

ESTUDIO DE CASO PARA EL USO DE TÉCNICAS DE APOYO AL ORDENAMIENTO TERRITORIAL: EFECTO DE ESTRUCTURAS BIOMECÁNICAS SOBRE EL CONTROL DE LA EROSIÓN

YEISON RICARDO MENDIVELSO PANQUEBA Y JUAN PABLO RODRÍGUEZ MIRANDA

Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.

CARLOS JULIO CASTRO

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). Bogotá, Colombia¹

Recibido: 17 de junio de 2021 / Aprobado: 14 de septiembre de 2021

Publicado: 28 de noviembre de 2021

RESUMEN

Con el fin de evaluar la eficacia de las obras biomecánicas en su posterior recuperación de la cobertura vegetal, se realizó un análisis multitemporal de la cobertura vegetal y la efectividad de las obras de biomecánica y bioingeniería que se ejecutaron para estabilizar zonas degradadas y prevenir el avance de la erosión del área del Proyecto Checua que inició en la cuenca del Río Checua ubicada 60 km al norte de Bogotá, de la cual hacen parte los Municipios de Nemocón, Cogua, Tausa, entre otros. Posteriormente y en fases sucesivas, se amplió a las cuencas de la Laguna de Cucunubá, Río Suta y Ubaté, Laguna de Fúquene, obras realizadas por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) con el apoyo del Ministerio Alemán de Cooperación Económica y Desarrollo. El propósito del estudio fue evaluar la eficacia de las obras biomecánicas que se realizaron para evitar la problemática del deterioro erosivo en los suelos de la zona, y su posterior recuperación en la cobertura vegetal entre 1987 y 2018, a través de imágenes satelitales y fotografías aéreas. La metodología utilizada se basó en un proceso de clasificación de imágenes satelitales Landsat para identificación, y análisis de las coberturas y cambios en el suelo a fin de determinar el estado de restauración del paisaje. Los cambios de usos de suelo fueron derivados de la clasificación de cuatro imágenes Landsat TM, ETM y OLI-TIRS con una resolución espacial de 30 metros tomadas en diciembre de 1987, enero de 1998, diciembre de 2009 y diciembre de 2018.

Palabras Clave: Análisis multitemporal, laguna de Fuquene, Lecho de la zorra, Obras biomecánicas, cobertura vegetal.

ABSTRACT

This paper is related to multitemporal analysis of vegetation cover and the effectiveness of biomechanical and bioengineering structures executed to stabilize degraded areas and prevent erosion advance in the area where the works were carried out within the Checua Project that began in the Checua River basin located 60 km at north of Bogotá, of which Nemocón, Cogua, Tausa, and others municipalities are part. After, in subsequent and successive phases, it was extended to the basins of the Cucunubá Lagoon, Suta River and Ubaté, Fúquene Lagoon, works carried out by the regional Autonomous Corporation of Cundinamarca (CAR) with the support of the German Ministry of Economic Cooperation and Development. The purpose of the study was to evaluate the

¹ Yeison Ricardo Mendivelso Panqueba, Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Distrital Francisco José de Caldas - Bogotá; Carlos Julio Castro, Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) - Bogotá; Juan Pablo Rodríguez Miranda, Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Distrital Francisco José de Caldas - Bogotá.
Cualquier mensaje con respecto a este artículo debe ser enviado a los correos electrónicos: jprodriguez@udistrital.edu.co - ccastrom@car.gov.co - yrmendivelsop@correo.udistrital.edu.co

effectiveness of biomechanical structures that were carried out to avoid the problem of erosive deterioration in soils of this area, and its subsequent recovery in vegetation cover between 1987 and 2018 years, using satellite images and aerial photographs, the methodology used was based on a classification process of Landsat satellite images for identification, and analysis of the covers and changes in the ground in order to determine the state of restoration of the landscape. The land use changes were derived from the classification of four Landsat TM, ETM and OLI-TIRS images with a spatial resolution of 30 meters taken in December 1987, January 1998, December 2009, and December 2018.

Keywords: Multitemporal analysis, Fuquene lagoon, Fox bed, Biomechanical works, vegetation cover.

INTRODUCCIÓN

En muchas zonas del territorio colombiano, la degradación causada por erosión y sedimentación es el fenómeno más notorio y con más amplias repercusiones económicas, sociales y ecológicas. Las causas son los factores naturales y antrópicos ligados a la historia geológica y morfoclimáticas, acentuada por la actividad económica y social desordenada, la cual se hace cada día más crítica debido al conflicto entre el uso que el hombre hace de su entorno y las potencialidades que éste le brinda.

Los factores naturales que permiten el desarrollo en forma avanzada y peligrosa del proceso de erosión hídrica y la sedimentación en el país son entre otros: el tipo de material afectado (suelo), los factores climáticos como la precipitación, el papel de protección que ofrece la cobertura vegetal al medio, el gradiente del terreno, las condiciones de drenaje y la ausencia de un adecuado manejo de los suelos y especialmente los de ladera. En tal sentido, Montenegro H, 1989 (En INAT y otros, 1996), señala que en el país se están perdiendo entre 170.000 y 200.000 Hectáreas al año, teniendo en cuenta sólo los primeros 20 cm de profundidad. (Alatorre & Beguería, 2009).

Una de las principales problemáticas que se encontraron en el desarrollo del proyecto Checua-Procas fueron los severos procesos erosivos existentes en la Cuenca del Río Checua, con una tendencia a aumentar progresivamente, los cuales repercutían negativamente sobre los recursos, suelo y agua en la cuenca, la calidad de vida de los pobladores de la cuenca; debido a esto, se realizaron obras que buscaban controlar, minimizar y disminuir la erosión.

El proyecto se realizó en cinco fases y, durante dos décadas, se realizaron acciones para estabilizar las zonas

degradadas y prevenir el avance de la erosión mediante procesos de participación comunitaria y capacitación para el manejo y conservación de los suelos y aguas, y mediante la construcción de estructuras biomecánicas que aumentan la capacidad de retención de agua en la cuenca y favorecen el desarrollo de la cobertura vegetal.

METODOLOGÍA

Con el fin de describir los cambios presentados en el área de estudio en lo que se refiere a pérdida o ganancia de cobertura vegetal, se realizó la recopilación de material de información cartográfico, geográfico y bibliográfico y su clasificación correspondiente. Se trabajó con imágenes de satélite descargadas del banco de imágenes del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por su sigla en inglés), haciéndoles el debido proceso de corrección cuando a ello hubiere lugar.

De acuerdo al área de estudio y para Colombia, cada imagen Landsat comprende un sector determinado para el paso del sensor dentro de una grilla que abarca todas las zonas del país, esta grilla se asignó de acuerdo al Worldwide Reference System 2 (Sistema de Referencia Mundial 2), donde cada imagen pertenece a una columna (path) y fila (row) específica. Así para el área que comprende entre los municipios de Carmen de Carupa y Ubaté que se encuentra el área de estudio fue necesaria una imagen que se debe referenciar con el Path-Row 8-56.

Se tuvieron en cuenta las estructuras biomecánicas realizadas en el proyecto Checua, se revisaron y se evaluaron diferentes imágenes de distintas fechas de cada uno de los sensores Landsat, se tuvieron en cuenta cuatro imágenes satelitales correspondientes a los años 1987, 1998, 2009 y 2018, que se escogieron para este proyecto

y proporcionar información en detalle para detectar los cambios en la cobertura vegetal y la efectividad de las obras o estructuras biomecánicas.

Los criterios de selección de cada una de las imágenes satelitales requeridas para el estudio fueron: que tuvieran el menor porcentaje de nubosidad; que cada una de las imágenes estuvieran en una misma época del año para así evitar afectaciones en el estudio de detección de cambios y minimizar las distorsiones por estacionalidad; que su distribución temporal fuera aproximadamente de una década; y que contaran con una resolución temporal, espacial, espectral y radiométrica constantes.

PROCEDIMIENTOS: PREPARACIÓN DE LAS IMÁGENES

- **Conversión de formatos y unificación de archivos:** La imagen obtenida en el archivo de composición de bandas se dispone de acuerdo a la necesidad de estudio; en este caso, se unificaron las todas las bandas de la imagen en un archivo con una combinación que se ajustara a la clasificación que se iba a realizar, además de una combinación para detectar los cambios que se generaron en el multitemporal.
- **Reproyección:** En el caso específico de las imágenes digitales, no fue necesario hacer una reproyección, porque la zona de estudio se encontraba en una proyección UTM zona 18, elipsoide y datum WGS 84. El tamaño de píxel para las seis bandas de trabajo es de 30 metros.
- **Extracción de área de interés:** Se definió el área de interés del estudio, procediéndose a generar un polígono y demarcar los límites para realizar el estudio de cambio de cobertura vegetal; posteriormente, se extrajo la imagen obtenida y se efectuó el procesamiento requerido.
- **Estadísticas unibanda y multibanda:** Para las estadísticas calculadas de cada una de las bandas de la imagen se obtuvieron valores de media, moda, valores máximos, mínimos y desviación estándar. En el caso de las estadísticas multibanda, se generaron matices de varianza-covarianza, matices de correlación e índice de factor óptimo (OIF).

CLASIFICACIÓN DIGITAL

De acuerdo con Riaño (2002), las técnicas empleadas para la detección de cambios se clasifican en dos grupos: categorizadas o continuas. Las primeras –o categorizadas- hacen referencia a imágenes previamente clasificadas que son comparadas mediante tablas de contingencia; las segundas –o continuas- utilizan técnicas cuantitativas como diferencias, regresión o componentes principales. (Franco, 2004)

Para establecer las técnicas de clasificación los métodos seleccionados fueron el tipo no supervisado (Iso-data) y el tipo supervisado.

En el método no supervisado, se procede a visualizar los diferentes tipos de asignaciones que hace el computador a través de una separación de bandas, para que el usuario –mediante la observación- pueda asignar una clasificación cualitativa a lo que se está observando, básicamente es un método asistido en la clasificación de imágenes satelitales en el cual se obtienen unidades de clasificación por medio de una separación de asignación de firmas espectrales.

El método supervisado se realiza determinando los diferentes tipos de reflectancia o visualización de la imagen satelital mediante la colocación de muestras en el campo de estudio para establecer la cobertura vegetal presente en el muestreo y haciendo un análisis cualitativo sobre las diferentes categorías que componen la imagen, con lo cual se crean firmas espectrales para cada uno de los elementos que componen la clasificación establecida en agrupaciones visuales. Posteriormente, se filtra y se simplifica el proceso de clasificación de cobertura vegetal.

DETECCIÓN DE CAMBIOS

Se tuvieron en cuenta técnicas para detecciones de cambios en la zona de estudio tales como composiciones multitemporales, índices de vegetación y cada una de los métodos de clasificación que se les hicieron a las imágenes, a las cuales se les realiza un análisis cualitativo y cuantitativo o categorizado continuo cuyo objetivo es determinar qué rasgos de un territorio se han modificado entre dos o más fechas (Observatorio de la Sostenibilidad, 2006, Citado por Chuvieco, 2010).

PREPROCESAMIENTO

Cada una de las imágenes adquiridas de las escenas Landsat están divididas en bandas unitarias, las cuales ya disponen de correcciones de orden de ortorectificación por parte del USGS; para el desarrollo del presente estudio multitemporal, se realizaron ajustes de georreferenciación a cada una de las imágenes y se tomaron únicamente las bandas del espectro visible, infrarrojo cercano e infrarrojo de onda corta 1 y 2, al utilizar distintos sensores del programa Landsat, sus características espectrales varían de acuerdo al sensor ya sea TM, ETM+ y OLI en cada una de las bandas.

Las características de los sensores Landsat TM, ETM y OLI en la resolución espectral cambian de un sensor a otro, aunque las diferencias entre el sensor TM (Landsat 4 y 5), y el sensor ETM (Landsat 7), son muy similares en cada una de los parámetros espectrales de las bandas utilizadas, la diferencia radica en el sensor OLI (Landsat 8), ya que sus bandas difieren de los demás sensores al tener una banda de aerosol costero. En la composición de bandas se utilizó la combinación 5,4,3 para los sensores TM y ETM, y la combinación 6,5,4 para el sensor OLI, ya que esta composición tiene muchas similitudes en cuanto a los μm de bandas.

Tabla 1. Características de los sensores Landsat TM, ETM y OLI

| | LANDSAT 4 TM | LANDSAT 5 TM | LANDSAT 7 ETM | LANDSAT 8 OLI- TIRS |
|--|---|---|--|---|
| Lanzamiento | 16 de julio de 1982 | 1 de marzo de 1984 | 15 de abril de 1999 | 11 de febrero de 2013 |
| Sensor | TM | TM | ETM | OLI-TIRS |
| Resolución espacial | 30 m reflexivo, Banda 6, 120 m térmico | 30 m reflexivo, Banda 6, 120 m térmico | 30 m reflexivo, Banda 6, 60 m térmico Pancromática 15m | 30 m reflexivo, Pancromática, 15m Banda 10, 100 m Banda 11, 100 m |
| Resolución temporal | 16 días | 16 días | 16 días | 16 días |
| Niveles de cuantización | 8 bits | 8 bits | 8 bits | 16 bits |
| Altura | 705 km | 705 km | 705 km | 705 km |
| Inclinación | 98.2° | 98.2° | 98.2° | 98.2° |
| Sistema de referencia | WRS-2 | WRS-2 | WRS-2 | WRS-2 |
| Resolución espectral (micrones) | | | | |
| Banda 1 (visible) | 0.45 - 0.52 μm | 0.45 - 0.52 μm | 0.45 - 0.52 μm | 0.43 - 0.45 μm |
| Banda 2 (visible) | 0.52 - 0.60 μm | 0.52 - 0.60 μm | 0.52 - 0.60 μm | 0.450 - 0.51 μm |
| Banda 3 (visible) | 0.63 - 0.69 μm | 0.63 - 0.69 μm | 0.63 - 0.69 μm | 0.53 - 0.59 μm |
| Banda 4 | 0,76 - 0,90 μm (infrarrojo cercano) | 0,76 - 0,90 μm (infrarrojo cercano) | 0,76 - 0,90 μm (infrarrojo cercano) | 0.64 - 0.67 μm |
| Banda 5 | 1.55 - 1.75 μm (infrarrojo cercano) | 1.55 - 1.75 μm (infrarrojo cercano) | 1.55 - 1.75 μm (infrarrojo cercano) | 0.85 - 0.88 μm (Infrarrojo cercano) |
| Banda 6 | 10.40 - 12.50 μm (Térmica) | 10.40 - 12.50 μm (Térmica) | 10.40 - 12.50 μm (Térmica Baja ganancia / Alta ganancia) | 1.57 - 1.65 μm (SWIR 1) |
| Banda 7 | 2.08 - 2.35 μm (Infrarrojo medio) | 2.08 - 2.35 μm (Infrarrojo medio) | 2.08 - 2.35 μm (Infrarrojo medio) | 2.11 - 2.29 μm (SWIR 2) |
| Banda 8 (pancromática) | - | - | 0.52 - 0.90 μm | 0.50 - 0.68 μm |
| Banda 9 (Cirrus) | - | - | - | 1.36 - 1.38 μm |
| Banda 10 (TIRS) | - | - | - | 10.6 - 11.19 μm |
| Banda 11 (TIRS) | - | - | - | 11.5 - 12.51 μm |

Fuente: Datos del estudio

Tabla 2. Relación de imágenes seleccionadas

| Sensor | Path - row | fecha | Código de escena (id_escena) |
|--------------------|------------|-------------------------|--|
| Landsat 4 TM | 8-56 | 17 de Diciembre de 1987 | LT04_L1TP_008056_19871217_20170210_01_T1 |
| Landsat 5 TM | 8-56 | 5 de Enero de 1998 | LT04_L1TP_008056_19980105_20161228_01_T1 |
| Landsat 7 ETM | 8-56 | 13 de Diciembre de 2009 | LT04_L1TP_008056_20091213_20161216_01_T1 |
| Landsat 8 OLI-TIRS | 8-56 | 30 de Diciembre de 2018 | LT04_L1TP_008056_20181230_20190130_01_T1 |

Fuente: Datos del estudio

Tabla 3. Propiedades geométricas de las imágenes seleccionadas

| Path - row | año | Proyección | Elipsoide-datum (esferoide) | Coordenadas esquina superior izquierda (m) | Coordenadas esquina inferior derecha (m) |
|------------|------|--------------|-----------------------------|--|--|
| 8-56 | 1987 | UTM, Zona 18 | WGS84 | X: 521905,0449 Y: 739469,5525 | X: 674114,0212 Y: 533641,5051 |
| 8-56 | 1998 | UTM, Zona 18 | WGS84 | X: 519310,5737 Y: 741631,6119 | X: 670654,7263 Y: 533641,5051 |
| 8-56 | 2009 | UTM, Zona 18 | WGS84 | X: 513256,8076 Y: 743361,2593 | X: 670654,7263 Y: 540992,5068 |
| 8-56 | 2018 | UTM, Zona 18 | WGS84 | X: 521905,0449 Y: 755036,3797 | X: 666763,0195 Y: 523263,6203 |

Fuente: Datos del estudio

ANÁLISIS UNIBANDA

Para analizar las bandas que componen cada imagen, solamente se trabajó con las bandas que tuvieran una resolución espacial de 30 m reflexivo y resoluciones espectrales similares. (Perez, Carnero, Gómez, & Pastrana, 2015).

No se tuvieron en cuenta las bandas 6 del infrarrojo térmico de los sensores TM y ETM Landsat 4,5 y 7 respectivamente, ya que su resolución espacial de 120 m y sus características son diferentes a las otras bandas de cada imagen. Para el sensor OLI, Landsat 8 se discriminó la banda 1 al tener sus otras bandas características similares a las bandas de los otros sensores del estudio, tampoco se contó con la imagen pancromática que tiene una resolución espacial de 15 m ya que solo la poseen los sensores ETM y OLI.

ANÁLISIS MULTIBANDA

El objetivo del análisis multibanda es identificar la mejor composición de color (Franco & Rodríguez, 2005) y así efectuar una mejor clasificación de la cobertura.

Para determinar esta combinación, se calcula el OIF (Optimum Index Factor) que es un valor estadístico usa-

do para obtener la mejor combinación de bandas en una imagen, el cual identifica la combinación que contiene la mayor cantidad de información diferenciada y la menor cantidad de información duplicada (Chavez, et al., 1982). (MACHADO & SEGURA, 2015)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El área de estudio cuenta con una extensión de 1.818 Hectáreas, de las cuales, en el año 1987, el 41% correspondía a suelo sin cobertura y con características de erosión; el 22% correspondía a cultivos en la zona; y el 37% restante a vegetación presente en el área de estudio. Para el año de 1998 se evidencia que el porcentaje sin cobertura de suelo disminuyó un 4%, lo cual coincide con la ejecución de las estructuras biomecánicas que se realizaron en este periodo de tiempo y que contribuyeron al aumento de cobertura de vegetación; la cobertura de las zonas de cultivos y pastos y se mantiene estable.

Entre 1998 y 2009, la cobertura vegetal disminuyó al 35% a causa de actividades antrópicas, lo cual generó que el suelo sin cobertura aumentara al 42% y la cobertura de cultivos a 23%.

Finamente, en 2018, la cobertura predominante es la de cultivo, seguida por la de vegetación y por último el suelo sin cobertura.

A pesar de que las obras de bioingeniería ejecutadas en la década de los 90's no fueron 100% eficaces, a la fecha el porcentaje de erosión ha disminuido, por lo cual es válido concluir que existe una progresiva mejora cualitativa y cuantitativa en los recursos suelo y agua, y, consecuentemente, en la calidad de vida de los pobladores de la zona.

Durante dos décadas se mantuvo estable el área de cultivo, ya que en la zona de estudio se ubican varias fincas con diferentes cultivos, además de zonas de pastoreo.

Para 2018, se evidencia el aumento significativo en el área dedicada a cultivos, la cual fue otra de las estrategias para la disminución de la erosión, como se describe en el proyecto Checua – Procas ya que las condiciones físicas variaron favorablemente para el desarrollo de las actividades agropecuarias, desarrollándose con mayor fuerza la actividad ganadera de producción lechera en las áreas de pendiente más suave y zonas planas. En las áreas de ladera se desarrollan cultivos agrícolas de carácter comercial, principalmente cultivos de papa, trigo y cebada. (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR, 2006)

A diferencia de la cobertura de cultivo, la extensión de cobertura de suelo varió desde que se empezaron a realizar las obras en la zona de estudio y se materializaron las fases del proyecto Checua – Procas dando lugar a la disminución de las áreas de suelo descubierto. A pesar de esto, en el año 2009 hubo un aumento aproximadamente de 100 Ha de suelo, lo cual se puede relacionar con la transición de cobertura vegetal a cobertura de cultivo. Finalmente, para el año 2018 se redujo drásticamente el número de hectáreas de suelo descubierto fortaleciendo las actividades económicas propias de la zona.

CONCLUSIONES

El análisis multitemporal de las imágenes satelitales indica que durante las tres décadas en las cuales se realizó el estudio entre los años 1987 y 2018, la cobertura que más crecimiento tuvo fue la de cultivos con un 15%; y, aunque con una disminución significativa de 270 Ha, el suelo sin cobertura un representa una gran extensión en el área de estudio con más del 28% de la totalidad del territorio analizado.

Sin embargo, se puede concluir que las estructuras biomecánicas y los procesos llevados a cabo funcionaron positivamente con la estabilización, control y reducción de los procesos de degradación en las zonas fuertemente erosionadas.

Así mismo, la implementación de técnicas y métodos de cultivos como siembra directa, labranza mínima, abonos verdes y manejo de coberturas vegetales fue de gran importancia para el incremento del área cultivable y la disminución de suelo sin cobertura. Este cambio puede estar asociado a los procesos de regeneración de suelos y de zonas que no se encontraban en estado improductivo, las cuales pasaron a ser parte de áreas recuperadas donde se llevaron a cabo siembras de todo tipo de productos alimenticios humanos y/o de pastoreo.

Cada una de las imágenes Landsat tuvo una gran importancia por su resolución espectral, ya que al tener una un tamaño de pixel mínimo de 30m, ofrecieron la posibilidad de realizar un estudio multitemporal y su posterior análisis brindando información para su realización.

Sin embargo, se pueden encontrar otros tipos de sensores que brindan una mayor resolución para la elaboración de estudios más precisos

REFERENCIAS

- Basterra, M. I. (s.f.). Teledetección-imágenes satelitales-procesamiento. Recuperado el 15 de julio de 2020, de <http://ing.unne.edu.ar/dep/goeciencias/fotointer/pub/teoria2011/parte02/tdi.pdf>
- Basterra, M. I. (s.f.). Teledetección-imágenes satelitales-procesamiento digital de imágenes. Recuperado el 23 de julio de 2020, de <http://ing.unne.edu.ar/dep/goeciencias/fotointer/pub/teoria2011/parte02/tdi.pdf>
- CENICAFÉ. (Junio de 1993). La conservación de los suelos y la sostenibilidad de la productividad en la zona cafetera. Bogota, D.C.
- Chuvieco, E. (2000). Fundamentos de teledetección espacial. Madrid: Ediciones Rialph.
- Chuvieco, E. (2010). Teledetección ambiental: La observación de la tierra desde el espacio. Editorial Ariel.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR. (2006). Experiencia y resultados en control de la erosión en el territorio CAR- Proyecto Checua PROCAS. Bogotá: Ladiprint Editoria Ltda.
- Fernández, L. Á. (s.f.). Realce de imágenes en teledetección: (I) Operadores puntuales. Recuperado el 16 de julio de 2020, de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/103649/Ruiz%20-%20Realce%20de%20im%C3%A1genes%20en%20teledetecci%C3%B3n%3A%20%28%29%20Operadores%20puntuales.pdf?sequence=1>
- Flores, M. E. (2017). Tratamientos estadísticos en imágenes de satélite, reales y mejoras visuales, reales radiométrico, espacial y espectral. Revista de la Carrera de Ingeniería Agronómica – UMSA.

Franco, R. (2004). Análisis satelital multitemporal de los bosques del Carare - Opón. Bogotá: Fondo de Publicaciones Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas.

González, F. E., Ruiz, J. M., & Acosta, F. M. (2007). Tutorial de Teledetección Espacial. TELECAN.

Machado, D. F., & Segura, R. M. (2015). Estudio multitemporal del uso del suelo y la cobertura forestal en el municipio de Puerto Rico (Meta) y su proyección para el año 2020. Bogotá D.C.

Olmos, C. F., Melo, O. R., Cruz, E. R., & Arias, A. M. (s.f.). Modelo predictivo para cuantificar la erosión hídrica con base en experimentación en Sabrinski Municipio de Mosquera. Colombia Forestal, 65-76.

Perez, D. R., Carnero, N. S., Gómez, J. A., & Pastrana, C. S. (2015). Cuestiones de Teledetección. Madrid. Edición digital, septiembre de 2015.

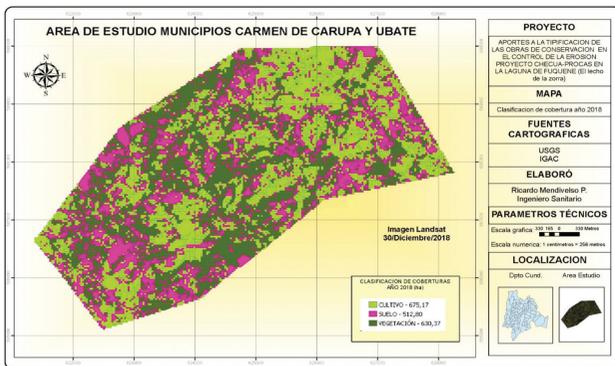
Riaño, O. (2002). Consideraciones y métodos para la detección de cambios empleando imágenes de satélite en el municipio de Paipa. Colombia Forestal. Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas.

Servicio Geológico de los Estados Unidos. (2018). USGS. Recuperado el 18 de julio de 2020, de <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Teledetección. (s.f.). Recuperado el 18 de julio de 2020, de https://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario_10.pdf

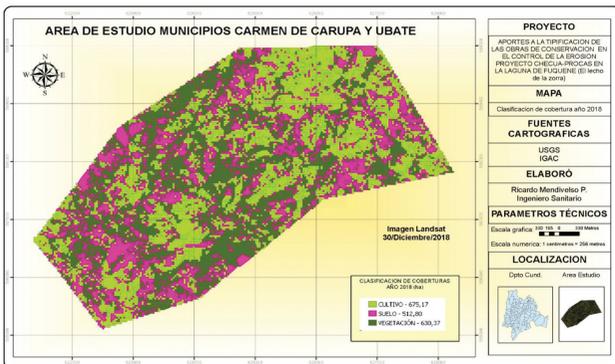
IMÁGENES Y FIGURAS

Imagen 1. Mapa de las coberturas del área de estudio para el año 2018.



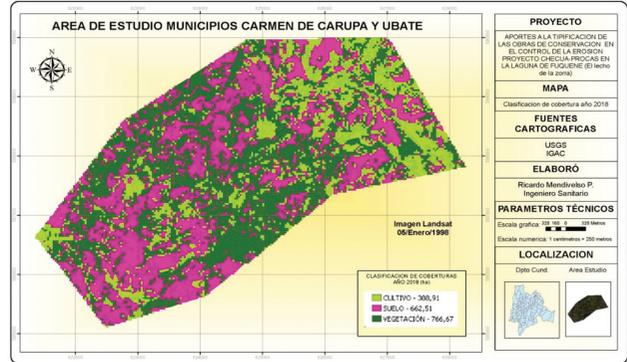
Fuente: Datos del estudio

Imagen 2. Mapa de las coberturas del área de estudio para el año 2009.



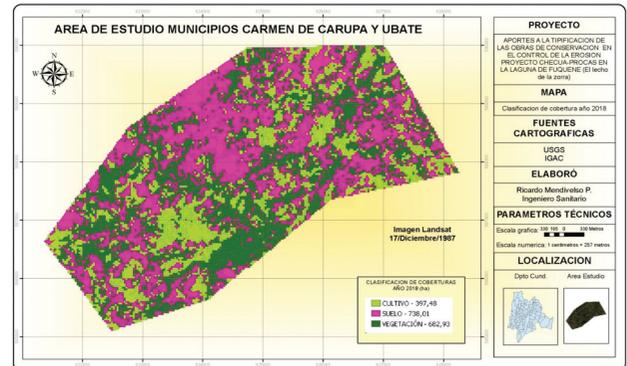
Fuente: Datos del estudio

Figura 3. Mapa de las coberturas del área de estudio para el año 1998.



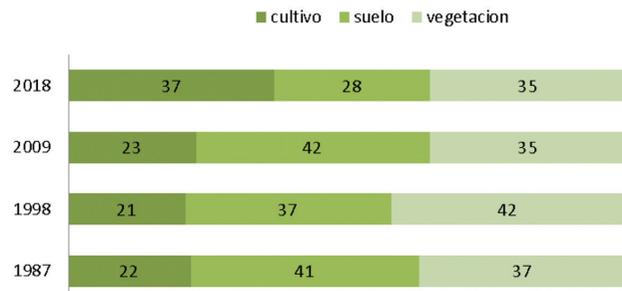
Fuente: Datos del estudio

Figura 4. Mapa de las coberturas del área de estudio para el año 1987.



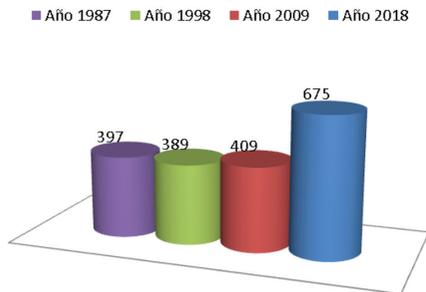
Fuente: Datos del estudio

Gráfico 1. Porcentaje de tipos de cobertura en 1987, 1998, 2009 y 2018 en el área de estudio



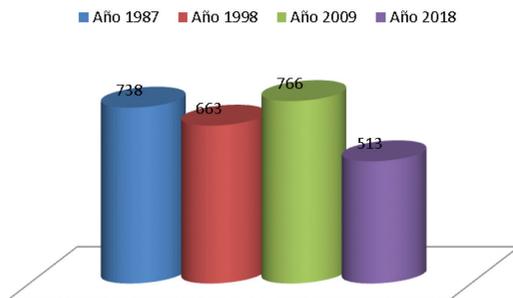
Fuente: Datos del estudio

Gráfico 2. Cambios en la cobertura clasificada como Cultivos



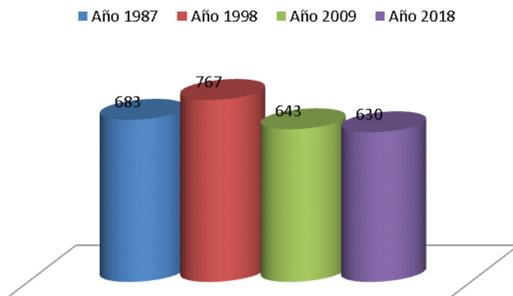
Fuente: Datos del estudio

Gráfico 3. Cambios en la cobertura clasificada como Suelos.



Fuente: Datos del estudio

Gráfico 4. Cambios en la cobertura clasificada como Vegetación



Fuente: Datos del estudio