cali	Borojo	899.84	1,4042.6
Río Cañaveral	Café castilla	1,299.36	10,846.34
Río Frío	Banano tipo exportación	8,109.48	17,553.91
Río Fundación	Palma africana	9,024.28	16,386.57
Río Gualí	plátano	7,638.27	15,889.5
Río Guatiquía (mi) entre Quebrada Escandalosa y Caño El Caibe	Palma africana	5,539.87	12,339.54
Río Guavio (md) entre Quebrada Las Mercedes y Río Amarillo	Yuca	1,658.09	14,836.03
Río Lagunilla	Plátano	1,295.76	14,680.16
Río María	Café caturra	408.21	10,856.03
Río Miraflores	Caña panelera	508.50	14,839.5
Río Negro	Ahuyama	37.10	10,685.3
Río Negro (mi) entre Quebradas Negra y Perdices	café castilla	86.46	11,126.59
Río Nima y otros directos al Río Amaime (mi)	Caña de azúcar	34,848.88	16,881.63
Río Pance	Arroz verde	1,467.06	17,999.88
Río Ranchería	Plátano	3,002.61	20,007.79
Río Sevilla	Palma africana	7,315.44	13,920.57
Ríos Guamal	Palma africana	42,940.24	12,409.02

Fuente: Autores con base en Censo Nacional Agropecuario (2014) e (IDEAM, 2019)

Tabla 6-4. Cultivos en cuencas sin influencia de PNN

Cuenca	Tipo de cultivo	Hectáreas cosechadas (Ha)	Demanda hídrica (m3/Ha/año)
Acequia Pantanito	Caña de azúcar	15,839.69	22345.38
Arroyo Caraballo	Yuca	1,726.33	1,8381.11
Ay. Tawayá	Maíz blanco	3,758.23	22,228.75
Caño Camoa	Palma Africana	12,810.35	12,669.84
Guayuriba (Río Manzanares)	Palma africana	8,201.81	11,176.74
Parte Alta Río La Miel	café castilla	1,148.50	11,777.25
Quebrada Salazar	Caña de azúcar	187.55	16,514.88
Río Ariguaní	Palma africana	11,828.758	9
Río Arroyo Hondo	Naranja	48.779	15,621.84
Río Cabuyarito	Palma africana	20,649.112	9
Río Callao	plátano	2,088.928	21,337.91
Río Cáqueza	papas	22,822.725	10,898.67
Río Catarina	borojó	3,946.066	13,211.9
Río Fraile	Caña de azúcar	39,133.603	17,654.63
Río Guarínó	plátano	2,095.23	13,381.61
Río Los Hoyos	Palma africana	961.75	9
Río Marilopez	Café Típica - Pajarito- Nacional-Arabigo	1,608.69	12,409
Río Muchindote	Maíz amarillo	234.904	14,419
Río Palmar	papas	793.811	10,427.17
Río Perrillo	Maíz amarillo	1,863.294	15,206.38
Río Tarra	Maíz amarillo	1,666.76	16,711.02

Fuente: Autores con base en (DANE, 2014) e (IDEAM, 2019)

6.1.3. Desarrollo del modelo econométrico para cuencas priorizadas

Para estudiar la importancia de las áreas protegidas y sus servicios ecosistémicos hidrológicos en la productividad de áreas aledañas, se realizó un análisis comparativo entre cuencas que tienen influencia de Parques Nacionales Naturales y cuencas que no tienen influencias de dichas áreas protegidas, para evidenciar cómo varía la productividad en función del agua que proveen las áreas protegidas. En este sentido, se construyó un modelo econométrico, el cual tiene como objetivo establecer la relación entre variables asociadas con la oferta hídrica y la productividad agrícola. A continuación, se presentan las variables analizadas:

- Tipo de cultivos
- Productividad (Ton/año)
- Hectáreas cosechadas
- Demanda hídrica de cultivos (m³/Ha/año)
- Índice de aridez
- Rendimiento de cultivos (Ton/Ha)
- Promedio de escorrentía en mm (variable indicadora de Oferta hídrica)
- Caudal m³/s de la cuenca (variable indicadora de Oferta hídrica)
- Área de la cuenca (Ha)
- Porcentaje de bosques en la cuenca
- Caudal m³/s atribuido a bosques

En este sentido, la productividad se convierte en la variable dependiente del modelo, con el fin de identificar como las variables biofísicas, especialmente las relacionadas con la oferta hídrica que aportan las áreas protegidas, están incidiendo en la productividad de las cuencas. Bajo el supuesto de que las áreas protegidas otorgan condiciones biofísicas favorables para la productividad de las cuencas se espera que, en cuencas con presencia de Parques Nacionales Naturales (PNN) la productividad sea mayor que en cuencas sin influencia de PNN, para ello se tomó el conjunto de cultivos, de acuerdo con el Censo Nacional Agropecuario (2014) en cada cuenca y posteriormente se identificó el cultivo promedio presente en todas las cuencas objeto de estudio que representara un mejor modelo respecto a la influencia de las variables biofísicas aportadas por los PNN, este cultivo fue la Yuca y los resultados se muestran en apartados posteriores.

El modelo planteado se estructuró a partir de la aplicación del método de mínimos cuadrados, bajo el supuesto de que las variables seleccionadas pretenden estimar el nivel de productividad de las cuencas y que las variables de promedio de escorrentía, caudal e índice de aridez son variables que se asocian con la riqueza hídrica presente en zonas conservadas que, podría potencializar la productividad agrícola en cuencas aledañas. Este modelo contiene datos de corte transversal ya que se recogen en un momento determinado del tiempo. Se estructuraron los siguientes supuestos:

- Supuesto 1: la escorrentía, representada en mm de agua, es mayor en cuencas con influencia de Parques Nacionales Naturales que en cuencas sin influencia de PNN. De acuerdo con los datos recopilados, se puede evidenciar como la escorrentía en cuencas con influencia de Parques Nacionales Naturales es, generalmente, superior que en cuencas sin influencia de PNN. Al calcular el promedio de escorrentía se obtiene que, para las cuencas con influencia de área protegida el promedio de escorrentía es 20% mayor que en áreas sin influencia de Parques Nacionales Naturales.

- Supuesto 2: La productividad de las cuencas con influencia de Parques Nacionales Naturales es mayor que en las cuencas sin influencia de estas áreas protegidas.

Gráfico 6-2. Productividad agrícola en cuencas priorizadas



Fuente: Autores

Como se puede observar en la anterior gráfica y al realizar la sumatoria de toneladas producidas de diferentes cultivos se tiene que, las cuencas con influencias de Parques Nacionales Naturales son 20% más productivas que las que no tienen influencia de estas áreas protegidas. Teniendo en cuenta que las variables de escorrentía, caudal e índice de aridez son variables que se relacionan con la oferta hídrica que presentan las cuencas y, la influencia por áreas conservadas como Parques Nacionales Naturales podría estar determinando dicha oferta hídrica, se integran estas variables como determinantes ambientales en el modelo econométrico. La estimación del modelo se realizó a partir de una regresión de mínimos cuadrados en dos etapas, con el fin de calcular los coeficientes que acompañan las variables independientes del modelo y su relación con la variable dependiente. Para ello se utilizó el programa estadístico SPSS 19.0. A continuación se presenta la ecuación general del modelo:

Productividad (cuenca)

$$= a + \beta_{\text{cose}} + \beta_{\text{DemH2O}} + \beta_{\text{Índice Aridez}} + \beta_{\text{Rend}} + \beta_{\text{Esco}} + \beta_{\text{Caud}} + \beta_{\text{Cuenca}} + \beta_{\text{Bosq}} + \beta_{\text{CaudBosq}} + E$$

Donde,

- Productividad: Tonelada/ año de cultivo seleccionado
- Cose: Hectáreas cosechadas de cultivo seleccionado
- Índice de Aridez: Indicador de la disponibilidad de agua de una zona. Valores cercanos a 0 representan una mejor disponibilidad de agua, mientras que valores cercanos a 1 reflejan una condición deficitaria de agua.

- Rend: Rendimiento de cultivo seleccionado equivalente a las Toneladas de cultivo seleccionado por hectárea.
- Esco: Escorrentía promedio mensual en mm/año obtenida a partir de la capa de rendimiento hídrico del Estudio Nacional del Agua 2018.
- Caud: Caudal medio multianual, considerada como la cantidad de agua medida en m3/s considerando el área de la cuenca y la escorrentía promedio.
- Bosq: Porcentaje de bosque en la cuenca.
- Caudal bosque: caudal en m3/s anual considerando el área de bosques en la cuenca. Es decir, la cantidad de agua que aportan los bosques por escorrentía superficial.

El modelo econométrico arroja unos β que son los coeficientes de cada variable y el termino E representa la perturbación aleatoria, la cual se distribuye normalmente de acuerdo con lo establecido por el modelo de regresión y representa el intercepto de la recta. En la Tabla 6-5 se presentan los resultados del modelo.

Tabla 6-5. Resumen modelo econométrico

Coeficiente	Valor
R múltiple	0.937
R cuadrado	0.878
R cuadrado corregido	0.844
Error típico de la estimación	36620.51

Fuente: Elaboración propia con base en salida de programa SPSS

El R cuadrado es el coeficiente de determinación que representa el grado en que las variables independientes logran explicar la variable dependiente. En este modelo indica que el 88% de la variación de la productividad de las cuencas está explicada por las variables introducidas en el modelo. El R cuadrado corregido es sustancialmente más bajo puesto que es un ajuste del modelo y refleja la confiabilidad del mismo, no obstante, sigue siendo significativo para el modelo (84%). De acuerdo con el valor de R múltiple existe un alto grado de correlación entre las variables independientes y la variable dependiente.

6.1.1.1 Ecuación del modelo econométrico

Produc (cuenca)

$$= -170279,814 + 0,865cose + 0,246DemaH2O + 0,101IA + 0,37Rend + 0,411Esco - 0,167Caud + 0,216Cuenca + 0,49Bosq - 0,459CaudBosq$$

Los resultados del modelo señalan que 5 de las variables del modelo son significativas al 95% y tan solo el índice de aridez, el caudal de la cuenca y los bosques en la misma, no son significativas. Sin embargo, se rescata para estas tres últimas variables la dirección en la que se relacionan con la productividad de la cuenca, es decir, el caudal tanto del total de la cuenca como el atribuible a los bosques cuenta con signo negativo que indica dirección inversa, es decir, a medida que aumentan los caudales disminuye la productividad de la cuenca. Por el contrario, la variable de porcentajes de bosques en las cuencas tiene una dirección directa (signo positivo) que indica que, a medida que aumentan los bosques en la cuenca aumenta la productividad de las mismas.

En este orden de ideas se tiene que, si bien este es un modelo econométrico favorable en el que los factores ambientales que provienen de áreas protegidas influyen en la productividad, también es un indicativo de que las coberturas boscosas y sus servicios ecosistémicos deberán evaluarse con mayor profundidad. No obstante, la variable que está determinando la productividad en función de los servicios que prestan las áreas protegidas es la escorrentía, que muestra no solo que es una variable significativa, sino que tiene una relación directa con la productividad, es decir, a mayor escorrentía mayor productividad.

El anterior modelo arrojó coeficientes de determinación aceptable para la mayoría de las variables, lo cual indica que las variables independientes explican la productividad de las cuencas. Las variables que se eligieron para representar la oferta hídrica que se atribuye a las áreas conservadas fueron escorrentía y caudal, tanto de la cuenca como las coberturas boscosas. No obstante, es la escorrentía la que señala la importancia del agua que proviene de áreas protegidas para la productividad de las cuencas.

No es muy clara la relación estadística con la oferta hídrica que se atribuye a las áreas conservadas, la cual estaría asociada solamente con la escorrentía. Por tanto, se realizaron pruebas estadísticas para los cultivos más representativos de las cuencas objeto de estudio con el fin de encontrar, en un conjunto de datos más homogéneos, la importancia de la oferta hídrica de los Parques Nacionales Naturales para la producción de determinados cultivos e identificar el tipo de cultivo que más se beneficia de la oferta hídrica que presta un Parque Nacional Natural.

Teniendo en cuenta lo anterior, se realizaron múltiples pruebas estadísticas a diferentes cultivos y se encuentra que el cultivo de yuca representa el mejor modelo estadístico que refleja la relación entre la oferta hídrica que proviene de las áreas protegidas y la productividad agrícola de las cuencas. Por tanto, a continuación, se presenta el modelo econométrico para la producción de yuca en las cuencas objeto de estudio:

6.1.1.2 Estimación del beneficio económico: Función de producción en cuencas priorizadas

Para determinar el valor económico y la importancia del recurso hídrico como insumo en la productividad agrícola de las cuencas objeto de estudio, especialmente para los cultivos representativos, se recopiló no solo la información de los cultivos en las zonas objeto de estudio teniendo en cuenta el censo agrícola del 2014, sino que también se recopiló la información de la oferta hídrica de las zonas con influencia de Parques Nacionales Naturales y sin influencia de los mismos.

La estimación del valor presente neto de la producción está dada por:

$$VPN = \sum \frac{(Pt \text{ cultivo} Y_i - C)}{(1 + r)^t}$$

Donde P_t cultivo es el precio de mercado de una tonelada del respectivo producto, Y_i es la producción anual en toneladas de la cuenca i del área de influencia, C los costos de producción anuales, t el horizonte de tiempo y r la tasa de descuento.

De acuerdo con (Reyes, 2014) es necesario estimar la proporción de agua atribuida a las áreas de conservación, denominada β . Para ello se realiza una comparación de la oferta hídrica superficial de las cuencas hidrográficas con influencia de Parques Nacionales Naturales y de las cuencas sin influencia de áreas protegidas, el porcentaje hídrico adicional presentado en las cuencas con influencia de áreas protegidas será el valor del β . De esta manera, el valor presente neto será calculado teniendo en cuenta la proporción de agua que es insumo productivo en la agricultura y que proviene de áreas protegidas, tal y como se muestra a continuación

$$VPN_{Cultivo_{SPNN}} = (VPN_{cultivo\ i})_{\beta}$$

Es así como, según la información recopilada, el promedio de escorrentía en mm para las cuencas sin influencia de Parques Nacionales Naturales es de 1063,3842 mm y para las cuencas con área de influencia de Parques Nacionales Naturales es de 1328,0476 mm. Por tanto, el valor de $\beta = 0,1106$ este valor corresponde a la porción de agua que se podría atribuir a las áreas conservadas de acuerdo con la adicionalidad hídrica que prestan en la oferta hídrica.

Para realizar la valoración económica se tiene en cuenta uno de los cultivos más representativo de las cuencas que tienen influencia de Parques Nacionales Naturales, el cultivo de Yuca, para la cual se estimará el beneficio económico. En la Tabla 6-6 se presentan los parámetros del modelo.

Tabla 6-6. Variables del modelo

Parámetro	Valor	Fuente de información
Precio (P_t Yuca) por tonelada de yuca, pagada al productor.	\$1,284,000	Sistema de información de precios y abastecimiento del sector agropecuario-SIPSA- DANE
Costo por tonelada (C) de Yuca.	\$470,554	Evaluación municipal de costos de producción por hectárea- Ministerio de agricultura y desarrollo rural
Producción anual de yuca en toneladas (Y)	184,402	Censo agrícola DANE
β	0.1106	Proporción de agua atribuida a las áreas conservadas, a partir de la diferencia entre la escorrentía en cuencas con presencia de PNN y sin presencia de PNN.
Tasa de descuento	5%	(Reyes, 2014)
T (años de vida útil)	100	(Reyes, 2014)

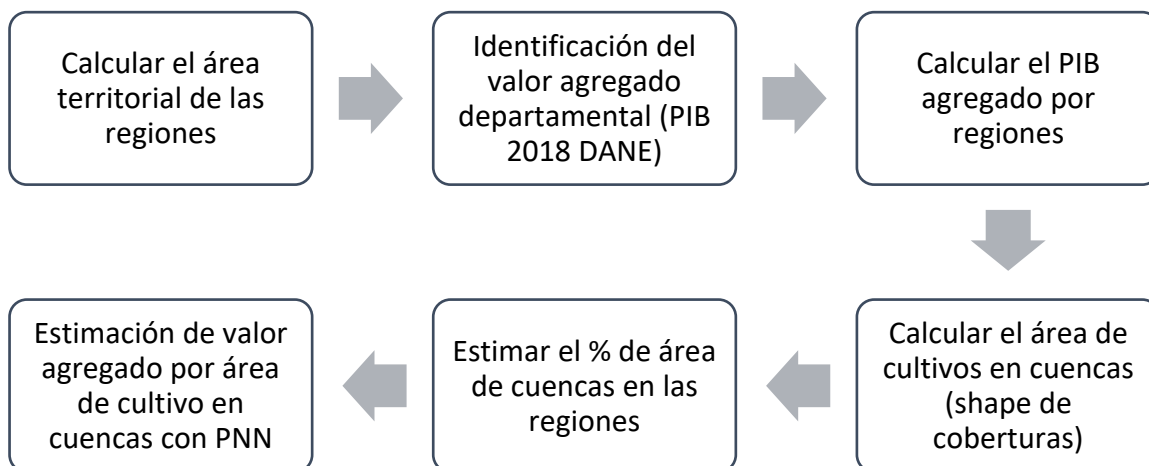
Fuente: Autores

Teniendo en cuenta los anteriores datos se obtiene que, de manera aproximada, los beneficios netos al año por el cultivo de yuca son de COP\$1,140,681,631, de los cuales se atribuye a las áreas protegidas COP\$126,159,388, debido a la adicionalidad hídrica que ofertan y que sirve de insumo a la producción de Yuca. De esta manera se puede deducir que, los productores se benefician de las cuencas con área de influencia de Parques Nacionales Naturales, debido al aporte de agua adicional que presentan las coberturas bajo conservación.

6.2 Valoración económica a nivel nacional - provisión de agua al sector agrícola: aporte al PIB nacional

Teniendo en cuenta que, encontrar una función de producción que integre los diferentes cultivos para todas las 597 cuencas que tienen influencia de Parques Nacionales Naturales, es un proceso largo y dispendioso, la valoración económica para todas las cuencas a nivel nacional se realiza teniendo en cuenta el aporte de las coberturas de cultivos dedicados a actividad agrícola en cada una de las 597 cuencas al PIB regional. Para ello se abordaron los pasos presentados en el Gráfico 6-3.

Gráfico 6-3. Proceso metodológico para la estimación del beneficio económico del agua de los PNN a nivel nacional



Fuente: Autores

Conforme con lo anterior, se presentan en la Tabla 6-7 los resultados del aporte del recurso hídrico de los PNN al PIB por región geográfica.

Tabla 6-7. PIB atribuible a las cuencas con influencia de áreas protegidas del SPNN

REGIONES	ÁREA TERRITORIAL (Ha)	PIB 2018 (precios corrientes miles de millones de pesos)	ÁREA DE CULTIVOS EN CUENCA (Ha)	% CUENCAS EN REGIONES	PIB CUENCAS (precios corrientes miles de millones de pesos)
Amazonía	45,792,550.1	9,442.79	61,534.2	0.0013	\$ 12.68
Andina	29,173,736.33	57,708.08	1,227,717	0.0420	\$ 2,428.52
Caribe	15,441,613.12	38,745.08	405,461.66	0.0262	\$ 1,017.35
Orinoquia	16,828,898.18	16,415.01	261,667.61	0.0155	\$ 255.23
Pacífica	6,699,539.89	18,710.25	373,570.7	0.0557	\$ 1,043.29
TOTAL					\$ 4,757.10

Fuente: Autores con base en Leyenda Nacional de Coberturas Corine Land Cover 2010 -2012 y el Sistema de Cuentas Nacionales Departamentales del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE)

Los resultados permiten señalar que, en términos económicos, las cuencas con influencia de PNN aportan al PIB nacional cerca de \$4.76 billones de pesos colombianos para el 2018 que pueden atribuirse a las áreas de conservación. Por su parte, en la región andina, donde se encuentra la mayor área de cuencas con influencia de PNN y, por tanto, un mayor aporte al PIB agrícola: se presenta un aporte del 51% del PIB que puede ser atribuido al recurso hídrico de las áreas protegidas.

6.3 Valoración económica del servicio ecosistémico de control de erosión en el Área Hidrográfica Magdalena Cauca

La modelación del servicio ecosistémico de control de erosión en las cuencas priorizadas del área hidrográfica Magdalena Cauca arrojó dos resultados importantes, el primero la cantidad de sedimentos retenidos que corresponde a la diferencia entre la pérdida de suelo que se tendría en condiciones de suelo desnudo en comparación con la pérdida de suelo en las condiciones actuales de uso y cobertura del suelo. Por otra parte, se presenta la cantidad de suelo exportado bajo las condiciones de cobertura del suelo y precipitación en la cuenca. Con estas consideraciones para cada cuenca, se presentan en la Tabla 6-8 los resultados de la simulación para cada una de ellas.

Tabla 6-8. Sedimentos retenidos y exportados en cuencas priorizadas

Cuenca	Área protegida relacionada	Sedimentos Retenidos (Tn/Ha)	Sedimentos exportados (Tn/Ha)
Río Teusacá	PNN Chingaza	104.59	5.71
Río Suaza	PNN Cueva de Los Guacharos	665.18	10.73
Río Cali	PNN Farallones de Cali	822.73	20.80
Río Cañaveralejo	PNN Farallones de Cali	308.48	12.98
Río Claro	PNN Farallones de Cali	1,382.88	24.19
Río Jamundí	PNN Farallones de Cali	1,180.18	28.87
Río Jordán	PNN Farallones de Cali	890.48	30.10
Río Lili	PNN Farallones de Cali	149.05	6.25
Río Meléndez	PNN Farallones de Cali	631.81	10.35
Río Ovejas	PNN Farallones de Cali	737.46	27.75
Río Pance	PNN Farallones de Cali	1,266.26	15.58
Quebrada El Bosque	PNN Las Hermosas	2,265.99	22.24
Río Amaime	PNN Las Hermosas	1,660.74	51.41
Río Ambeima	PNN Las Hermosas	2,304.47	47.06

Cuenca	Área protegida relacionada	Sedimentos Retenidos (Tn/Ha)	Sedimentos exportados (Tn/Ha)
Río Amoyá	PNN Las Hermosas	1,397.39	24.56
Río Anamichú	PNN Las Hermosas	2,656.57	68.78
Río Bugalagrande	PNN Las Hermosas	1,219.99	64.55
Río Cofre	PNN Las Hermosas	1,649.91	111.86
Río Nima y otros directos al Río Amaine (mi)	PNN Las Hermosas	789.04	22.24
Río Tuluá	PNN Las Hermosas	1,472.20	69.37
Quebrada El Neme	PNN Los Nevados	994.90	63.36
Quebrada La Bella y otros directos al Río Otún (mi)	PNN Los Nevados	218.42	13.29
Quebrada Las Dantas	PNN Los Nevados	794.44	46.44
Río Azufrado	PNN Los Nevados	1,540.55	79.41
Río Barbo	PNN Los Nevados	984.72	1.55
Río Campo Alegre	PNN Los Nevados	650.82	27.61
Río Chinchiná	PNN Los Nevados	698.28	28.89
Río Coello (mi) entre Quebradas Palmira y Chagualá	PNN Los Nevados	1,335.53	34.44
Río Gualí	PNN Los Nevados	1,650.15	78.90
Río La Vieja (md) entre Quebrada de Cristales y desembocadura al Río Cauca	PNN Los Nevados	94.14	4.07
Río Lagunilla	PNN Los Nevados	991.38	43.95
Río Otún (md) entre Río San Juan y desembocadura al Río Cauca	PNN Los Nevados	747.41	28.12
Río Quindío	PNN Los Nevados	1,053.56	38.33
Río Recio	PNN Los Nevados	920.32	37.46
Río San Luis	PNN Los Nevados	649.98	30.21
Río Otún	PNN Los Nevados y SFF Otún Quimbaya	660.14	3.56
Quebrada El Pescado	PNN Nevado del Huila	1,319.89	61.90
Quebrada San Gabriel	PNN Nevado del Huila	1,603.36	84.24
Río Ata	PNN Nevado del Huila	1,460.29	13.05

Cuenca	Área protegida relacionada	Sedimentos Retenidos (Tn/Ha)	Sedimentos exportados (Tn/Ha)
Río Ata (md) entre Quebradas Las Juntas y Agua Dulce	PNN Nevado del Huila	1,486.12	80.44
Río Baché	PNN Nevado del Huila	1,346.55	39.71
Río El Carmen	PNN Nevado del Huila	1,256.06	108.21
Río Guayabo	PNN Nevado del Huila	1,143.76	9.43
Río Iquira	PNN Nevado del Huila	1,472.92	91.73
Río Isabelilla	PNN Nevado del Huila	1,715.52	86.10
Río Negro de Narváez	PNN Nevado del Huila	1,378.56	40.14
Río Páez	PNN Nevado del Huila	1,264.16	36.02
Río Palo	PNN Nevado del Huila	1,566.08	97.60
Río Saldaña	PNN Nevado del Huila	1,582.62	28.59
Quebrada Peque	PNN Paramillo	4,805.89	187.57
Quebrada San Juan	PNN Paramillo	4,565.40	204.70
Río Ituango	PNN Paramillo	2,989.01	147.68
Río San Agustín	PNN Paramillo	2,706.76	19.76
Río San Jorge	PNN Paramillo	946.55	8.14
Río Ure	PNN Paramillo	379.93	16.87
Río Bordonos	PNN Puracé	610.62	9.37
Río Cauca	PNN Puracé	386.01	7.90
Río La Plata	PNN Puracé	610.65	26.11
Río Magdalena	PNN Puracé	730.26	8.01
Río Magdalena (mi) entre Quebrada El Mambe y desembocadura de Río Bordonos	PNN Puracé	249.62	18.79
Río Negro	PNN Puracé	663.18	36.83
Río Palacé	PNN Puracé	483.71	26.54
Río Vinagre	PNN Puracé	897.20	30.15
Río La Miel	PNN Selva de Florencia	1,231.33	65.24
Río Samaná	PNN Selva de Florencia	1,853.52	76.65
Río Guarapas	PNN Serranía de Los Churumbelos	527.84	13.80

Cuenca	Área protegida relacionada	Sedimentos Retenidos (Tn/Ha)	Sedimentos exportados (Tn/Ha)
Quebrada Aragua	PNN Serranía de Los Yariguies	2,282.80	18.25
Quebrada del Medio	PNN Serranía de Los Yariguies	1,391.59	68.61
Río Cascajales	PNN Serranía de Los Yariguies	1,192.44	13.42
Río Chucurí	PNN Serranía de Los Yariguies	1,338.93	32.71
Río Opón (md) entre Río Verde y Caño de la Rompida	PNN Serranía de Los Yariguies	201.91	5.10
Río Oponcito	PNN Serranía de Los Yariguies	1,129.04	41.52
Río Suárez (mi) entre Quebradas Guatoqueros y Totumaleña	PNN Serranía de Los Yariguies	1,543.45	84.59
Río Arcataca	PNN Sierra Nevada de Santa Marta	1,612.02	6.72
Río Badillo	PNN Sierra Nevada de Santa Marta	1,105.43	8.03
Río Cesar	PNN Sierra Nevada de Santa Marta	332.48	5.86
Río Frío	PNN Sierra Nevada de Santa Marta	2,589.58	37.67
Río Fundación	PNN Sierra Nevada de Santa Marta	767.62	10.35
Río Guatapurí	PNN Sierra Nevada de Santa Marta	2,234.04	8.51
Río Sevilla	PNN Sierra Nevada de Santa Marta	1,573.85	17.74
Río Bogotá (mi) entre desembocaduras de Ríos Teusaca y Calandaima	PNN Sumapaz	124.50	4.64
Río Cabrera	PNN Sumapaz	750.29	26.25
Río Cuja	PNN Sumapaz	258.13	10.18
Río Sumapaz	PNN Sumapaz	304.45	10.73
Quebrada Santa Elena	PNN Tatamá	1,855.50	59.55
Río Apia	PNN Tatamá	1,349.23	44.16
Río Cañaveral	PNN Tatamá	1,464.27	34.18
Río Catarina	PNN Tatamá	1,691.59	93.18
Río María	PNN Tatamá	1,820.89	46.86
Ciénaga Grande de Santa Marta	SFF Ciénaga Grande de Santa Marta	0.10	0.00
Complejo humedales Cga Grande de Santa Marta	SFF Ciénaga Grande de Santa Marta	0.16	0.00
Caño Correa	SFF El Corchal Mono Hernández	6.56	0.31

Cuenca	Área protegida relacionada	Sedimentos Retenidos (Tn/Ha)	Sedimentos exportados (Tn/Ha)
Caño Garrapatas y otros directos al Canal del Dique (mi)	SFF El Corchal Mono Hernández	0.25	0.00
Directos al Mar Caribe entre Caños Doña Luisa y Lequerica	SFF El Corchal Mono Hernández	1.42	0.06
Río Pienta	SFF Guanenta Alto Río Fonce	1,249.48	72.27
Río Suárez (md) entre Quebradas San Puno y La Molina	SFF Guanenta Alto Río Fonce	537.95	36.25
Río Moniquirá	SFF Iguaque	281.20	15.61
Río Ubazá	SFF Iguaque	413.78	9.24
Arroyo Grande	SFF Los Colorados	82.44	3.32
Promedio		1,133.94	37.79

Fuente: Autores con base en salida de programa InVEST

Los resultados señalan que, en promedio la retención de sedimentos de las cuencas asociadas con áreas protegidas es de 1,133.94 Toneladas/Hectárea, lo que quiere decir que, debido al efecto de las coberturas conservadas en las cuencas analizadas se evita la pérdida de esa cantidad de suelo por hectárea. Por otro lado, la exportación de sedimentos promedio asciende a 37.79 Toneladas por hectárea, lo cual de acuerdo con la clasificación de (FAO, 1980) citado por (Gaspari, Rodríguez Vagaría, Senisterra, Delgado, & Besteiro, 2013), corresponde a un nivel moderado de pérdida de suelo. Finalmente, la modelación de sedimentos exportados para todas las cuencas permite señalar que las áreas protegidas del SPNN en la Macrocuenca Magdalena Cauca evitan la exportación de cerca de 5,320 millones 994 mil toneladas de sedimentos anuales. Esta cifra fue convertida a m³ teniendo en cuenta el valor de densidad aparente del suelo asumido conforme el resultado de otros estudios de valoración desarrollados en PNN (

Tabla 3-3). En este sentido, a partir del valor asumido de densidad aparente del suelo (1.426 g/cc o Tn/m³) se convierte el valor de sedimentos exportados que inicialmente es de 5,320 millones 994 mil toneladas a m³, al dividir el valor en toneladas por la densidad aparente del suelo. De esta forma, se obtuvo un valor aproximado de 3,729 millones 684 mil m³/año.

6.1.4. Estimación del beneficio económico a partir del Ahorro en costos de remoción de sedimentos: Costos evitados

La valoración económica por el método de costos evitados se desarrolló considerando los posibles costos adicionales que se presentan para el tratamiento de agua ante el aumento de la pérdida de

suelo por erosión. En este sentido y a partir de la información de sedimentos retenidos se estima el valor económico del servicio ecosistémico de control de erosión al multiplicar la cantidad total de sedimentos retenidos por los costos de remover o tratar los sedimentos. De esta manera, la valoración se representa a partir de la ecuación:

$$\text{Costos evitados} = \text{Sedimentos retenidos} * \text{Costo de remoción de sedimentos}$$

Los costos evitados se estiman teniendo en cuenta los sedimentos retenidos por las coberturas protegidas presentes en los Parques Nacionales Naturales en las 99 cuencas priorizadas, así como los costos de remoción de dichos sedimentos. A partir de los resultados de la modelación se estima que las cuencas priorizadas retienen en promedio 1,133 Toneladas de sedimentos por hectárea. Con la cuantificación de los sedimentos retenidos por las coberturas conservadas en las cuencas se procede a estimar el costo promedio de remover los sedimentos en los cauces o embalses.

Se realizó un barrido de información secundaria para identificar los costos asociados al dragado hidráulico, dado que es una de las estrategias más utilizadas para la remoción de sedimentos en embalses de hidroeléctricas y sistemas de acueductos, como se nombró en capítulos anteriores, posteriormente se trasladó a Valor Presente Neto (2020) los costos de cada una de las estrategias identificadas y finalmente se obtuvo un promedio de costos de remoción, tal y como se muestra en la Tabla 6-9.

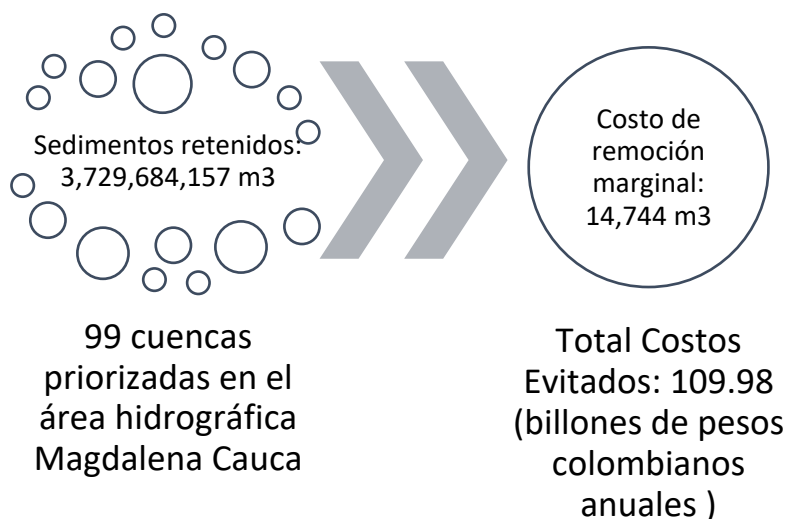
Tabla 6-9. Costos de referencia de dragados hidráulicos

ESTRATEGIAS Y/O ESTUDIOS DE REFERENCIA	Unidades	Valor (COP)	Año	TASA DE DESCUENTO	VPN 2020 (COP)
Dragado Hidráulico en Calamar	M3	\$ 9,351.00	2017	12%	\$13,137.48
Dragado Hidráulico Resto del Canal del Dique	M3	\$ 9,590.00	2017	12%	\$13,473.25
Dragado Hidráulico en Pasacaballos	M3	\$ 23,828.00	2017	12%	\$33,476.62
Dragado hidráulico y mecánico en el río Magdalena, sector comprendido entre Barrancabermeja (Santander) y Pinillos (Bolívar): DRAGADO CON DRAGA PARTICULAR	M3	\$ 13,115.00	2017	12%	\$18,425.63
Dragado hidráulico y mecánico en el río Magdalena, sector comprendido entre Barrancabermeja (Santander)	M3	\$ 8,108.00	2017	12%	\$11,391.15

ESTRATEGIAS Y/O ESTUDIOS DE REFERENCIA	Unidades	Valor (COP)	Año	TASA DE DESCUENTO	VPN 2020 (COP)
y Pinillos (Bolívar): DRAGADO CON DRAGA PROPIA					
Dragado hidráulico de corte y succión sector comprendido entre Barrancabermeja (Santander) y Pinillos (Bolívar).	m3	\$ 10,900.00	2017	12%	\$15,313.71
Draga Tipo Succión TSHD Shoreway	M3	\$ 1,618.94	2016	12%	\$2,547.43
Draga tipo Corte-Succión Orión	M3	\$ 4,338.45	2016	12%	\$6,826.63
Draga Succión Ecológica Eco-draga	M3	\$ 11,504.19	2016	12%	\$18,102.06
PROMEDIO DE COSTOS ASOCIADOS AL DRAGADO HIDRÁULICO DE SEDIMENTOS POR M3					\$ 14,744

Fuente: Autores con base en Cormagdalena (2017) y Roa & Parra (2016).

Gráfico 4- 5. Beneficios económicos de los PNN respecto la retención de sedimentos.



Fuente: Autores

A partir de los resultados se destaca que, el costo promedio a Valor Presente Neto de remover un metro cúbico de sedimentos por medio de la estrategia de dragado hidráulico asciende a \$14,744 COP. Teniendo en cuenta este valor, así como la estimación de sedimentos retenidos en las cuencas prioritizadas de 5,321 millones de toneladas anuales (3,729 millones 684 mil m³/año conforme con el supuesto de densidad aparente del suelo de 1.42 g/cc o Tn/m³), se estima que los costos que se están evitando en remover los sedimentos que finalmente están siendo retenidos por las coberturas conservadas en los Parques Nacionales Naturales presentes en la Macrocuenca Magdalena- Cauca ascienden a más de \$109 billones de pesos anuales.

Adicionalmente, se estimó el beneficio económico que generan las áreas protegidas con el servicio ecosistémico de retención de sedimentos, teniendo en cuenta que la vida útil de los sistemas de acueducto es de aproximadamente 20 años. De esta manera se tiene dos aproximaciones a saber i) beneficio económico representado en el valor presente neto que equivale a \$109 billones de pesos colombianos anuales y ii) una aproximación en término de las utilidades constantes para la vida útil de los sistemas de acueducto (20 años), que asciende a \$227.01 billones de pesos colombianos, que corresponde al valor futuro con interés compuesto a 20 años, con una tasa de interés de 3,69% que corresponde a la tasa de inflación promedio de Colombia entre los años 2017 y 2020.

6.4 Aporte económico del recurso hídrico de los PNN a los principales embalses: provisión de agua para la generación de energía.

A partir de la identificación del aporte de recurso hídrico a los principales embalses para la generación de energía hidroeléctrica se realizó la valoración económica teniendo en cuenta el costo promedio de 1 kWh de energía. Este valor se obtuvo de los reportes de valor de energía para el mes de septiembre de 2020 de la empresa XM, la cual se encarga de la gestión de sistemas de información del mercado de energía a nivel nacional. En este sentido se consideró un valor promedio del kWh de \$375.18, el cual se multiplicó por la cantidad de energía atribuible al recurso hídrico de los PNN, lo que finalmente arrojó el valor económico relacionado con la aproximación del beneficio económico de la provisión de agua de los PNN a algunos de los principales embalses del país para la generación de energía hidroeléctrica. Los resultados de esta estimación se pueden observar en la Tabla 6-10.

Tabla 6-10. Beneficio económico de los PNN a los principales embalses hidroeléctricos

Embalse/Proyecto	Parques Aportantes	Generación de energía total (kWh/año)	Generación de energía atribuible a los PNN (kWh/año)	Valor económico atribuible a los PNN (Miles de millones por año)
Represa Alto Anchicayá	<ul style="list-style-type: none"> • PNN Los Farallones de Cali 	2,065,900,000.00	2,065,900,000.00	\$ 775.09
Embalse Urra I	<ul style="list-style-type: none"> • PNN Paramillo 	1,806,750,000.00	1,511,004,294.92	\$ 566.90
Represa Anchicayá Bajo	<ul style="list-style-type: none"> • PNN Los Farallones de Cali 	340,467,088.45	274,603,663.90	\$ 103.03
Represa de Betania	<ul style="list-style-type: none"> • PNN Alto Fragua Indi Wasi • PNN Nevado del Huila • PNN Puracé • PNN Cueva de Los Guácharos • PNN Serranía de los Churumbelos 	872,350,000.00	115,044,421.14	\$ 43.16
Embalse del Quimbo	<ul style="list-style-type: none"> • PNN Alto Fragua Indi – Wasi • PNN Cueva de Los Guácharos • PNN Puracé • PNN Serranía de Los Churumbelos 	2,963,800,000.00	394,941,838.32	\$ 148.17
Embalse Miel 1	<ul style="list-style-type: none"> • PNN Selva de Florencia 	1,580,450,000.00	144,857,248.99	\$ 54.35

Embalse/Proyecto	Parques Aportantes	Generación de energía total (kWh/año)	Generación de energía atribuible a los PNN (kWh/año)	Valor económico atribuible a los PNN (Miles de millones por año)
Embalse del Guavio	<ul style="list-style-type: none"> ● PNN Chingaza 	5,336,300,000.00	380,561,371.66	\$ 142.78
Hidrosogamoso	<ul style="list-style-type: none"> ● PNN Serranía de Yariguies ● PNN El Cocuy ● SFF Guanentá Alto Río Fonce ● SFF Iguaque ● PNN Pisba 	8,059,200,000.00	309,739,849.30	\$ 116.21
Cadena Hidroeléctrica del río Bogotá - Embalse del Muña	<ul style="list-style-type: none"> ● PNN Chingaza ● PNN Sumapaz 	4,000,000,000.00	309,495,647.63	\$ 116.12
Embalse de La Salvajina	<ul style="list-style-type: none"> ● PNN Munchique ● PNN Puracé 	784,750,000.00	18,074,914.02	\$ 6.78
Embalse de Cameduadua - Central Esmeralda	<ul style="list-style-type: none"> ● PNN Los Nevados 	215,032,990.35	232,80,085.01	\$ 8.73
Total				\$ 2,081.32

Fuente: Este estudio con base en capa de rendimiento hídrico en ENA 2014.

Los resultados de esta aproximación indican que, el aporte promedio de PNN en los embalses analizados corresponde aproximadamente a dos billones ochenta y un mil trescientos dieciocho millones de pesos (COP \$ 2.0813 billones) anuales por el recurso hídrico que brindan las áreas protegidas en las cuencas donde se encuentran los embalses presentados en la Tabla 6-10. Beneficio económico de los PNN a los principales embalses hidroeléctricos. Si bien, estas cifras, como todas las relacionadas con los resultados de los ejercicios de valoración son una primera aproximación, reflejan un importante aporte de las áreas protegidas a la economía nacional tan solo por la provisión de recurso hídrico en la Macrocuenca Magdalena Cauca.

7 CONCLUSIONES

- La cobertura y uso del suelo son fundamentales al momento de calcular el servicio ecosistémico de las cuencas de las áreas protegidas, particularmente cuando se trata de escorrentía superficial, por lo cual es necesario considerar en los modelos estadísticos para este tipo de ejercicios variables que involucren datos más allá de la presencia o ausencia de áreas protegidas, teniendo en cuenta que con solo la figura de conservación no se garantiza la presencia de coberturas conservadas, que finalmente son las que representan las medidas de conservación de ecosistemas.
- Los bosques son fundamentales en la provisión de recurso hídrico en año medio y año seco y así mismo favorecen la adicionalidad en la generación de escorrentía superficial, lo cual es un elemento de gran importancia para soportar la necesidad de la conservación de las áreas protegidas y así mismo, un argumento para favorecer diferentes procesos que reduzcan las presiones por uso, ocupación y tenencia.
- Es importante analizar la adicionalidad en servicios ecosistémicos asociados al recurso hídrico a partir de series hidrológicas con información disponible a largo plazo y con la menor frecuencia posible, ya que el efecto de la regulación hídrica es más marcado cuando se analiza la estabilización de los picos de caudales, lo cual no se ve representado cuando se analiza la oferta hídrica a nivel anual.

De acuerdo con el estudio realizado en la Macrocuenca Magdalena Cauca, donde hay una mayor presencia de sectores productivos y con base en el ENA 2018, el promedio de escorrentía en cuencas con influencia de Parques Nacionales Naturales es 20% mayor que en cuencas sin influencia de Parques Nacionales Nacionales.

- La escorrentía en cuencas con influencia de Parques Nacionales Naturales es una variable asociada a la oferta hídrica que proviene de las áreas protegidas y tienen una influencia estadísticamente representativa en la productividad agrícola de las cuencas. Así, las cuencas con influencias de Parques Nacionales Naturales son 20% más productivas, en términos de toneladas de productos, que las que no tienen influencia de estas áreas protegidas y por ejemplo, en las cuencas con influencia de PNN se producen un 27% más de toneladas de yuca que en cuencas sin influencia de PNN.
- Los Parques Nacionales Naturales prestan importantes servicios ecosistémicos a las comunidades y sectores productivos. El servicio de retención de sedimentos por las coberturas conservadas al interior de las áreas protegidas es uno de ellos, se estima que, anualmente los sistemas de acueducto se estarían evitando cerca de \$109 billones de pesos colombianos en el manejo y remoción de sedimentos gracias a las coberturas conservadas de las áreas protegidas, lo que estaría representando el beneficio económico de los Parques Nacionales Naturales en la macrocuenca Magdalena- Cauca. Adicionalmente se hace una

aproximación en término de las utilidades constantes para la vida útil de los sistemas de acueducto (20 años), cuyo beneficio ascendería a \$227, 015 billones de pesos colombianos.

- Los PNN benefician en aproximadamente dos billones ochenta y un mil trescientos dieciocho millones de pesos anuales (COP \$ 2.0813 billones) por el recurso hídrico que brindan las cuencas conservadas a los principales embalses para la generación de energía hidroeléctrica. Esta cifra puede ser mucho mayor al considerar proyectos de energía hidroeléctrica de menor envergadura.
- La valoración de servicios ecosistémicos de las áreas protegidas de la Macrocuenca Magdalena Cauca, evidencia la importancia de los sectores productivos y beneficiarios en general de reconocer las acciones de conservación de las áreas protegidas del SINAP y de otros actores que protegen otros esquemas de conservación.

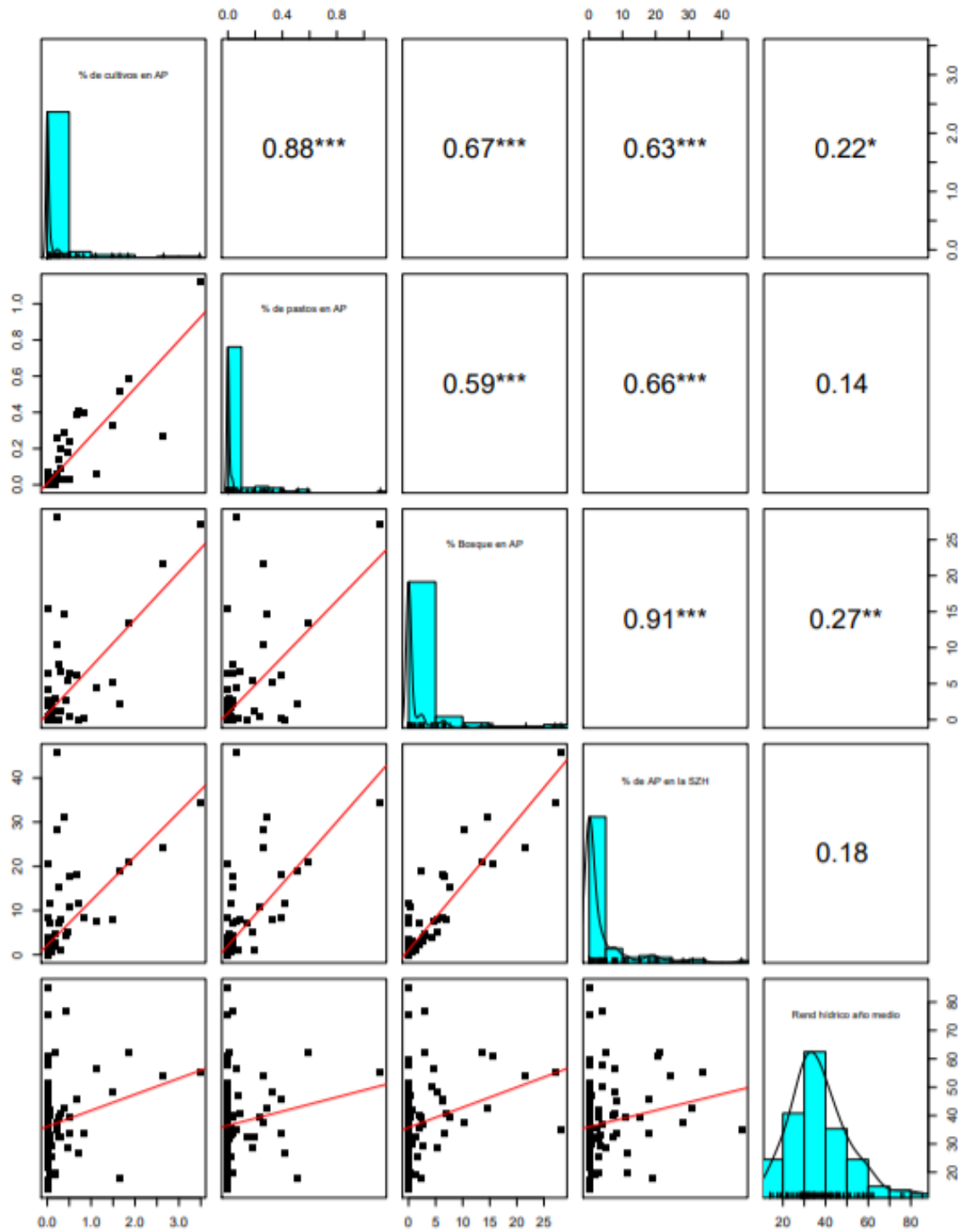
8 BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, O., Vélez, J., & Poveda, G. (2008). Incertidumbre asociada con el balance hídrico a largo plazo. Cartagena, Colombia. XXIII Congreso Latinoamericano de hidráulica.
- CARDER. (2017). *Plan de Ordenamiento y Manejo de las Cuencas Hidrográficas (POMCA) de la cuenca del río Otún de Pereira: Corporación Autónoma Regional de Risaralda CARDER*. Risaralda.
- DANE. (2014). *Censo Nacional Agropecuario*. Bogotá D.C.: Departamento Administrativo Nacional de Estadística.
- FAO. (1980). *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos*. Organización de las Naciones Unidas para Alimentación y la Agricultura.
- FAO. (2006). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO, Riego y Drenaje. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*, 56.
- Gaspari, F., Rodríguez Vagaría, A., Senisterra, G., Delgado, M., & Besteiro, S. (2013). *Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas*. Buenos Aires, Argentina: Universidad Nacional de La Plata.
- IDEAM. (2010). *Estudio Nacional del Agua 2010*. Bogotá, D.C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales .
- IDEAM. (2015). *Estudio Nacional del Agua 2014*. Bogotá, D.C: Instituto de Hidrología, meteorología y Estudios Ambientales.
- IDEAM. (2015). *Nuevos escenarios de Cambio climático para Colombia 2011-2100- herramientas científicas para la toma de decisiones-Enfoque Nacional- Departamental: Tercera comunicación Nacional de Cambio Climático*. Bogotá D,C. : Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Nacionales.
- IDEAM. (2019). *Estudio Nacional del Agua 2018*. Bogotá D.C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Obtenido de http://www.andi.com.co/Uploads/ENA_2018-comprimido.pdf
- MADS. (2012). *Guía metodológica para el diseño e implementación del incentivo económico de Pago por Servicios Ambientales*. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - Oficina de Negocios Verdes y Sostenibles.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Guía Nacional de Valoración Económica del Patrimonio Natural*. Lima, Perú: Ministerio de Ambiente Perú. Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural. - GIZ.
- Montañez Guillén, J. E. (2017). *Estrategias para el manejo de sedimentos en embalses*. Bogotá, D.C.: Universidad de los Andes- Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental.

- Morris, G. (2015). Management alternatives to combat reservoir sedimentation. *Proceedings of the International Workshop on Sediment Bypass Tunnels*, 27-29.
- Pinilla, F. (2019). *Aporte de Demanda hídrica de Parques Nacionales Naturales a los sectores productivos del país*. Bogotá, D.C: Parques Nacionales Naturales de Colombia- Subdirección de Sostenibilidad y Negocios Ambientales.
- Reyes Bonilla, M. (2014). *Importancia económica de la provisión y regulación hídrica de los Parques Nacionales Naturales de Colombia para los sectores productivos del país*. Bogotá, D.C: Parques Nacionales Naturales de Colombia.
- Rincón, A., Echeverry, M., Piñeros, A., Tapia, C., David, A., Arias, P., & Zuluaga, P. (2014). *Valoración integral de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos: Aspectos conceptuales y metodológicos*. Bogotá D.C. Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
- Roa Rodríguez, L. M., & Parra Canchón, S. I. (2016). *Optimización de los procesos de Dragado-aplicación río Magdalena Colombia*. Bogotá, D.C.: Universidad Católica de Colombia- Facultad de ingeniería.
- Sanchez Rodríguez, I., Bedoya Paniagua, M., & Rojas Sanchez, J. (2018). *Fases para la valoración biofísica y económica del recurso hídrico para el Sistema de Parques Nacionales Naturales*. Bogotá D.C.: Parques Nacionales Naturales de Colombia. Obtenido de <https://storage.googleapis.com/pnn-web/uploads/2018/08/Fases-para-la-Valoraci%C3%B3n-Biof%C3%ADsica-y-Econ%C3%B3mica-del-Recurso-H%C3%ADrico-del-SPNN.pdf>
- Sharp, R., Tallis, H., Ricketts, T., Guerry, A., Wood, S., Chaplin Kramer, R., . . . Douglass, J. (2018). *InVEST 3.6.0 User's Guide*. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund.
- Sumi, T., & Kantoush, S. (2010). River Morphology and Sediment Management Strategies for Sustainable Reservoir in Japan and European Alps. *Annuals of Disas*(53), 821-839.
- Sumi, T., & Kantoush, S. (2011). Sediment management strategies for sustainable reservoir. *Xx icold annual meeting, dams and reservoirs under changing challenges*, 353-362.
- Universidad Nacional. (2012). *Valoración económica ambiental: conceptos, métodos y aplicaciones*. Bogotá D.C.: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA - CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA - CAR.
- Wunder, S. (2006). *Pagos por servicios ambientales: Principios básicos esenciales*. Indonesia: Centro Internacional de Investigación Forestal (CIFOR).
- Young, R. (2005). *Determining The Economic Value of Water*. Whashington: Resources for the future.

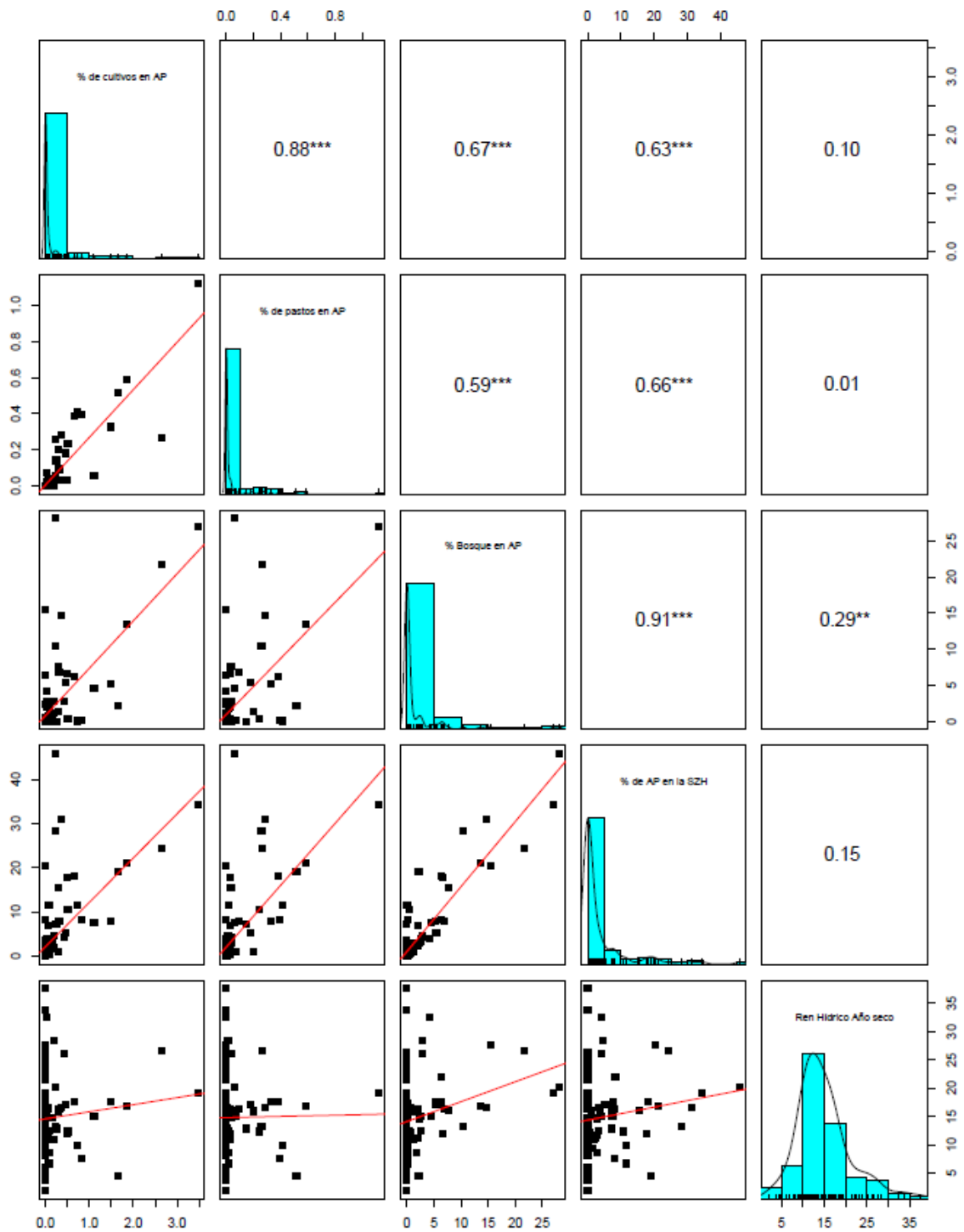
9 ANEXOS

Gráfico 7-1. Relación entre variables asociadas a cobertura y uso del suelo frente al rendimiento hídrico en año medio.



Fuente: Salida de R Studio

Gráfico 7-2. Relación entre variables asociadas a cobertura y uso del suelo frente al rendimiento hídrico en año seco.



Fuente: Salida de R Studio