



Revista EIA
ISSN 1794-1237
e-ISSN 2463-0950
Año XIX/ Volumen 19/ Edición N.37
Enero-Junio de 2022
Reia37007 pp. 1-14

Publicación científica semestral
Universidad EIA, Envigado, Colombia

**PARA CITAR ESTE ARTÍCULO /
TO REFERENCE THIS ARTICLE /**

Yustres Quintero, L. F.; Ivanova, Y.
(2022). Metodología para evaluar
el efecto del cambio de coberturas
sobre la regulación hídrica
(caso de estudio: cuenca del río Murri)
Revista EIA, 19(37), Reia37007.
pp. 1-14.
<https://doi.org/10.24050/reia.v19i37.1491>

✉ *Autor de correspondencia:*

Yustres Quintero, L. F.
(Luisa Fernanda):
Ing. Civil. Esp. En Geomática.
Universidad Militar Nueva Granada
Correo electrónico:
luisafyustres@gmail.com

Recibido: 04-01-2021
Aceptado: 13-05-2021
Disponible online: 01-01-2022

Metodología para evaluar el efecto del cambio de coberturas sobre la regulación hídrica (caso de estudio: cuenca del río Murri)

✉ LUISA FERNANDA YUSTRES QUINTERO¹

YULIA IVANOVA¹

1. Universidad Militar Nueva Granada

Resumen

La deforestación ha aumentado en diferentes zonas del mundo por desarrollo de las actividades antrópicas como la expansión de fronteras agrícola y ganadera, crecimiento de zonas de asentamientos humanos, entre otros. El desplazamiento de las coberturas vegetales es uno de los factores que afectan el servicio de provisión y regulación hídrica. En el trabajo se desarrolló y se aplicó una metodología comprender la incidencia de la contracción de la cobertura boscosa a la capacidad de regulación hídrica del río Murri que nace en la zona del Parque Nacional Natural las Orquídeas, Colombia. Se identificó que la cuenca experimenta el proceso de cambio de coberturas de bosque nativo por la cobertura de pastos, no obstante, su incidencia sobre el régimen hídrico no se pudo evidenciar estadísticamente. Este fenómeno puede estar asociado a que el área del parque representa el 8.4% del área total de la cuenca y el cambio de coberturas en este no supera la capacidad de resiliencia de la cuenca. Se recomienda ratificar la metodología con un mayor número de imágenes satelitales y estudiar la capacidad de resiliencia de cuencas hidrográficas colombianas para planear las actividades humanas que generen el cambio de coberturas de la tierra de manera sostenible.

Palabras Claves: Deforestación, servicio de regulación hídrica, teledetección, zona de conservación.

Methodology to evaluate the effect of the change in coverage on water regulation (case study: Murrí river basin).

Abstract

Deforestation has increased in different areas of the world due to the development of antropic activities such as the expansion of agricultural and livestock frontiers, growth of areas of human settlements, among others. The displacement of vegetation cover is one of the factors that affect the water supply and regulation service. In the work, a methodology was developed and applied to understand the incidence of the contraction of the forest cover to the water regulation capacity of the Murrí river that is born in the area of the Las Orquídeas National Natural Park, Colombia. It was identified that the basin experiences the process of changing native forest cover for pasture, however, its incidence on the water regime could not be statistically evidenced. This phenomenon may be associated with the fact that the park area represents 8.4 % of the total area of the basin and the change in coverage in this does not exceed the resilience capacity of the basin. It is recommended to ratify the methodology with a greater number of satellite images and study the resilience capacity of Colombian hydrographic basins to plan the human activities that generate the change of land cover in a sustainable way.

Key Words: *deforestation, water regulation service, remote sensing, conservation zone.*

Introducción

Según algunas estadísticas, Colombia es uno de los países más biodiversos en el mundo (IAVH, 2017). En parte, esta se posibilita por compleja orografía, variedad de condiciones climáticas e hidrológicas (Amat-García & Aguirre-Ceballos, 2020) que generan diversidad de coberturas naturales que es una de las características que define dicha variabilidad (Llambí, y otros, 2019). A nivel nacional, la cobertura boscosa que equivale a 60 millones de hectáreas que presentan un abanico de servicios ecosistémicos importantes desde el punto de vista de captura de carbono, regulación hídrica, entre otros (González-González, Villegas, Clerici, & Salazar, Spatial-temporal dynamics of deforestation and its drivers indicate need for locally-adapted environmental governance in Colombia, 2021), (IDEAM & CIAF, 2016).

Unos intereses especiales presentan los Parques Nacionales Naturales (PNN) que son las áreas que se destinan para autorregulación ecológica y que han sido afectadas por ocupación humana y sus actividades productivas (Burgos-Ayala, Jiménez-Aceituno, & Rozas-Vásquez, 2020).

Por ser, en muchos casos, reservas boscosas del país, han sido intervenidas por los procesos de deforestación. Según las últimas estadísticas, el 12.83% de la superficie colombiana presenta deforestación lo que es equivalente 20.592 ha/año y el departamento de Antioquia tiene 0.96% de total de la deforestación a nivel nacional (IDEAM & CIAF, 2016).

La estadística indica que el departamento de Antioquia se encuentra dentro de los 5 primeros más afectados, según las estadísticas del IDEAM (IDEAM & CIAF, 2016). Según recientes estadísticas, en los últimos años a causa de deforestación se han perdido 5.4 millones de ha de un total 54.021.810 ha, lo que equivale a la extensión de Costa Rica (García, 2012).

Vale la pena resaltar que la problemática de deforestación es global (Shenk, Neuhäuser, Ruxton, & Bathke, 2021), (Tor-ngern, y otros, 2021) y a nivel internacional se han utilizado distintas metodologías para evaluar el cambio de regulación hídrica por los efectos de deforestación. Entre estas se pueden resaltar evaluaciones mediante la herramienta Soil and Water Assessment Too (SWAT), teniendo como parámetro principal las temporadas secas, su incidencia en la regulación de agua, bosques y tierras altas en África. Como resultado, se obtuvo que la deforestación impacta la disponibilidad de agua y aumenta el riesgo en las cuencas. Este efecto produce una caída de la productividad en la zona del estudio (Trancoso, 2021). Hay estudios en los países como Australia, Nueva Zelanda y Sudáfrica y otros países que evalúan estas interrelaciones, donde se concluye que el efecto de deforestación se refleja con la disminución del volumen total de escorrentía de la cuenca, cambios en el flujo y del caudal base anual (Duriaux-Chavarría, y otros, 2021), (Tester, 2020), (Ango, Hylander, & Borjeson, 2020).

A nivel nacional las investigaciones son más escasas y los principales estudios hídricos y forestales se encuentran en la región Andina o cuenca hidrográfica del Magdalena-Cauca (González-González, Villegas, Clerici, & Salazar, 2021). Este hecho se explica, posiblemente, por una mayor demanda de bienes y servicios ambientales en esta zona del país, y, por consiguiente, a la necesidad de evaluar el impacto ambiental de estas (Restrepo, Kettner, & Syvitski, 2015).

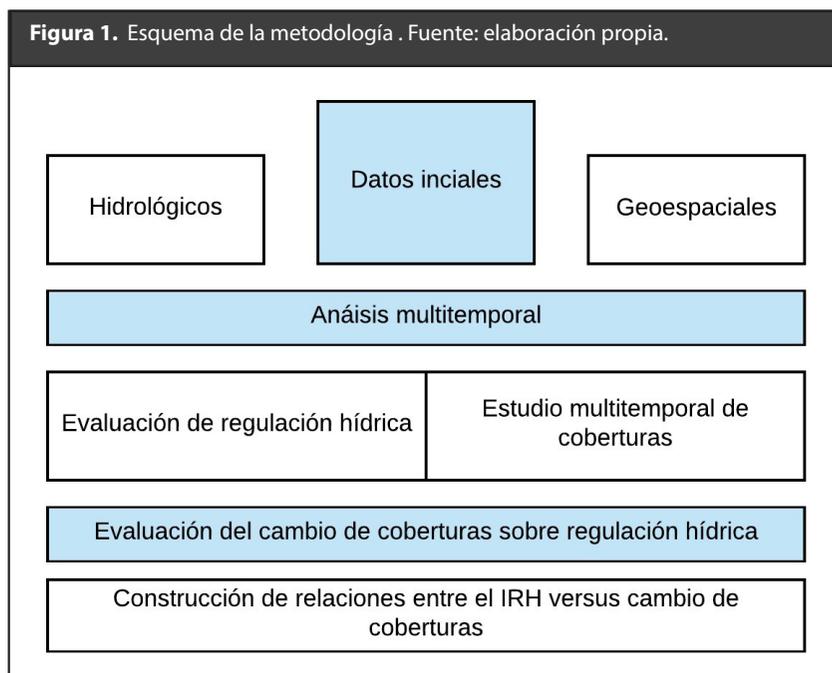
Dentro de la región Andina se encuentra el PNN Las Orquídeas caracterizado por tener una gran diversidad de fauna y flora (PNN, 2009). En el Plan de Manejo del PNN Las Orquídeas se afirma que este presenta dinámicas de deforestación asociadas a las actividades de ganadería y agricultura y a otras intervenciones humanas que generan cambio de coberturas naturales de la zona.

Por lo mencionado anteriormente surge la necesidad de evaluar el efecto que produce la deforestación sobre la capacidad de regulación hídrica en el PNN Las Orquídeas.

Materiales y métodos

Para identificar cómo los cambios de las coberturas de la tierra han afectado la capacidad de regulación hídrica de la cuenca del río Murrí, se implementó una metodología cuyo marco conceptual se presenta en la figura 1. La particularidad de la metodología consiste en la integración de los análisis geoespaciales de las imágenes satelitales y los estudios hidrológicos.

La cuenca hidrográfica del río Murrí se localiza en el PNN (Parque Nacional Natural) Las Orquídeas y presenta pérdidas de coberturas naturales, potencialmente afectando las actividades de autorregulación de esta zona. La localización de la cuenca se presenta en la figura 2. La cuenca de estudio posee un área de 380.952,38 ha y de dicha área el parque representa el 8.4% del total. Esta cuenca está monitoreada por dos estaciones hidrológicas, cuya información general se presenta en la tabla 1.



La primera etapa consiste en la consecución de los datos de origen hidrológico y de las imágenes satelitales. Los datos hidrológicos se consultaron de la base del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2021), mientras que las imágenes satelitales se obtuvieron de la página del Servicio Geológico de los Estados (USGS, 2021).

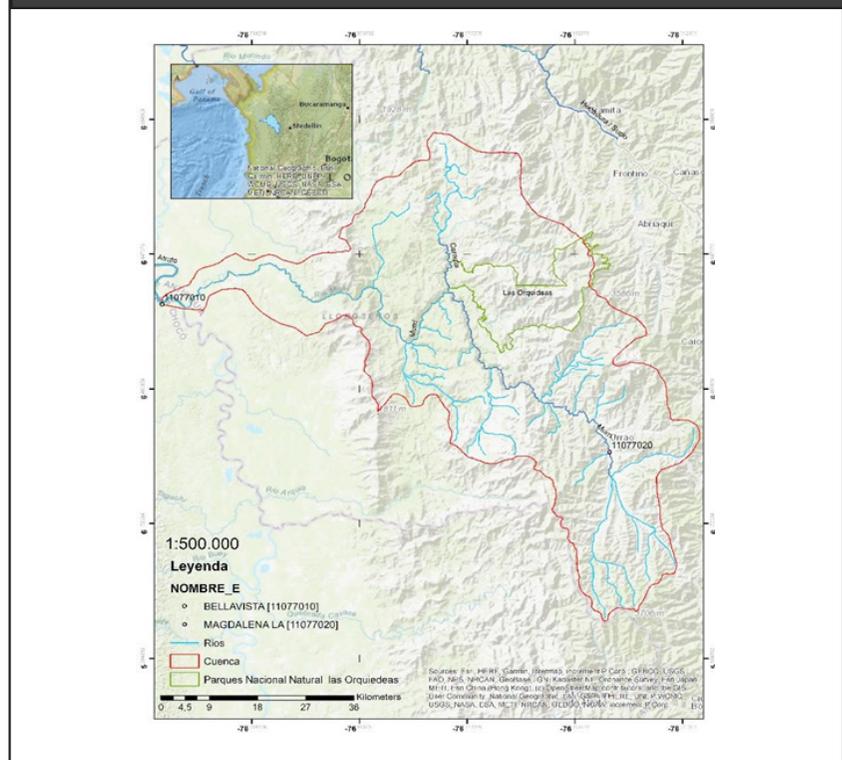
Tabla 1. Información básica de las estaciones hidrológicas en la zona.

Código	Nombre	Tipo	Periodo de registro
1107010	Bella vista	Hidrológica	1970 - 2018
1107020	Magdalena	Hidrológica	1974 - 2018

En la Figura 2 se presenta la localización de las estaciones con relación a la ubicación del PNN Las Orquídeas.

Las fechas de las imágenes satelitales se escogieron en función de su disponibilidad para la zona, teniendo en cuenta las siguientes características: las imágenes suministradas por el satélite LANDSAT por ausencia de su costo, las fechas de estas imágenes debieron corresponder a los años de observación en las estaciones hidrológicas para posterior comparación del cambio de coberturas y su incidencia sobre el régimen hídrico. Se estableció el área total a evaluar Landsat 8 del año 2019 actuales para encontrar cual superficie que cubriría cada una de las estaciones y así establecer el polígono de estudio y descargar las imágenes correspondientes.

Figura 2. La localización de la cuenca del río Murrí del PNN Las Orquídeas.



La segunda etapa consistió en el análisis multitemporal de los datos iniciales de origen hidrológico y geoespacial.

Para los datos hidrológicos, se procedió a evaluar la regulación hídrica a través de la construcción de la curva de duración (referencia) de caudales mensuales correspondientes a los años que disponen de la información geoespacial. Para cada curva construida se definen los valores de caudales de los percentiles 10, 50 y 90, y se calcula el índice de regulación hídrica (IRH) según la ecuación 1. La capacidad de regulación hídrica se define a través de los siguientes rangos:

$IRH > 0.85$	Capacidad de la cuenca para retener y regular muy alta
$0.75 \leq IRH \leq 0.85$	Capacidad de la cuenca para retener y regular alta
$0.65 \leq IRH \leq 0.75$	Capacidad de la cuenca para retener y regular media
$0.50 \leq IRH \leq 0.65$	Capacidad de la cuenca para retener y regular baja
$IRH < 0.50$	Capacidad de la cuenca para retener y regular muy baja

Fuente: (IDEAM, Información Ambiental para la Gestión Integral de la Cuenca Hídrica del Río Bogotá, 2021)

$$IRH = \frac{a_{inf}}{a_{total}} \quad (1)$$

Donde:

IRH - Índice de regulación hídrica

a_{inf} - Área por debajo del valor promedio de la curva de duración de caudales

a_{total} - Área por debajo de la curva de duración de caudales

En el análisis geoespacial, inicialmente, se procedió a verificar su calidad que consiste en correspondan al mismo año, un mínimo de bandas, la mínima cantidad bruma y nubosidad. Etapa de imágenes satelitales está compuesta de varias actividades que son repetitivas para cada año de evaluación.

Posteriormente, se realizó orto rectificación de las imágenes según una imagen LANDSAT8 y se obtuvieron los parámetros como zonas estables, objetos fijos que van desde viviendas, parques (canchas), etc.

Luego, se realizaron los mosaicos para cada uno de los años de estudio para realizarlos tuvieron en cuenta: correcciones por nubes, correcciones atmosféricas, radiométricas y balance de color.

El siguiente consistió en la clasificación no supervisada, donde las coberturas se clasificaron en 10 clases. Finalmente, se realizó el chequeo de la calidad de clasificación supervisada realizada para todas las imágenes donde se utilizaron 50 puntos de entrenamiento.

En la tercera etapa se hizo la integración del análisis de regulación hídrica con los análisis de evolución de coberturas que permite evaluar la incidencia del cambio de las coberturas nativas en el PNN sobre la regulación de la escorrentía superficial. Por este se entiende el cambio porcentual de caudal de un cierto percentil de un año en especial en relación con el valor promedio del caudal del mismo percentil versus cambio porcentual de la cobertura nativa del PNN.

Resultados y discusiones

En la recolección de los insumos se encontró que la cuenca del río Murrí tiene dos estaciones hidrológicas, cuya información se presenta en la tabla 1. Para la zona del estudio, se contó con 7 imágenes satelitales con las siguientes características:

Tabla 2. Sensor de las imágenes satelitales.

Año	Sensor
1986	Landsat 1-4
1988	Landsat 1-4
1996	Landsat 5
2000	Landsat 5
2014	Landsat 8
2018	Landsat 8

Con el fin de tener una caracterización general de la cuenca, se definieron algunos parámetros morfométricos, cuya información se presenta a continuación:

Tabla 3. Características morfométricas de la cuenca del río Murri.

Código	Área, ha	Longitud del cauce, km	Densidad de drenaje	Evaluación drenaje
11077010	334915,63	176	0,0005	Regular
11077020	476,55	0,11	0,0002	Regular

En la etapa de los análisis hidrológicos, se construyeron las curvas de duración de caudales y para estas se obtuvieron los valores del índice de regulación hídrica. Estos resultados se presentan en las tablas 4 y 5.

Tabla 4. Valores del índice de regulación hídrica IRH.

Años / estaciones	1986	1988	1996	2000	2014	2018
1107010	0.6	0.68	0.62	0.6	0.57	0.56
1107020	0.64	/	0.57	0.55	0.59	0.61

Desde los resultados obtenidos se concluye que los valores del índice de regulación hídrica varían en el rango de 0.55 a 0.68 que indica que la cuenca del río Murri no tiene una capacidad de retención y regulación hídrica baja con una tendencia hacia su disminución a lo largo del periodo de análisis.

Tabla 5. Evaluación de caudales a través de los percentiles desde la curva de duración de caudales.

Percentil/estación	Valor del caudal en función del percentil, m ³ /s			
	10	50	90	99.9
1986				
11077010	1.53	0.95	0.56	0.44
11077020	1.64	0.88	0.34	0.20
1988				
11077010	1.42	1.04	0.50	0.28
11077020	0	0	0	0*
1996				
11077010	1.18	1.04	0.75	0.57
11077020	1.69	0.93	0.53	0.41
2000				
11077010	1.16	1.01	0.80	0.71
11077020	1.66	0.90	0.55	0.49
2014				
11077010	1.37	0.98	0.65	0.50
11077020	1.64	0.94	0.59	0.52
2018				
11077010	1.30	0.99	0.73	0.59
11077020	1.51	0.96	0.56	0.53
*	Este año la estación no cuenta con los registros de caudales			

Posteriormente, se calculó el cambio porcentual de los valores de los caudales para diferentes percentiles. Estos resultados se presentan en la siguiente tabla.

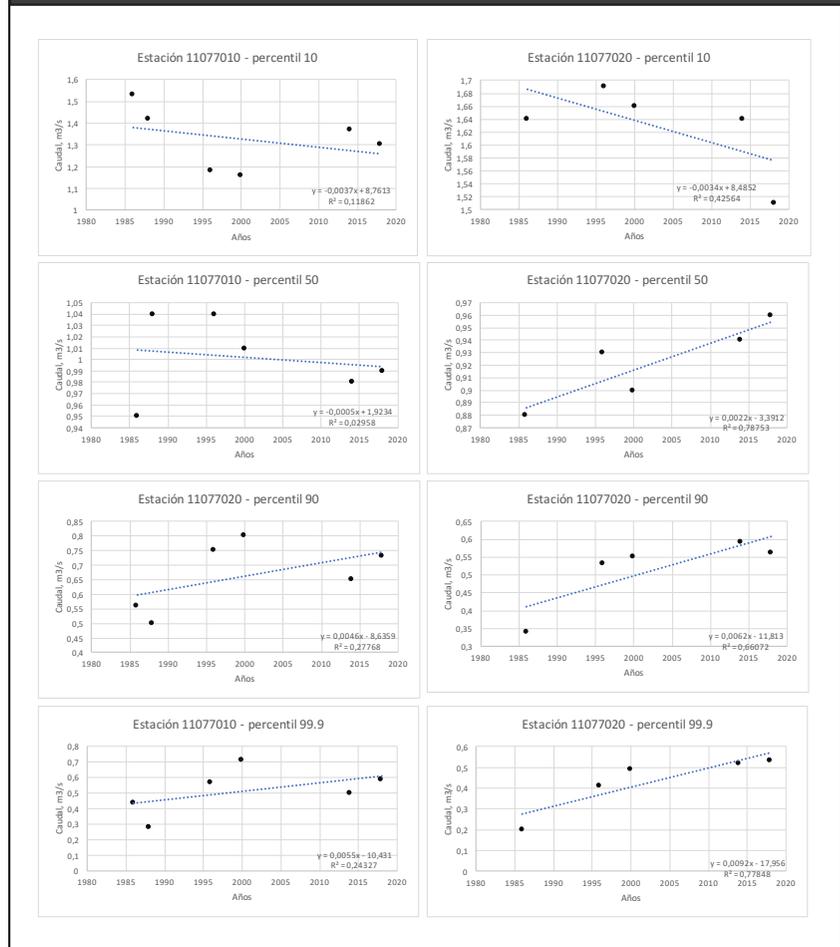
Tabla 6. Cambio porcentual de los percentiles de los caudales.

Año	Estaciones	% Cambio en los valores de los caudales para diferentes percentiles			
		10	50	90	99.9
1986	11077010	-0.7	11.8	39.8	41.9
	11077020	6.0	5.4	1.8	-28.5
1988	11077010	32.1	45	50	41.3
	11077020	/	/	/	/
1996	11077010	-27.0	9.90	16.3	11.8
	11077020	11.3	-0.7	-17.	-21.1
2000	11077010	-33.9	5.2	30.6	33.8
	11077020	5.8	-6.6	-1.0	4.7
2014	11077010	-25.4	14.8	23.8	18.1
	11077020	-4.4	11.7	15.4	21.1
2018	11077010	7.0	21.7	42.5	41.5
	11077020	19.9	18.9	24.3	35

Como se aprecia desde la tabla 6, los valores de los caudales en la cuenca pueden experimentar unos cambios significativos que oscilan en el rango de -33.9 hasta 42.5 %. Estas variaciones pueden estar asociadas tanto a la variabilidad interanual por factores naturales, como por los factores antrópicos de diferente índole.

Los resultados numéricos de la Tabla 5 se presentan de manera gráfica en la siguiente figura.

Figura 3. Evolución de los caudales medios mensuales para diferentes percentiles en el periodo analizado.



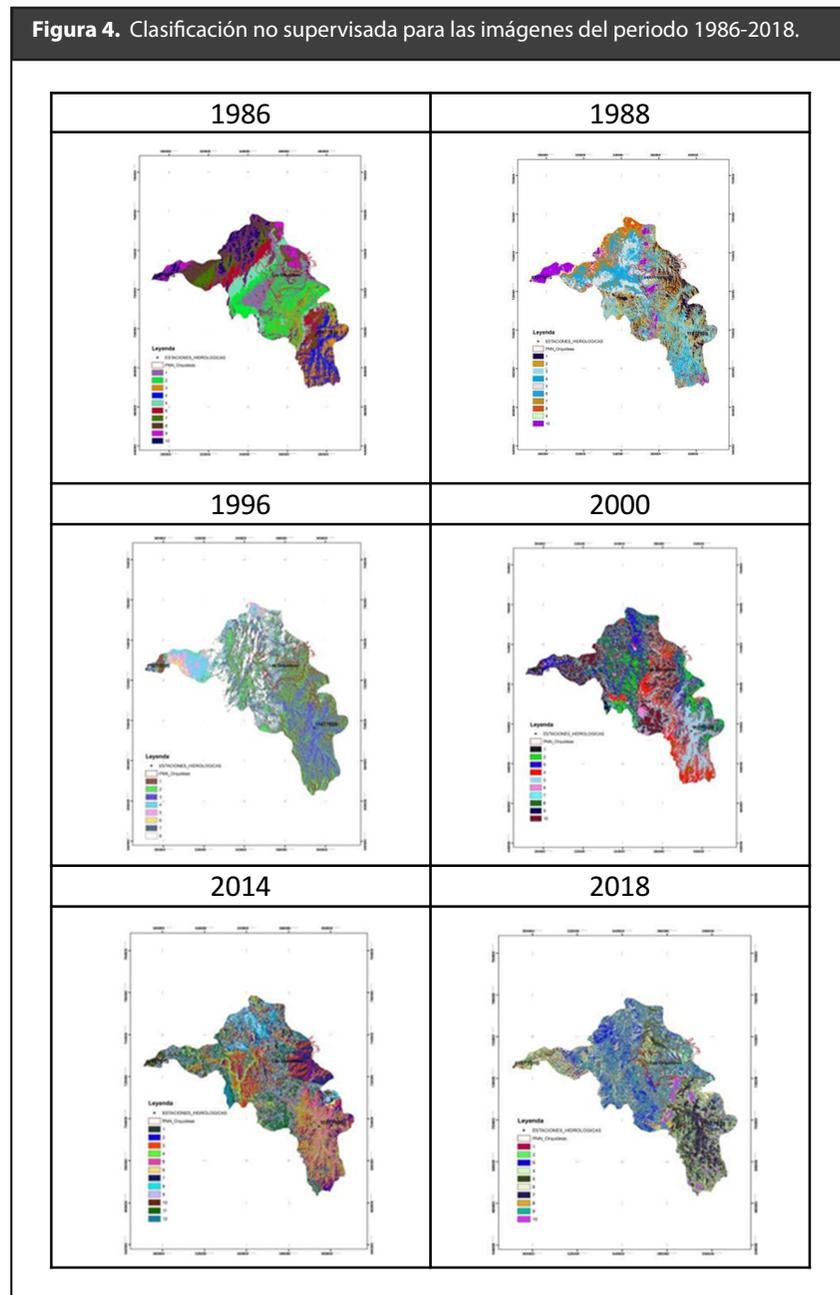
Como se puede ver de las gráficas de la estación 11077010, no se identifica un patrón de cambio en los caudales ni hacia una tendencia creciente, ni hacia la decreciente. Algunas tendencias lineales indican un aparente incremento en los valores de los caudales, mientras que otras no afirman ninguna tendencia. Con el fin de confirmar la significancia estadística de las tendencias construidas, se evaluó el valor del coeficiente de determinación y el estadístico de Fisher cuyos valores indican que ninguna de las tendencias lineales es estadísticamente significativa.

Según los resultados arrojados de la estación 11077020, en tres de cuatro gráficas construidas, se confirma una tendencia hacia el crecimiento de los valores de los caudales con los valores del coeficiente de correlación de 0.81 a 0.88.

Por consiguiente, en la cuenca del estudio no hay un claro patrón de tendencia porque una estación no confirma ningún tipo de tendencia estadísticamente significativa, mientras que la estación con el código 11077020 afirma en la mayoría de los casos un patrón creciente de caudales para mayoría de los percentiles.

Con relación al análisis de las imágenes satelitales se puede indicar que al realizar la evaluación de calidad de las imágenes como se esperaba no era la mejor por el efecto de la nubosidad que es característica para esta zona del país que se limita con el Choco y el río Atrato y al este con el páramo Frontino.

A continuación, se relacionan las salidas gráficas de la clasificación no supervisada, realizada inicialmente con el fin de verificar las coberturas vegetales presentes en la zona del estudio.

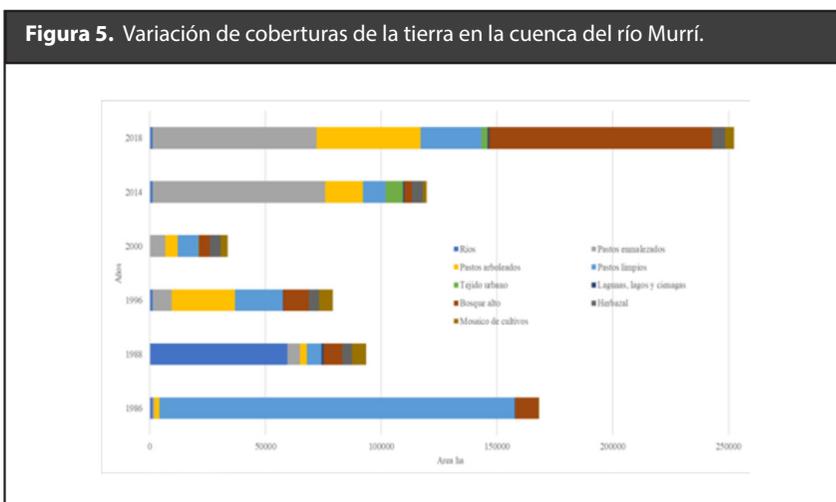


Por último, se evaluaron coberturas nativas según la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia (IDEAM & IGAC, 2007). Los resultados obtenidos se presentan a continuación.

Tabla 7. Áreas de coberturas de la tierra en la cuenca del río Murrí (ha)

1986	1988	1996	2000	2014	2018	Clasificación
2762	596	30	393	450		5.1.1 ríos
628	8500	243	10044	7686	59	9.9 nubes
22783	918	622	4	8087	243	5.1.2 Lagunas, lagos y ciénagas
15355	8053	1984	379	2203	1984	3.1.1 Bosque denso
5812	6240	1590	1742	123	1590	2.3.1 Pasto limpio
1	5593	7	2768	421		2.3.3 Pastos enmalezados
691	2937	1083	1982	3852		2.3.2 Pastos arboleados

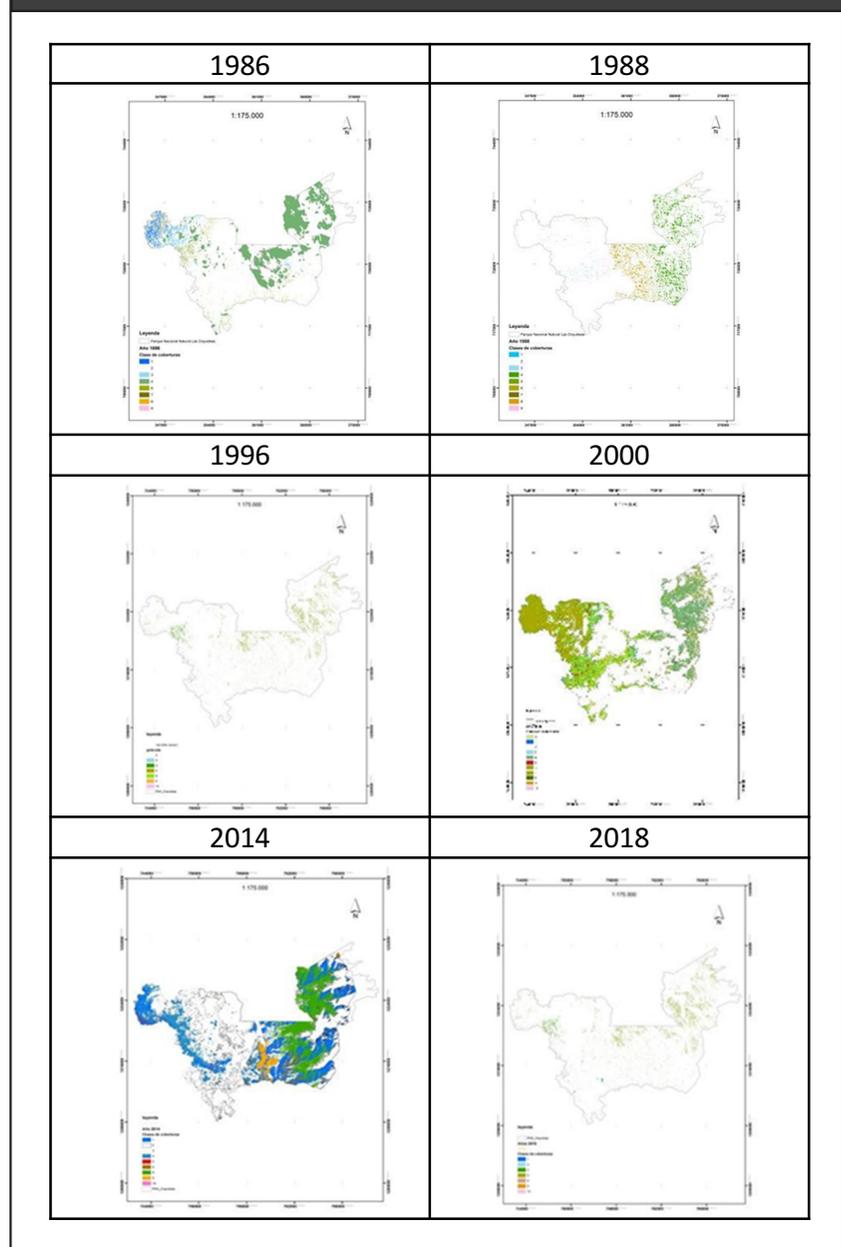
Desde los resultados obtenidos se evidencia una disminución de las coberturas boscosas y aumento del área de las coberturas de pastos, lo que afirma que la cuenca del estudio enfrenta un proceso de deforestación para actividades de pastoreo. En la siguiente figura se presentan las gráficas de variación de las coberturas de la tierra en la cuenca a través de los años.



Desde la gráfica presentada anteriormente se ve la evolución de las diferentes coberturas a través de los años, en la cual se puede evidenciar una disminución de la cobertura boscosa y la expansión de la cobertura de pastos. Así mismo, se evidencia un significativo impacto de las nubes en la interpretación de las coberturas de la zona que influyó negativamente sobre la identificación de la evolución de las coberturas de la tierra.

A continuación, se presentan salidas gráficas de las coberturas de la tierra a través de la clasificación supervisada de las imágenes satelitales.

Figura 6. Coberturas de la tierra evaluadas a través de la clasificación supervisada.



A continuación, se presenta la asociación de los números de las imágenes de la Figura 6 con los tipos de coberturas de la tierra:

Número	Cobertura de la tierra
1	Ríos
2	Nubes
3	Lagunas, lagos y ciénagas
4	Bosque denso
5	Pastos limpios
6	Pastos enmalezados

En la anterior figura se demuestra gráficamente el cambio de coberturas que ha tenido durante el tiempo las coberturas de interés estudiadas, siendo la cobertura nativa los bosques, pero se fueron afectados conforme el tiempo y coberturas como los pastos arboleados que muestra una tendencia hacia la expansión. En este orden de ideas, los resultados de las clasificaciones no supervisada y supervisada confirman resultados similares.

Finalmente, la expansión de cobertura de pastos y la contracción de la cobertura boscosa se contrastaron estadísticamente a través del análisis correlativo con el cambio de los caudales relacionados en la Tabla 4. Como resultado, no se obtuvo una relación estadísticamente significativa entre las variables lo que indica que en la cuenca del río Murrí el régimen hídrico hasta la actualidad ha sido resiliente (Andrade, Guerreiro, Palácio, & Campos, 2020) al cambio de la cobertura de la tierra.

Conclusiones

Se desarrolló una metodología para evaluar la incidencia del cambio de coberturas sobre la capacidad regulativa de cuencas hidrográficas. La metodología integra análisis hidrológicos con los estudios multitemporales de imágenes satelitales.

La disponibilidad de la información geoespacial, así como calidad de esta, sirven como limitantes en la aplicación de la metodología para la zona del estudio.

Se identificó que el cambio de las coberturas naturales en el PNN Las Orquídeas no afecta de manera la capacidad de retención y regulación hídrica en la cuenca del río Murrí. Este resultado se da, posiblemente, a lo que el área del PNN representa el 8,4% del área total de la cuenca del río Murrí y su aporte a la escorrentía superficial del río no es relevante. Adicionalmente, se debe investigar más a fondo el tema de resiliencia del régimen hídrico ante el cambio de la cobertura boscosa, integrando un mayor número de imágenes satelitales (Giles- Hansen, Wei, & Hou, 2021).

Así mismo, se podría suponer, que el río Murrí tiene una buena capacidad de resiliencia ante los cambios de coberturas de la tierra evidenciados en el periodo de análisis. Por consiguiente, estos no afectan hasta la fecha la oferta hídrica de la cuenca.

Se recomienda corroborar la metodología con una mejor disponibilidad y calidad de la información hidrológica y de las imágenes satelitales.

Referencias

- Amat-García, G.; Aguirre-Ceballos, J. (2020). The Colombian instituto de ciencias naturales (1936-2019): From the natural history to the knowledge on the biodiversity in Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 768-779.
- Andrade, E. M.; Guerreiro, M.; Palácio, H.; Campos, D. A. (2020). Ecohydrology in a Brazilian tropical dry forest: thinned vegetation impact on hydrological functions and ecosystem service. *Journal of Hydrology: regional studies*, 100649.
- Ango, T. G.; Hylander, K.; Borjeson, L. (2020). Processes of forest cover change since 1958 in the coffee-producing areas of Southwest Ethiopia. *Land*, 278.
- Burgos-Ayala, A.; Jiménez-Aceituno, A.; Rozas-Vásquez, D. (2020). Integrating Ecosystem Services in Nature Conservation for Colombia. *Environmental Management*, 149-161.
- Duriaux-Chavarría, J.-Y.; Baudron, F.; Gergel, S. E.; Yang, K. F.; Eddy, I.; Sunderland, T. (2021). More people, more trees: A reversal of deforestation trends in Southern Ethiopi. *Land Degradation and Development*, 1140-1451.

- García, H. (2012). Deforestación en Colombia: retos y perspectivas. El desafío del desarrollo sustentable en América Latina. Obtenido de <https://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/337>
- Giles- Hansen, K.; Wei, X.; Hou, Y. (2021). Dramatic increase in water use efficiency with cumulative forest disturbance at the large forested watershed scale. *Carbon Balance and Management*, 6.
- González-González, A.; Villegas, J. C.; Clerici, N.; Salazar, J. F. (2021). Spatial-temporal dynamics of deforestation and its drivers indicate need for locally-adapted environmental governance in Colombia. *Ecological Indicators*, 107695.
- González-González, A.; Villegas, J. C.; Clerici, N.; Salazar, J. F. (2021). Spatial-temporal dynamics of deforestation and its drivers indicate need for locally-adapted environmental governance in Colombia. *Ecological Indicators*, 107695.
- IAVH. (2017). Biodiversidad colombiana: número para tener en cuenta. Obtenido de <http://www.humboldt.org.co/es/boletines-y-comunicados/item/1087-biodiversidad-colombiana-numero-tener-en-cuenta>
- IDEAM. (2021). Descarga de datos hidrometeorológicos . Obtenido de <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>
- IDEAM. (29 de Abril de 2021). Información Ambiental para la Gestión Integral de la Cuenca Hídrica del Río Bogotá. Obtenido de <https://www.orarbo.gov.co/es/indicadores?id=1308&v=1#:~:text=Mide%20la%20capacidad%20de%20retenci%C3%B3n,interpretan%20como%20de%20menor%20regulaci%C3%B3n>.
- IDEAM.; CIAF. (2016). Proyecto Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono. Obtenido de <http://181.225.72.78/Portal-SIAC-web/faces/Dashboard/Biodiversidad2/bosques/estadoCifrasBosques.xhtml?entidad=IDEAM>
- IDEAM.;IGAC. (2007). Metodología Corine LandCover. Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021521/LIBROCORINEFINAL.pdf>
- Llambí, L. D.; Becerra, M. T.; Peralvo, M.; Avella, A.; Baruffol, M.; Flores, L. J. (2019). Monitoring Biodiversity and Ecosystem Services in Colombia's High Andean Ecosystems: Toward an Integrated Strategy. *Mountain Research and Development*, A8-A20.
- PNN. (2009). Parque Nacional Natural Las Orquídeas. Obtenido de <https://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/parques-nacionales/parque-nacional-natural-las-orquideas/>
- Restrepo, J. D.; Kettner, A. J.; Syvitski, J. (2015). Recent deforestation causes rapid increase in river sediment load in the Colombian Andes. *Anthropocene*, 13-28.
- Shenk, A.; Neuhauser, M.; Ruxton, G. D.; Bathke, A. C. (2021). Predictors of pre-European deforestation on Pacific islands: A re-analysis using modern multivariate non-parametric statistical methods. *Forest Ecology and Management*, 119238.
- Tester, A. W. (2020). Deforestation in the Global South: Assessing Uneven Environmental Improvements 1993–2013. *Sociological Perspective*, 764-785.
- Tor-ngern, P.; Chart-asa, C.; Chanthorn, W.; Rodtassana, C.; Yampum, S.; Unawong, W.; Nathalang, A. (2021). Variation of leaf-level gas exchange rates and leaf functional traits of dominant trees across three successional stages in a Southeast Asian tropical forest. *Forest Ecology and Management*, 119101.
- Trancoso, R. (2021). Changing Amazon deforestation patterns: Urgent need to restore command and control policies and market interventions. *Environmental Research Letters*, 041004.
- USGS. (2021). U.S. Geological Survey. Obtenido de <https://www.usgs.gov/>