



**ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LA INFLUENCIA DE LOS USOS Y
COBERTURA DE LA TIERRA EN LA INCIDENCIA DE CAUDALES EN LA
SUBCUENCA DEL RÍO TEUSACÁ**

PRESENTADO POR:

JUAN CAMILO ORTIZ SANGUINO

DIRECTOR:

JORGE ALBERTO SÁCHEZ ESPINOSA

PhD EN SUELOS

*DOCENTE DE CÁTEDRA – PROGRAMA ADMINISTRACIÓN AMBIENTAL Y
DE LOS RECURSOS NATURALES*

PRESENTADO A:

COMITÉ DE GRADO

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

OPCIÓN DE GRADO:

ESP. EN ORDENAMIENTO Y GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ, COLOMBIA

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	3
OBJETIVO GENERAL.....	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
ESTADO DEL ARTE O ANTECEDENTES.....	5
INTERNACIONALES	5
NACIONALES.....	10
REGIONALES	12
BIBLIOGRAFIA	16

RESUMEN

El presente trabajo relaciona el uso del suelo con los caudales de la Subcuenca del Río Teusacá, por medio de una caracterización de la cobertura vegetal y los usos del suelo; teniendo en cuenta puntos de concesiones de agua, la variabilidad de la cobertura vegetal a través del tiempo y la afectación en la oferta hídrica. El uso de sistemas de información geográfica , va a permitir almacenar, manipular y analizar información geográficamente en la subcuenca del Río Teusacá; se utilizará la metodología Corine Land Cover, para clasificar, caracterizar, y comparar las características de la cobertura del suelo a partir de imágenes satelitales (Landsat) y así identificar la incidencia del uso de suelo en el caudal, con el fin de que las entidades municipales puedan tomar medidas de mitigación y prevención a futuros daños permanentes, que se puedan generar sobre el caudal y sobre subcuenca.

OBJETIVO GENERAL

Analizar la influencia de los usos de suelo y cobertura de la tierra en la incidencia de caudales medios, máximos y mínimos en la subcuenca del Río Teusacá.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar espacialmente la cobertura vegetal y los usos del suelo localizados en la subcuenca.
- Identificar el cambio en el uso del suelo y cobertura vegetal, teniendo en cuenta puntos de concesiones de agua.
- Analizar la variabilidad de la cobertura a través del tiempo y la afectación en la oferta hídrica de la subcuenca.

ESTADO DEL ARTE O ANTECEDENTES

El presente estado del arte, se ha realizado con fuentes académicas de los últimos años disponibles a nivel internacional, nacional y regional:

INTERNACIONALES

Transformaciones económico-territoriales de la base productiva regional; la industria en la región centro

El trabajo fue realizado en el año 2006, allí se ubicaron los cambios económicos-territoriales recientes en la base productiva de la región centro de México sobre tres ejes. El primer eje trato de encontrar si las tendencias existentes conducen a un proceso de homogenización del espacio, o, por el contrario, a un crecimiento heterogéneo. El segundo eje avanzo en la identificación de características de la industria mexicana que definían su proceso como la industrialización concluida, o en caso de una evidente perdida de importancia de la manufactura, como un proceso de desindustrialización. Y finalmente se observó los movimientos de la industria manufacturera hacia zonas periféricas de la región centro. (Luter, 2006)

La incidencia del cambio en el uso del suelo en los caudales de tres cuencas, la del Río Alambi, Intag y Quijos

En 2011, Pablo Andrés Valdivieso Reyes, estudiante de la Escuela Politécnica Nacional de Quito, Ecuador, publico como trabajo de grado conocer la incidencia del cambio en el uso del suelo en los caudales de tres cuencas. El objetivo de este proyecto fue analizar el cambio del uso del suelo en los caudales de los tres ríos en Ecuador, tomó como escenarios los años 1980 y 2000 para la cuenca de los Ríos Alambi e Intag, mientras que para la cuenca del Rio Quijos se utilizaron los escenarios de los años 1979 y 2000. La información del cambio del uso del suelo se obtuvo de instituciones públicas y en formato .shp. Los resultados obtenidos en este trabajo, nos ayudan a tener una perspectiva diferente a la que presenta la subcuenca del Rio Teusacá, evidenciando que el porcentaje más alto es por pérdida de vegetación natural. (Valdivieso, 2011)

Cartografía de la no estacionariedad espacial de los factores humanos-naturales asociados con la multifuncionalidad del paisaje agrícola en la región de Beijing – Tianjin – Hebei, China

En 2017, Jian Peng, Yanxu Liu, Zhicong Liu y Yang Yang, publicaron un artículo, en donde mapearon seis servicios ecosistémicos correlacionados con el rango de Spearman para estimar los motores de multifuncionalidad del paisaje agrícola entre 2000 y 2010. Se encontró como resultado del estudio, que todos los servicios ecosistémicos mapeados han crecido y junto con el índice NDVI se corrobora que se tiende en ciertas zonas a la sustentabilidad de áreas dedicadas a la agricultura, mientras otras áreas connotan una degradación del mismo. (Peng, Yanxu, Zhicong & Yang, 2017)

Caracterización de patrones espacio-temporales de perturbación y recuperación del paisaje en el oeste de Alberta, Canadá, utilizando un enfoque de análisis de datos funcionales y datos de detección remota

En el año 2017, Mathieu L Bourbonnais *et al.*, realizaron un estudio, donde se cuantificaron anualmente patrones espaciales de disturbio y recubrimiento en un área de 223 cuencas del oeste de Alberta, Canadá, entre 1985 a 2011. Se realizaron curvas de comportamiento del cual se concluyó que la actividad antropogénica sobre el área ha influido notablemente en el disturbio de la misma, mientras que la curva de disturbios naturales fue más bien baja. (Bourbonnais *et al.*, 2017)

Cambio de tierras en la grieta central de Albertina: percepciones del análisis y mapeo del cambio de uso de la tierra y la cobertura de la tierra en el noroeste de Ruanda

En 2017, Felicia O Akinyemi publicó un artículo titulado: Land change in the central Albertine rift: Insights from analysis and mapping of land use-land cover change in north-western Rwanda. Se cuantifico y mapeo los cambios en el uso del suelo entre 1987 y 2016 a través de imágenes LANDSAT, se establecieron 5 categorías a mapear en toda la trayectoria del estudio. Se tuvo como resultado una recuperación progresiva de las zonas de vegetación natural de la zona de estudio gracias a su riqueza ecológica, así como la presión antropogénica en la zona. Se sugirió el monitoreo en el uso del suelo como insumo para la planificación en la conservación de la biodiversidad. (Akinyemi, 2017)

Cambios en la cobertura del suelo y dinámicas de patrones de paisaje en la frontera de Senegal y Guinea Bissau

Este estudio fue realizado en el año 2017 y se analizaron las coberturas de la tierra y las tendencias del paisaje a partir de imágenes LANDSAT en los años 1990, 2002, 2010 y 2015, se tuvo en cuenta factores socio-económicos para el análisis. Se obtuvo un comportamiento espacio temporal similar en los dos países de estudio, el área forestal se incrementa mientras que la agricultura disminuye junto con áreas de suelo desnudo hasta 2010. (Cabral & Costa, 2017)

Detección del crecimiento urbano en el estado de Hidalgo mediante imágenes Landsat

En 2017 L. Cano Salinas, R. Rodríguez Laguna, J. R. Valdez Lazalde, O. A. Acevedo Sandoval, and R. I. Beltrán Hernández publicaron su trabajo, que tuvo como objetivo determinar la tasa de crecimiento urbano durante el periodo 2000-2014 en el estado de Hidalgo, México, e identificar las zonas potenciales de expansión a partir de imágenes Landsat. Como conclusión se obtuvo que la ocupación urbana del suelo en el estado de Hidalgo creció 7 230.32 ha del 2000 al 2014, esto representa un incremento de la tercera parte de la superficie urbana durante diez años en la Zona Metropolitana del Valle de México. Las zonas con mayor tasa de expansión urbana en Hidalgo se ubicaron en la parte centro-sur del estado que convergen con las zonas agrícolas y de mayor infraestructura carretera. (Salinas, Rodriguez, Valdez, Acevedo & Beltrán, 2017)

Análisis de la variabilidad espacial y temporal en las tasas a corto plazo de retorno de vegetación post-incendio de series de tiempo de Landsat

En 2018, Ryan J Frazier *et al.*, mapearon el cambio en la cobertura del suelo a partir de imágenes LANDSAT desde 1986 hasta 2011 en tres métricas de recubrimiento espectral sobre un bosque boreal y de taiga. Encontraron evidencia de aceleración en tasas de recuperación del bosque después de un incendio natural a lo largo del tiempo con una tendencia consistente, positiva y significativa medida de la prueba de monotonía de Mann-Kendall y la estimación de la pendiente de Theil-Sen. (Frazier *et al.*, 2018)

Mapeo de sistemas de cabecera utilizando un modelo HS-GIS. Una aplicación para la estructura del paisaje y la planificación del uso del suelo en Portugal

En 2018, Selma Beatriz Pena, Manuela Raposo Magalhães y Maria Manuela Abreu. Publicaron un artículo titulado: Mapping headwater systems using a HS-GIS model. An application to landscape structure and land use planning in Portugal. Se mapearon los sistemas de cabeceras con la construcción de un modelo SIG, utilizo como inicio la red de canales con umbrales del área de drenaje de 0,1 km². Como resultado se obtuvo la evaluación actual del uso y cobertura al mostrar un alto porcentaje de eucalipto y pino marítimo, cuya vegetación no es la de mejor uso para el área estudiada. (Pena, Magalhães & Abreu, 2018)

Cartografía de la cobertura de la tierra paneuropea utilizando métricas espectral-temporales de Landsat y la encuesta europea Lucas

En 2019 D. Pflugmacher, A. Rabe, M. Peters, y P. Hostert, publicaron un estudio donde se analizó, por primera vez, el potencial de combinar los datos de LUCAS (Encuesta de marco de área de cobertura / uso de la tierra) y Landsat-8 de gran tamaño a escala europea para mapear la cobertura terrestre y el uso de la tierra en toda Europa; como resultado y/o conclusión prueba el concepto muestra que la encuesta de cobertura terrestre de LUCAS, que no está diseñada para el análisis por teledetección, es útil para capacitar a los aprendices de máquinas para mapear la cobertura terrestre paneuropea. El trabajo futuro podría centrarse en ampliar la recopilación de datos de capacitación para clases pequeñas y en combinar los esfuerzos de validación con LUCAS para comprender mejor las limitaciones actuales de LUCAS para la detección remota y hacer que LUCAS sea más compatible con los Servicios de Copernicus. (Pflugmacher, Rabe, Peters & Hostert P, 2019)

Uso del suelo/ clasificación de la cobertura del suelo utilizando imágenes temporales de Landsat 8 en un área muy urbanizada

En el año 2019 Z. Deng, X. Zhu, Q. He, and L. Tang publican “Land use/land cover classification using time series Landsat 8 images in a heavily urbanized área”, este documento trata sobre el monitoreo dinámico de control remoto del uso del suelo / cobertura del suelo (LULC, por sus siglas en inglés) en regiones urbanas en rápido desarrollo ha dependido cada vez más de los datos de sensores remotos en altas resoluciones temporales y espaciales; como resultado de esta investigación se obtuvo que, en este documento, un método de mapeo LULC orientado a objetos usando series de tiempo LandsatSe propusieron 8

imágenes. Sobre la base de los datos de la serie temporal Landsat8 (banda roja, banda NIR y NDVI), los tipos de cobertura terrestre en la ciudad de Changsha se extrajeron utilizando un algoritmo de bosque aleatorio orientado a objetos. La precisión general y el coeficiente de Kappa fueron 94.38% y 0.88, respectivamente. Las precisiones de los usuarios de los tipos de vegetación fueron todas superiores al 85%. Sin embargo, la precisión general y el coeficiente de Kappa mediante el uso de la imagen Landsat8 mono-temporal se han reducido a 86.52% y 0.81, respectivamente, y la mayoría de la precisión del productor y la precisión del usuario de todos los tipos de cobertura también disminuyen. (Deng, Zhu, He & Tang, 2019)

NACIONALES

Modelación y simulación dinámica para la gestión de caudales en la cuenca alta del Río Pamplonita – Un balance hídrico de consumo

En el centro de investigación en hidro informática de la Universidad de Pamplona, publicaron un artículo en el año 2007, en donde desarrollaron tres modelos dinámicos en la gestión del agua en la cuenca alta del río Pamplonita, los modelos se basaron en la reglamentación del uso del agua en microcuencas expuestas por CORPONOR. Asimismo, se usaron datos de consumo de agua y proyección poblacional de Pamplona según el DANE. Como resultado se simularon diferentes escenarios que estipulan factibilidad de abastecimiento de agua potable hasta el año 2045. (Fernández, Suarez & Pérez, 2007)

La vulnerabilidad de los sistemas agrícolas y ganaderos a la variabilidad climática: uso de modelos de sistemas dinámicos en la cuenca alta de Rancheria (sierra nevada de Santa Marta)

En el 2015, se realizaron modelos de sistemas dinámicos de enfoque para conocer la afectación que trae consigo el cambio climático en los sectores agrícola y ganaderos y a su vez, la afección directa a comunidades que dependen de estas actividades en la cuenca del río Ranchería. Se establecieron escenarios a nivel espacial donde se enmarco la sensibilidad de cambio en el uso del suelo por acciones del cambio climático en esta zona. (Ruiz, Bonilla & Paéz, 2015)

Estudio Landsat de deforestación en la región amazónica de Colombia: departamentos de Caquetá y Putumayo

En el año 2018 C. A. Murad and J. Pearse publican “Landsat study of deforestation in the Amazon region of Colombia: Departments of Caquetá and Putumayo,” este documento se trata sobre como la selva amazónica, la más grande del mundo en términos de tamaño y diversidad, es reconocida como una fuente de servicios ecológicos para las comunidades locales y mundiales. El diez por ciento de su territorio pertenece a Colombia, cubriendo aproximadamente el 35% del área total del país. A pesar de los esfuerzos globales, sigue siendo vulnerable a las presiones de deforestación. En los departamentos de Caquetá y Putumayo, las actividades humanas como la tala y la ganadería son las principales causas de la deforestación, lo que aumenta la vulnerabilidad del departamento al cambio climático y los peligros naturales, sin embargo, existe una falta de monitoreo cuantitativo consistente en la región amazónica colombiana, no solo de las tasas de deforestación totales, sino también de las ubicaciones y causas específicas de la deforestación, a pesar de sus altas tasas

de deforestación en comparación con el vecino Ecuador. En este estudio, se utilizaron imágenes Landsat 7 ETM+ y Landsat 8 durante un período de dieciséis años para mapear los cambios recientes en la cobertura del suelo en los departamentos afectados por la deforestación. Las clasificaciones supervisadas se realizaron utilizando el clasificador de máxima verosimilitud (MLC) y el sistema de clasificación de expertos, utilizando compuestos IR de color falso que fueron efectivos para identificar la cubierta de la vegetación y como resultado se obtuvo que El MLC que utiliza la combinación de banda de False Color IR dio como resultado una muy buena separación entre la Selva Tropical y la Agricultura de otras categorías LULC. La banda de aerosol costero Landsat 8 fue especialmente útil para evaluar y corregir los errores causados por las nubes y la interferencia atmosférica, pero solo se pudo aplicar a las escenas de 2016. (Murad & Pearse, 2018)

REGIONALES

Calidad del recurso hídrico de Bogotá D.C.

En el año 2004 se realizó el estudio “Calidad del recurso hídrico de Bogotá D.C.” Este estudio abarca la parte alta, media y baja de la cuenca del río Bogotá, donde el río Teusacá se encuentra en la parte alta de este, El Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente de Bogotá (DAMA) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) firmaron el 27 de diciembre de 2002 el convenio interadministrativo No. 041/02 (numeración DAMA) y 198/02 (numeración IDEAM), cuyo objeto es realizar la instalación, el mantenimiento y la operación de la Red de Calidad del Recurso Hídrico de Bogotá, D.C. En este documento se presenta un resumen de los principales resultados obtenidos a lo largo del convenio, durante el cual se realizó la validación del diseño inicial, concluyendo en un diseño final de treinta y tres (33) estaciones de monitoreo, de las cuales veintiséis (26) son móviles y siete (7) son fijas. En total fueron realizados 574 muestreos a las principales fuentes superficiales y descargas a los ríos Juan Amarillo, Fucha, Tunjuelo y Bogotá; 440 aforos a los ríos Juan Amarillo, Fucha, Tunjuelo y Bogotá; y más de 17.000 análisis, cubriendo un total de 32 parámetros (cadmio, cianuro, coliformes totales, coliformes fecales, cloruro, cobre, conductividad, cromo total, cromo VI, DBO, DQO, fenoles, foro disuelto, fósforo total, grasas y aceites, hidrocarburos, mercurio, níquel, nitrato, nitrito, nitrógeno amoniacal, nitrógeno total, plomo, pH, SSd, SST, sulfato, sulfuro, SAAM, temperatura, turbidez y zinc). (Escobar, Martínez, Buitrago, Sanclemente & Duque, 2004)

Elaboración del diagnóstico, prospectiva y formulación de la cuenca hidrográfica del río Bogotá subcuenca del río Teusacá

En el año 2006 Ecoforest Ltda, hizo un diagnóstico en la subcuenca del río Teusacá, este diagnóstico trata sobre temas muy importantes para nuestro estudio ya que estudian el uso del suelo que hay en esta cuenca y se pueden corroborar con este documento, donde los datos los tomaron de la siguiente forma: En el año 1986, mediante un convenio interinstitucional entre el IGAC y el ICA9 se realizó el estudio del Uso Actual de las Tierras de Colombia a una escala de 1: 500.000 y la leyenda utilizó la terminología empleada por la Unión Geográfica Internacional (Cultivos: transitorios, semipermanentes, perennes, misceláneos; Pastos; Bosques y sin uso agropecuario o forestal). El propósito fundamental del estudio fue por una parte establecer el tipo de cobertura y uso existente (bosques naturales e intervenidos, pastizales, rastrojos, cultivos, etc.) en el país y por otra determinar el área que abarcaba cada una de ellas, dado que el uso de las tierras es variable en el tiempo y en el espacio. Para el presente trabajo se determinaron unidades generales, en las cuales se agrupan grandes

temas que se van disgregando a medida que se avanza a nivel de subgrupo y se especifica aún más a nivel de categorías, como se puede ver en la tabla 6.2.1.2-1 Uso Actual del Suelo, tanto para el contexto regional como local, teniendo en cuenta lo estipulado en los términos de referencia. Cada una de estas clasificaciones tiene su propio código que permite presentar espacialmente la información a diferentes escalas para su mayor comprensión. (ECOFORREST LTDA., 2006)

Perfil ambiental de la subcuenca del río Teusacpa de la cuenca alta del río Bogotá

En 2010, en la Universidad de la Salle, se publicó un trabajo de grado, que tuvo como enfoque un perfil físico del río Teusacá, lo cual nos permite conocer el estado en que se encontraba el río en este año. Este proyecto obtuvo diversos resultados que ayudan a tener una idea más completa de la situación ambiental que presenta la subcuenca del río Teusacá, presentando el uso de suelo, tipos de paisaje y coberturas del suelo. (Muñoz & Beltrán, 2010)

Reconstrucción histórica e interpretación de los procesos de transformación en el uso y manejo del paisaje en la cuenca alta del río Teusacá, Bogotá, Cundinamarca

En la Universidad Javeriana, se publicó en el año 2012 un trabajo de grado, que tuvo como objetivo principal realizar una reconstrucción de los procesos de transformación en el uso y manejo del paisaje desde los años 1970, teniendo en cuenta los factores socioeconómicos, ecológicos e institucionales que dan evidencia a los momentos de cambio en el área de la cuenca. Se utilizaron dinámicas de crecimiento urbano y coberturas del paisaje bajo los sistemas socio ecológicos (SSE), además de recursos naturales y uso del suelo. Como resultado de este trabajo de grado es la declaración de la Reserva Forestal Protectora de los Cerros Orientales, la cual ha reducido las actividades de los campesinos, trayendo consigo conflictos por el uso del suelo entre la población local y las instituciones competentes, sin embargo, la presión que ejerce Bogotá sobre la cuenca es un factor relevante para este trabajo de grado. (Carrero, 2012)

Análisis cuenca Teusacá

En el año 2013, R.L. Gómez Ramírez, de la Universidad Gran Colombia, publicó un análisis sobre la cuenca del Río Teusacá, este se trata sobre un análisis determinado de los elementos físicos que pertenecen a la cuenca, con el fin de dar un manejo adecuado de los recursos hídricos proporcionados por la cuenca. Para el desarrollo del trabajo el autor tuvo en cuenta un análisis de las precipitaciones en el área de estudio, un análisis sobre el caudal máximo y mínimo, la intensidad de lluvia vs la duración para establecer las frecuencias de las precipitaciones, el cálculo de la velocidad, la profundidad y el caudal del río. Los resultados obtenidos de este trabajo conllevan a tener una idea más clara sobre el comportamiento ambiental e hidrológico de la cuenca Teusacá, así mismo es fundamental para tener una caracterización física de la misma. (Gómez, 2013)

Análisis de caudales en la confluencia del río Teusacá al río Bogotá

En 2016, Sheyda Stefania Muñoz Mahecha, estudiante de la Universidad Militar Nueva Granada. Realizó como trabajo de grado, un proyecto titulado: Análisis de caudales en la confluencia del río Teusacá al río Bogotá. Este proyecto analizó qué influencia tiene la subcuenca del río Teusacá en el río Bogotá. Como resultados menciona como el caudal del río Teusacá causa un aumento en el caudal del río Bogotá. Información obtenida gracias a las estaciones hidrológicas (Pte. Adobe, El Espino y Pte. Vargas) en la intersección del río Bogotá. (Muñoz, 2016)

Caracterización de los sistemas de producción agropecuaria mediante la simulación de escenarios de manejos de uso de los recursos agua y suelo usando el modelo SWAT por medio de la utilización de un sistema de información geográfica, caso de estudio cuenca Río Teusacá

En 2016, Jorge Oswaldo Barrera Rodríguez, estudiante de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Público como trabajo de grado: Caracterización de los sistemas de producción agropecuaria mediante la simulación de escenarios de manejo de uso de los recursos agua y suelo usando el modelo SWAT por medio de la utilización de un sistema de información geográfica, caso de estudio cuenca Río Teusacá. Tuvo como objetivo realizar una modelación de la producción agropecuaria que se desarrollan sobre la cuenca del río Teusacá. Aunque la modelación fue realizada por medio de SWAT, brinda gran información hidrológica y edafológica de la subcuenca del Río Teusacá. (Barrera, 2016)

Estimación de los caudales medios para la subcuenca del río Teusacá mediante el software HEC-HMS

En 2018, E. Amaya Maldonado, estudiante de la Universidad Santo Tomas, realizo una publicación para su trabajo de grado: Estimación de los caudales medios para la subcuenca del Río Teusacá mediante el software HEC-HMS; este documento se realizó para aportar información a estudio posteriores de la subcuenca, debido a que esta cuenta con pocos estudios realizados hidrológicamente. Se tuvieron en cuenta los cambios del uso del suelo, los caudales, el comportamiento espacio temporal y su capacidad de respuesta. Como resultados se obtuvo que los valores de caudal medio mensual pueden variar en volumen, debido a variables del medio que afectan el caudal, además el caudal medio mensual obtenido a partir del software HEC-HMS se encuentra entre 1.5 m³/s y 3 m³/s. (Amaya, 2018)

BIBLIOGRAFIA

- Luter, R.R. (2006). *"Transformaciones económico-territoriales de la base productiva regional; la industria en la región centro."* Aportes., vol. 026, pp. 119-140.
- Valdivieso Reyes, P.A. (2011). *"Incidencia del cambio en el uso del suelo en los caudales; casos de estudio: cuencas de los ríos Almbi, Intag y Quijos."* Tesis de Pregrado de Ingeniería Civil, Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- Peng, J., Liu, Y., Liu, Z. & Yang, Y. (2017). *"Mapping spatial non-stationarity of human-natural factors associated with agricultural landscape multifunctionality in Beijing–Tianjin–Hebei region, China."* Agric., Ecosyst.Environ., vol. 246, pp. 221-233.
- Bourbonnais, M.L, et al. (2017). *"Characterizing spatial-temporal patterns of landscape disturbance and recovery in western Alberta, Canada using a functional data analysis approach and remotely sensed data."* Ecological informatics, vol. 39, pp. 140-150.
- Akinyemi, F.O. (2017). *"Land change in the central Albertine rift: Insights from analysis and mapping of land use-land cover change in north-western Rwanda,"* Appl.Geogr., vol. 87, pp. 127-138.
- Cabral, A.I.R. & Costa, F.L. (2017). *"Land cover changes and landscape pattern dynamics in Senegal and Guinea Bissau borderland."* Applied Geography., vol. 82, pp. 115-128.
- Cano Salinas, L., Rodríguez Laguna, R., Valdez Lazalde, J. R., Acevedo Sandoval, O. A. & Beltrán Hernández, R. I. (2017). *"Detección del crecimiento urbano en el estado de Hidalgo mediante imágenes Landsat."* vol. 2017, no. 92. pp. 64–73.
- Frazier, R.J., Coops, N.C., Wulder, M.A. & White, J.C. (2018). *"Analyzing spatial and temporal variability in short-term rates of post-fire vegetation return from Landsat time series."* Remote Sens.Environ., vol. 205, pp. 32-45.
- Pena, S.B., Magalhães, M.R. & Abreu, M.M. (2018). *"Mapping headwater systems using a HS-GIS model. An application to landscape structure"*

and land use planning in Portugal." *Land Use Policy*, vol. 71, pp. 543-553.

- Pflugmacher, D., Rabe, A., Peters, M. & Hostert, P. (2019). "*Mapping pan-European land cover using Landsat spectral-temporal metrics and the European LUCAS survey.*" vol. 221. pp. 583–595.
- Deng, Z., Zhu, X., He, Q. & Tang, L. (2019). "*Land use/land cover classification using time series Landsat 8 images in a heavily urbanized area.*" vol. 63, no. 7. pp. 2144–2154.
- Fernández, N., Suárez, C.A. & Pérez, E.A. (2007). "*Modelación y simulación dinámica para la gestión de caudales en la cuenca alta del río Pamplonita-un balance hídrico de consumo.*" *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, vol. 5, no. 2.
- Ruiz-Agudelo, C.A., Bonilla-Urbe, O.D. & Páez, C.A. (2015). "*The vulnerability of agricultural and livestock systems to climate variability: using dynamic system models in the Rancheria upper basin (Sierra Nevada de Santa Marta).*" *Journal on Protected Mountain Areas Research and Management*, vol. 7, pp. 50-60.
- Murad, C. A. & Pearse, J. (2018). "*Landsat study of deforestation in the Amazon region of Colombia: Departments of Caquetá and Putumayo.*" vol. 11. pp. 161–171, 2018.
- Escobar Ochoa, R., Martínez Rocha, R., Buitrago Gómez, C., Sanclemente Manrique, X. & Duque Solano, M. (2004). "*Calidad del recurso hídrico de Bogotá D.C.*" [Base de datos]. Bogotá D.C. Disponible en:
<http://ambientebogota.gov.co/documents/24732/3987336/Calidad+del+sistema+hidrico+de+Bogot%C3%A1.pdf> [2018, 22 de febrero].
- ECOFOREST LTDA. (2006). "*Elaboración del Diagnóstico, Prospectiva y Formulación de la Cuenca Hidrográfica del río Bogotá Subcuenca del río Teusaca.*" [Base de datos]. Bogotá D.C. Disponible en:
<https://www.car.gov.co/uploads/files/5ac252ab412f3.pdf> [2019, 22 de febrero].
- Muñoz Real, S.L. & Beltrán Carvajal, D.C. (2010). "*Perfil ambiental de la subcuenca del río Teusacá de la cuenca alta del río Bogotá.*" Tesis de Pregrado de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad de la Salle, Bogotá D.C.

- Carrero Niño, L. (2012). *“Reconstrucción histórica e interpretación de los procesos de transformación en el uso y manejo del paisaje en la cuenca alta del Río Teusacá, Bogotá, Cundinamarca.”* Tesis de Pregrado de Ecología, Universidad Javeriana, Bogotá D.C.
- Gómez Ramírez, R. L. (2013). *“Análisis cuenca Teusacá.”* Tesis de Pregrado de Ingeniería Civil, Universidad la Gran Colombia, Bogotá D.C.
- Muñoz Mahecha, S.S. (2016). *“Análisis de caudales en la confluencia del Río Teusacá al Río Bogotá.”* Tesis de Pregrado de Ingeniería Civil, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C.
- Barrera Rodríguez, J.O. (2016). *“Caracterización de los sistemas de producción agropecuaria mediante la simulación de escenarios de manejo de uso de los recursos agua y suelo usando el modelo SWAT por medio de la utilización de un SIG, caso de estudio cuenca Río Teusacá.”* Tesis de Pregrado de Ingeniería Catastral y Geodesta, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C.
- Amaya Maldonado, E. (2018). *“Estimación de caudales medios para la subcuenca del Río Teusacá mediante el software HEC-HMS.”* Pasantía para optar el título de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás, Bogotá D.C.