



# VALORACIÓN DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE CONTROL DE EROSIÓN Y PROVISIÓN DE AGUA PARA EL SECTOR HIDROELÉCTRICO EN LA CUENCA DEL RÍO SUAZA – PARQUE NACIONAL NATURAL CUEVA DE LOS GUACHAROS

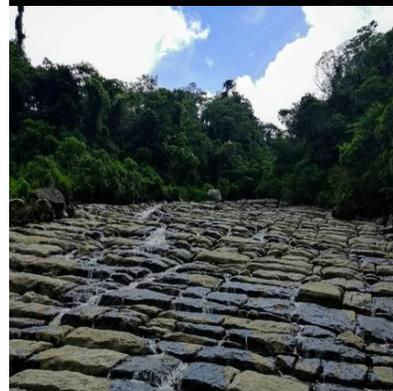
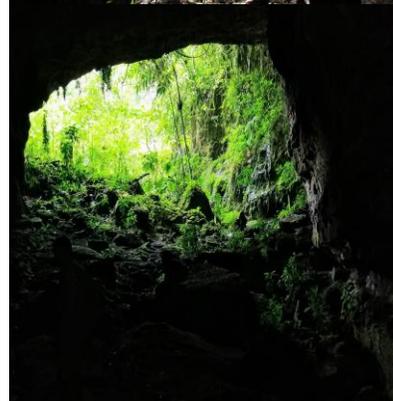
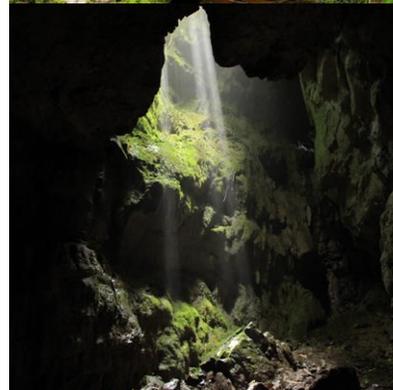
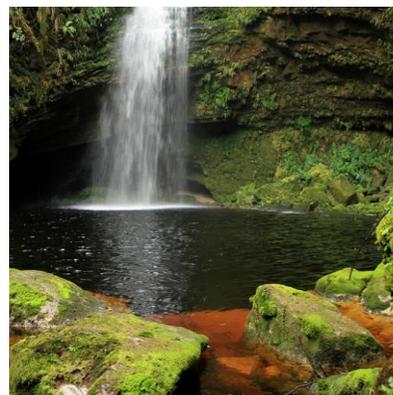
SUBDIRECCIÓN DE SOSTENIBILIDAD Y NEGOCIOS AMBIENTALES



El ambiente  
es de todos

Minambiente

**VALORACIÓN DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE CONTROL DE EROSIÓN Y PROVISIÓN DE AGUA PARA EL SECTOR HIDROELÉCTRICO EN LA CUENCA DEL RÍO SUAZA – PARQUE NACIONAL NATURAL CUEVA DE LOS GUACHAROS**



PARQUES NACIONALES NATURALES DE COLOMBIA

2020



El ambiente es de todos

Minambiente

**VALORACIÓN DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE CONTROL DE EROSIÓN Y PROVISIÓN DE  
AGUA PARA EL SECTOR HIDROELÉCTRICO EN LA CUENCA DEL RÍO SUAZA – PARQUE  
NACIONAL NATURAL CUEVA DE LOS GUACHAROS**



**PRESENTADO POR: MIGUEL ÁNGEL BEDOYA PANIAGUA**

**REVISÓ: CARLOS MARIO TAMAYO S.**

**SUBDIRECCIÓN DE SOSTENIBILIDAD Y NEGOCIOS AMBIENTALES**

**PARQUES NACIONALES NATURALES DE COLOMBIA**

**BOGOTÁ D.C.**

**2020**

## CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN .....	4
2	METODOLOGÍA .....	5
2.1	Identificación de la Cuenca .....	5
2.2	Información climática .....	6
2.2.1	Identificación de series de precipitación.....	6
2.2.2	Reconstrucción y homogenización de series .....	7
2.3	Priorización de sectores beneficiarios para la valoración.....	8
2.4	Modelación de la pérdida de suelo por erosión.....	8
2.4.1	Descripción del modelo de control de erosión .....	8
2.4.2	Información utilizada: .....	9
2.5	Valoración económica para el sector hidroeléctrico .....	11
2.5.1	Valoración servicio ecosistémico de control de erosión .....	11
2.5.2	Valoración servicio ecosistémico provisión de agua .....	12
3	RESULTADOS.....	13
3.1	Estimación de datos atípicos y análisis de homogeneidad .....	13
3.2	Identificación de sectores beneficiarios .....	19
3.3	Modelación del control de erosión .....	21
3.3.1	Descripción del servicio ecosistémico valorado .....	21
3.3.2	Información obtenida .....	21
3.3.3	Resultados modelación del control de erosión.....	28
3.4	Valoración económica del control de erosión.....	34
3.5	Valoración económica provisión de agua de las áreas protegidas aportantes al Embalse El Quimbo .....	35
4	CONCLUSIONES .....	36
5	BIBLIOGRAFÍA .....	37
6	ANEXOS .....	40

## Índice de Figuras

Figura 2-1. Ubicación general de la Cuenca del Río Suaza.....	5
Figura 2-2. Estaciones con información de precipitación analizadas.....	6
Figura 3-1. Coberturas de la tierra Corine Land Cover para la cuenca del Río Suaza .....	20
Figura 3-2. Mapa de elevación de la Cuenca del Río Suaza .....	22
Figura 3-3. Índice de erosividad de la lluvia en año medio .....	24
Figura 3-4. Índice de erosividad de la lluvia en año húmedo .....	24
Figura 3-5. Índice de erosividad de la lluvia en escenario de Cambio Climático – ensamble multimodelo para el Departamento del Huila .....	25
Figura 3-6. Unidades cartográficas de suelos.....	26
Figura 3-7. Factor de erodabilidad del suelo.....	27
Figura 3-8. Delimitación de la cuenca del Río Suaza hasta la estación Puente Garcés.....	28
Figura 3-9. Áreas protegidas relacionadas con la cuenca del Río Suaza.....	30
Figura 3-10. Coberturas del suelo para la construcción de escenario optimistas de conservación ...	31
Figura 3-11. Coberturas de uso del suelo para la construcción de escenarios pesimistas de conservación.....	32

## Índice de gráficos

Gráfico 3-1. Diagramas box plot para las series de tiempo de precipitación mensual 1990-2019 .....	13
Gráfico 3-2. Gráficas de detección de cambios en la media para las series analizadas.....	15
Gráfico 3-3. Precipitación media mensual multianual con las series completadas y homogenizadas 1990-2019.....	19
Gráfico 3-4. Escenarios planteados para la valoración biofísica de los sedimentos exportados en la cuenca del Río Suaza.....	29
Gráfico 3-5. Sedimentos exportados para los diferentes escenarios planteados en la valoración.....	33

## Índice de tablas

Tabla 2-1. Estaciones de precipitación utilizadas periodo 1990-2019 .....	7
Tabla 2-2. Información necesaria para el modelo de retención de sedimentos. ....	9
Tabla 3-1. Coberturas de la Cuenca del Río Suaza.....	20
Tabla 3-2. Factor R para cada estación en los escenarios planteados.....	23
Tabla 3-3. Resultados de la cuantificación de sedimentos retenidos y exportados para los diferentes escenarios planteados en la valoración .....	33
Tabla 3-4. Beneficio económico de los PNN a los principales embalses hidroeléctricos.....	35

## 1 INTRODUCCIÓN

La identificación y valoración de servicios ecosistémicos son temas fundamentales para favorecer y fortalecer el conocimiento de la biodiversidad y su importancia desde el punto de vista económico, social y ambiental (IAVH, 2012). Un mayor conocimiento de las relaciones ecológicas, los procesos, funciones y servicios ecosistémicos a nivel de las áreas protegidas, es clave para favorecer la valoración integral de ecosistemas estratégicos (Rincón, y otros, 2014). Particularmente, para los servicios ecosistémicos hidrológicos, la relación ecológica entre la cobertura de la tierra y el ciclo hidrológico es un tema de especial interés para entender la dinámica del agua con respecto a la intervención humana en los procesos de conversión del uso del suelo (Foley, y otros, 2005).

Desde esta perspectiva, la valoración de servicios ecosistémicos es una herramienta que permite analizar las relaciones entre servicios ecosistémicos con múltiples actores económicos, de tal forma que se pueda resaltar el papel y la importancia de la conservación para el desarrollo económico, el bienestar social y la calidad de vida. Ante esta consideración, y teniendo en cuenta la importancia del Parque Nacional Natural (PNN) Cueva de Los Guácharos, en términos de los servicios ecosistémicos que brinda a múltiples sectores, se presenta una valoración de los servicios ecosistémicos hidrológicos relacionados con la provisión de agua y el control de erosión en la cuenca del Río Suaza, teniendo como actor beneficiario el sector hidroeléctrico representado en el proyecto hidroeléctrico El Quimbo, el cual ha sido priorizado desde Parques Nacionales Naturales de Colombia (PARQUES), como un actor importante para el desarrollo de alianzas y acciones en favor del reconocimiento y apropiación del área protegida.

Conforme con lo anterior, el presente documento aborda en primera instancia una modelación del servicio ecosistémico del control de erosión junto con el tratamiento de información correspondiente, como insumo para la valoración económica por costos evitados, los cuales son considerados como los ahorros que el sector hidroeléctrico tiene por dicho servicio ecosistémico de control de erosión que brinda, tanto el PNN Cueva de Los Guácharos, como las demás figuras de conservación en la cuenca. Así mismo, se presenta una valoración de la provisión de agua de las áreas protegidas del Sistema de Parques Nacionales Naturales con relación al proyecto hidroeléctrico El Quimbo a partir de la metodología de precios de mercado.

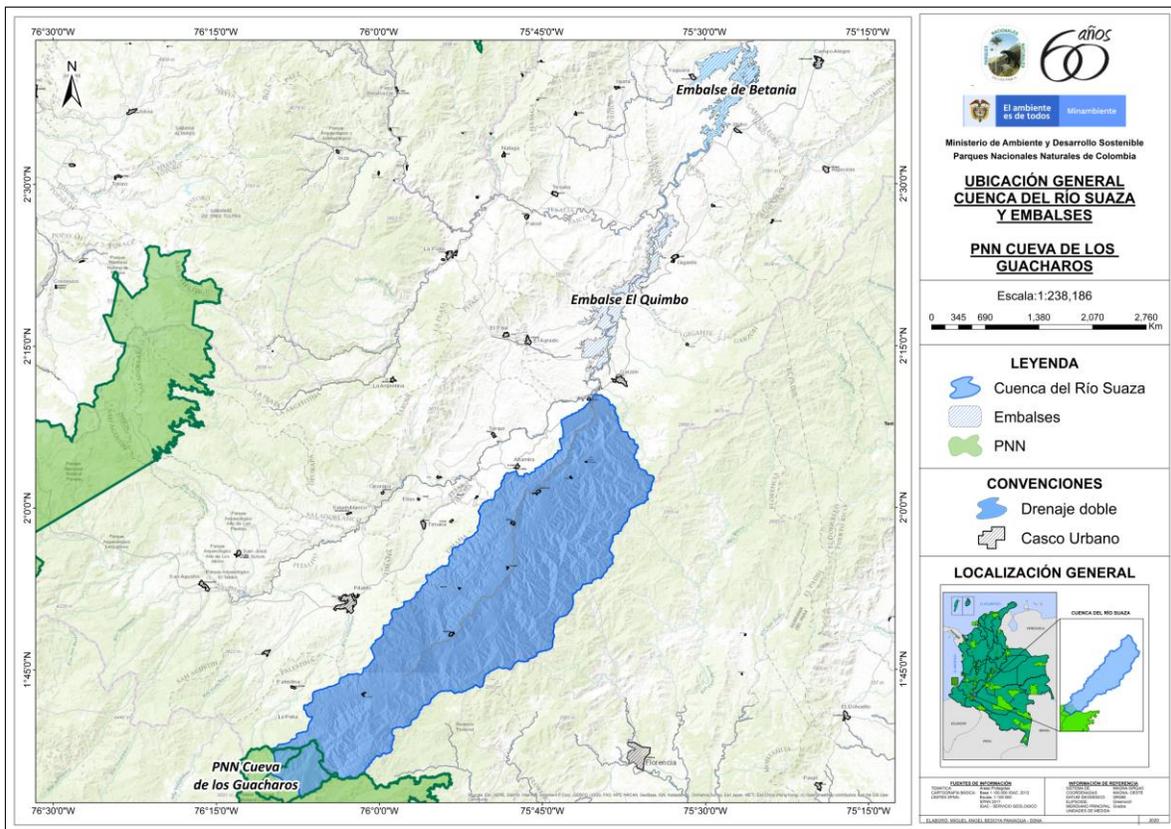
Los resultados de la valoración deben ser considerados como una primera aproximación para establecer el valor en términos biofísicos y económicos de servicios ecosistémicos clave para los sectores beneficiarios del área protegida. En este sentido, las medidas de valor obtenidas servirán como punto de partida clave para fortalecer las estrategias de acción con actores clave, sectores beneficiarios y comunidades locales en favor del fortalecimiento de la gestión compartida y la sostenibilidad financiera del área protegida.

## 2 METODOLOGÍA

### 2.1 Identificación de la Cuenca

La cuenca del Río Suaza se localiza al sur del Departamento del Huila en la Macrocuenca Magdalena Cauca. Alcanza una altitud máxima de 2.750 msnm, en la divisoria de aguas que delimita los departamentos de Huila, Caquetá y Cauca, en el límite Sur de los municipios de Acevedo y Palestina (CAM, 2015) (Figura 2-1). Cuenta con un área de 1.423,7 km<sup>2</sup> y una longitud aproximada de 74,9 km hasta desembocar en la margen derecha del río Grande de La Magdalena. La temperatura media de la cuenca oscila de entre los 6 a los 24°C (Castañeda, Ortiz, & Vivas, 2014).

Figura 2-1. Ubicación general de la Cuenca del Río Suaza



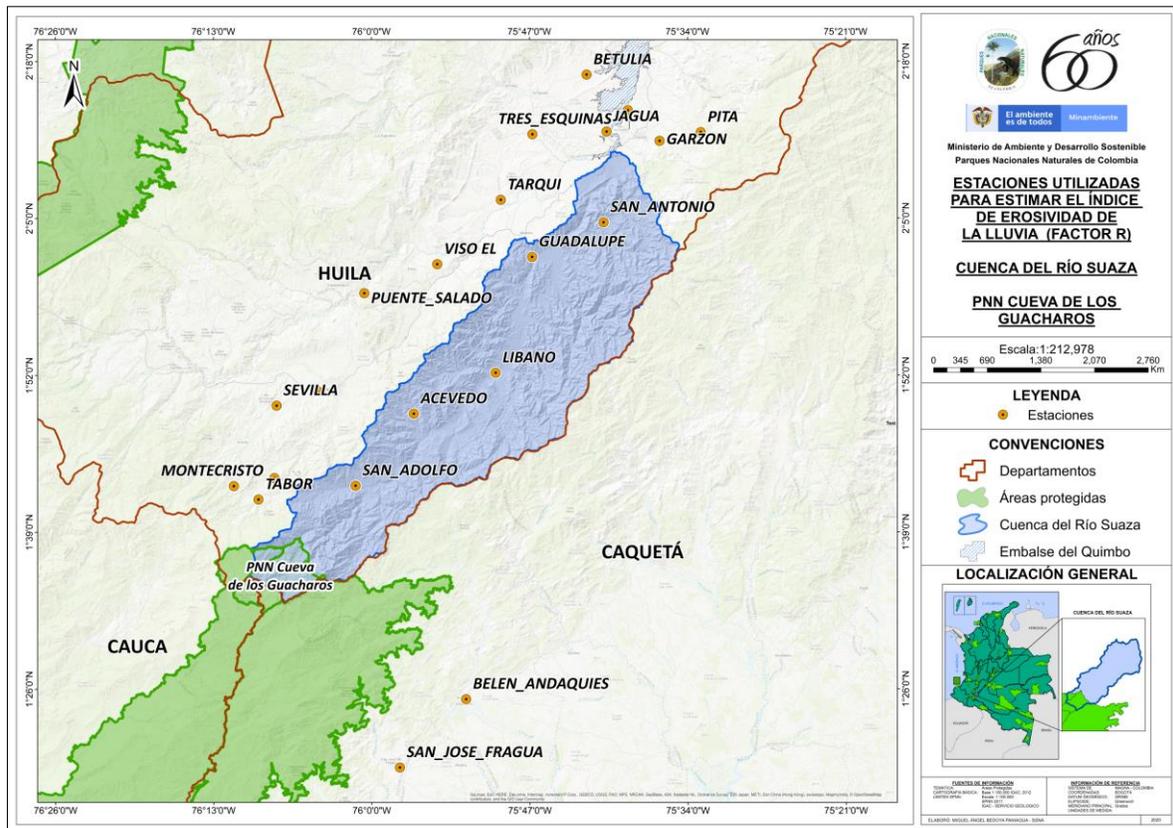
Fuente: Elaboración propia.

## 2.2 Información climática

### 2.2.1 Identificación de series de precipitación

Se obtuvo información de las series históricas de precipitación en el área de la cuenca y zonas cercanas. Esta información sirvió como insumo para cálculos posteriores sobre el factor de erosividad de la lluvia. En la Figura 2-2 y la Tabla 2-1 se muestra el detalle de información de cada estación.

Figura 2-2. Estaciones con información de precipitación analizadas



Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-1. Estaciones de precipitación utilizadas periodo 1990-2019

No.	Nombre	Código	Longitud	Latitud	Altitud (msnm)	% de datos Faltantes
1	PALESTINA	21010100	-76.133333	1.724833	1530	3.6
2	INSFOPAL	21010110	-76.074417	1.844917	1265	0
3	TABOR	21010180	-76.155222	1.695278	1700	12.7
4	MONTECRISTO	21010210	-76.188917	1.713806	1674	7.7
5	SEVILLA	21015020	-76.130278	1.824833	1320	1.1
6	VISO EL	21020040	-75.91	2.02	1017	0
7	PUENTE_SALADO	21020050	-76.01	1.98	1046	0
8	GUADALUPE	21030050	-75.78	2.03	893	2.5
9	SAN_ADOLFO	21030060	-76.022083	1.714278	1345	2.5
10	ACEVEDO	21030080	-75.942222	1.813611	1350	3.3
11	JAGUA	21030090	-75.677722	2.202944	755	0
12	SAN_ANTONIO	21030110	-75.681944	2.07775	1190	6.6
13	LIBANO	21035040	-75.83	1.87	1045	1.1
14	PUENTE_BALSEADERO	21040040	-75.648556	2.232361	688	16.6
15	TARQUI	21040050	-75.822806	2.108833	830	1.6
16	TRES_ESQUINAS	21040060	-75.779361	2.199361	805	6.3
17	BETULIA	21045010	-75.705083	2.281583	780	11.38
18	PITA	21060040	-75.548583	2.202028	1330	0.27
19	GARZON	21060080	-75.605056	2.190083	990	0
20	BELEN_ANDAQUIES	44040020	-75.870722	1.419528	300	1.6
21	SAN_JOSE_FRAGUA	44045010	-75.9615	1.325139	320	5.5

Fuente: Elaboración propia a partir de base de datos de estaciones del IDEAM

La información de precipitación de las estaciones analizadas (Anexo 6-1) se usó como insumo para el cálculo del factor de erosividad de la lluvia, como parte de la modelación del servicio ecosistémico de control de erosión. En este sentido, se realizó la identificación de datos atípicos y el análisis de homogeneidad con las series en mención a partir de diagramas boxplot y la homogenización de series conforme con la metodología presentada por (Gujarro, J.A., 2018) a partir del paquete Climatol para R Studio.

## 2.2.2 Reconstrucción y homogenización de series

Se realizó la identificación visual de datos atípicos a partir de diagramas de cajas y bigotes para cada una de las estaciones, la homogenización y relleno de datos faltantes a partir del paquete Climatol en R Studio, el cual adapta el método de (Paulhus & Kohler, 1952) para el relleno de valores de precipitación mediante los promedios de valores cercanos (Gujarro, J.A., 2018). Climatol permite la depuración de datos mediante el análisis de datos atípicos y homogeneidad, así como el relleno de

datos faltantes mediante la elaboración de series de referencia, construidas a partir de un promedio ponderado de las estaciones vecinas en cada uno de los puntos donde se ubican las estaciones. Para la ponderación de cada estación se considera el criterio de distancia junto con un proceso iterativo de optimización (Hernández García, García Valero, Palenzuela, & Belda, 2012).

Los datos atípicos se obtuvieron a partir de diferencias entre los datos normalizados de las estaciones originales y las series de referencia. De esta forma, a las series de diferencias normalizadas se les aplica un análisis de outliers, retirando aquellos datos originales que superan 5 desviaciones estándar (Guijarro, J.A., 2018). Por otra parte, se detectaron las inhomogeneidades presentes en las series a partir del test SNHT (Alexandersson, 1986), que sirve para detectar saltos en los valores medios. Finalmente, climatol realiza el relleno de datos faltantes y outliers detectados a partir de promedios de valores cercanos (Guijarro, 2011), con lo cual se obtuvieron las series completas y homogenizadas para el presente estudio en el periodo de 1990 a 2019.

## **2.3 Priorización de sectores beneficiarios para la valoración**

La caracterización de sectores beneficiarios se abordó a partir de la capa de coberturas (Leyenda Nacional de Coberturas Corine Land Cover) 2010 – 2012. En este sentido, se identificó la ubicación espacial de los principales usos de la tierra, así como de las principales actividades económicas que tienen lugar en la cuenca. Así mismo, para el ejercicio de valoración se priorizó el sector hidroeléctrico, teniendo en cuenta la importancia que tiene el embalse del Quimbo, el cual se beneficia de la provisión de agua y del control de la erosión en la cuenca del Río Suaza.

Para el ejercicio de valoración el actor priorizado por el equipo de trabajo corresponde a la Central Hidroeléctrica El Quimbo, la cual está situada en el departamento del Huila, sur de Colombia, entre las cordilleras central y oriental, a 70 Km al sur de Neiva, en el río Magdalena. Su área de influencia abarca los importantes municipios de Gigante, Garzón, El Agrado, Altamira, Paicol y Tesalia (ENEL, 2018). Como se observa en la Figura 2-2, el PNN Cueva de Los Guácharos se encuentra en la parte alta de la cuenca y brinda recurso hídrico para la Central Hidroeléctrica de El Quimbo y Betania. En este sentido, teniendo la hidrografía de la zona se priorizó el proyecto hidroeléctrico El Quimbo como el sector beneficiario para la valoración del servicio ecosistémico de control de erosión y la provisión de agua en relación con las áreas protegidas del SPNN que brindan recurso hídrico a dicho proyecto hidroeléctrico.

## **2.4 Modelación de la pérdida de suelo por erosión**

### **2.4.1 Descripción del modelo de control de erosión**

La modelación del servicio ecosistémico de control de erosión o retención de sedimentos estima la pérdida anual de suelo de una parcela de tierra, con lo cual se puede evaluar los costos evitados de

sedimentos exportados a partir de diferentes escenarios definidos en la valoración. Teniendo en cuenta que uno de los factores determinantes en la pérdida de suelo por erosión corresponde al tipo de suelo y al uso que se le da, se usó la herramienta InVEST, para el mapeo de servicios ecosistémicos. El modelo basa su funcionamiento en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (RUSLE) (PNUD, 2013), la cual integra información sobre los factores de uso del suelo y las propiedades del suelo, así como el modelo de elevaciones digitales y precipitaciones. De esta forma, el modelo arroja cálculos por pixel que permiten representar la heterogeneidad del paisaje. La ecuación universal de pérdida de suelo (RUSLE) (Wischmeier, & Smith, 1978), integra información sobre uso de la tierra, patrones de las propiedades del suelo, altitud, precipitaciones y datos climáticos para estimar la erosión del suelo en una celda determinada. A continuación, se presenta la ecuación en mención:

Ecuación universal de la pérdida de suelo:

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

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

## 2.4.2 Información utilizada:

En la Tabla 2-2 se muestran los insumos y sus fuentes correspondientes para la ejecución del modelo de rendimiento hídrico.

Tabla 2-2. Información necesaria para el modelo de retención de sedimentos.

ITEM	Formato	Fuente	Descripción/Observaciones
Modelo de elevación digital.	Raster	Proyectos adelantados por misiones de la NASA: <a href="http://earthexplorer.usgs.gov/">http://earthexplorer.usgs.gov/</a>	Capa uniforme con información sobre alturas del terreno. Se corrigió el modelo de elevación digital (DEM) con algebra de mapas de ArcGIS
Índice de erosividad de la lluvia.	Raster	Cálculo con base a la ecuación del Índice Modificado de Fournier. (IMF)	Considera la capacidad de la lluvia para erosionar el suelo, es uno de los factores que entra en la ecuación universal de pérdida de suelo revisada (RUSLE).
Factor K (Erodabilidad del suelo)	Raster	Estudio de suelos del IGAC para el departamento del Huila, clase textural permite una clasificación del factor K.	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	Plan de Ordenación y Manejo de La Cuenca del Rio Suaza.	Shape de coberturas de la cuenca que dan cuenta de las diferentes

ITEM	Formato	Fuente	Descripción/Observaciones
			actividades y usos que se presentan en el área de estudio.
Factor C	Dato incluido en la tabla biofísica	Referencias Bibliográficas. Plan de Ordenación y Manejo de La Cuenca del Río Suaza.	Mide la influencia de diferentes tipos de cultivo para erosionar el suelo. Ahora se cuenta con mayor bibliografía de estudios relacionados con la erosión para obtener este valor.
Factor P	Dato incluido en la tabla biofísica	Factor que considera las prácticas de manejo, cuando se presentan en los diferentes cultivos. (Wischmeier, & Smith, 1.978)	Este valor cambia de acuerdo con la aplicación de diferentes prácticas de manejo en los cultivos. (Para el presente caso no se consideraron prácticas de manejo en la cuenca, por lo tanto, se toma el valor de 1).
Threshold Flow Accumulation	Dato	Parámetro ingresado al modelo a partir del raster de acumulación de flujo – Para el presente estudio se usó 500	Cantidad mínima de pixeles del DEM que consideran para delimitar un flujo
Borselli k - Borselli ICO	Dato, parámetro de calibración	Parámetros de calibración, para el presente estudio se consideró un valor de 1.12 para el Borselli k y de 0.5 para el Borselli ICO	Parámetros de calibración que determinan la forma de la relación entre la conectividad hidrológica (el grado de conexión de parcelas de tierra al arroyo) y la proporción de entrega de sedimentos
Max SDR Vale	Dato, parámetro de calibración	Parámetro de calibración, para el presente estudio se consideró un valor de 0.1	Máximo de sedimentos exportados que puede alcanzar un pixel, que es una función de la textura del suelo
Densidad aparente del suelo	Dato	Valores promedio de codificación de suelos de otros estudios de valoración de control de erosión en PNN. Para el presente estudio se asume un valor de 1,426 g/cc o Ton/m3.	Valor usado para convertir los sedimentos de Ton a m3

Fuente: Adaptado de (Sharp, y otros, 2018)

A partir de la información y los insumos consolidados se realizaron diferentes simulaciones con el fin de encontrar los valores de parámetros de calibración más apropiados para el modelo. Para tal fin se compararon los resultados de la simulación hasta la estación Puente Garcés (Figura 3-8), que contaba con información de sedimentos medidos en la parte media baja de la cuenca. En este sentido se delimitó la cuenca hasta esta estación y se realizó la simulación de sedimentos hasta este punto, para

el cual, de acuerdo con (Moreno Castro, 2017), recibe 859,330 Ton/año de sedimentos. Con el modelo calibrado se procedió a evaluar la cantidad de sedimentos exportado y retenidos para toda la cuenca del Río Suaza aportante al embalse, como insumo para la valoración económica de costos evitados por control de erosión de las figuras de conservación en la cuenca.

## **2.5 Valoración económica para el sector hidroeléctrico**

### **2.5.1 Valoración servicio ecosistémico de control de erosión**

#### **2.5.1.1 Método de Valoración por costos evitados.**

El método de costos evitados se utiliza para medir los gastos en que incurren los agentes económicos, gobiernos, empresas e individuos para reducir o evitar los efectos ambientales no deseados, cuando los bienes o servicios son sustituidos. (Ministerio del Ambiente, 2015). Este método se basa en el hecho en que, si las personas o sectores están dispuestos a incurrir en ciertos costos para evitar los daños causados por la pérdida de un servicio ecosistémico, entonces una medida de su valor corresponde, por lo menos, al monto pagado por dichos daños.

##### **2.5.1.1.1 Supuestos del método.**

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

##### **2.5.1.1.2 Ventajas.**

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

##### **2.5.1.1.3 Limitaciones.**

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

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 deposición.
- 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.

## 2.5.2 Valoración servicio ecosistémico provisión de agua

Uno de los sectores más representativos que se abastecen del agua de los PNN es el sector hidroeléctrico, representado en este caso en el proyecto hidroeléctrico el Quimbo. En este sentido y con el fin de aproximarnos al valor económico de la provisión de agua hacia este sector, se presenta el valor económico atribuible al recurso hídrico de las áreas protegidas cuyas cuencas abastecen de agua al proyecto hidroeléctrico el Quimbo. Los resultados de esta estimación corresponden con los datos estimados por (Bedoya & Gonzalez, 2020), donde se identifican los beneficios económicos asociados con el aporte del áreas protegidas en términos de la provisión de agua a los principales embalses del país para la generación de energía hidroeléctrica.

Con la información de la oferta hídrica atribuible a las áreas protegidas que abastecen al embalse del Quimbo, se estimó el porcentaje de generación de energía atribuible a los parques, 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 (XM, 2020), se estableció el valor económico del aporte de oferta hídrica al multiplicar el valor

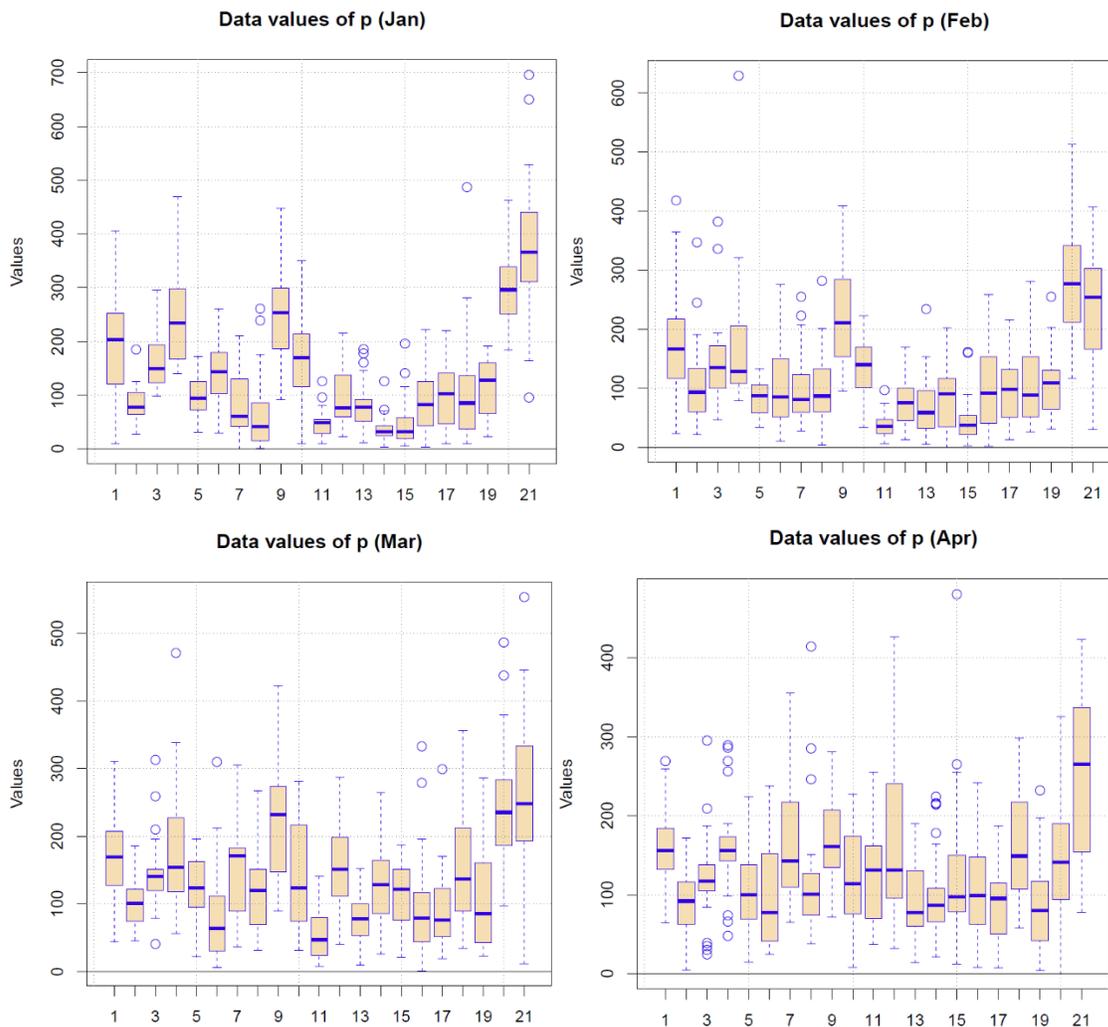
económico del kWh de energía por el porcentaje de oferta hídrica atribuible a las áreas protegidas en año medio. De esta manera, se obtuvo una primera aproximación de la importancia de la provisión de agua de esta zona para la generación de energía hidroeléctrica.

### 3 RESULTADOS

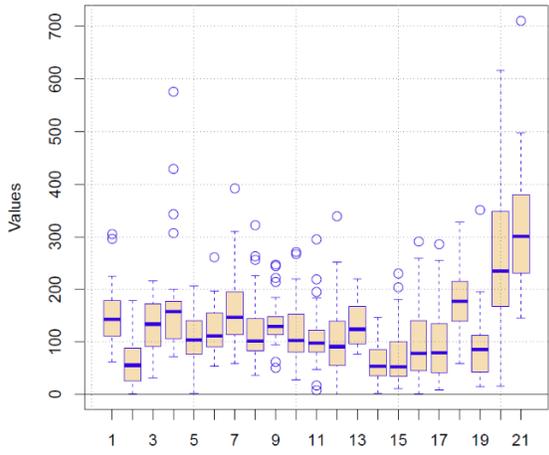
#### 3.1 Estimación de datos atípicos y análisis de homogeneidad

Para este aparte se realizaron las gráficas de las series de tiempo las cuales se pueden apreciar en el Anexo 6-1 para el periodo comprendido entre 1990 y 2019. Así mismo, se realizaron los diagramas de cajas y bigotes los cuales pueden apreciarse en el Gráfico 3-1 y los resultados del análisis de homogeneidad a partir del Test Estándar de Homogeneidad Normal (SNHT) Gráfico 3-2.

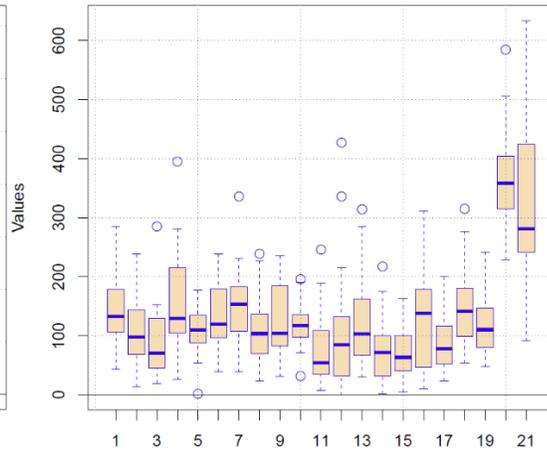
Gráfico 3-1. Diagramas box plot para las series de tiempo de precipitación mensual 1990-2019



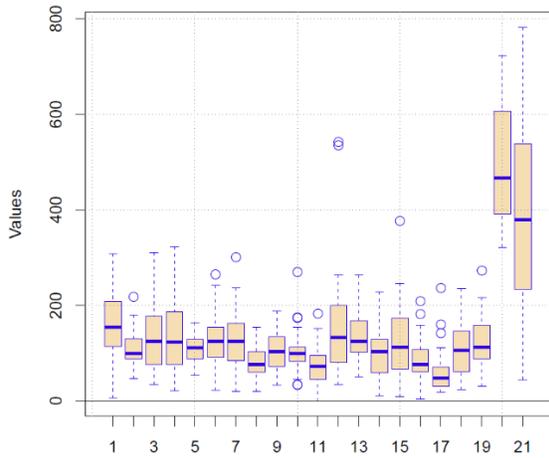
Data values of p (May)



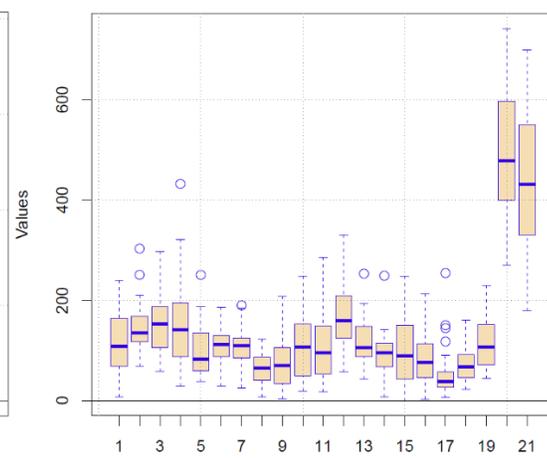
Data values of p (Jun)



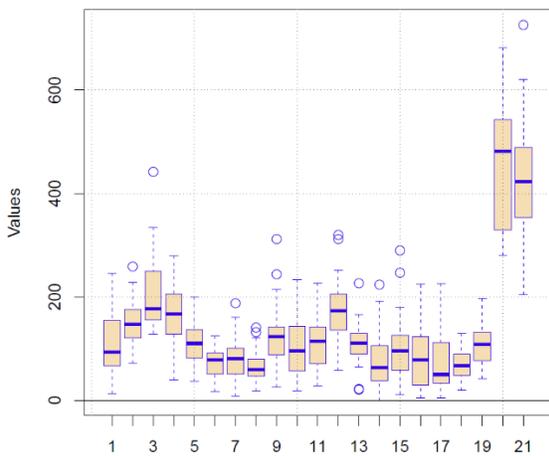
Data values of p (Jul)



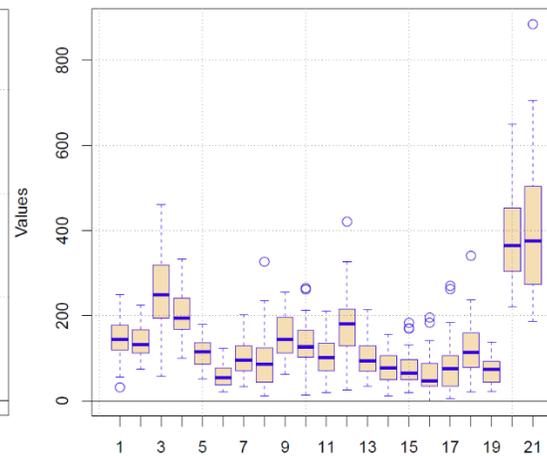
Data values of p (Aug)

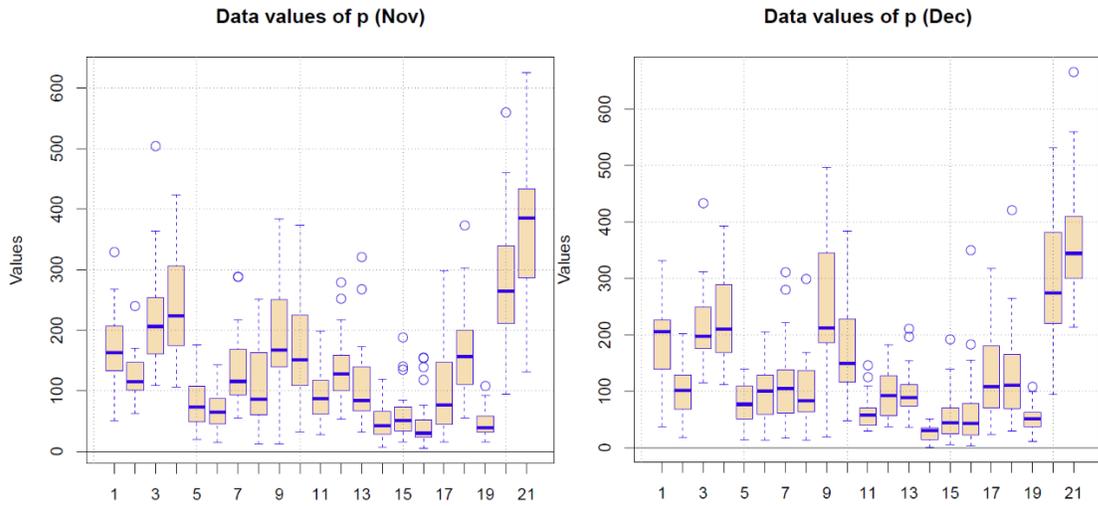


Data values of p (Sep)



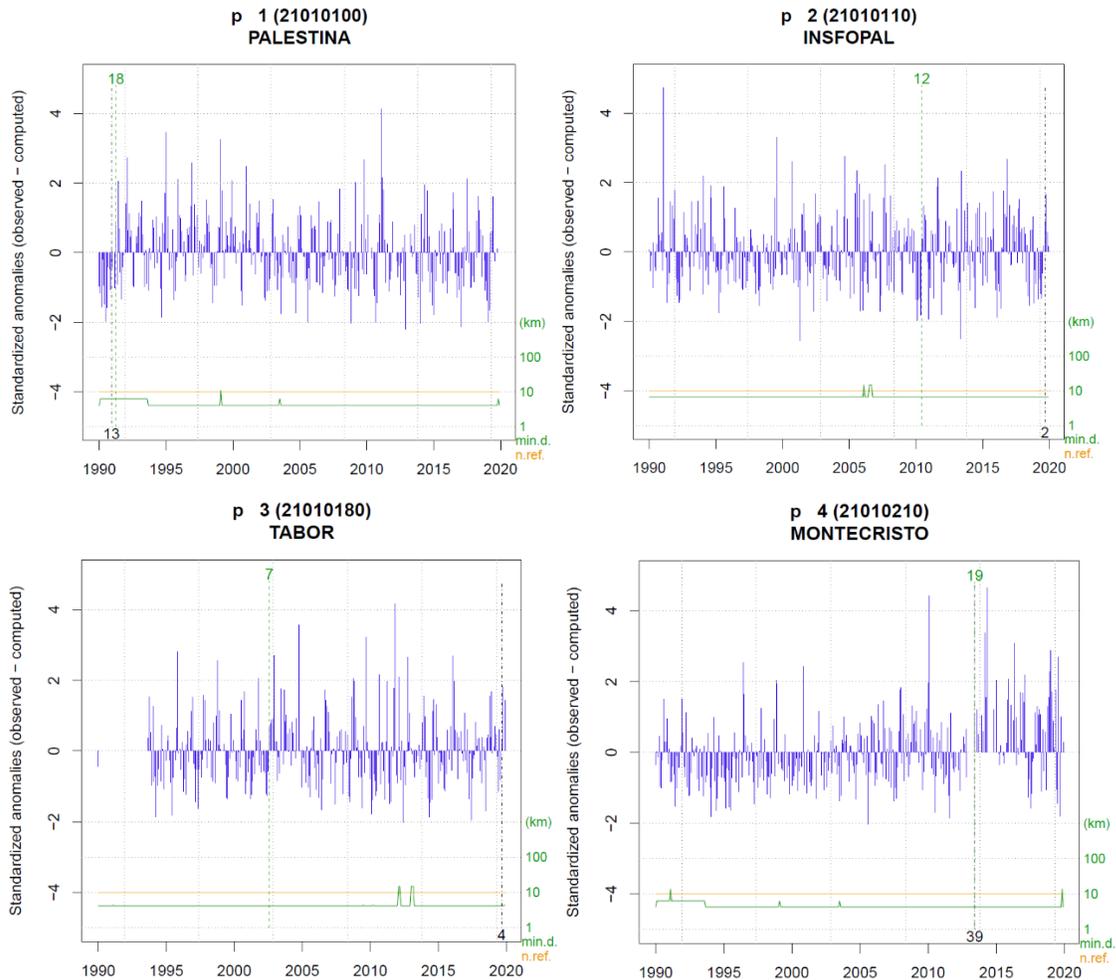
Data values of p (Oct)

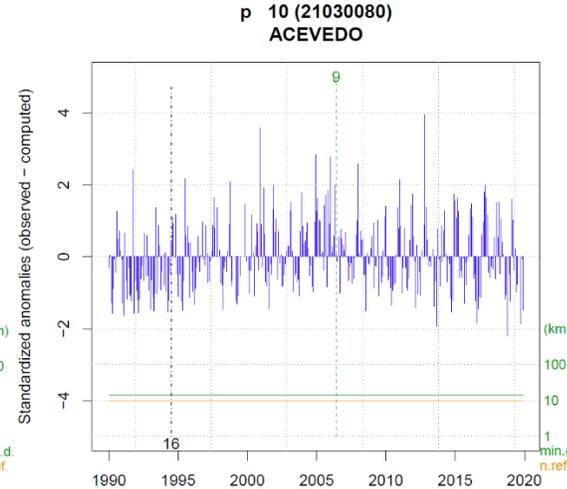
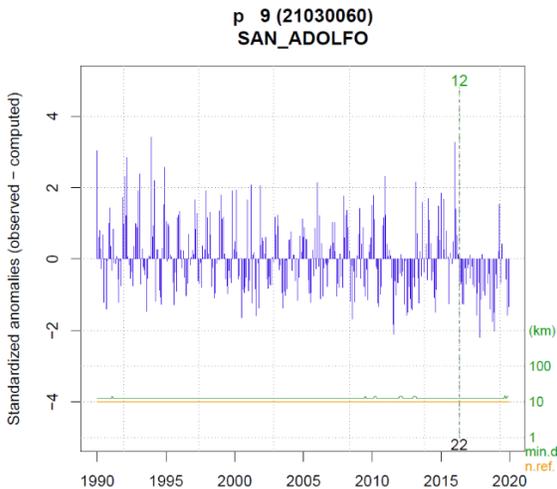
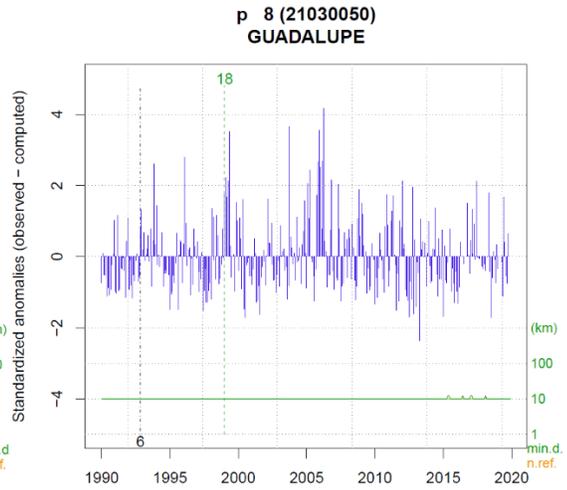
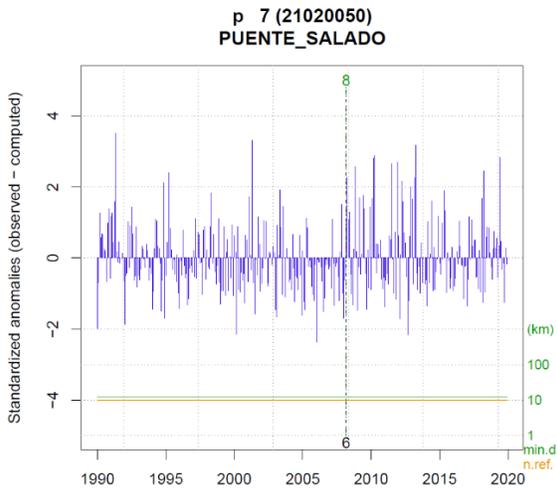
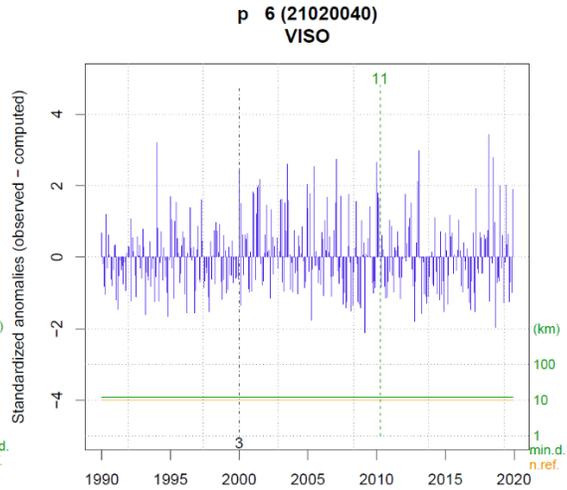
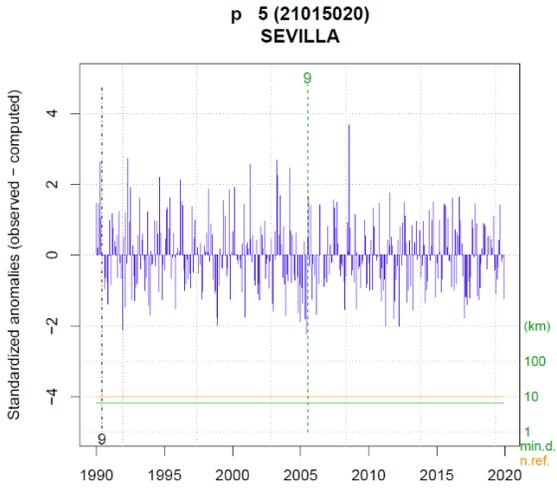


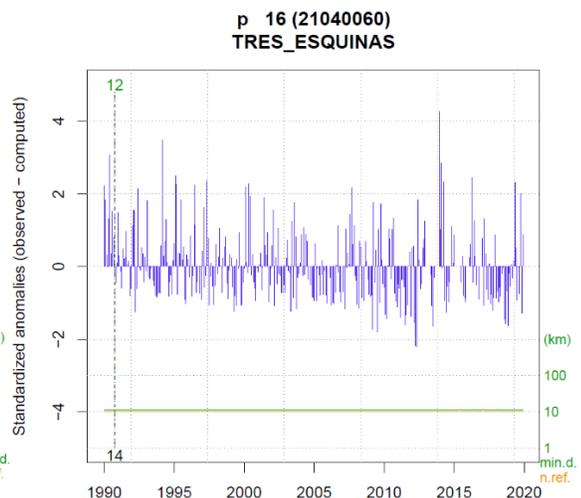
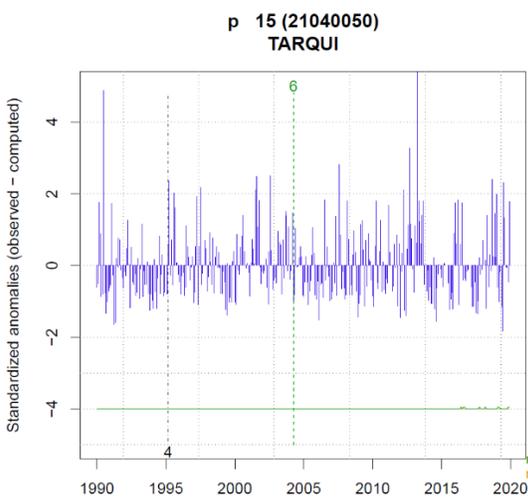
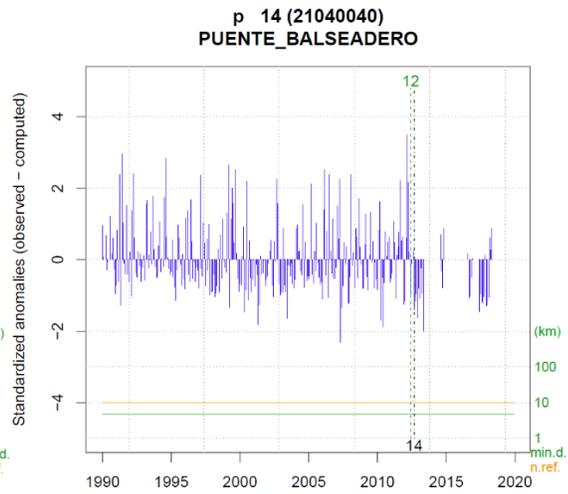
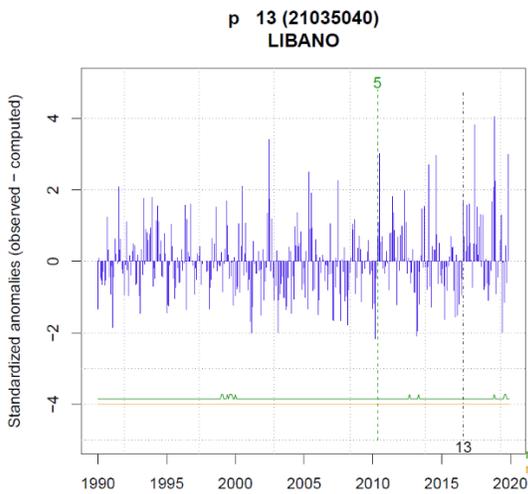
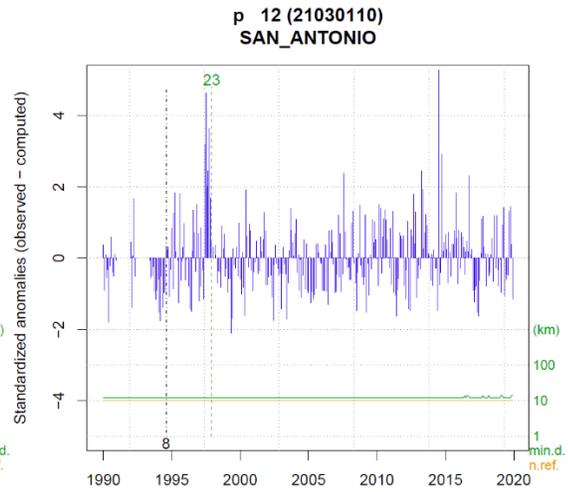
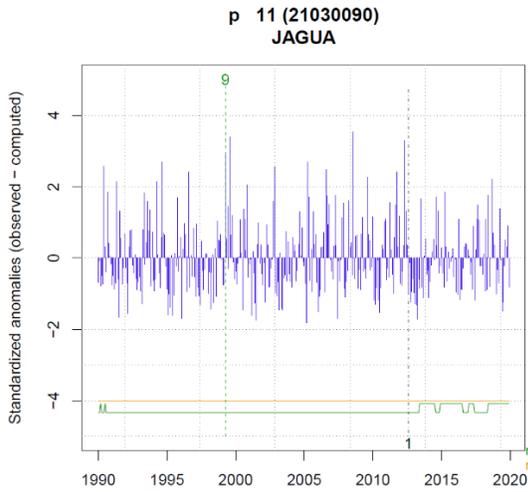


Fuente: Salida de Climatol – R Studio. La numeración en el eje de las abscisas corresponde a cada estación conforme al consecutivo presentado en la Tabla 2-1.

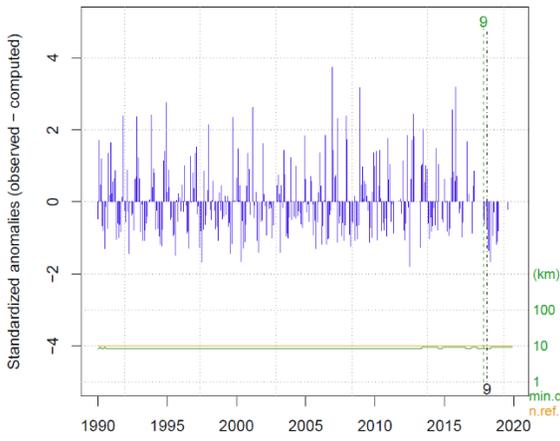
Gráfico 3-2. Gráficas de detección de cambios en la media para las series analizadas



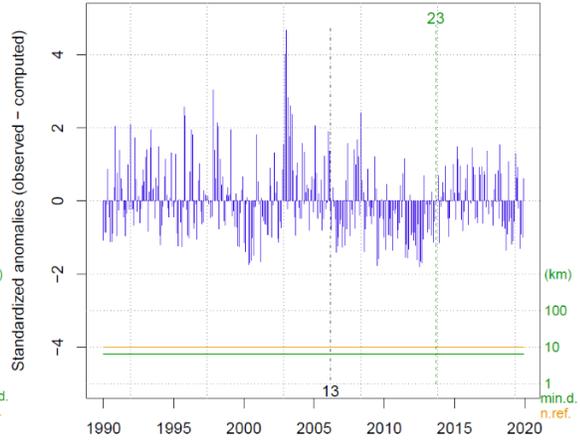




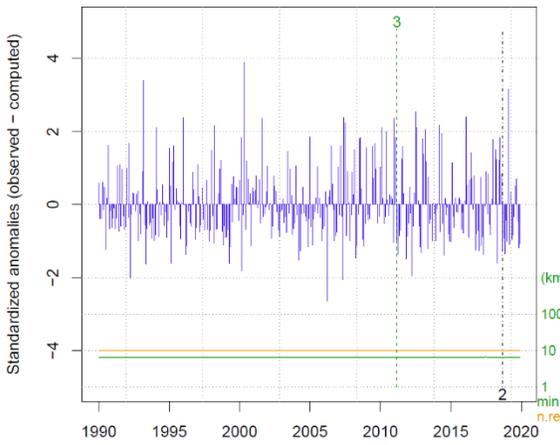
p 17 (21045010)  
BETULIA



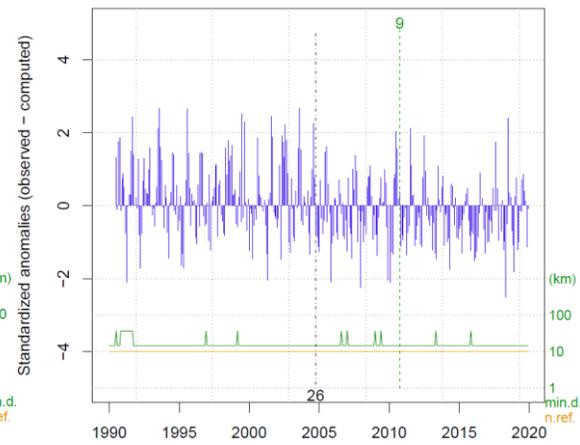
p 18 (21060040)  
PITA



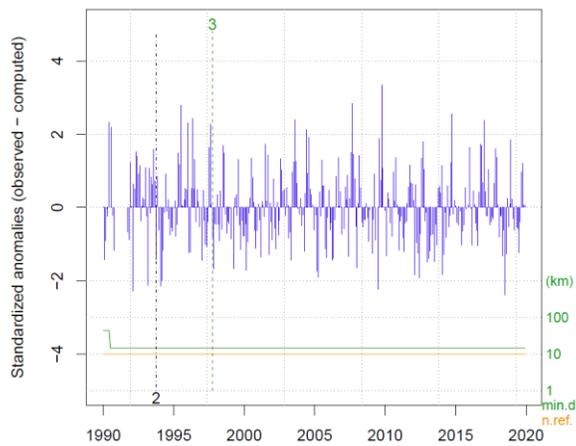
p 19 (21060080)  
GARZON



p 20 (44040020)  
BELEN\_ANDAQUIES



p 21 (44045010)  
SAN\_JOSE\_FRAGUA

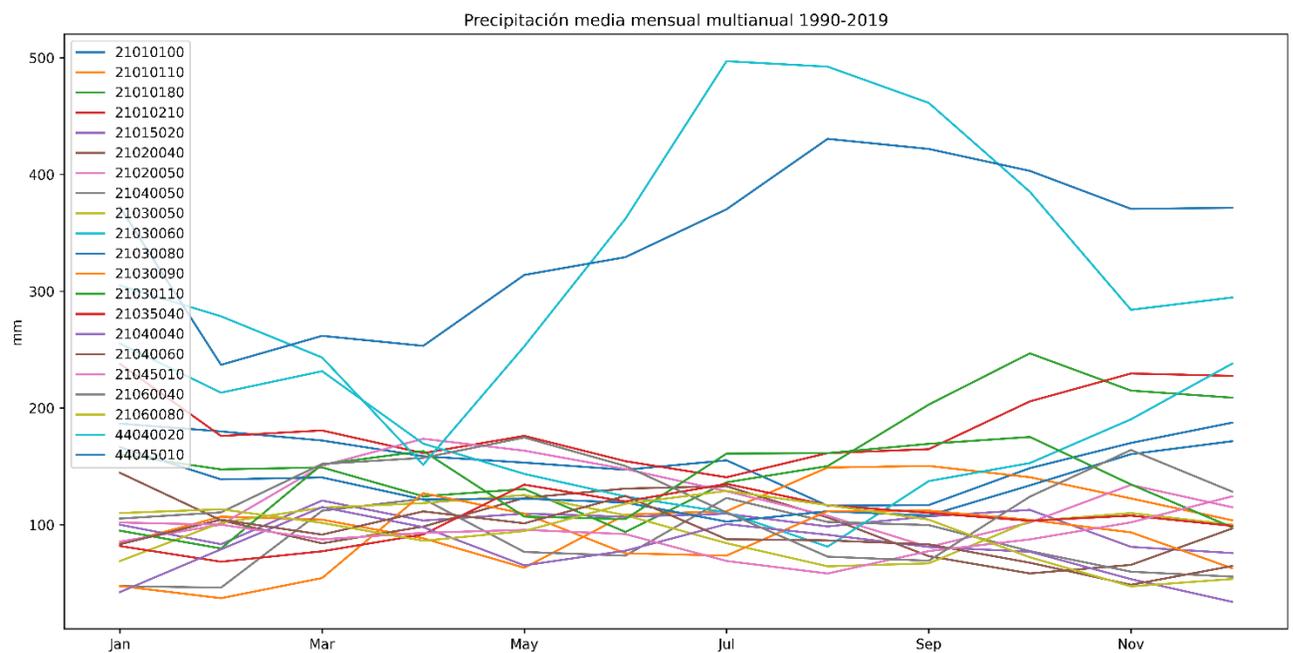


Fuente: Salida de Climatol - R Studio

De acuerdo con los resultados, no se observan inhomogeneidades significativas en las estaciones de precipitación analizadas, por lo cual se considera su uso para los análisis posteriores. Como parte del tratamiento de los datos, se destaca entonces que, tanto las anomalías detectadas como las inhomogeneidades fueron corregidas y los datos faltantes estimados a partir del paquete climatol para R Studio. En este sentido, se presentan en el Anexo 6-2 los resultados de las medias anuales móviles de las series reconstruidas y en el

Gráfico 3-3 los promedios mensuales multianuales de las estaciones con la información completa y homogenizada.

Gráfico 3-3. Precipitación media mensual multianual con las series completadas y homogenizadas 1990-2019.

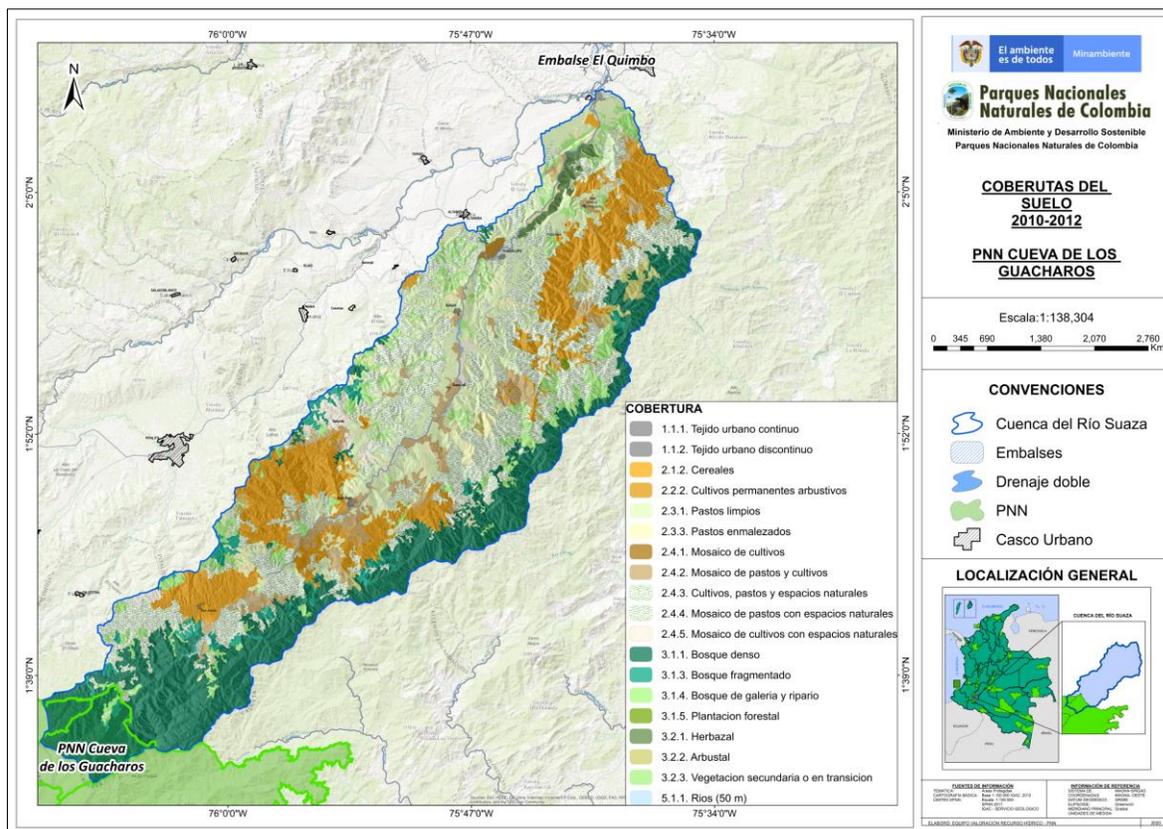


Fuente: Elaboración propia con base en salida de paquete Climatol para R – Studio

### 3.2 Identificación de sectores beneficiarios

La cuenca posee un buen estado de conservación en la parte alta y actividades agropecuarias en la parte media y baja de la cuenca. La cobertura con mayor participación en la cuenca es la de Bosque Denso con el 23,83%, seguida de los cultivos permanentes arbustivos con el 16,84% (Figura 3-1 y Tabla 3-1. Coberturas de la Cuenca del Río Suaza).

Figura 3-1. Coberturas de la tierra Corine Land Cover para la cuenca del Río Suaza



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

Tabla 3-1. Coberturas de la Cuenca del Río Suaza

Cobertura	Hectáreas
1.1.1. Tejido urbano continuo	124.97
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	10.37
2.1.2. Cereales	129.27
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	23947.70
2.3.1. Pastos limpios	19278.60
2.3.3. Pastos enmalezados	3278.83
2.4.1. Mosaico de cultivos	302.49
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	7235.75
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	15801.80
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	19235.21
2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales	1993.34
3.1.1. Bosque denso	33897.99
3.1.3. Bosque fragmentado	3254.27
3.1.4. Bosque de galería y ripario	259.46
3.1.5. Plantación forestal	59.51

<b>Cobertura</b>	<b>Hectáreas</b>
3.2.1. Herbazal	1182.28
3.2.2. Arbustal	2019.89
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	9463.32
5.1.1. Ríos (50 m)	762.45
<b>Total general</b>	<b>142237.48</b>

Fuente: Cálculos propios con base en (IDEAM, 2012)

### **3.3 Modelación del control de erosión**

#### **3.3.1 Descripción del servicio ecosistémico valorado**

El servicio ecosistémico que se valorará corresponde al control de erosión, teniendo en cuenta que conforme con (CAM, 2015), la cuenca presenta problemas de erosión importantes que constituyen una amenaza de gran magnitud para los sectores aguas abajo. Así mismo, el parque presentó durante el 2019 un cierre prolongado debido a deslizamientos que se presentaron en la parte alta y que obligaron a interrumpir la prestación de servicios ecoturísticos. En este sentido se ha priorizado el control de erosión para su valoración biofísica y económica para lo cual se considera además el principal sector económico que se ve afectado por la exportación de sedimentos, el cual corresponde al sector hidroeléctrico.

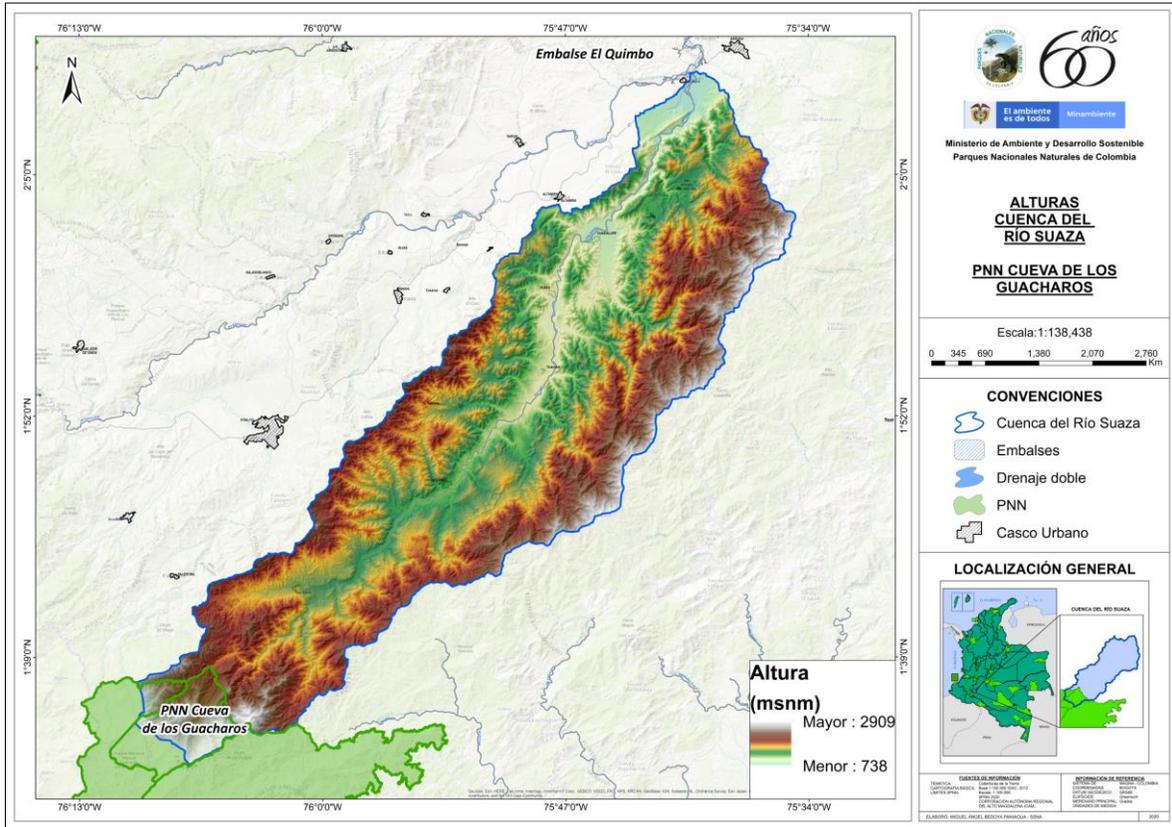
#### **3.3.2 Información obtenida**

##### **3.3.2.1 Modelo de alturas**

A partir del modelo de elevaciones de Alos Palsar de resolución de 12.5 metros se identifica a continuación la distribución de alturas a lo largo de la cuenca (

Figura 3-2).

Figura 3-2. Mapa de elevación de la Cuenca del Río Suaza



Fuente: Elaboración propia

La distribución de alturas permite señalar que la cuenca se encuentra desde los 738 hasta los 2909 msnm. La menor altura, es precisamente donde se hace el aporte de agua al embalse de El Quimbo y la mayor altura se encuentra en el PNN Cueva de Los Guacharos.

### 3.3.2.2 Índice de erosividad de la lluvia

El índice de erosividad de la lluvia refleja el potencial que tiene la precipitación para erosionar el suelo. Al ser este uno de los factores más determinantes en la pérdida de suelo se definieron diferentes escenarios para el modelo entre los cuales se encuentran (i) año medio, (ii) año húmedo y (iii) escenario de cambio climático de ensamble multimodelo para el periodo de tiempo de 2071-2100. Para la estimación de este índice se utilizó, para el escenario de año medio, la información de precipitación multianual de 1990 – 2019, para el escenario de año húmedo, la información de precipitación de julio de 1999 a junio de 2000, el cual corresponde al año con las mayores

precipitaciones y finalmente, el escenario de cambio climático que corresponde al incremento del 17.74% en la precipitación media multianual. En este sentido se presenta en la Tabla 3-2 los resultados del índice de erosividad de la lluvia para cada estación en los escenarios planteados.

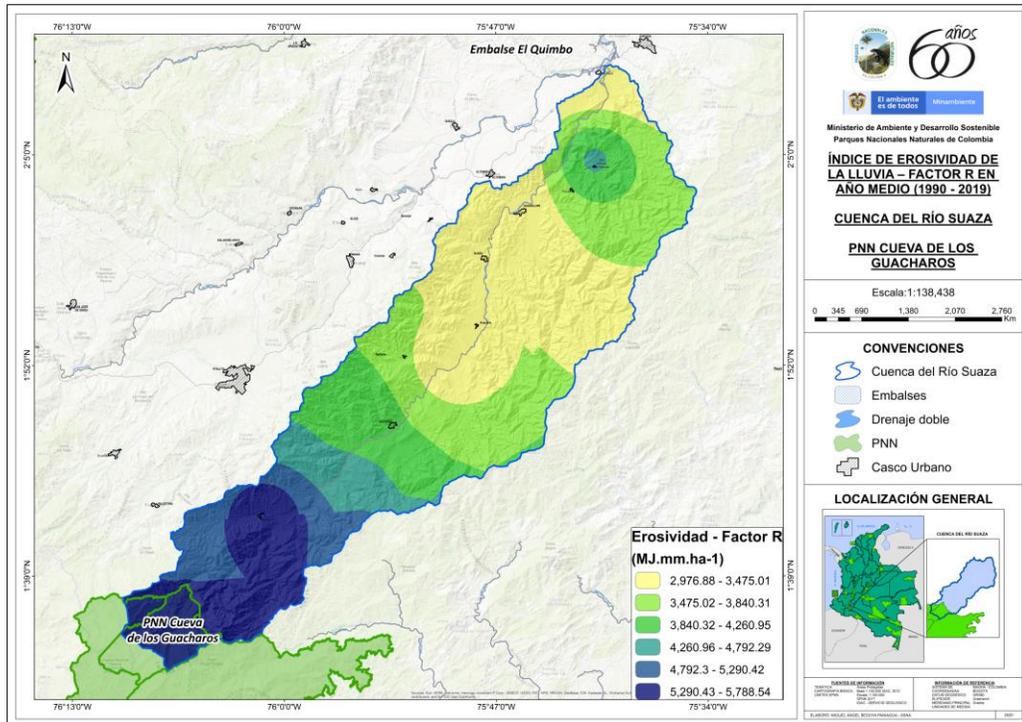
Tabla 3-2. Factor Índice de Erosividad (R) para cada estación en los escenarios planteados

Código	Nombre	Factor R		
		Año Medio	Año Húmedo	Cambio Climático
21030080	ACEVEDO	4185.98	5077.41	4923.55
44040020	BELEN_ANDAQUIES	11147.96	13484.45	13120.59
21045010	BETULIA	2876.94	4747.04	3382.29
21060080	GARZON	3131.48	5486.82	3681.98
21030050	GUADALUPE	3109.80	4640.05	3656.45
21010110	INSFOPAL	3581.71	4673.44	4212.09
21030090	JAGUA	2873.42	4828.44	3378.15
21035040	LIBANO	3306.40	3602.26	3887.93
21010210	MONTECRISTO	5802.43	5364.10	6826.76
21010100	PALESTINA	4921.63	6601.13	5789.70
21060040	PITA	4138.71	3969.08	4867.89
21040040	PUENTE_BALSEADERO	2559.09	4133.89	3008.06
21020050	PUENTE_SALADO	4009.04	4715.25	4715.23
21030060	SAN_ADOLFO	5713.05	7074.55	6721.52
21030110	SAN_ANTONIO	4329.41	5598.85	5092.42
44045010	SAN_JOSE_FRAGUA	10853.46	10858.91	12773.85
21015020	SEVILLA	3144.19	3920.91	3696.95
21010180	TABOR	5349.27	5267.06	6293.21
21040050	TARQUI	2817.70	3477.20	3312.54
21040060	TRES_ESQUINAS	2842.74	5653.13	3342.02
21020040	VISO EL	3326.04	4894.69	3911.06

Fuente: Cálculos propios

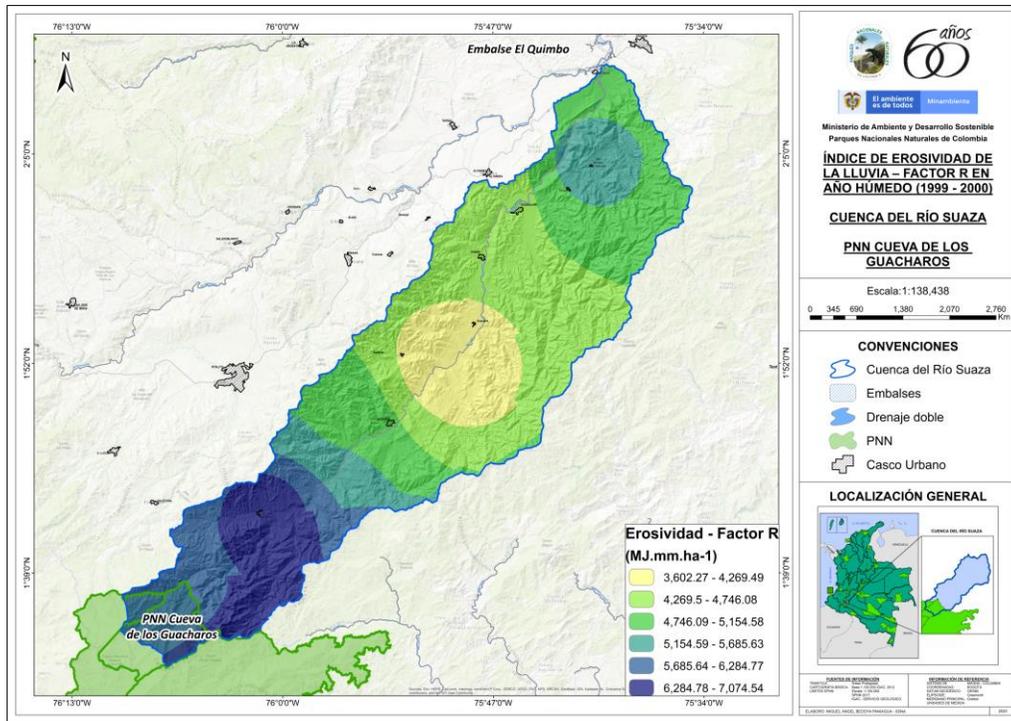
A partir de la estimación del Factor R se realizó la interpolación de dicha variable por el método del Inverso de la distancia para los tres escenarios planteados. A continuación, se presentan los resultados:

Figura 3-3. Índice de erosividad de la lluvia en año medio



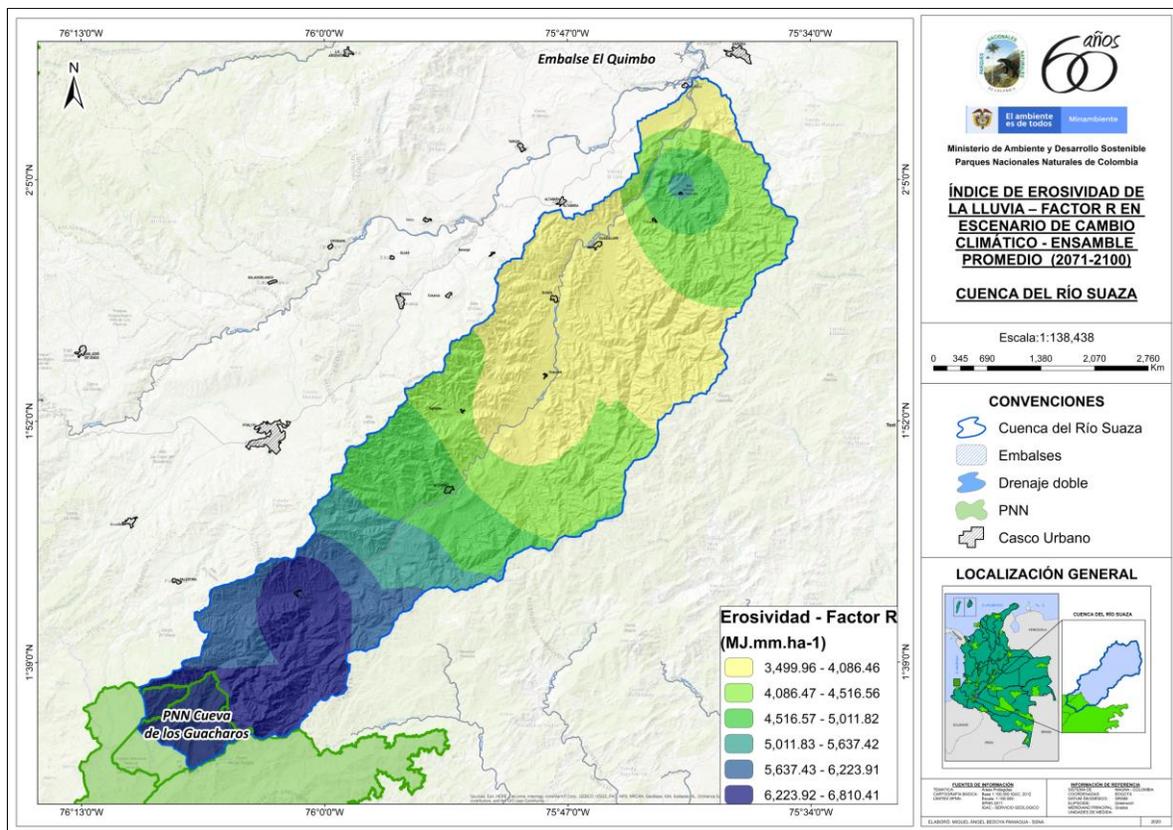
Fuente: Elaboración propia

Figura 3-4. Índice de erosividad de la lluvia en año húmedo



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-5. Índice de erosividad de la lluvia en escenario de Cambio Climático – ensamble multimodelo para el Departamento del Huila



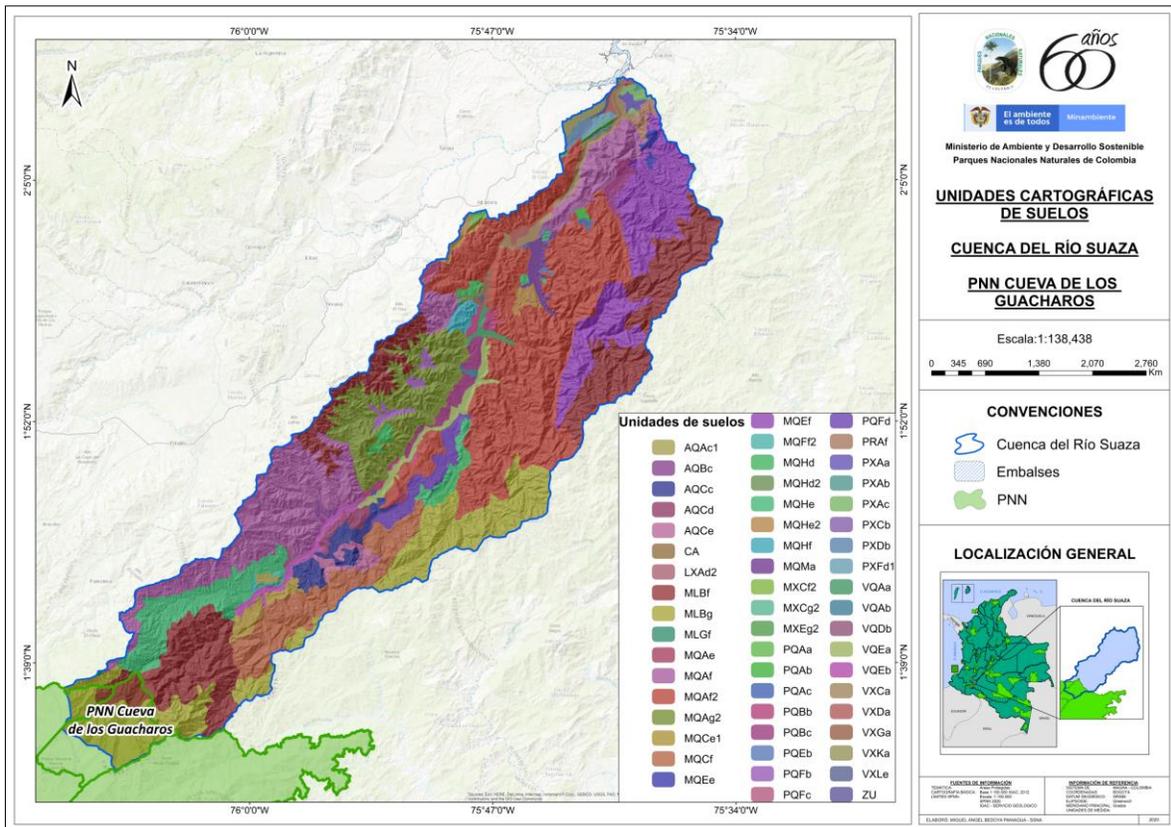
Fuente: Elaboración propia

La erosividad de la lluvia evidencia mayores valores en la zona alta de la cuenca y va disminuyendo hacia la parte media y baja de la misma. Esta patrón guarda relación con la distribución de las lluvias en la zona de estudio, donde se presentan los valores más altos de precipitación en la cuenca alta donde se encuentra el PNN Cueva de Los Guácharos. De igual manera, para los escenarios planteados, se registran mayores valores de erosividad de las lluvias en año húmedo considerando que es el escenario con las mayores precipitaciones, seguido del escenario de cambio climático, donde se incrementan las lluvias en un 17.74%.

### 3.3.2.3 Factor de erodabilidad del suelo (Factor K)

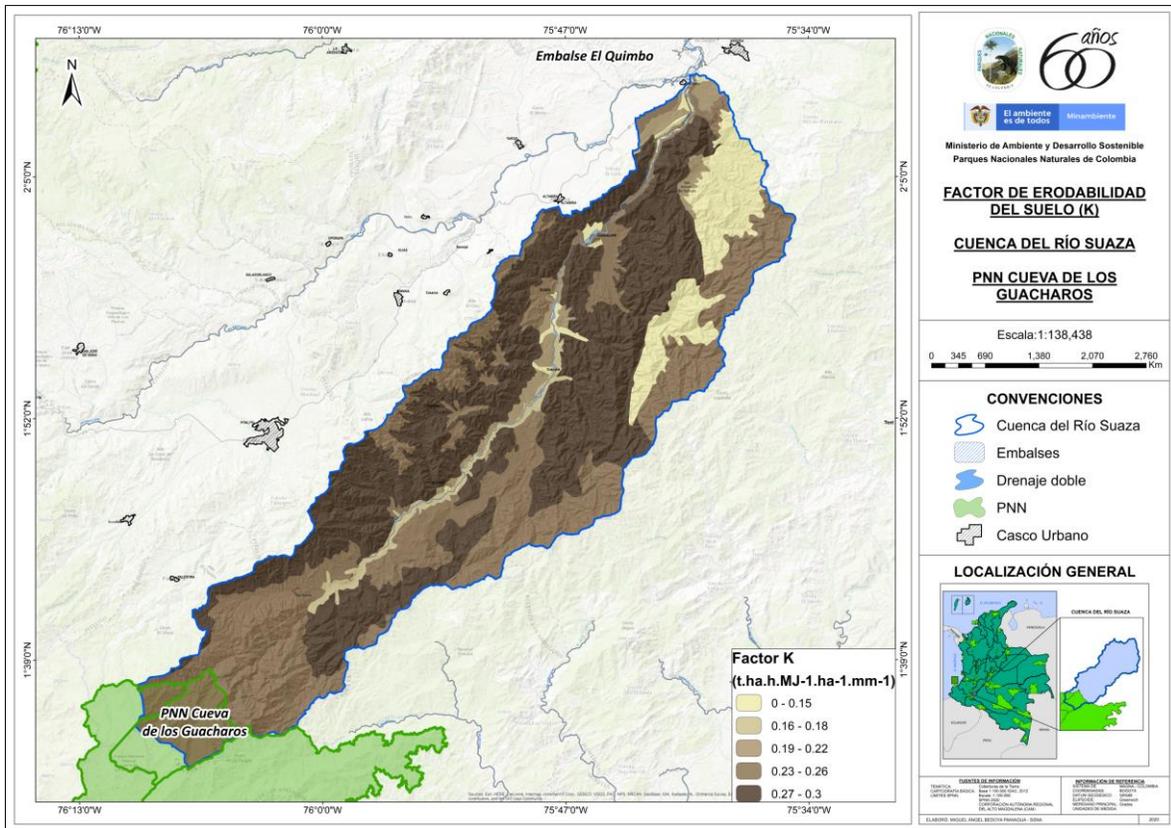
El factor de erodabilidad del suelo depende directamente de la clase textural del suelo. Para establecer dicha clase, se requiere establecer un promedio ponderado de los porcentajes de arcilla, limo y arena por cada horizonte y perfil de una clase textural determinada. En este sentido en el siguiente mapa se establece la clase textural conforme con la capa de suelos del estudio del suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi para el Departamento del Huila.

Figura 3-6. Unidades cartográficas de suelos



Fuente: Elaboración propia con base en (IGAC, 1994)

*Figura 3-7. Factor de erodabilidad del suelo*



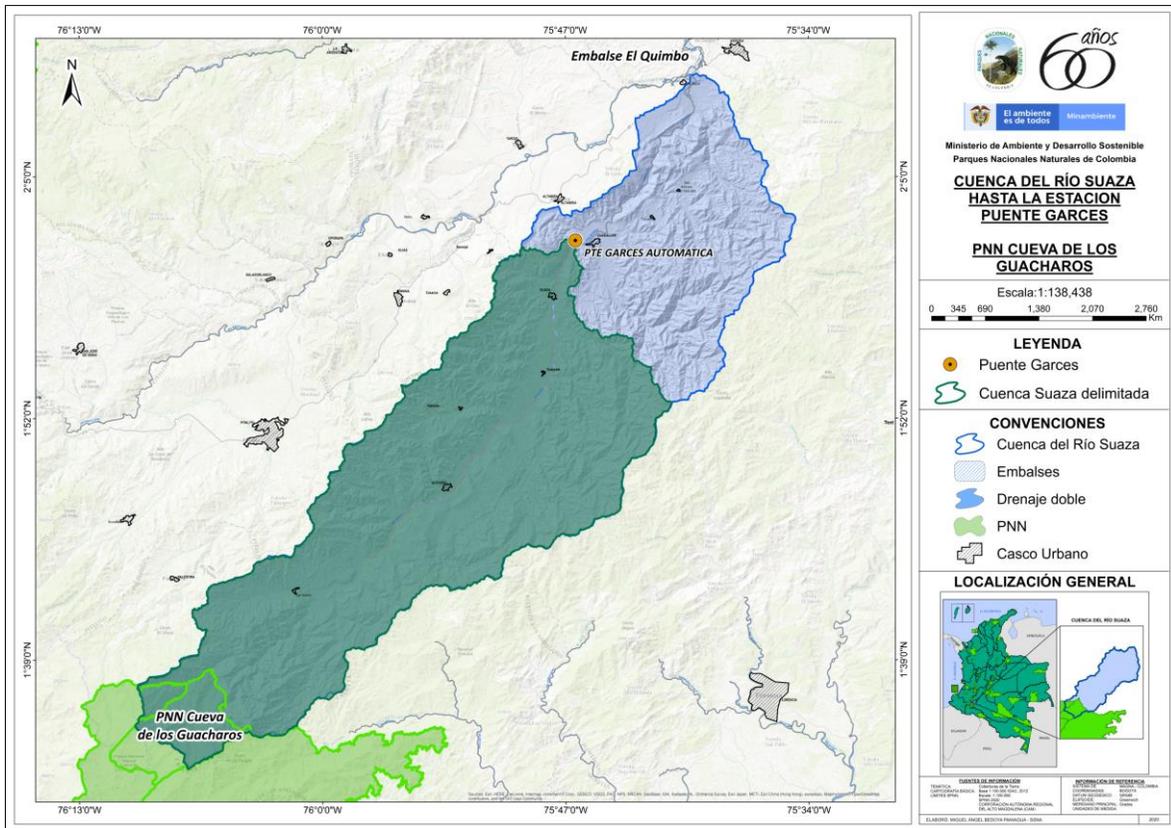
Fuente: Elaboración propia

A partir de la estimación del factor K se destaca que la cuenca media presenta la mayor vulnerabilidad a la erosión, lo cual está relacionado con la clase textural que presenta mayor susceptibilidad a la erosión. Por su parte, la cuenca baja presenta los valores más bajos de vulnerabilidad a la erosión.

### 3.3.2.4 Delimitación de la cuenca

Con el fin de contar con un parámetro para la calibración y validación del modelo se identificó una estación con información sobre sedimentos exportados. Para este fin, se identificó que la estación Puente Garcés cuenta con información sobre sedimentos exportados relacionado con caudal sólido, por lo cual se delimitó la cuenca tomando como punto de cierre la ubicación de esta estación. En este sentido se presenta a continuación la cuenca delimitada hasta esta zona.

Figura 3-8. Delimitación de la cuenca del Río Suaza hasta la estación Puente Garcés



Fuente: Elaboración propia

### 3.3.3 Resultados modelación del control de erosión

Luego de consolidar la información y los insumos del modelo de retención de sedimentos de InVEST se generaron resultados para los escenarios presentados en el Gráfico 3-4.

Gráfico 3-4. Escenarios planteados para la valoración biofísica de los sedimentos exportados en la cuenca del Río Suaza

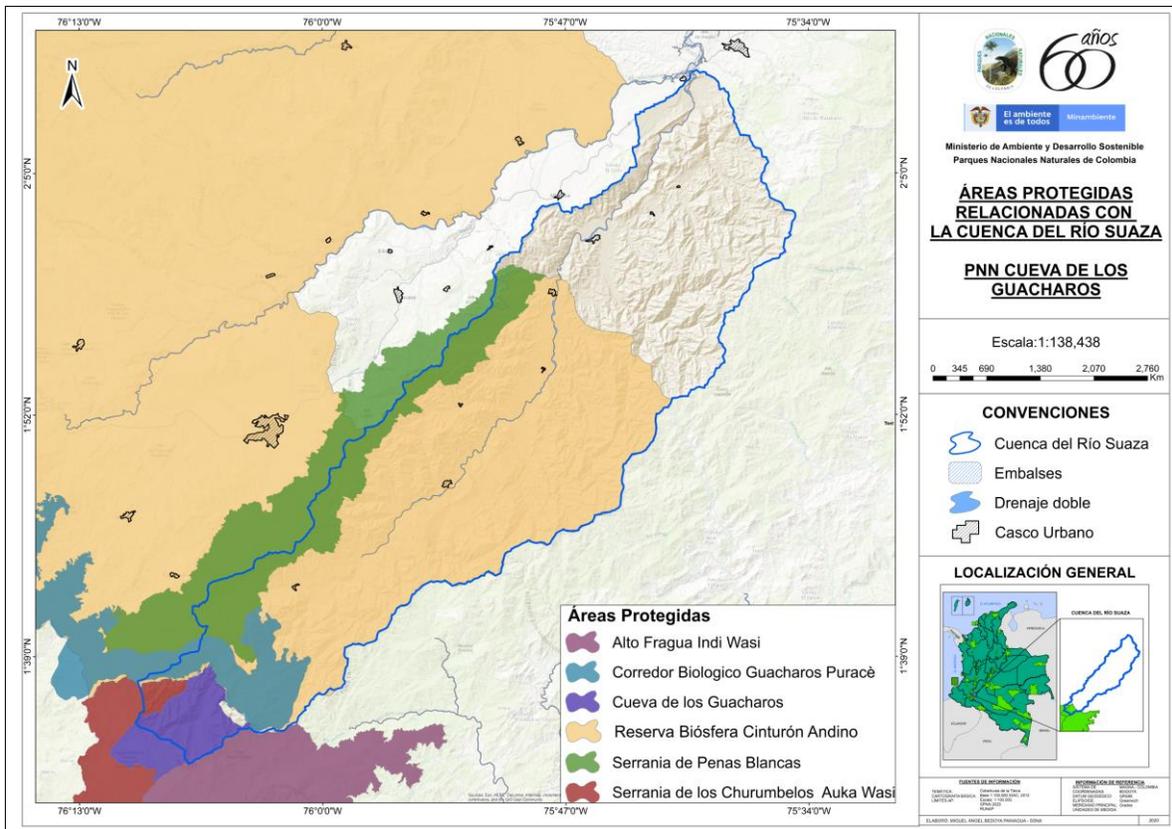


Fuente: Elaboración propia a partir de consenso con la Dirección Territorial Andes Occidentales y el PNN Cueva de Los Guácharos.

Conforme con los escenarios planteados y en acuerdo con el área protegida y la dirección territorial se abordaron los escenarios de conservación y pesimistas a partir de la identificación de las diferentes figuras de conservación del área protegida (Figura 3-9). En este sentido se consideró el PNN Cueva de Los Guácharos, El PNN Alto Fragua Indi Wasi, El PNN Serranía de Los Churumbelos, El Corredor Biológico Guacharos Puracé, La Reserva de La Biosfera Cinturón Andino y la Serranía de Peñas Blancas para la construcción de los escenarios de conservación (optimistas), bajo el supuesto de que dichas figuras de conservación se encuentran totalmente cubiertas por bosques densos (

Figura 3-10). Por su parte, para el escenario pesimista, se basa en la praderización de todas las figuras de conservación con el fin de establecer la cantidad de sedimentos adicionales que se tendrían en caso tal de no contar con áreas protegidas conservadas en la cuenca (Figura 3-11).

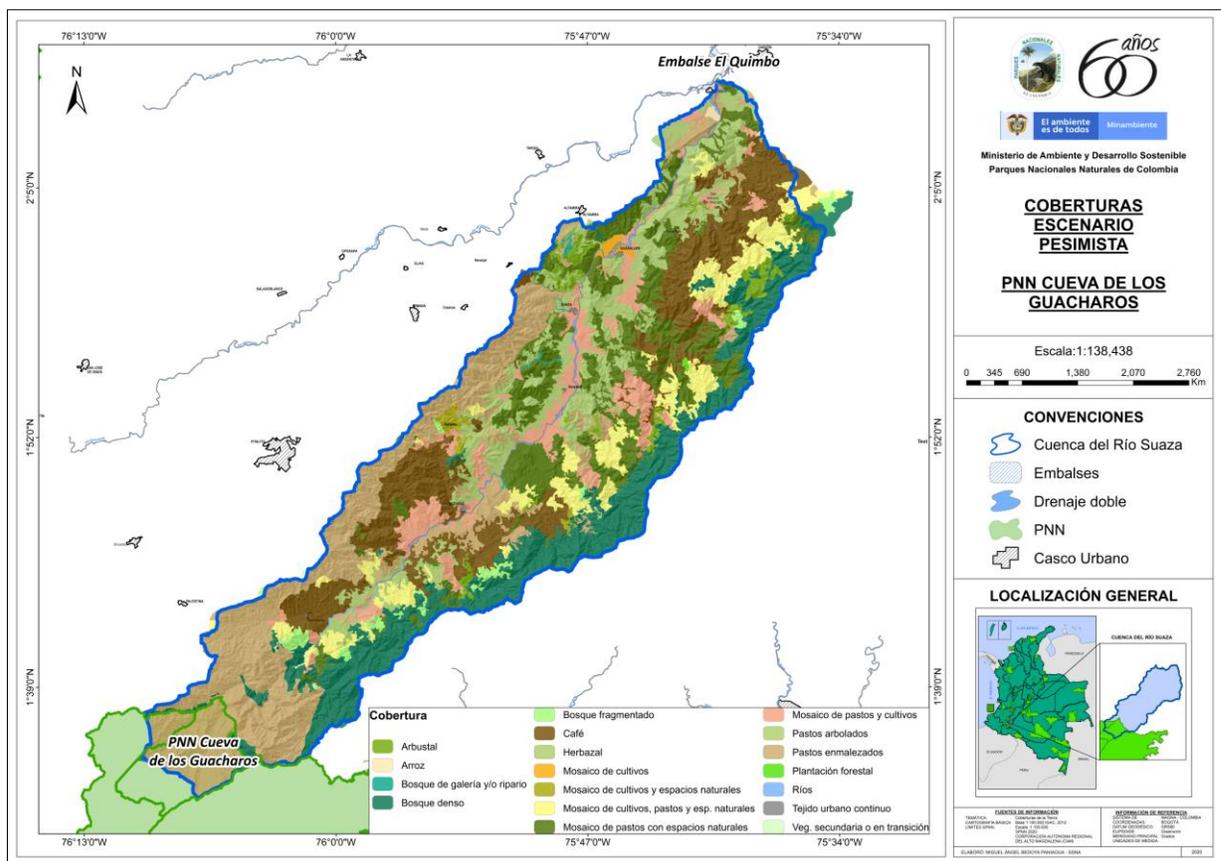
Figura 3-9. Áreas protegidas de relacionadas con la cuenca del Río Suaza



Fuente: Elaboración propia



Figura 3-11. Coberturas de uso del suelo para la construcción de escenarios pesimistas de conservación



Fuente: Elaboración propia

### 3.3.3.1 Resultados sedimentos exportados y retenidos

#### 3.3.3.1.1 Sedimentos exportados hasta estación Puente Garcés

De acuerdo con la identificación de la cantidad de sedimentos exportados en condiciones de año medio para la estación Puente Garcés, la calibración con los parámetros mencionados en la Tabla 2-2 arrojó que el valor de sedimentos exportados obtenido en la simulación de condiciones de línea base y precipitación media anual corresponde a 863,254.7 Ton/año, lo que representa una diferencia del 0.46% con respecto a los datos observados en la estación Puente Garcés de 859,330.00 Ton/año (Moreno Castro, 2017). Con estas consideraciones se simularon los demás escenarios con el fin de aproximarse tanto valores de sedimentos exportados y retenidos como al valor económico del servicio ecosistémico de control de erosión para el proyecto hidroeléctrico El Quimbo.

#### 3.3.3.1.2 Sedimentos exportados y retenidos para la cuenca del Río Suaza aportante al embalse del Quimbo

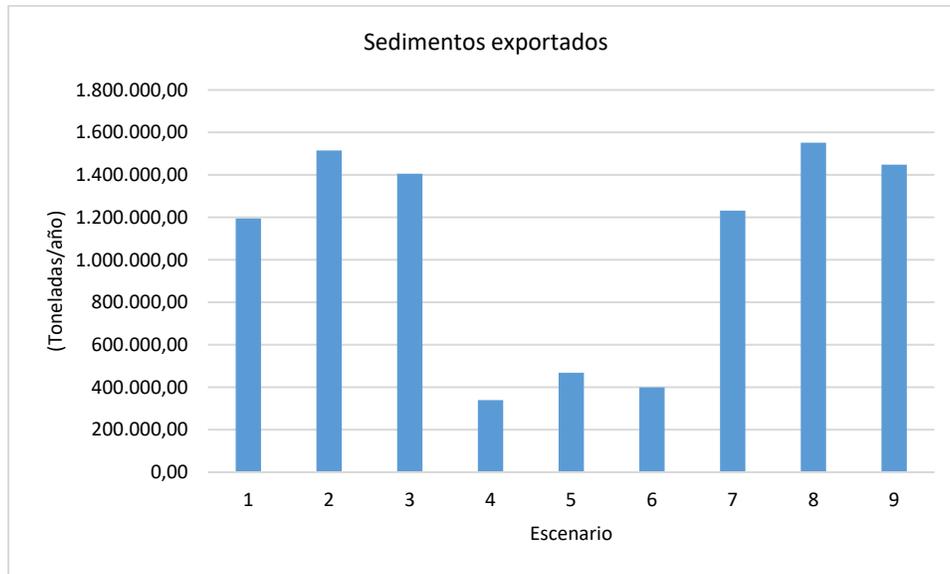
A partir de la modelación de sedimentos retenidos y exportados, se presentan en la Tabla 3-3 y el Gráfico 3-5, los resultados para cada escenario planteado en la Gráfica 3-4.

Tabla 3-3. Resultados de la cuantificación de sedimentos retenidos y exportados para los diferentes escenarios planteados en la valoración

Escenario	Sedimentos retenidos (Ton)	Sedimentos exportados (Ton)
1	68300681.03	1194998.377
2	85807540.87	1515113.007
3	80331840.65	1405422.953
4	69154595.75	339606.356
5	86852567.84	468383.5344
6	81336148.14	399378.0701
7	68262732.38	1231469.726
8	85769204.07	1551747.294
9	80287188.67	1448337.54

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

Gráfico 3-5. Sedimentos exportados para los diferentes escenarios planteados en la valoración



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

De acuerdo con los resultados de la modelación, se identifica que los escenarios con mayor pérdida de suelo por erosión corresponden al 8 y al 2, los cuales reflejan las condiciones de año húmedo con praderización y año húmedo con las coberturas respectivamente. En este sentido, se destaca que la erosividad de la lluvia es el factor más determinante en la pérdida de suelo por erosión, seguido del cambio en la cobertura del suelo. Esto se puede evidenciar si se tiene en cuenta que para los escenarios relacionados con conservación y cobertura boscosa se presentan los menores niveles de sedimentos exportados. Por su parte, en los escenarios con mejores condiciones de conservación se presentan los mayores valores de sedimentos retenidos, lo que evidencia nuevamente al importancia de la conservación de coberturas boscosas de las figuras de protección en la cuenca frente al servicio ecosistémico de control de erosión.

En términos generales, es posible señalar que, si no se cuentan con las figuras de conservación presentes en la cuenca del Río Suaza. Es decir, si estas coberturas se transforman en pastos producto de la deforestación y la praderización, los sedimentos exportados se incrementarían en 36,471.35 Ton/año (Diferencia escenarios 7 y 1). En otras palabras, las áreas protegidas de la Cuenca del Río Suaza conformadas por el PNN Cueva de Los Guácharos, así como las otras figuras de carácter regional, evitan la exportación anual de 36,471.35 Toneladas de suelo que llegarían al embalse, de no contar con el servicio ecosistémico de control de erosión que brindan dichas áreas protegidas.

### 3.4 Valoración económica del control de erosión

Conforme con la metodología de costos evitados, el valor económico del servicio ecosistémico de control de erosión está representado en los costos en que incurriría un actor en particular, en este caso el proyecto hidroeléctrico El Quimbo, para reducir o evitar las consecuencias no deseadas de

asumir una remoción adicional de sedimentos en el embalse. De esta forma, el valor económico está asociado al costo de remover o controlar la carga adicional de sedimentos. De esta manera, a fin de tener un referente de los posibles costos del desarrollo de estrategias de remoción de sedimentos se consideraron los valores promedio de diferentes estrategias conforme con lo expuesto por (Montañez Guillén , 2017), en donde se obtuvo un valor promedio presentado por (Bedoya & Gonzalez, 2020) de \$14,744 COP por la remoción de 1 metro cúbico de sedimentos.

Dado lo anterior, se presenta la ecuación general utilizada para la valoración económica de costos evitados por el incremento de sedimentos exportados escenario 1 vs escenario 7:

*Costos evitados (\$)*

$$= \text{Diferencia sedimentos exportados escenario 7} - \text{escenario 1} \\ * \text{costo de remoción de sedimentos } m^3$$

Para aplicar la ecuación se convirtieron los sedimentos exportados de Ton a m<sup>3</sup> obtenidos de la diferencia entre escenarios planteados. El valor en toneladas/año corresponde a 36,471.35, lo que equivale a 25,564.13 m<sup>3</sup>/año. Este valor se multiplicó por el costo promedio de la remoción de un m<sup>3</sup> de sedimentos (\$14,744 COP), con lo cual se obtuvo un costo evitado anual de \$376,917,601.70 COP.

Adicional a esta medida de valor, se estimó el valor futuro de los costos evitados anuales teniendo en cuenta la vida útil del embalse (50 años). Para tal fin, se consideró el valor promedio de la inflación (3.69%) durante los últimos 3 años, con lo cual se estima que los costos evitados por la conservación de las figuras de áreas protegidas en la cuenca del Río Suaza representan para el proyecto hidroeléctrico El Quimbo ahorros aproximados por valor de \$2,307,226,031 millones ??, durante la vida útil del embalse.

### **3.5 Valoración económica provisión de agua de las áreas protegidas aportantes al Embalse El Quimbo**

A partir del valor promedio de un kWh de \$375.18 (XM, 2020), se obtuvo una aproximación al valor económico del beneficio por la provisión de agua de las áreas protegidas cuyas cuencas abastecen de recurso hídrico al embalse del Quimbo. De esta forma, en la Tabla 3-4 se presentan los resultados de esta aproximación.

*Tabla 3-4. Beneficio económico de los PNN al embalse El Quimbo*

Embalse /Proyecto	Parques Aportantes	Áreas (Has)	Oferta hídrica total de cuencas a embalse (Millones m <sup>3</sup> )	Oferta hídrica total atribuible a los PNN (Millones m <sup>3</sup> )	% aporte de recurso hídrico de los PNN a la oferta hídrica total	Generación de energía total (kWh/año) Millones	Generación de energía atribuible a los PNN (kWh/año) Millones	Valor económico atribuible a los PNN (Miles de millones por año)
Embalse del Quimbo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PNN Alto Fragua Indi – Wasi</li> <li>• PNN Cueva de Los Guácharos</li> <li>• PNN Puracé</li> <li>• PNN Serranía de Los Churumbelos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Área total cuenca a embalse: 669,395.4</li> <li>• Área de cuencas aportantes en los PNN: 69,757.7</li> </ul>	10,720.26	1,428.53	13.33%	2,963,8	394.94	\$ 148.17

Fuente: Adaptado de (Bedoya & Gonzalez, 2020)

Los resultados de esta estimación indican que, el aporte por recurso hídrico de las cuencas de las áreas protegidas que abastecen al embalse del Quimbo asciende aproximadamente a ciento cuarenta y ocho mil ciento setenta millones anuales (\$ 148.170.000.000). En este sentido, se destaca que, si bien esta cifra debe considerarse como una primera aproximación del aporte relacionado con el beneficio del recurso hídrico de áreas protegidas que brindan agua al proyecto hidroeléctrico el Quimbo, es bastante significativo el beneficio económico obtenido del servicio ecosistémico de provisión de agua, en contraprestación a las retribuciones económicas que tienen las áreas protegidas que brindan dicho servicio tanto a este como a múltiples actores a nivel local, regional y nacional.

#### 4 CONCLUSIONES

- El escenario planteado sobre la conservación de las figuras de áreas protegidas en la cuenca presenta la menor exportación de sedimentos, es decir, la menor pérdida de suelo por erosión. Desde esta perspectiva, se destaca el papel de la conservación no solo en términos del beneficio biofísico y económico evaluado para el sector hidroeléctrico, sino también para acueductos municipales, distritos de riego, aprovechamientos agropecuarios, entre otras actividades que se benefician de un valor de uso indirecto de un servicios ecosistémicos de regulación que se resalta desde la aproximación presentada en este informe. En este sentido, es clave que los diferentes sectores beneficiarios reconozcan que el papel de la conservación está permitiendo que sus actividades económicas sean rentables y que, en la medida en que contribuyan a una gestión compartida de las áreas protegidas podrán seguir manteniendo y fortaleciendo sus actividades económicas.

- Teniendo en cuenta que, sin las coberturas boscosas de las áreas protegidas presentes en la cuenca del Río Suaza, se incrementarían en los sedimentos exportados 36,471.35 Ton/año, se destaca un incremento estimado en los costos anuales del proyecto hidroeléctrico El Quimbo de \$376,917,601.70 COP aproximadamente. Dichos costos adicionales representan pérdidas económicas para la empresa y gastos adicionales que la conservación, tanto del PNN Cueva de Los Guácharos, así como de las otras figuras de conservación en la cuenca están evitando.
- La provisión de agua por parte de los parques nacionales naturales aportantes al Embalse del Quimbo se valora en ciento cuarenta y ocho mil ciento setenta millones (\$ 148.170 millones) anuales, lo que evidencia que el recurso hídrico de estas áreas protegidas es fundamental para la existencia del proyecto hidroeléctrico. En este orden de ideas, es clave el fortalecimiento de los diferentes proyectos que lleva a cabo la empresa de energía en términos de la compensación por pérdida de biodiversidad y en apoyar la conservación de las áreas protegidas y otras estrategias de conservación para que se reconozca la importancia de las áreas protegidas que finalmente brindan el insumo básico para la generación de energía.
- Los valores económicos estimados, tanto del servicio ecosistémico de control de erosión, así como de la provisión de agua para el sector hidroeléctrico superan significativamente el presupuesto anual del área protegida, lo que quiere decir que solo con evaluar dos servicios ecosistémicos y un sector beneficiario se obtiene un valor económico mucho mayor que el destinado para la conservación del PNN Cueva de Los Guácharos, por lo cual se destaca que mayores presupuestos o aportes de los sectores beneficiados en términos de conservación del área resultarían en el fortalecimiento de la rentabilidad de múltiples sectores económicos, relacionados no solo con los servicios ecosistémicos hidrológicos sino también con muchos otros servicios.

## 5 BIBLIOGRAFÍA

Alexandersson, H. (1986). A homogeneity test applied to precipitation data. *Jour of Climatology*, 6, 661-675.

Bedoya Paniagua, M. A. (2016). *Valoración del servicio ecosistémico de retención de sedimentos Cuenca del Río Chinchiná – Parque Nacional Natural Los Nevados*. Parques Nacionales Naturales de Colombia, Subdirección de Sostenibilidad y Negocios Ambientales, Bogotá D.C.

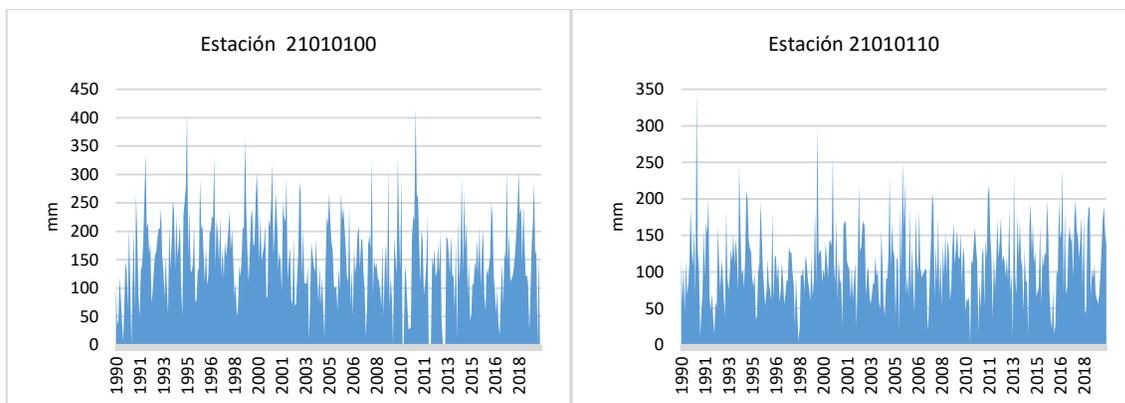
- Bedoya, M., & Gonzalez, A. (2020). *Valoración de Servicios Ecosistémicos Hidrológicos de los Parques Nacionales Naturales de Colombia Macrocuena Magdalena Cauca*. Bogotá D.C.: Parques Nacionales Naturales de Colombia - Subdirección de Sostenibilidad y Negocios Ambientales.
- CAM. (2015). *Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Suaza*. Neiva, Huila: Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM).
- Castañeda, C., Ortiz, O., & Vivas, C. (2014). *ESTUDIO DE CRECIENTES Y CÁLCULO DE NIVELES MÁXIMOS EN EL RÍO SUAZA EN EL CRUCE SOBRE LA VÍA SUSTITUTIVA PITALITO – GARZÓN – GIGANTE DEL DEPARTAMENTO DEL HUILA*. Bogotá D.C.: UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA.
- Chavez Tafur, J. (2006). *Aprender de la experiencia - Una metodología para la sistematización*. Perú: Fundación ILEIA / Asociación ETC Andes.
- ENEL. (2018). *Grupo ENEL - área de influencia central hidroeléctrica el Quimbo*. Obtenido de <https://www.enel.com.co/es/conoce-enel/enel-emgesa/el-quimbo/represa-el-quimbo-huila.html>
- Foley, J., DeFries, R., Asner, G., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S., . . . Snyder, P. (2005). GlobalConsequences of Land Use. *Science*, 309, 570-574. Obtenido de <https://doi.org/10.1126/science.1111772>
- Guijarro, J. (2011). *User's guide to Climatol*. Instituto Nacional de Meteorología. Centro Meteorológico en Illes Balears.
- Guijarro, J.A. (2018). *Climatol: Climate Tools (Series Homogenization and Derived Products - Manual de software informático*. Obtenido de <https://cran.r-project.org/web/packages/climatol/index.html>

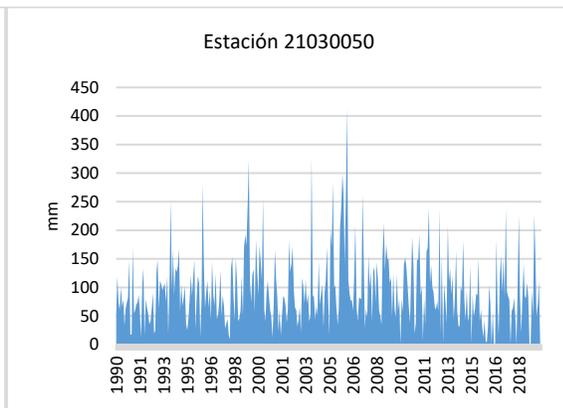
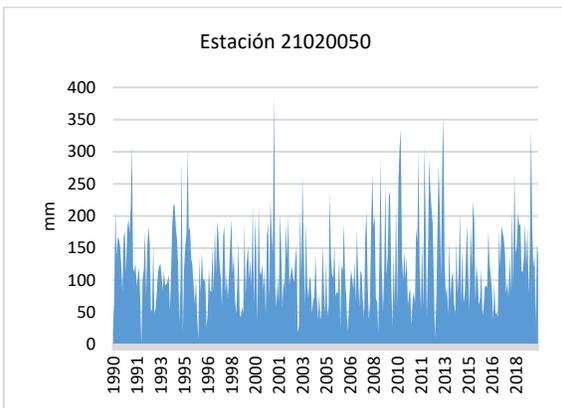
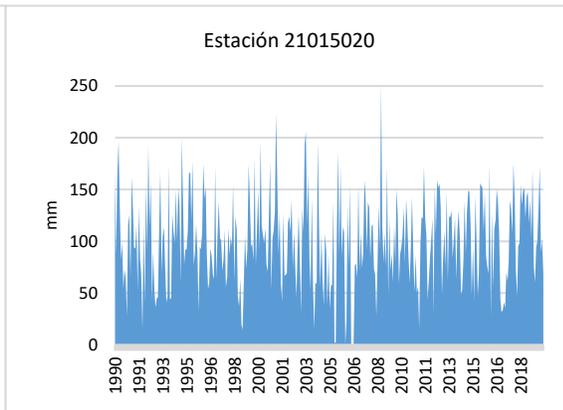
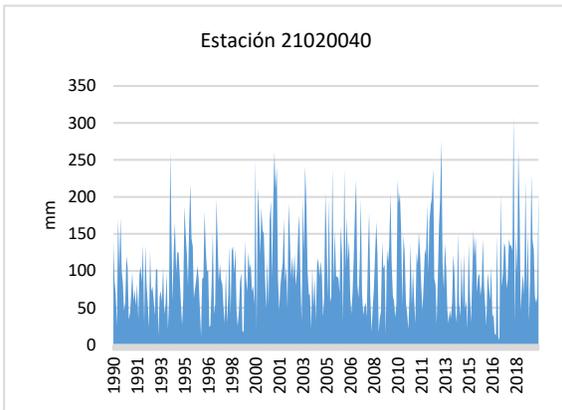
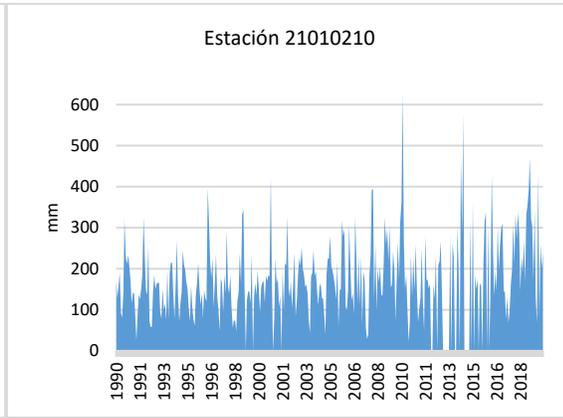
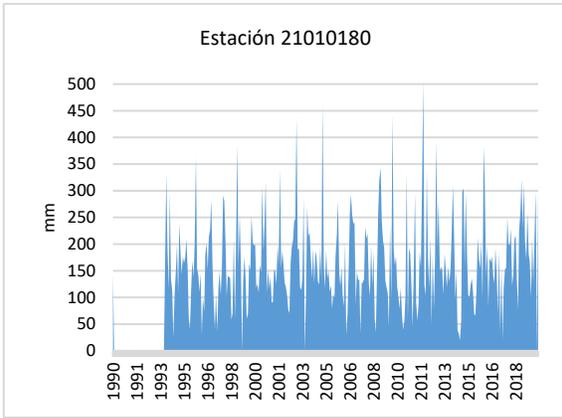
- Hernández García, E., García Valero, J., Palenzuela, J., & Belda, F. (2012). Ejercicio de homogeneización y relleno de series diarias de temperatura máxima, mediante el uso de Climatol. *Publicaciones de la Asociación Española de Climatología*, 409-420.
- IAVH. (2012). *Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos*. Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- IDEAM. (2012). *Mapa de Coberturas de la Tierra, Metodología Corine Land Cover Adaptada para Colombia Escala 1:100.000 - Periodo 2005-2009*. Bogotá D.C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- IGAC. (1994). *Estudio general de suelos del Departamento del Huila*. Bogotá D.C.: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Guía Nacional de Valoración Económica del Patrimonio Natural*. Lima - Perú: Ministerio del Ambiente Puerú.
- Montañez Guillén , J. E. (s.f.). *Estrategias para el manejo de sedimentos en embalses*. Bogotá, D.C.: Universidad de los Andes- Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental.
- Moreno Castro, N. (2017). *Determinación de correlaciones entre parámetros hidrológicos y físicos, y la carga de lavado en algunas subcuencas del Río Magdalena*. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia.
- Morris, G. (2015). Management alternatives to combat reservoir sedimentation. *Proceedings of the International Workshop on Sediment Bypass Tunnels*, 27-29.
- Paulhus, J., & Kohler, M. (1952). Interpolation of missing precipitation records. *Monthly Weather Review*, 129-133.
- PNUD. (2013). *Evaluación del bienestar humano y ambiente en el corredor seco oriental de Guatemala*. Guatemala: Programa Naciones Unidas para el Desarrollo.

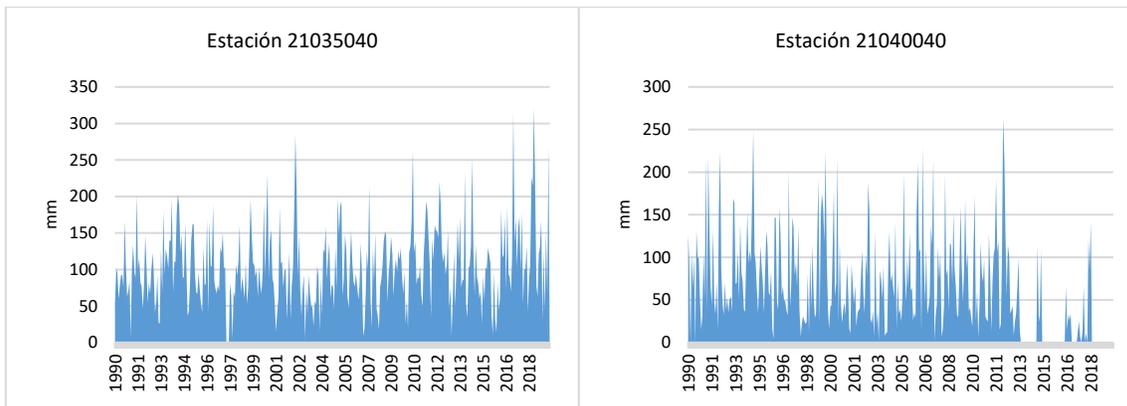
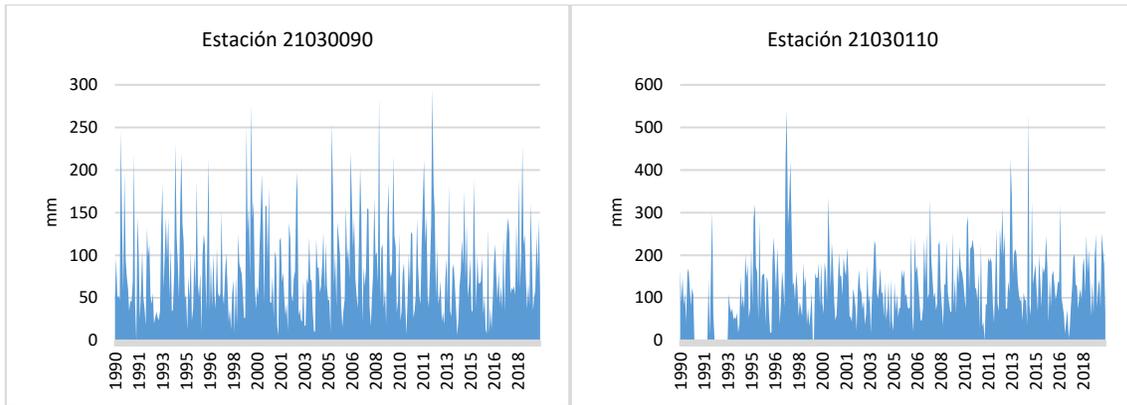
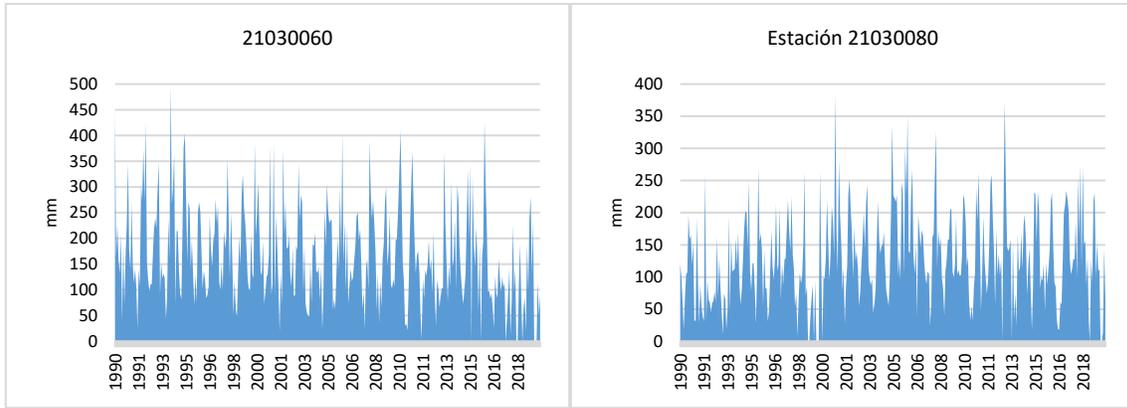
- Rincón, A., Echeverry, M., Piñeros, A., Tapia, C., David, A., Arias, P., & Zuluaga, P. (2014). *Valoración integral de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos: Aspectos conceptuales y metodológicos*. Bogotá D.C. Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
- 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.
- Wischmeier, W., & Smith, D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. Washington DC.: USDA-ARS Agriculture Handbook.
- XM. (2020). *Informes mensuales de análisis del mercado de energía*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2020, de <https://www.xm.com.co/Paginas/Informes.aspx>

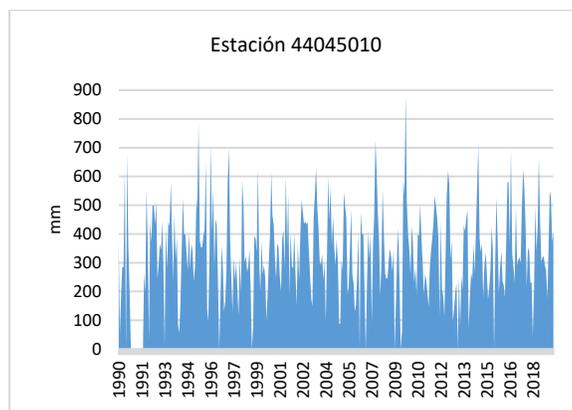
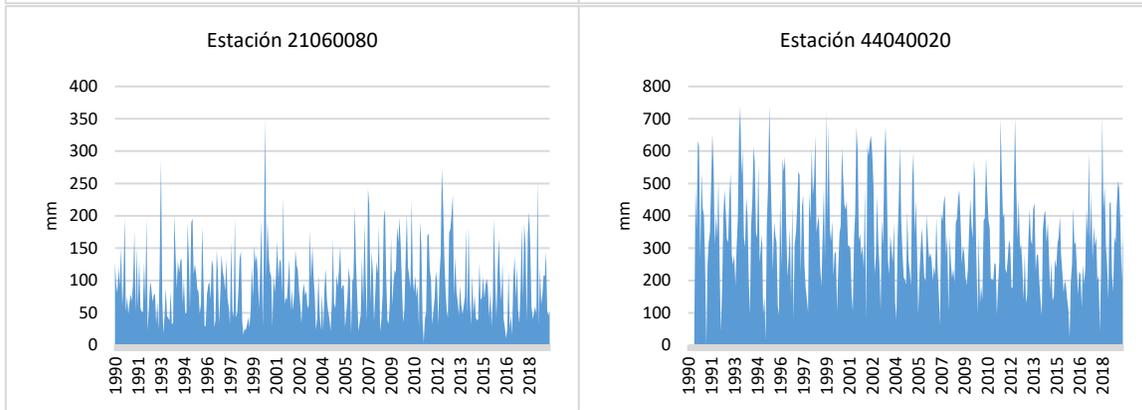
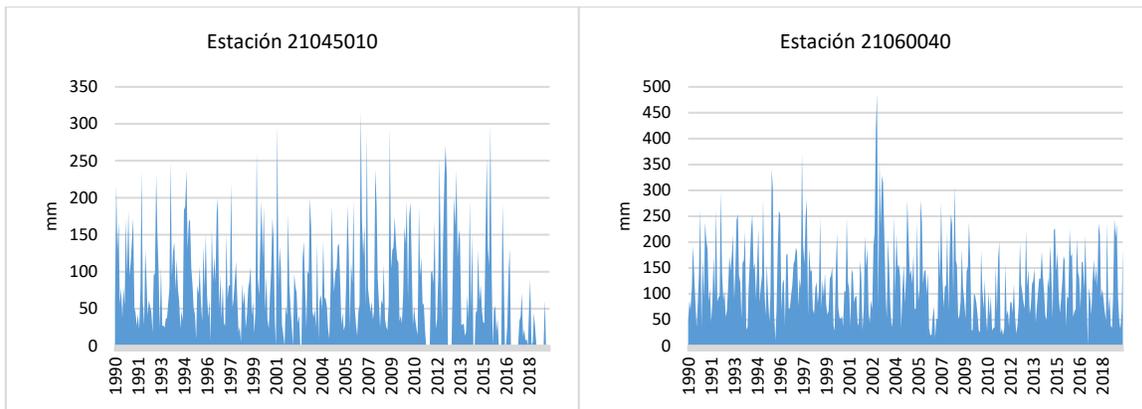
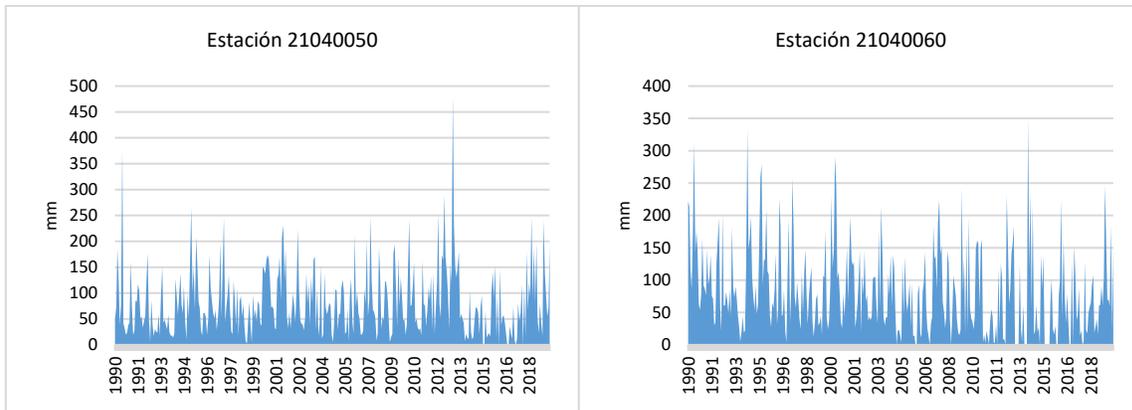
## 6 ANEXOS

Anexo 6-1. Gráficos de series de tiempo de las estaciones analizadas



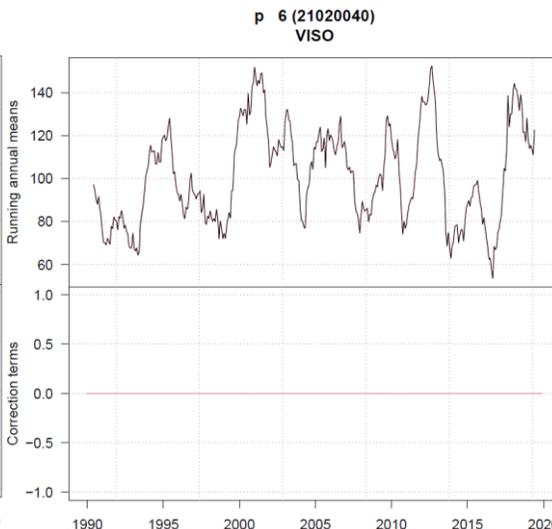
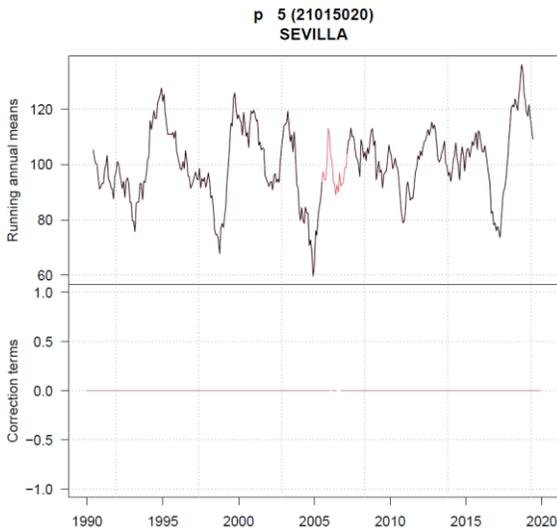
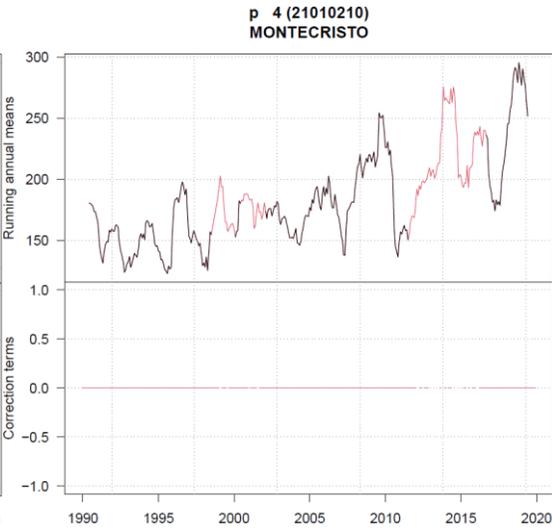
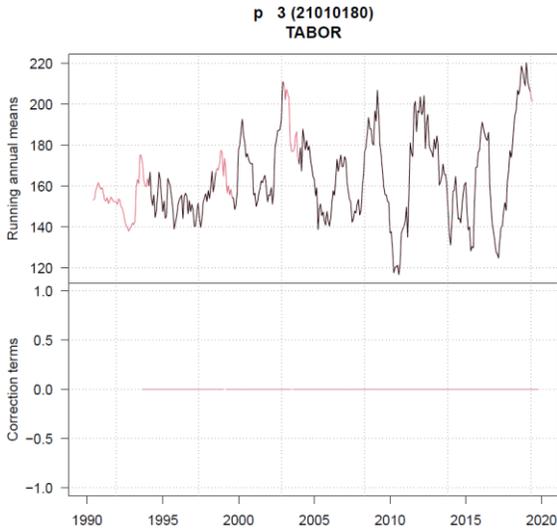
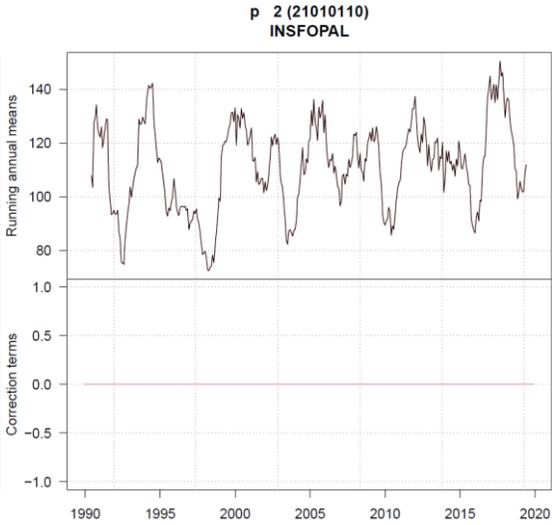
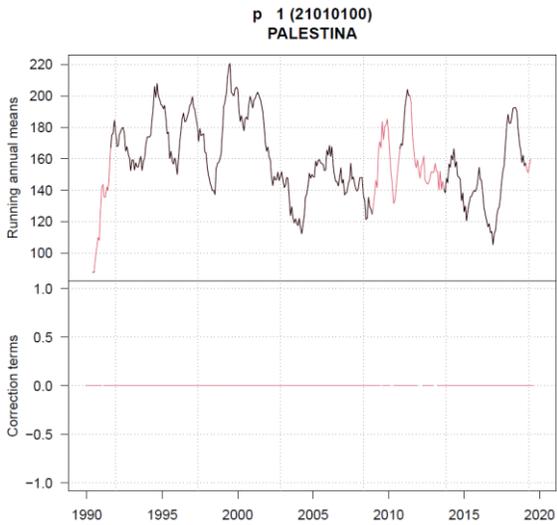




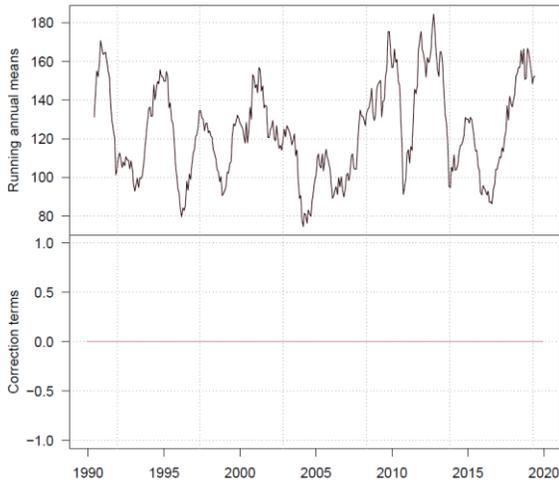


Fuente: Elaboración propia

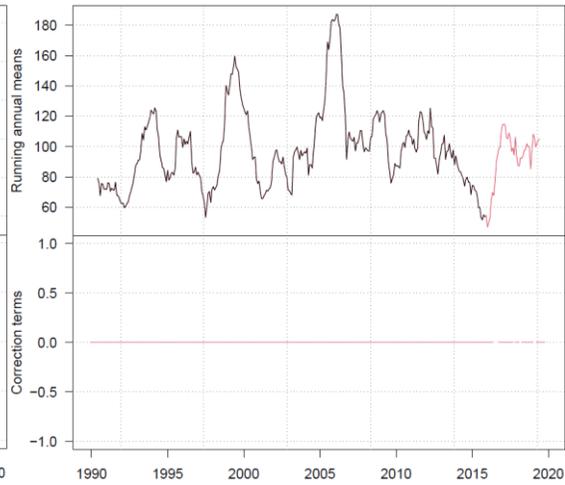
*Anexo 6-2. Medias anuales móviles de las series reconstruidas*



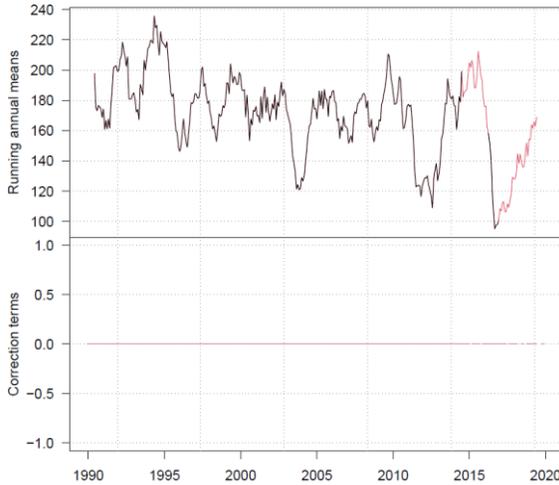
**p 7 (21020050)**  
**PUENTE\_SALADO**



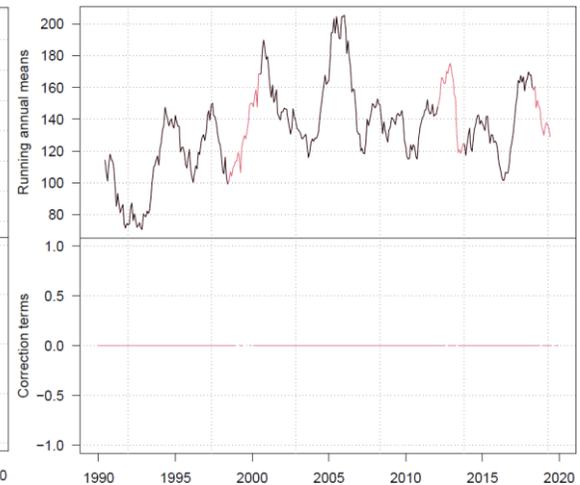
**p 8 (21030050)**  
**GUADALUPE**



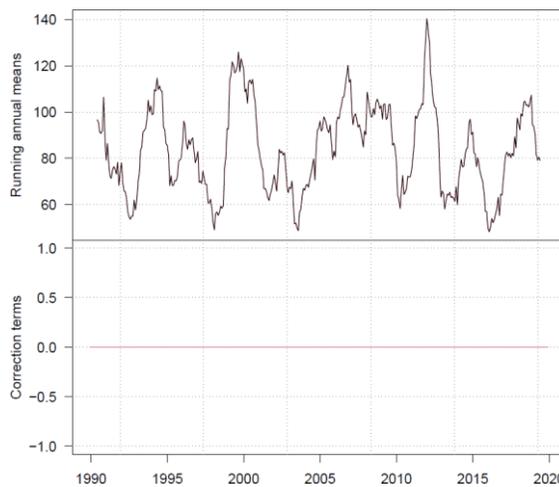
**p 9 (21030060)**  
**SAN\_ADOLFO**



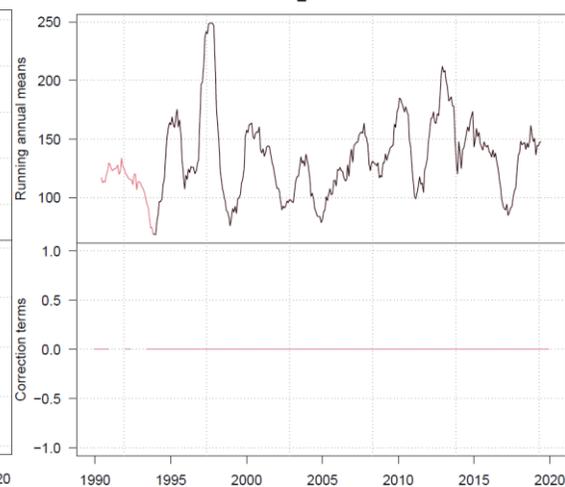
**p 10 (21030080)**  
**ACEVEDO**



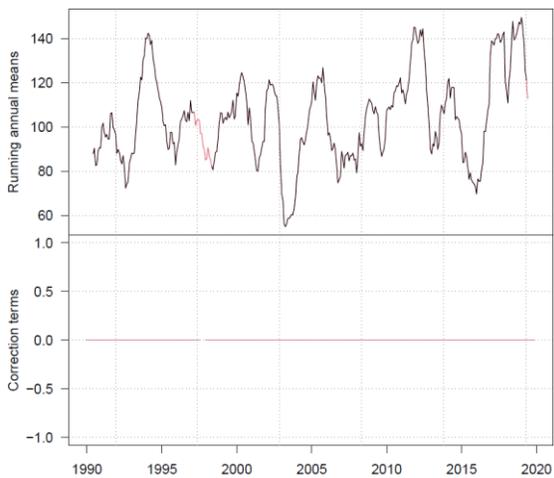
**p 11 (21030090)**  
**JAGUA**



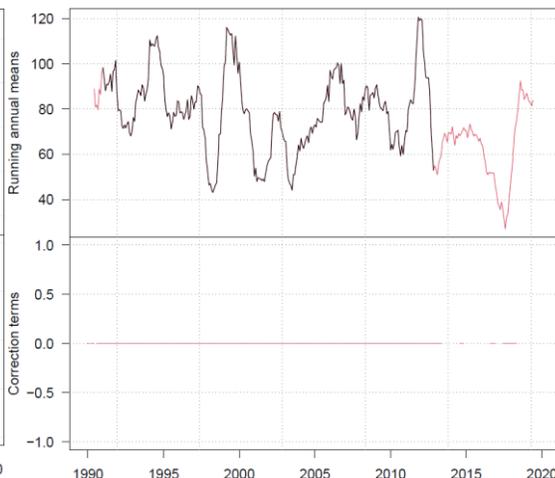
**p 12 (21030110)**  
**SAN\_ANTONIO**



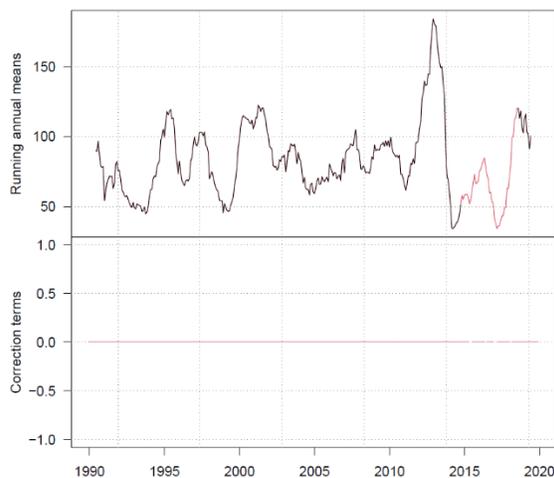
**p 13 (21035040)**  
**LIBANO**



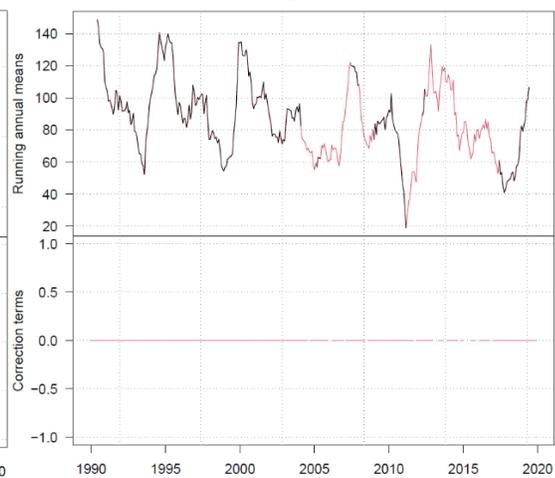
**p 14 (21040040)**  
**PUENTE\_BALSEADERO**



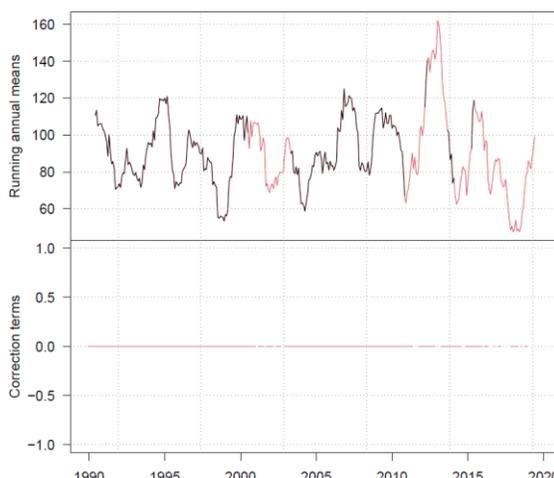
**p 15 (21040050)**  
**TARQUI**



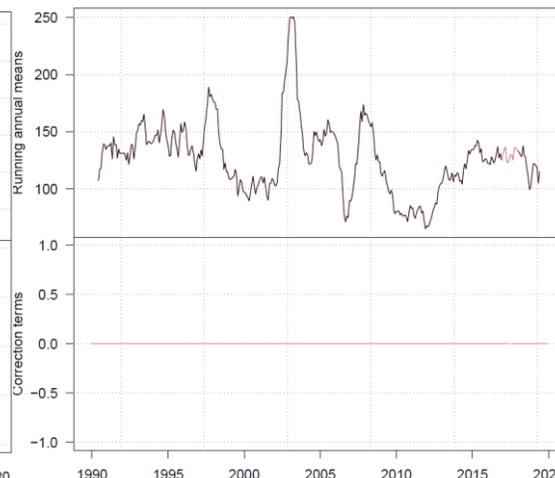
**p 16 (21040060)**  
**TRES\_ESQUINAS**



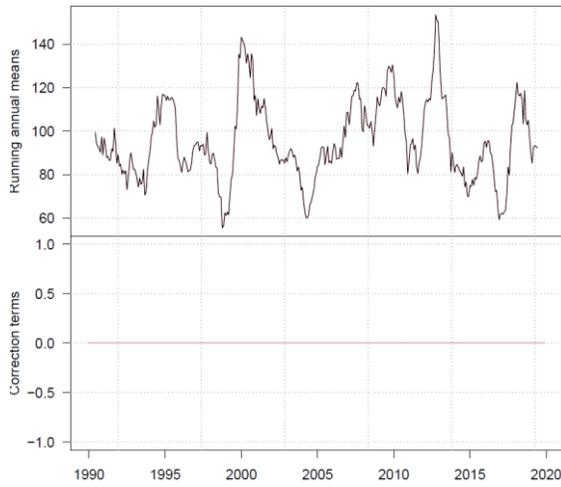
**p 17 (21045010)**  
**BETULIA**



**p 18 (21060040)**  
**PITA**



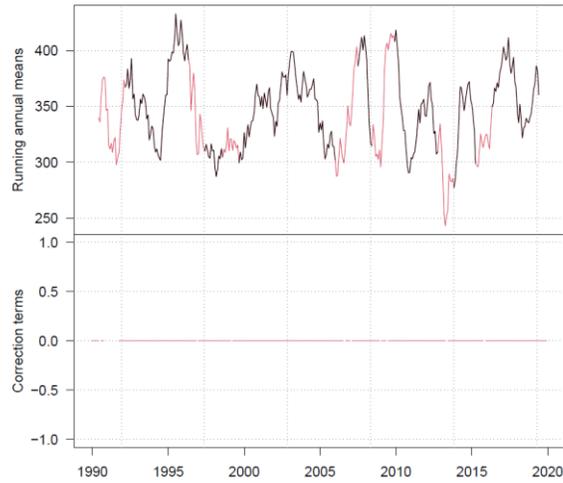
**p 19 (21060080)**  
**GARZON**



**p 20 (44040020)**  
**BELEN\_ANDAQUIES**



**p 21 (44045010)**  
**SAN\_JOSE\_FRAGUA**



Fuente: Salida de Climatol – R Studio