

**RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN
- RAE -**



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia
Vigilada Mineducación

RIUCaC

**FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
ESPECIALIZACIÓN O MAESTRÍA EN RECURSOS HÍDRICOS
BOGOTÁ D.C.**

LICENCIA CREATIVE COMMONS:

Atribución		Atribución no comercial	X	Atribución no comercial sin derivadas	
Atribución no comercial compartir igual		Atribución sin derivadas		Atribución compartir igual	

AÑO DE ELABORACIÓN: 2019

TÍTULO: Análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal y su influencia en la generación de caudales pico de la cuenca del río Sardinata, del departamento de Norte de Santander - Colombia.

AUTOR (ES): Hernandez Calderón, Luisa Nathalie y Salamanca Carvajal, Julian Alexander.

DIRECTOR(ES)/ASESOR(ES):

De Plaza Solórzano, Juan Sebastián

MODALIDAD:

Trabajo de investigación.

PÁGINAS: 114 **TABLAS:** 26 **CUADROS:** 0 **FIGURAS:** 30 **ANEXOS:** 0

CONTENIDO:

INTRODUCCIÓN

1. GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO
2. MARCOS DE REFERENCIA
3. MATERIALES Y METODOLOGÍA



- 4. ANALISIS DE RESULTADOS
- 5. CONCLUSIONES
- 6. RECOMENDACIONES
- BIBLIOGRAFÍA

DESCRIPCIÓN: En el presente estudio se verificó por medio de un análisis multitemporal los cambios presentados en la cobertura vegetal desde el año 2000 hasta el 2012 en la cuenca hidrográfica de Sardinata, posteriormente se realizó el procesamiento y modelación de datos hidrológicos determinando la influencia que ha tenido la variación de las coberturas en la generación de caudales pico de la misma. A partir de lo anterior, se identificó que si bien la escorrentía ha presentado un aumento en la cuenca la variación de las coberturas no es tan significativa para generar caudales pico.

METODOLOGÍA:

- **Recopilación de información**

En esta etapa se realiza la búsqueda y recolección de información en diferentes fuentes, con el fin de obtener los insumos necesarios para el procesamiento y análisis de datos mediante la modelación con la herramienta SWAT.

- **Procesamiento y análisis de información.**

A partir de la información recolectada, se procede a realizar un análisis de la misma, con el fin de establecer que información es de utilidad, para así procesarla y organizarla previamente a la introducción a la herramienta de modelación. Dentro de esta fase se realizan las siguientes actividades:

Delimitación de la cuenca hidrográfica

Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica

Selección de estaciones meteorológicas

- **Análisis climatológico de la cuenca hidrográfica**

Se ejecuta un estudio sobre algunas variables climatológicas de la cuenca de estudio, como son temperatura y precipitación para establecer condiciones generales de climatología del área de estudio.

- **Pendientes en la cuenca hidrográfica**



Se establecen las clasificaciones de pendientes a usar en la cuenca, teniendo en cuenta las características propias de la misma, y las variables consideradas por el modelo SWAT.

- **Caracterización del suelo**

Se analizan los tipos de suelo presentes en la cuenca, y se estudia su distribución espacial respecto al área total de la cuenca hidrográfica delimitada.

- **Análisis de coberturas vegetales**

Se elabora un análisis de las coberturas vegetales presentes para tres periodos 2000-2002, 2005-2009 y 2010-2012, así como los cambios presentados a través del tiempo.

- **Modelación hidrológica SWAT**

En esta etapa se realiza el ingreso de insumos al modelo, los cuales corresponden a datos topográficos, de cobertura vegetal, tipo de suelo y datos climatológicos, para que el mismo los procese a través de los diferentes métodos que utiliza (método de número de curva SCS-CN, método racional modificado, entre otros) y de esta manera obtener finalmente la información de interés como escurrimiento superficial.

- **Calibración del modelo (SWAT)**

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos para los distintos períodos, la calibración del modelo se hace para la temporalidad comprendida entre los años 2005 al 2009, toda vez que esta cuenta con mejores resultados entre los caudales observados y los simulados.

Predicción del comportamiento hidrológico de la cuenca

Con el modelo calibrado, y partiendo del análisis de los resultados de la modelación, se genera un patrón asociado a los cambios de cobertura vegetal con el fin de extrapolarlos, para de esta forma, determinar el comportamiento hidrológico de la cuenca con la influencia del cambio de la cobertura.

PALABRAS CLAVE: COBERTURA VEGETAL, CUENCA HIDROGRÁFICA, ESCORRENTÍA Y SWAT.



CONCLUSIONES:

Con la aplicación de la herramienta de modelación SWAT y el análisis multitemporal del cambio de las coberturas del suelo, se puede establecer que la variación de ciertos tipos de cobertura influye directamente en la generación de escorrentía en la cuenca y, por consiguiente, en el aumento de los caudales generados, ya que como lo indican los números de curva calculados para cada uno de los periodos estudiados y el porcentaje de precipitación generada, se evidencia que a un mayor número de curva se presentan mayores porcentajes de escorrentía generada.

Tabla 1.

Resumen escorrentía generada y número de curva de la cuenca

PERIODO	NÚMERO DE CURVA (CN_{II})	Escorrentía/Precipitación (%)
2000-2002	65.86	10.5
2005-2009	67.24	12.06
2010-2012	67.86	15.77
2030-2031	70.35	18.03
2030-2031	65.04	10.01

Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, en la cuenca del río Sardinata los cambios de cobertura durante el período analizado no se consideran críticos, dado que no son suficientes para generar caudales picos extremos en la cuenca, sumado a las características propias de morfometría como es su forma alargada.

Se evidencia que entre los años 2000 a 2012 aparecen tres coberturas adicionales como lo son: «bosque de galería o ripario», «plantación forestal» y «bosque abierto», resultando para el último año un total de 16 coberturas. Por otro lado, las coberturas que sufrieron mayores cambios en cuanto a su distribución espacial en el período analizado fueron «pastos limpios», aumentando de 5,36 % a 19,8 %; «mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales» que disminuyó en área un 7,16 % y, por último, la cobertura de «bosque denso» que se redujo en un 4,66 %.

No fue posible hacer un análisis o relación del aumento de cultivos ilícitos en la zona, con la respuesta hidrológica de la cuenca del río Sardinata, considerando que la información oficial de coberturas vegetales no contiene los cultivos permanentes, a los cuales se les asocia el cultivo de coca.



A partir de la recopilación y procesamiento de la información meteorológica, a través de la herramienta SWAT, se realizó el balance hídrico de la cuenca del río Sardinata para cada período analizado, encontrando que para el 2000 a 2002 la precipitación generada corresponde a 28781.85 mm de la cual el 10 % es escorrentía superficial, para el 2005 a 2009 la precipitación es 84318.84 mm, siendo el 12.08 % escorrentía superficial y por último, para el 2010 a 2012 la precipitación es de 68613.80 mm, de los cuales el 15.77 % corresponde a escorrentía. Con lo anterior es posible evidenciar un aumento en la generación de escorrentía superficial en la cuenca del río Sardinata con el cambio de coberturas presentado por un valor del 5.77 %.

Respecto a los escenarios de predicción planteados, se ha calculado el número de curva (CNII) y el porcentaje de escorrentía en relación con la precipitación, obteniendo para el primer escenario un valor de CNII de 70.35 y un porcentaje de escorrentía/precipitación de 18.03 %, dicho escenario se ha establecido con porcentajes de coberturas que siguen la tendencia presentada entre el periodo 2000 a 2012. Por otro lado, se realiza la simulación de un segundo escenario, en el cual se proyecta recuperar las coberturas de suelo que tenían mayor presencia en el principio del periodo de estudio (2000), obteniendo un valor de CNII de 65.04 y un porcentaje de escorrentía/precipitación de 10.01 %, que evidencia una vez más la relación existente entre las coberturas del suelo y la respuesta hidrológica de la cuenca hidrográfica del río Sardinata.

Por último, para la calibración del modelo hidrológico se ha considerado el coeficiente de correlación de Nash-Sutcliffe que mide la variabilidad de las observaciones y que tan bien explicadas están dichas variaciones por el modelo, para el periodo 2005-2009, ya que ha sido el periodo que mejor se ajusta a los datos observados con un valor de 0.58 considerado según (Molnar, 2011) como un valor “bueno” para una calibración hidrológica.

FUENTES

Abdelwahab, O., Ricci, G., De Girolamo, A., & Gentile, F. (2018). Modelling soil erosion in a Mediterranean watershed: Comparison between SWAT and AnnAGNPS models. *Environmental Research*, 366-376.



- Abdelwahabab, O., Ricci, G., De Girolamo, A., & Gentile, F. (2018). Modelling soil erosion in a Mediterranean watershed: Comparison between SWAT and AnnAGNPS models. *Environmental Research*, 363-376.
- Alcaldía Municipal de Sardinata. (2002). Esquema de Ordenamiento Territorial Sardinata Norte de Santander 2002. Sardinata , Norte de Santander , Colombia . Obtenido de Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental .
- Alcaldía Municipal de Sardinata. (2016). *Plan Municipal de Desarrollo* . Sardinata: Alcaldía Municipal de Sardinata.
- Arias, F. (2006). *El proyecto de investigación* . Caracas: Episteme.
- Bennett, A. (1998). *Enlazando el paisaje. El papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre*. Gland, Suiza y Cambridge: IUCN.
- Bernal , S., & Prado, C. (2015). *Análisis de la influencia de la cobertura vegetal en la generación de caudales de la cuenca de la quebrada Granadillo en los años 1993 y 2009 a partir de aerofotografías y cartografía del Insituto Geográfico Agustín Codazzi*. Bogotá D.C.: Universidad Católica de Colombia .
- Bingner, R., Theurer, F. D., & Yuan, Y. (2018). *AnnAGNPS Technical Processes Documentation Version 5.5* . Oxford: USDA-ARS, National Sedimentati6n Laboratory .



- Bingner, R., Theurer, F., Yuan, Y., & Taguas., E. (2018). *AnnAGNPS TECHNICAL PROCESSES Documentation version 5.5*. Oxford: USDA-ARS, National Sedimentation Laboratory.
- Breña, A., & Jacobo, M. (2006). *Principios y fundamentos de la hidrología superficial*. Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Camargo Vargas, L. (2017). *Lineamientos para la gestión de la deforestación, generada por los cultivos ilícitos asociados al conflicto armado, en el municipio de Tibú, en el contexto del posconflicto*. Bogotá D.C.: Universidad Pontificia Javeriana .
- Cárdenas, K. (2018). Análisis general de la gestión del riesgo por inundación en Colombia. *Revista Científica en Ciencias Ambientales y Sostenibilidad CAS*, 7.
- Céleri, R., De Bièvre, B., & Iñiguez, V. (2012). Efectos de la cobertura vegetal en la regulación hidrológica de microcuencas de páramo. *Universidad de la Cuenca*, 23.
- Cheng, J., Huei, J., Mao, C., Yen, W., & Cheng, C. (2018). Cross-Analysis of Land and Runoff Variations in Response to Urbanization on Basin, Watershed, and City Scales with/without Green Infrastructures. *Water*, 18.
- Cheng, J., Lin, L., & Lu, H. (2001). Influencia de los bosques en los flujos de agua de las cuencas hidrográficas en Taiwán . *ELSEVIER*, 17.
- Constitución Política de Colombia* . (1991). Bogotá D.C.
- Cruz Roja Colombiana. (2017). *Emergencia Mocoa - Putumayo*. Bogotá D.C.: Cruz Roja Colombiana .



Dabney, S. M. (1998). Cover crop impacts on watershed hydrology. *Journal of Soil and Water Conservation*, 207-2013.

DeFries, R., Achard, F., Brown, S., Herold, M., Murdiyaso, D., Schlamadinger, B., & De Souza Jr., C. (2006). *Reducing Greenhouse Gas Emissions from Deforestation in Developing Countries: Considerations for Monitoring and Measuring, Report of the Global Terrestrial Observing System (GTOS) number 46, GOF-C-GOLD report 2*. Roma: Global Terrestrial Observing System (GTOS) .

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2005). Censo General 2005. En D. A. Estadística, *Censo General 2005* (pág. 498). Bogotá D.C.

Ding, J., Wallner, M., Müller, H., & Haberlandt, U. (2015). Estimation of instantaneous peak flows from maximum mean daily flows using the HBV hydrological model. *Hydrological Processes* , 1431-1448.

El espectador. (1 de Abril de 2017). Causas y recomendaciones tras la avalancha en Mocoa . *Causas y recomendaciones tras la avalancha en Mocoa* , pág. 1.

García, C. (2007). *Regulación hídrica bajo tres coberturas vegetales en la cuenca del río San Cristobal, Bogotá D.C.* Bogotá D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Garzón, N. (2016). *Estudio Multitemporal para identificar los cambios en la cobertura vegetal del humedal de Tibabuyes*. Bogotá D.C.: Universidad Católica de Colombia



GIZ, MADS, IDEAM, SINCHI, & UNODC. (2017). *Coca y deforestación: Mensajes de acción para la planeación del desarrollo*. Bogotá D.C.: GIZ.

Green, W., & Ampt, G. (1911). Studies on soil physics, 1. The flow of air and water through soils. *Journal of Agricultural Science*, 11-24.

Green, W., & Ampt, G. (1911). Studies on soil physics, 1. The flow of air and water through soils. *Journal of Agricultural Sciences*, 11-24.

Guerrero, C., & Mendoza, C. (2016). *Determinación del índice de escasez de la microcuenca el Guamal abastecedora del acueducto del casco urbano en el Municipio de Convención Norte de Santander mediante la metodología lluvia - escorrentía planteada por el IDEAM en la Resolución 865 del 2004*. Ocaña: Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

IDEAM. (2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la tierra. Metodología CORINE Land Cover adoptada para Colombia escala 1:100.000*. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

IDEAM. (20 de Mayo de 2019). *IDEAM*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/agua/modelacion-hidrologica>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales . (2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000*. Bogotá D.C., Bogotá D.C., Colombia .



Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia . (2013).

Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia. Bogotá D.C., Bogotá D.C., Colombia .

Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC. (07 de 11 de 2018). Obtenido de Preguntas frecuentes:

http://www2.igac.gov.co/igac_web/contenidos/plantilla_general_titulo_contenido.jsp?idMenu=212

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2004). Estudio General de Suelos del Departamento de Norte de Santander. En I. G. Codazzi, *Estudio General de Suelos del Departamento de Norte de Santander*. IGAC.

Karamage, F., Zhang, C., Fang, X., Liu, T., Ndayisaba, F., Nahayo, L., . . . Baptiste, J. (2017). Modeling Rainfall-Runoff Response to Land Use and Land Cover Change in Rwanda (1990-2016). *Water*, 24.

Krysanova, V., & Wechsung, F. (2000). *SWIM (Soil and Water Integrated Model) User Manual*. Postdam: Postdam Institute for Climate Impact Research.

Krysanova, V., & Wechsung, F. (2000). *SWIM User Manual*. Postdam: Postdam Institute for Climate Impact Research.

La Opinión . (5 de abril de 2017). *Tres municipios de Norte de Santander están en alerta naranja* , pág. 1.



La Opinión. (28 de abril de 2018). Excesiva deforestación causa alarma en Norte de Santander. *La Opinión*, pág. 1.

Le Maitre, D. C., Kotzee, I. M., & O'Farrell, P. J. (2014). Impacts of land-cover change on the water flow regulation ecosystem service: Invasive alien plants, fire and their policy implications. *Land Use Policy*, 171-181.

Le Maitre, D., Kotzee, I., & O'Farrell, P. (2014). Impacts of land-cover change on the water flow regulation ecosystem service; Invasve alien plants, fire and their policy implications. *Land Use Policy*, 171-181.

Linsley, R., Kholer, M., & Paulus, J. (1977). *Hidrología para ingenieros*. Bogotá: McGraw-Hill.

Monsalve Saéñz, G. (1999). *Hidrología en la ingeniería*. Bogotá D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Monsalve, G. (2014). Hidrología. En M. Germán, *Hidrología en la ingeniería* (pág. 382). Bogotá D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Monteith, J. (1965). Evaporation and environment. *Symposia of the Society for Experimental Biology*, 205-234.

Neitsch, S., Arnold, J., & Kiniry, J. (2011). *Soil and Water Assesment Tool User's Manual*. Temple, Texas: Texas A&M University.

Neitsch, S., Arnold, J., Kiniry, J., & Williams, J. (2009). *Soil and Water Assesment Tool Theoretical Documentation*. Texas: Texas A&M University.



- Nikolaidis, N., Bouraoui, F., & Bidoglio, G. (2013). Hydrologic and geochemical modeling of a karstic Mediterranean watershed. *Journal of Hydrology*, 129-138.
- NOAA, N. (15 de 11 de 2018). *Northwest River Forecast Center*. Obtenido de https://www.nwrfc.noaa.gov/info/water_cycle/hydrology.cgi
- NSIDC, N. (15 de 11 de 2018). *National Snow & Ice Data Center*. Obtenido de <https://nsidc.org/cryosphere/glossary/term/evaporation>
- Palamuleni, L., Ndomba, P., & Annegarn, H. (2011). Evaluating land cover change and its impact on hydrological regime in Upper Shire catchment, Malawi. *Springer Link*, 12.
- Patiño, J., León, J., Montes, A., & Hernández, L. (2007). Propuesta metodológica para comparar el efecto de diferentes coberturas vegetales en la regulación de caudales en cuencas hidrográficas. Aplicación en la microcuenca de la quebrada La Murciélago, Antioquia. *Avances en recursos hidráulicos*, 11.
- Poveda, G., & Mesa, O. (1995). Efectos hidrológicos de la deforestación. *Energetica* 16, 12.
- Priestley, C., & Taylor, R. (1972). On the assessment of the surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly Weather Review*, 81-92.
- Santillan, J., Makinano, M., & Paringit, E. (2011). Integrated Landsat Image Analysis and Hydrologic Modeling to Detect Impacts of 25-Year Land-Cover Change on Surface Runoff in a Philippine Watershed. *Remote Sensing*, 22.



Serrano , M., Regués, D., Latron , J., Bono, M., Renault, L., & Romero , N. (2005).

Respuesta hidrológica de una cuenca forestal en la montaña media pirenaica: el caso de San Salvador . *Universidad de La Rioja* , 17.

Serrano Muela, M., Regües, D., Latron , J., Martí Bono, C., Lana-Renault , N., & Nadal

Romero, E. (2005). Respuesta hidrológica de una cuenca forestal en la montaña media pirenaica: el caso de San Salvador. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 59-76.

UNODC. (2016). *Monitoreo de territorios afectados por cultivos ilícitos 2016*. Bogotá

D.C.: Gobierno de Colombia.

USDA Soil Conservation Service. (1972). *National Engineering Handbook*. Washington

D.C: USDA Soil Conservation Service.

Velásquez, S., & Jaramillo, A. (2009). Redistribución de la lluvia en diferentes coberturas

vegetales de la zona cafetera central de Colombia. *Cenicafé*, 12.

Xiaobo, J., Huang, C.-h., & Ruan, F. (2008). Impacts of Land Cover Changes on Runoff

and Sediment Iin the Cedar Creek Watershed, St. Joseph River, Indiana, United Satetes. *Spinger Link*, 10.