

Evaluación de los servicios hidrológicos proporcionados por la restauración forestal

Gabriel Sidman, Anna McMurray y Felipe Casarim

2017



Fomentado por el:



Ministerio Federal
de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza,
Obras Públicas y Seguridad Nuclear

en virtud de una resolución del
Parlamento de la República Federal de Alemania

Fomentado por el:



Ministerio Federal
de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza,
Obras Públicas y Seguridad Nuclear

en virtud de una resolución del
Parlamento de la República Federal de Alemania



Contents

1	Metodología de cuantificación de servicios hidrológicos	4
1.1	La modelación hidrológica.....	4
1.2	Cuencas priorizadas	5
1.3	Análisis de restauración	8
2	Resultados de la modelación	9
2.1	Diferencias en servicios hidrológicos entre usos de suelo.....	9
2.2	Impacto de la restauración en las cuencas priorizadas	10
3	Conclusiones	14
3.1	Los servicios hidrológicos que provee la restauración.....	14
3.2	Próximos pasos.....	15

Por favor contactar Gabriel Sidman (Gabriel.sidman@winrock.org) con comentarios o preguntas.

Winrock agradece y reconoce el apoyo del Gobierno de la República Federal de Alemania bajo la Iniciativa Internacional del Clima.

Supported by:



Federal Ministry
for the Environment, Nature Conservation,
Building and Nuclear Safety

based on a decision of the German Bundestag

This project is part of the International Climate Initiative (IKI). The German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety (BMUB) supports this initiative on the basis of a decision adopted by the German Bundestag.



Colombia, como miembro de la Convención Marco de las Naciones Unidas Cambio Climático, está ejecutando un plan de reducción de emisiones de gases efecto invernadero (GEI) para mitigar el cambio climático. Uno de los componentes de la estrategia de Colombia es la reducción de emisiones GEI y la captura de carbono en el sector forestal, que incluye la reducción de deforestación y degradación forestal junto con el fomento de reforestación y restauración de paisajes forestales. Colombia ha puesto bastante enfoque en la restauración de paisajes forestales, comprometiendo la restauración de 1 millones de hectáreas a través del Bonn Challenge, formando un Plan Nacional de Restauración¹, y elaborando una Acción Nacionalmente Apropriada de Mitigación (NAMA) para el sector forestal, que enfoca en la reforestación.

Todas estas acciones tienen la meta principal de almacenar una mayor cantidad de carbono en los bosques con el fin de mitigar el cambio climático. Sin embargo, el bosque tiene otros beneficios además del almacenamiento de carbono: la regulación de la temperatura de la superficie, la mitigación de inundaciones, el control de calidad de aguas, el control de erosión de suelos, la recarga de acuíferos, abastecimiento de comida, energía (para calefacción y cocina), medicina (animales y plantas) y materiales para construcción y oportunidades económicas a través de la madera comerciables y ecoturismo entre otros. Estos beneficios, a veces llamados co-beneficios, servicios del ecosistema o servicios ambientales, son muy importantes si no más importante que el almaceno de carbono, especialmente para la gente que vive cerca de los bosques. Mientras el cambio climático es un problema mundial, los otros servicios tienen efectos mucho más locales.

Dado a la importancia de estos servicios, es muy útil tener la habilidad de cuantificarlos y por ende tener una mejor comprensión del impacto de la restauración. Según el marco para evaluar los servicios del ecosistema propuesto por McMurray et al. (2017)², el primer paso en la evaluación es entender la acción del humano (la restauración) en la condición del ecosistema. La cuantificación de los múltiples beneficios de los bosques también puede ayudar con la priorización de la restauración—se puede buscar los lugares que traerían más beneficios si fueran restaurados—por ejemplo, en suelos muy susceptibles a la erosión o en “hotspots” de biodiversidad donde hay más potencial para ecoturismo (ver el reporte de McMurray et al (2017) para un listado más exhaustivo de los servicios del ecosistema de los bosques y su importancia en Colombia).

Este reporte busca avanzar el esfuerzo de entender y cuantificar los beneficios del ecosistema de los bosques naturales, enfocando específicamente en algunos beneficios hidrológicos: la mitigación de inundaciones y la regulación de calidad de agua. A través de la modelación hidrológica, este estudio busca cuantificar el impacto que podría tener la restauración forestal propuesta por el Gobierno de Colombia a través de su estrategia de mitigación de cambio en estos dos servicios.

¹ Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) (2015) Plan Nacional de Restauración. Bogotá, Colombia: 92 p.

² McMurray A, Casarim F, Bernal B, Pearson T y Sidman G (2017) Los servicios ecosistémicos de los bosques tropicales y un marco propuesto para evaluarlos. Winrock International, fomentado por el Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Obras Públicas y Seguridad Nuclear del Gobierno de la República Federal de Alemania.



1 Metodología de cuantificación de servicios hidrológicos

1.1 La modelación hidrológica

Para empezar a cuantificar los servicios hidrológicos del bosque nativo en Colombia, este estudio utilizó la Herramienta de Evaluación de Suelos y Agua (SWAT por sus siglas en inglés). SWAT es un modelo hidrológico basado en parámetros físicos que utiliza insumos espaciales y tabulares para modelar todos los componentes del ciclo de agua y la respuesta hidrológica dentro de una cuenca elegida por el usuario (Tabla 1). Se utilizó el software ArcSWAT³, que es un plug-in del ArcGIS que permite el uso del modelo dentro de un sistema de información geográfica (SIG).

Tabla 1. Insumos utilizados para el modelo SWAT

Insumo	Fuente
Elevación	Modelo digital de elevación, 90m del Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) ⁴
Uso de suelo	Mapa uso de suelo de Colombia de 2007 ⁵ y mapa de áreas de restauración de MADS (2015)
Tipo de suelo	Mapa digital de los suelos del mundo de la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO) ⁶
Precipitación	Estaciones climáticas y pluviométricas de IDEAM ⁷

Algunos resultados que proporciona el modelo son: la escorrentía que ocurre en la superficie, la producción de sedimento, el caudal de los ríos y la concentración de sedimento en los ríos. Estos resultados sirven como indicadores de los servicios hidrológicos: escorrentía de agua para mitigación de inundaciones (escorrentía termina en las quebradas y ríos y aumenta la posibilidad de inundaciones) y

³ <http://swat.tamu.edu/software/arcsbat/>

⁴ Jarvis, A., Reuter, H.I., Nelson, A., Guevara, E., 2008. Hole-filled SRTM for the globe Version 4. Disponible CGIAR-CSI SRTM 90m Database <https://srtm.csi.cgiar.org>.

⁵ Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH), Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico Jhon von Neumann (IIAP), Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andréis (INVEMAR) e Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (SINCHI). 2007, escala 1:500.000

⁶ FAO/IIASA/ISRIC/ISSCAS/JRC, 2012. Harmonized World Soil Database (version 1.2). FAO Rome Italy IIASA Laxenburg Austria.

⁷ IDEAM. Valores totales diarios de precipitación. Sistema de información nacional ambiental. Accedido diciembre 2017.



producción de sedimento para control de calidad de agua (más erosión causa más producción de sedimentos, que empeoran la calidad de los ríos y embalses).

1.2 Cuencas priorizadas

En este estudio se usó el modelo SWAT en tres cuencas: las cuencas del Río Bogotá, Río Carare y Río Suárez (Figura 3). Se eligieron estas tres cuencas para el estudio en conjunto con el Grupo de Cambio Climático del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). Se basó la selección de las cuencas en tres criterios:

1. Susceptibilidad al cambio climático, según los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCAS).
2. Representación altitudinal—nivel de gradiente de la elevación en la cuenca.
3. Riesgo de desastres relacionados a las lluvias, como inundaciones y derrumbes.

Los tres ríos forman parte de la cuenca del Río Magdalena, desembocando hacia el oeste (Figura 1). La cuenca del Río Bogotá es la cuenca más pequeña con un área de $\sim 6,000 \text{ km}^2$, mientras la cuenca del Río Carare tiene $\sim 7,300 \text{ km}^2$ y la del Río Suárez tiene $\sim 10,200 \text{ km}^2$. La cuenca del Suárez tiene más altura de las otras cuencas (entre 500-4239 msnm), después sigue la del Bogotá (entre 259-3,913 msnm) y la del Carare es más bajo (entre 83-3,779 msnm). Existe bastante pendiente en las tres cuencas (Figura 2). Las del Carare y Suárez tienen alrededor de 30% de su área con pendientes más de 30% (la del Bogotá tiene 14%). La cuenca del Bogotá es más plana, con 30% de su área con pendientes menos de 5% (mientras la del Carare tiene 25% y Suárez 8%).

Según las estaciones pluviométricas de IDEAM, el régimen de precipitación cambia bastante dentro del área de las tres cuencas (Figura 1). En la cuenca del Bogotá en el sur, hay poca precipitación, con la mayoría de las estaciones registrando menos de 1000 mm anualmente. Sin embargo, cuando se baja la elevación hacia el norte, hay más precipitación, llegando a más de 2000 mm por año en la cuenca del Suárez y probablemente en la del Carare, aunque no hay estaciones en la del Carare.

Fomentado por el:



Ministerio Federal
de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza,
Obras Públicas y Seguridad Nuclear

en virtud de una resolución del
Parlamento de la República Federal de Alemania

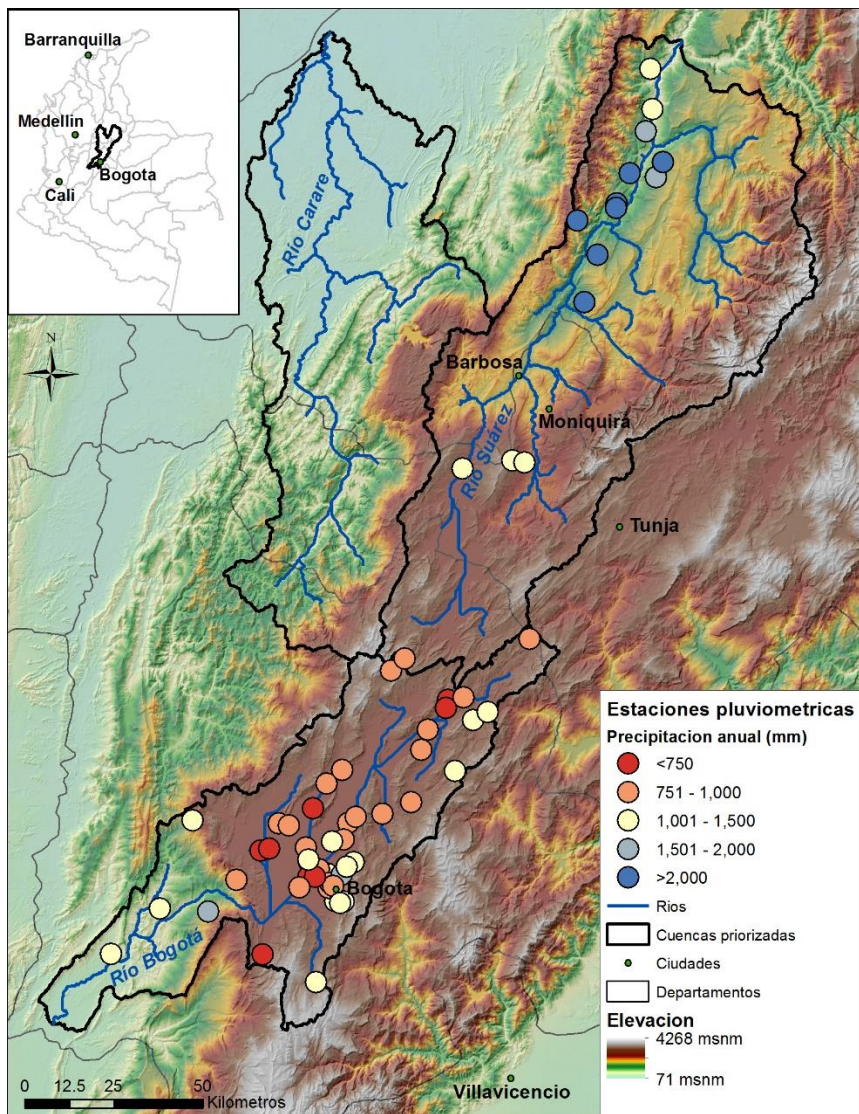


Figura 1. Elevación de las cuencas priorizadas y las estaciones pluviométricas ubicadas dentro de ellas.

Fomentado por el:



Ministerio Federal
de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza,
Obras Públicas y Seguridad Nuclear

en virtud de una resolución del
Parlamento de la República Federal de Alemania

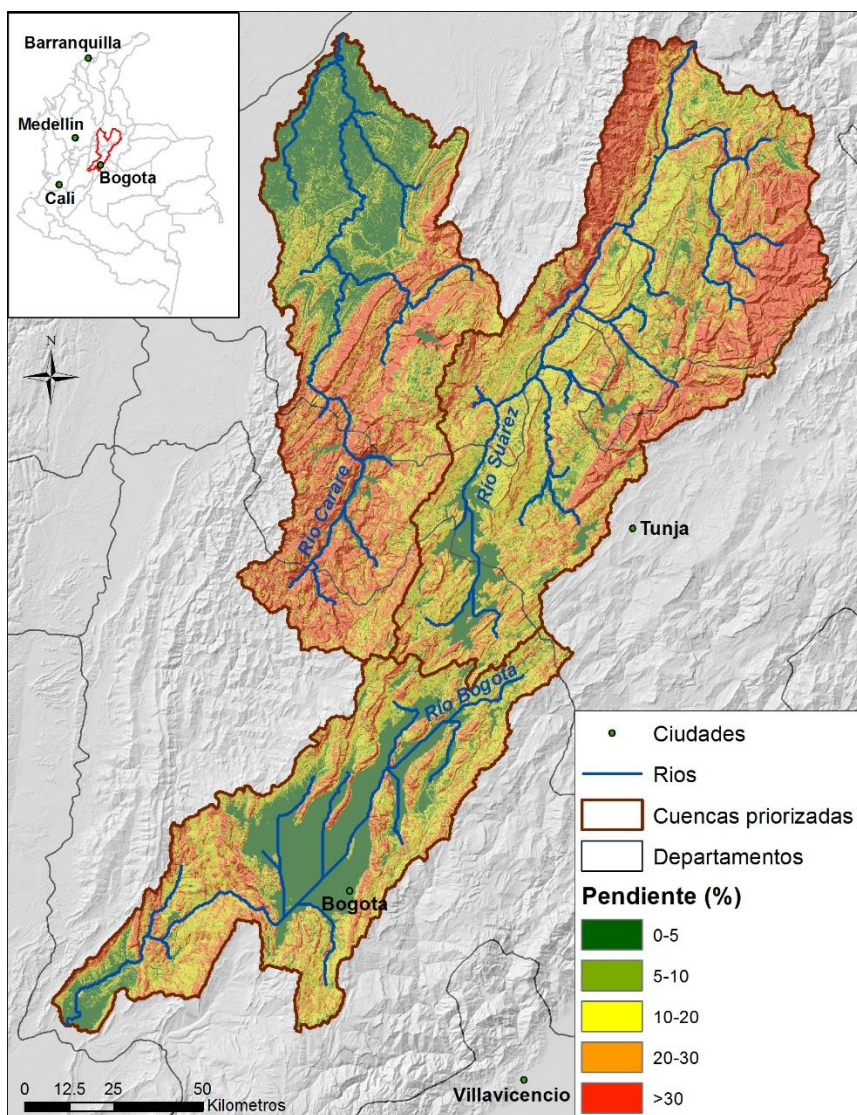


Figura 2. Las tres cuencas priorizadas y su pendiente (%).

En las tres cuencas los usos de suelo más comunes son: pastos, cultivos anuales, áreas agrícolas heterogéneas, bosque nativo y vegetación secundaria (Figura 3). La cuenca del Bogotá es la más urbanizada (9% de su área) y también tiene más área de pastos (41%) que las otras dos cuencas. La cuenca del Carare tiene mucho más bosque natural que las otras dos cuencas (28%) y la cuenca del Suárez tiene más cultivos anuales (21%) que las otras cuencas.

Fomentado por el:



Ministerio Federal
de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza,
Obras Públicas y Seguridad Nuclear

en virtud de una resolución del
Parlamento de la República Federal de Alemania

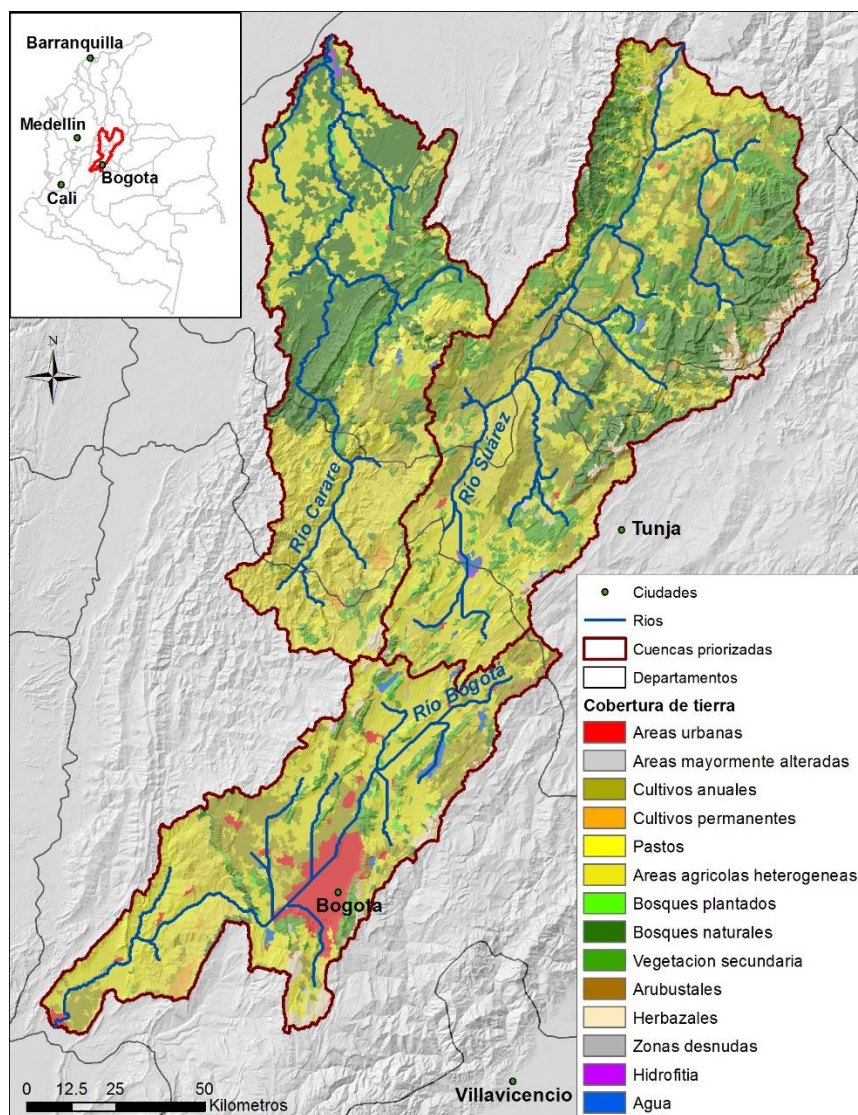


Figura 3. Las tres cuencas priorizadas y sus usos de suelo.

1.3 Análisis de restauración

En este estudio, se analiza el impacto de la restauración en los servicios hidrológicos en dos maneras:

- 1) En la primera, se compara la cantidad de los servicios de ecosistema que brinda el bosque natural con la cantidad de los servicios que brindan los otros usos de suelo. Con el uso de SWAT, y el mapa de uso de suelo de IGAC (2007), se analiza los indicadores de los servicios hidrológicos por uso de suelo. Considerando toda la variabilidad en pendiente, tipo de suelo y cantidad de precipitación, se promedian las cantidades de escorrentía y producción de sedimento en todas las áreas de un uso de suelo y se compara estos promedios con los de otros usos de suelo. Después, se analizan las diferencias, en estas cuencas, entre los indicadores de



servicios hidrológicos de los diferentes usos de suelo. Para la restauración, se comparan los valores de los indicadores de bosque natural en específico con los usos antropogénicos como cultivos anuales y áreas urbanas para entender el cambio en la provisión de los servicios cuando se convierte de un uso natural como el bosque a un uso antropogénico.

- 2) En la segunda manera de analizar el impacto de la restauración en los servicios hidrológicos, se comparan la esorrentía y concentración de sedimento dentro de los ríos en áreas de interés (cerca de centros de población) en dos escenarios: uno usando el mapa de uso de suelo de IGAC (2007) así como está, y otro modificándolo con las áreas susceptibles a la restauración, según el Plan Nacional de Restauración de MADS (2015). En el segundo escenario, se convierten todas las áreas que son no bosque en el mapa de uso de suelo y también son áreas susceptibles a la restauración según MADS (2015) a bosque. Esta conversión aumenta el área de bosque en las cuencas para representar un escenario en que se logra la restauración planificada por MADS. Se modelan los dos escenarios y se comparan los resultados de SWAT para entender cómo el aumento en área boscosa afecta los servicios hidrológicos.

2 Resultados de la modelación

2.1 Diferencias en servicios hidrológicos entre usos de suelo

En general, los resultados de la modelación de SWAT mostraron que los bosques proporcionan más servicios hidrológicos que los usos no-bosque. El reemplazo de áreas no bosques (específicamente, áreas urbanas, cultivo anual, pasto o áreas agrícolas heterogéneas) por bosques resulta en más de 90% de reducción en producción de sedimento (Tabla 2). Esto representa una reducción drástica en la cantidad de sedimento que produce la tierra, que podría disminuir la erosión y reducir la sedimentación en los ríos. Plantaciones forestales tienen bastante efecto en la reducción de producción de sedimento, pero un poco menos que el bosque natural. Vale resaltar que el modelo estima que la vegetación natural produce menos sedimento que plantaciones forestales, entonces la conversión de vegetación secundaria a una plantación puede resultar en un aumento de erosión y sedimentación. Este aumento es probablemente debido al manejo que se hace en una plantación, cortando el sotobosque alrededor de los árboles y a veces cosechando los mismos árboles de valor. Esta vegetación (de los árboles comerciales y del sotobosque) es la que disminuye la velocidad del agua y mantiene el suelo en su lugar, entonces una plantación sin esta vegetación provee menos servicios hidrológicos que la vegetación secundaria que no tiene ningún tipo de manejo.

El modelo también estima que el bosque disminuye la esorrentía de agua, que es el indicador para mitigación de riesgo de inundaciones. La esorrentía reduce entre 30-80% con el reemplazo de áreas urbanas y agrícolas con bosque natural, y entre 10-60% con una plantación. Esta reducción es importante para la mitigación de inundaciones porque la esorrentía entra las quebradas y los ríos rápidamente, aumentando el nivel de agua y abrumando los sistemas de drenaje. La vegetación de bosques ayuda a disminuir la velocidad del agua, atrapando más agua y permitiendo mayor infiltración en la tierra.



Tabla 2. Porcentaje de cambio entre usos no-bosque y bosque nativo y plantado, para los indicadores de producción de sedimento y escorrentía de agua.

Producción de sedimento (% cambio)	Bosque natural	Plantación forestal
Vegetación secundaria	-13%	879%
Pastos y áreas agrícolas heterogéneas	-99%	-89%
Cultivo anual	-99%	-86%
Área urbana	-100%	-98%
Escorrentía de agua (% cambio)	Bosque natural	Plantación forestal
Vegetación secundaria	-29%	1%
Pastos y áreas agrícolas heterogéneas	-32%	-12%
Cultivo anual	-46%	-18%
Área urbana	-72%	-59%

2.2 Impacto de la restauración en las cuencas priorizadas

El impacto que puede tener la restauración en los servicios hidrológicos dentro de una cuenca depende mucho del área de restauración comparado al área de la cuenca. Una cuenca recibe agua de todas partes de su área, entonces una restauración en poca área no tendrá mucho efecto en una cuenca grande. Dentro de las tres cuencas, hay 115,792 ha susceptibles a la restauración según MADS (2015) que representa 5% del área total de las cuencas. La cuenca con más área de restauración es la del Bogotá con 59,834 ha representado 10% de la cuenca. Por otro lado, la cuenca del Carare tiene solamente 6,282 ha para la restauración que representa 1% del área de la cuenca.

El modelo SWAT estimó que la restauración redujo la producción de sedimento entre 0-32% en las subcuencas, con las reducciones más grandes en las subcuencas del Suárez y Bogotá (Figura 4). Dentro de los ríos, la cantidad de sedimento redujo hasta 11%. En ninguna cuenca se redujo drásticamente la cantidad de sedimento en los canales principales del río—pero el efecto en las quebradas que corren hacia los canales principales es significativo, especialmente en las subcuencas con bastante área restaurada. Este resultado puede ser significativo para la calidad de agua dentro y cerca de la ciudad de Bogotá y sus alrededores, que quedan muy cerca de algunas de las quebradas en que ocurren una grande reducción de producción de sedimento. En la cuenca del Suárez, la calidad del agua cerca de la ciudad de Barbosa puede beneficiar de la restauración, dado que queda en la confluencia de una quebrada en que se estimó en SWAT una reducción significativa en la producción de sedimento.

Fomentado por el:



Ministerio Federal
de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza,
Obras Públicas y Seguridad Nuclear

en virtud de una resolución del
Parlamento de la República Federal de Alemania

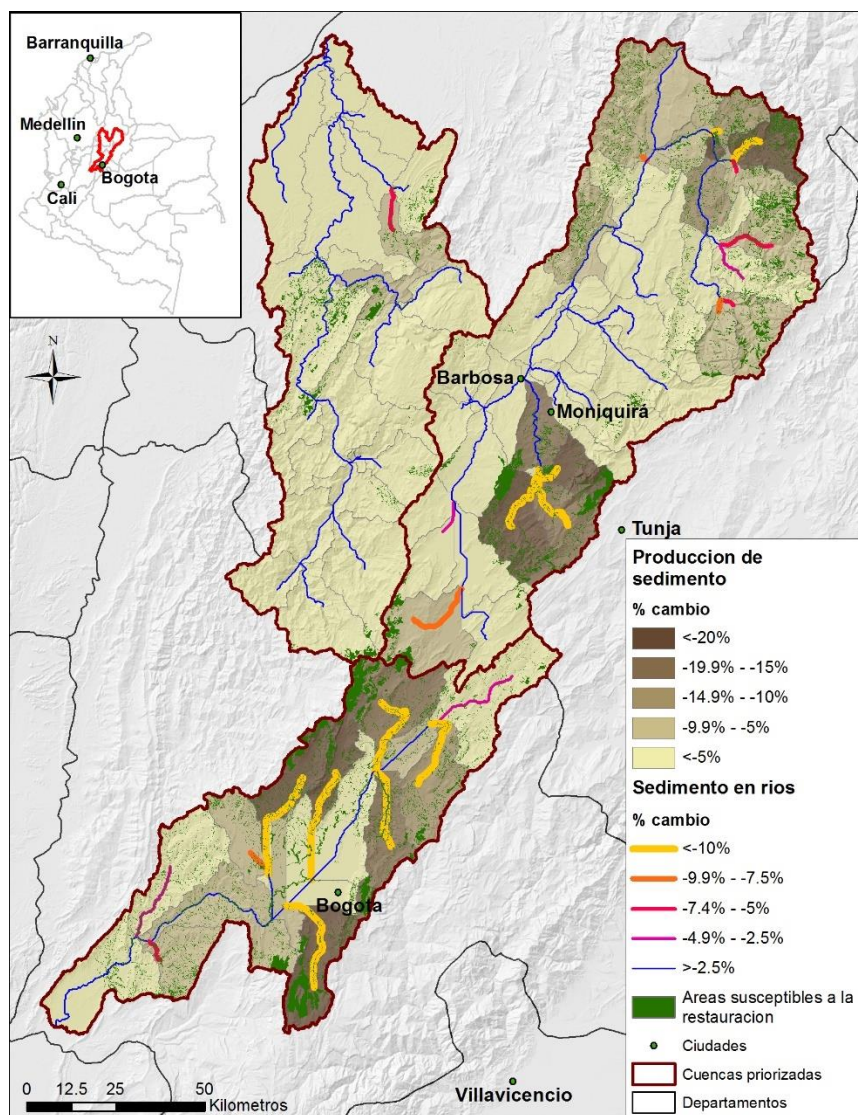


Figura 4. Cambio en producción de sedimento, entre los escenarios sin y con áreas restauradas.

Las áreas restauradas también redujeron la escorrentía generada en las cuencas. Se redujo hasta 10% la escorrentía, con los impactos más drásticos en las cuencas del Bogotá y Suárez (Figura 5). El efecto del caudal de los ríos, sin embargo, fue el opuesto—la restauración aumentó el caudal en la mayoría de las subcuencas. A ver este resultado parece que la restauración no ha tenido el impacto esperado—bajar la escorrentía y mitigar el riesgo de inundaciones. Pero es importante considerar dos factores más: los procesos de infiltración y flujo subterráneo y las características del modelo SWAT. Primero, el flujo de un río no viene solamente de la escorrentía que ocurre durante y después de una tormenta. También hay un proceso más lento de flujo de agua que infiltra al acuífero poco profundo y fluye dentro de la tierra, finalmente llegando al río. Usos de suelo con más vegetación, como bosque, pueden fomentar este proceso lento mientras disminuyendo la escorrentía. De hecho, SWAT estimó que la restauración

Fomentado por el:



Ministerio Federal
de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza,
Obras Públicas y Seguridad Nuclear

en virtud de una resolución del
Parlamento de la República Federal de Alemania



aumentó este flujo de agua subterránea a los ríos más que redujo la escorrentía, y por eso el impacto neto es un aumento en el caudal del río.

Las inundaciones ocurren cuando mucha agua llega a los ríos al mismo tiempo—algo que normalmente ocurre poco después de un evento de precipitación y está causado por el aumento de escorrentía. El agua que llega a por la vía subterránea llega mucho más tarde cuando la escorrentía ha pasado y el riesgo de inundaciones ha bajado. Por eso, el aumento caudal causado por la restauración a través del flujo subterráneo no significa un aumento del riesgo de inundaciones. Mas bien, puede ser un indicador que la restauración puede aumentar el agua disponible durante épocas secas—disminuyendo el flujo del agua y abasteciendo el río mucho después cuando la época de lluvias ha pasado.

Dado que SWAT es un modelo continuo que da resultados anuales, no es adecuado para diferenciar el agua de escorrentía del agua del flujo subterráneo dentro del caudal de un río. Para hacer esa diferenciación, se necesita un modelo basado en un evento, como KINEROS⁸ y HEC-RAS⁹—que modela solo un evento de precipitación y la crecida del caudal que viene poco después del dicho evento. Dentro de los resultados de SWAT, es más confiable usar el métrico de la escorrentía generada en la tierra para un indicador del servicio hidrológico mitigación de inundaciones.

⁸ <https://www.tucson.ars.ag.gov/kineros/>

⁹ <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>

Fomentado por el:



Ministerio Federal
de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza,
Obras Públicas y Seguridad Nuclear

en virtud de una resolución del
Parlamento de la República Federal de Alemania

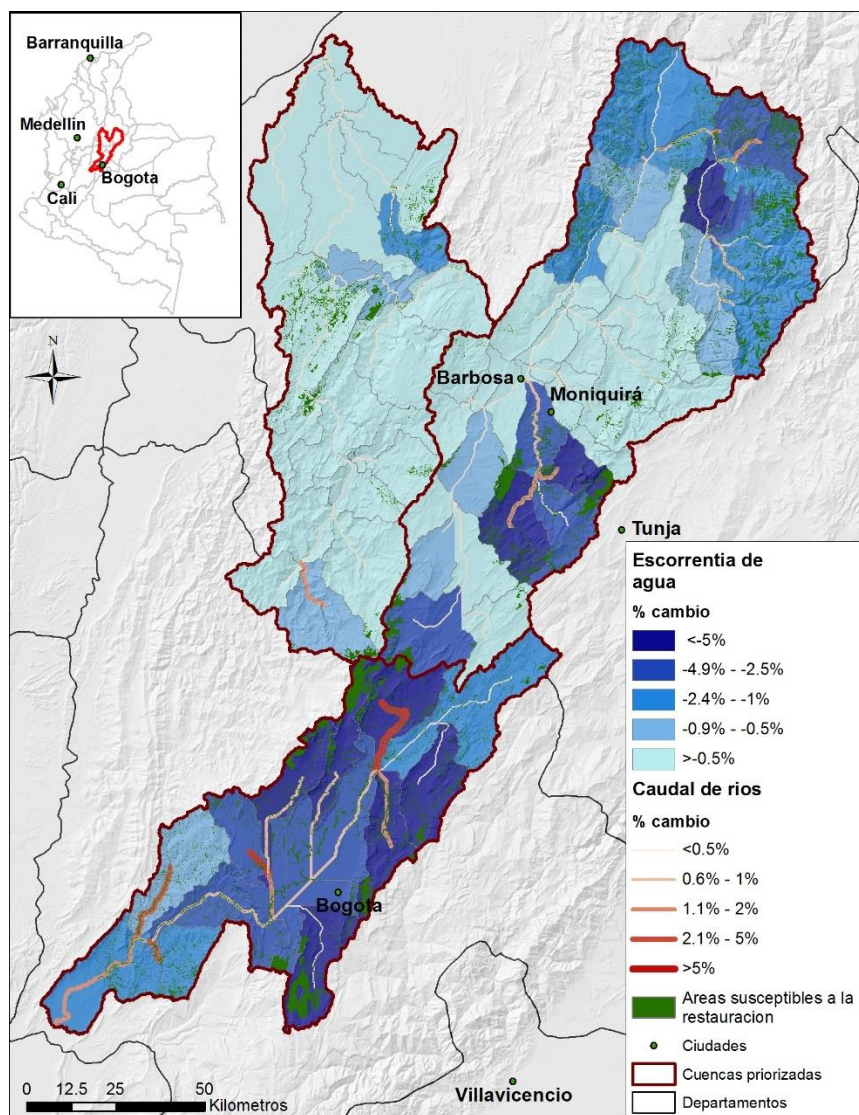


Figura 5. Cambio en escorrentía y flujo de los ríos, entre los escenarios sin y con áreas restauradas.

Comparando los resultados de las tres cuencas se da cuenta de que la restauración en la cuenca del Bogotá brinda más beneficios en términos de provisión de servicios hidrológicos (Tabla 3). En esta cuenca, la restauración causa las reducciones en producción de sedimento, concentración de sedimento en los ríos y producción de escorrentía más grandes y aumento de caudal del río más grande de las tres cuencas además de tener la densidad de población más alta de las tres. Estos resultados significan más beneficio para más personas que debe ser una de las metas de una estrategia de restauración. Sin embargo, la cuenca del Bogotá también tiene más área susceptible a la restauración de las otras dos cuencas, implicando más costo para ejecutar la restauración contemplada.


Tabla 3. Comparación de los resultados del área restaurada en las tres cuencas priorizadas.

	Cuenca		
	Bogotá	Carare	Suárez
Área (km ²)	5,929	7,279	10,226
Área de restauración (km ²)	598	63	497
Densidad de población (personas/km ²)	1,145	28	71
% de cambio en área de bosque	10%	1%	5%
% cambio en producción de sedimento	-10%	-1%	-7%
% cambio en concentración de sedimento de los ríos	-9%	0%	-3%
% cambio en producción de escorrentía	-4%	0%	-2%
% cambio en caudal de los ríos	1%	0%	0%

3 Conclusiones

3.1 Los servicios hidrológicos que provee la restauración

Este estudio resalta la importancia del bosque natural en la provisión de los servicios de mitigación de riesgo de inundaciones y prevención de erosión, especialmente para la gente que vive cerca de áreas de bosque. La comparación de bosque con los usos no-bosque mostró que el bosque, por unidad de área, el bosque reduce la generación de sedimentos y la escorrentía, hasta ~90% menos.

La comparación de los escenarios sin y con áreas restauradas ayuda a resaltar las ubicaciones dentro de las cuencas que beneficiarían más de la restauración. La ciudad de Bogotá puede beneficiar bastante de la restauración, con muchas de las quebradas y subcuencas que abastecen el canal principal del Río Bogotá mostrando bastante disminución de producción de sedimento entre el escenario sin restauración y el escenario con restauración. Algunas comunidades en la cuenca del Río Suarez también pueden beneficiar, como Barbosa en Santander, y Monquirá en Boyacá. La cuenca del Río Carare beneficiaría mucho menos, dado que tiene mucho menos área susceptible a la restauración. Esta cuenca tiene menos población que las otras, entonces puede ser una mejor estrategia enfocar los esfuerzos de restauración en otras cuencas.

Este análisis también estimó que, aunque la restauración disminuye la cantidad de escorrentía generada en la tierra, termina aumentando el caudal dentro de los ríos. Este resultado puede indicar que los bosques ayudan en la regulación de flujo de agua, disminuyendo la velocidad del agua a entrar los ríos más despacio, tal vez aumentando el flujo durante las épocas secas. El resultado no indica que aumenta la



posibilidad de inundaciones, dado que las inundaciones dependen de la escorrentía del agua en la superficie, y la restauración disminuye la escorrentía mientras aumentando el flujo del agua subterránea.

3.2 Próximos pasos

Este estudio sirve para entender algunos beneficios—la regulación de calidad de agua (a través de la mitigación de la erosión), la mitigación de inundaciones, y la regulación del flujo de agua más continuo en los ríos —que provee la restauración de bosques naturales en Colombia. Sin embargo, hay más pasos que se pueda realizar para mejorar y expandir el estudio:

- **Calibrar el modelo SWAT.** El modelo podría funcionar mejor y se podría confiar más en los resultados con un esfuerzo de calibración con estaciones fluviométricas. Es posible que IDEAM tenga los datos disponibles para hacer este tipo de calibración. Con una calibración exitosa, se podría confiar más en los resultados absolutos (como cambio en milímetros de escorrentía) en vez de solo usar datos relativos (como porcentaje de cambio), que son más recomendados cuando no se tiene el modelo calibrado.
- **Usar un modelo hidrológico basado en un evento.** Un modelo basado en un evento puede ayudar a entender el efecto de la restauración en la mitigación de inundaciones para eventos específicos. Este tipo de modelo enfoca en el efecto inmediatamente después de un evento de precipitación, cuando un río crece hasta su flujo máximo, generando el riesgo de inundaciones. Así se puede entender si la restauración puede bajar ese flujo máximo en lugares importantes como cerca de una ciudad—algo que no es posible con un modelo continuo como SWAT.
- **Usar mapas de uso de suelo y restauración más actualizados.** Se hizo el mapa de uso de suelo utilizado en este estudio, ICAC (2007), hace 10 años entonces el uso de suelo actual puede haber cambiado bastante desde su elaboración. Por eso, el mapa no es ideal para el uso en la planificación de una estrategia de restauración. Pueda ser mejor realizar nuevos mapas de uso de suelo en Colombia.
- **Incorporar mas escenarios en la modelación.** Este estudio, el escenario con restauración considera que todas las áreas susceptibles a la restauración en el mapa de MADS (2015) fueran restauradas. En realidad, se considera poco probable restaurar 100% de estas áreas. Puede ser útil generar otros escenarios en que solo se restaura un porcentaje de las áreas para buscar áreas que proveen más de los servicios hidrológicos y otros servicios del ecosistema para poder concentrar esfuerzos en áreas específicas.
- **Estimar el impacto de las sub-actividades de la restauración.** Para Colombia y la elaboración de su NAMA forestal, sería útil entender las diferencias en provisión de los servicios hidrológicos entre las varias actividades de restauración y manejo forestal como restauración activa y pasiva, sistemas silvopastoriles y cultivos de café, cacao y otras plantaciones frutales. Se podría expandir este análisis para incluir estas sub-actividades con más información sobre el manejo y características de cada uno de ellas.
- **Incorporar más servicios del ecosistema.** Como explicado en McMurray et al. (2017), el bosque provee muchos beneficios además de los dos servicios hidrológicos considerados en este estudio. Para tener un estudio más completo de lo que provee el bosque en Colombia, se podría expandir este estudio para incorporar más servicios. Por ejemplo, el modelo SWAT, con más calibración, puede ayudar a entender la provisión de agua en épocas secas y el control de calidad de agua a través de la prevención de erosión de nutrientes.
- **Seguir en los próximos pasos del marco de evaluación de servicios del ecosistema.** El marco presentado en McMurray et al. (2017) explica cuatro pasos para evaluar los impactos de los servicios del

Fomentado por el:



Ministerio Federal
de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza,
Obras Públicas y Seguridad Nuclear

en virtud de una resolución del
Parlamento de la República Federal de Alemania



ecosistema. Este estudio empieza con el primer paso: la función del impacto de los servicios hidrológicos, cuantificando la provisión de servicios de los bosques naturales y considera el segundo paso: la función de respuesta de los servicios, ubicando algunas ciudades que pueden beneficiar más de estos servicios. Se podría expandir este estudio, evaluando los pasos 3: la función de producción de los servicios y 4: la función de beneficio que explica el marco.