

INFORMACIÓN ESPACIAL, HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS EN LA TRANSFORMACIÓN DE LAS COBERTURAS VEGETALES

SPATIAL INFORMATION, ANALYSIS TOOLS IN THE TRANSFORMATION OF PLANT COVERINGS

*Pablo A. Gil-Leguizamón¹; María E. Morales-Puentes²

Recibido para publicación: 25 de agosto 2016 - Aceptado para publicación: 14 de agosto 2016

RESUMEN

Se realiza una revisión teórica sobre la importancia de los estudios multitemporales, articulados a conceptos que orientan los análisis de dinámicas a escala de paisaje, así también se destacan publicaciones sobre la transformación de las coberturas vegetales ocasionado por actividad humana, ambiental y las implicaciones sobre el medio en el que se producen. La importancia de las herramientas espaciales (pre-procesamientos de imágenes satelitales, georreferenciación, metadatos, matrices de composición y configuración del paisaje y SIG) radica en identificar el balance entre hábitat natural y paisaje urbano-rural, este puede determinar el futuro de la diversidad biológica y la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos en cualquier zona del planeta, es decir, establecer la viabilidad ecológica de una zona dada.

PALABRAS CLAVE: Diversidad biológica, Imágenes satelitales, georreferenciación, paisaje natural.

ABSTRACT

There is a theoretical review on the importance of multi-temporal studies, articulated to concepts that guide the analysis of dynamics at the landscape scale, as well also highlights publications on the transformation of vegetable covers caused by human activity, and the implications for the environment in which they occur. The importance of space tools (pre-processing of satellite images, geo-referencing, metadata, arrays of composition and configuration of the landscape and SIG) lies in identifying the balance between natural habitat and urban-rural landscape, this can determine the future of biological diversity and the sustainability of ecosystem services in any area of the planet, that is, to establish the ecological sustainability of a given area.

KEY WORDS: Biological diversity, satellite images, geo-referencing, natural landscape.

¹ MSc Ingeniería Ambiental, Investigador/Profesor Sistemática Biológica, Universidad pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia. Sede Central Tunja-Boyacá, Avenida Central del Norte 39-115, cel.: 3125668728, PBX: (57+8) 7405626 pablo.gil@uptc.edu.co

² PhD Ciencias Biológicas, Profesora, Sistemática Biológica, Universidad pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia. maria.morales@uptc.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

Mapear y monitorear las coberturas terrestres, es una de las mayores aplicaciones de la observación de la Tierra, a partir de datos provenientes de sensores satelitales; este monitoreo ha sido esencial para estimar cambios de coberturas. La detección digital del cambio, permite determinar modificaciones asociadas con propiedades de uso y cobertura del suelo (Land-Use y Land-Cover) con referencia de geo-registros de carácter multitemporal provenientes de dos o más datos de sensores remotos sobre un área de estudio (Rodríguez-Galiano et al. 2012; Ruíz et al. 2013).

La detección del cambio se define como el efecto temporal identificado a partir de variaciones de una respuesta espectral (cualquier tipo de energía radiante en función de su longitud de onda o frecuencia); es decir, envuelve una situación donde las características espectrales de la vegetación u otro tipo de cobertura en una determinada localidad se modifica en el tiempo (Singh 1989; Palacios-Morera 1992).

El monitoreo espacio temporal de extensas zonas geográficas, ha permitido estimar patrones de deterioro de las coberturas, cambios en la composición y distribución de especies a nivel latitudinal y altitudinal y la determinación de áreas prioritarias para la conservación (Lambin et al. 2001; Turner et al. 2007; Evangelista et al. 2010); estos cambios, están definidos por causas ambientales, así como por el comportamiento social y económico interpretados a escala global, regional o local (Evangelista et al. 2010; Ruíz et al. 2013).

Estudiar y definir la dinámica espacial y temporal de las coberturas vegetales, obliga a establecer el punto de ruptura del sinergismo, entre lo natural y el uso inapropiado y desmedido que el hombre ha dado a su entorno. Por lo anterior, es objetivo de este trabajo dar a conocer las herramientas que permiten abordar los análisis de transformación del paisaje y los estudios a esta escala que dimensionan el tamaño de las transformaciones.

2. MÉTODOS

La revisión exhaustiva y la sistematización de la información existente se agrupó en conceptos seleccionados por los autores, ya que estos

conceptos en conjunto, integran el manejo de los datos espaciales, justifican el porqué de su uso y se convierten en las herramientas que orientan la interpretación de las dinámicas del paisaje. Estos son: Multitemporalidad,

1. Paisaje,
2. Teledetección y Sistemas de Información Geográfica,
3. Características de los sensores e imágenes de satélite,
4. Estado del arte de la multitemporalidad.

Para ello, se consultaron bases de datos bibliográficas virtuales como: Universidad Nacional de Colombia, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, IDEAM -Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, entre otros. A su vez, se consultaron en buscadores científicos, artículos de revistas indexadas a nivel mundial que aportan al conocimiento del tema de interés (SCOPUS, SciELO, Universia y Dialnet). Como filtro de esta información, se indagó el H-index de cada una de las revistas científicas con la plataforma Scimago Journal & Country Rank (www.scimagojr.com), con el fin de identificar el nivel de impacto investigativo de estas publicaciones.

De esta forma, cronológicamente se obtuvo un listado bibliográfico conformado por 50 artículos en 29 revistas indexadas, publicadas entre 1986 y 2016, que dan un amplio espectro de la información existente y que generan aportes al conocimiento de las coberturas vegetales a nivel mundial y en Colombia.

3. RESULTADOS

3.1. Multitemporalidad.

Históricamente, los cambios socioeconómicos ocurridos en las décadas del siglo XX y primera del XXI, han producido a nivel mundial alteraciones ambientales a escalas temporales diferentes, lo que actualmente se refleja en cambios significativos en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas, además de la pérdida acelerada de la biodiversidad (Molina & Albarran 2013).

En la región tropical para la década de 1980, se identificaron cambios drásticos de la cobertura boscosa, este efecto negativo se debe a cambios

ocurridos en el uso del suelo, en las coberturas vegetales silvestres, el cambio climático, el aumento de la concentración de CO₂, la economía mundial basada en combustibles fósiles, manejo inadecuado de aguas residuales y la explotación desmedida del suelo y subsuelo (Thuiller 2007; Hansen et al. 2008; Bodart et al. 2011; Rodríguez-Galiano et al. 2012; Prieto et al. 2013; Sepulveda et al. 2015; Moreno et al. 2015).

En el caso de Colombia, desde tiempos precolombinos la transformación de los ecosistemas (principalmente de la región Andina), ha originado paisajes que muestran una continua interacción del hombre con los recursos naturales como esquema sociocultural y de sistemas productivos en espacio y tiempo; esta relación ha generado una dependencia por espacio, por uso y por aprovechamiento de recursos de manera insostenible (*Moncada-Rasmussen 2010*).

Por esto, los análisis multitemporales de uso y cobertura del suelo, se hacen fundamentales, ya que, permiten identificar los cambios que ocurren en una determinada área geográfica en una escala de tiempo (fechas de referencia), deduciendo así, la evolución del medio natural y las repercusiones humanas sobre este medio (Chuvienco 1996).

La multitemporalidad permite definir modificaciones representativas de los objetos, sus versiones (coberturas vegetales), también establecer las relaciones espaciales entre diferentes elementos gráficos (topología geoespacial) y su posición en el mapa (cercano, adyacente, y en medio de) a partir del manejo de datos temporales (Moreira & Ojeda 1988).

Una importancia de los análisis multitemporales radica en identificar el balance entre hábitat natural y paisaje urbano-rural, puesto que, puede determinar el futuro de la diversidad biológica en cualquier zona del planeta. Los estudios multitemporales de la cobertura vegetal, contribuyen en este equilibrio, con la definición de categorías de tales coberturas (clases temáticas), que apoyado en elementos de análisis como las métricas de paisaje (área, perímetro, densidad, número de parches, distancia, conectividad, entre otras), determinan procesos de fragmentación, deforestación, así como, pérdida o ganancia de la conectividad. Por tal motivo, este tipo particular de investigaciones se han desarrollado con mayor éxito en estudios detallados de la transformación

del paisaje (Jensen 1986; McGarigal et al. 2009; Rodríguez-Galiano et al. 2012).

De esta forma, el paisaje es definido como un área de tierra (en alguna escala) en el que constantemente interactúan mosaicos de elementos (ecosistemas) que afectan y se ven afectados por procesos ecológicos y sociales. Ecológicamente, el paisaje se distingue por: 1. Heterogeneidad espacial, 2. Amplia extensión espacial (de, m a km²) y 3. El creciente rol humano que afecta los patrones y procesos del paisaje (McGarigal et al. 2009).

La confiabilidad de un análisis de cambios a nivel de paisaje, depende de comprobaciones visuales de campo por medio de transectos, es decir, registros de observaciones o levantamientos de puntos de control, tal información complementa de forma precisa, clara y objetiva, la información espacial a obtener, a través de herramientas de teledetección o sistemas de información geográfica (Pérez & García 2013).

Es así como, los estudios multitemporales sobre coberturas vegetales, se orientan a cuantificar la viabilidad ecológica a través de índices de funcionalidad y de vulnerabilidad, índices que caracterizan el paisaje como unidad fisiográfica. El análisis de funcionalidad ecológica (atributos dinámicos del ecosistema, interacciones entre organismos y el medio ambiente) permite caracterizar la composición y configuración espacial de los remanentes (también llamados parches, fragmentos o teselas) en el paisaje ambiental de una región. Por tal razón, en todo análisis espacio temporal se estiman las propiedades del paisaje a partir de parámetros de composición, estructura y configuración espacial de los remanentes con funciones de SIG e índices estadísticos (Sanabria-Marín 2007).

3.2. Teledetección y Sistemas de Información Geográfica, herramientas de los análisis multitemporales.

La teledetección es la técnica para obtener información a distancia de los objetos sobre la superficie terrestre y su posterior tratamiento en una determinada aplicación. Los tres principales elementos de todo sistema de teledetección son: 1. Aquél que permite detectar los objetos ubicados en el espacio (sensor: nuestro ojo y satélites); 2. Objetos observados (casa, árbol, coberturas, entre otros) y 3. El flujo energético que los permite

relacionar y detectar (Chuvieco 2002).

Uno de los aportes importantes de la teledetección al medio ambiente, es la capacidad de seguir procesos dinámicos en una dimensión temporal, ya que permite recopilar e integrar datos de procedencia satelital. Esta dinámica puede ser analizada a partir de sucesos esporádicos (erupciones e incendios) o procesos continuos (deforestación) en ciclos variados (horas, meses o años) (Chuvieco 1998).

La dinámica a nivel de coberturas o uso potencial del suelo, es evaluada a partir de la detección de cambios en un mosaico paisajístico, con la aplicación de técnicas de clasificación (discriminación de categorías). La identificación de diferencias en tiempo y espacio con imágenes satelitales (representación digital de los tipos de cobertura) puede indicar, si el paisaje es más o menos homogéneo, producto de procesos de fragmentación, o heterogéneo según la cohesión espacial de los elementos del paisaje (Chuvieco 1998; 2007).

Es aquí donde la teledetección, se ha considerado una herramienta transversal a los análisis ambientales y biológicos, puesto que, suministra información de cobertura global (exhaustiva de la superficie terrestre), perspectiva panorámica (altura orbital del satélite que permite detectar grandes extensiones), observación multiescala (amplio rango de cobertura espacial y nivel de detalle), información sobre regiones no visibles del espectro electromagnético (objetos detectados en el infrarrojo medio y térmico) y cobertura repetitiva, como característica orbital de los satélites (disponibilidad de imágenes de satélite de forma periódica), estas características permiten la comparación espacial en el abordaje de la multitemporalidad (Chuvieco 2002).

La observación de la cobertura terrestre desde el espacio, ha tomado un fuerte protagonismo ambiental, debido a su utilidad, la cual radica en la periodicidad y consistencia de la información adquirida. Inicialmente, los análisis con imágenes de satélite se centraron en obtener inventarios de fenómenos determinados; es decir, los objetos visualizados se utilizan para sectorizar el espacio y así, obtener cartografía temática (Chuvieco 1996; Gónima 2001).

Con los posteriores análisis de clasificación (visual

y digital) se genera el seguimiento de fenómenos dinámicos (incendios o plagas, desarrollo urbano, entre otros), centrados en la identificación de zonas en la imagen que experimentaron algún cambio (Chuvieco 1996; Sacristán-Romero 2007).

En la actualidad, aún se implementan análisis con seguimiento satelital, aunque ya se incorporan a estos, mediciones sistemáticas de variables de interés, es decir, los sensores se utilizan como medios para obtener información cuantitativa, que permita la aproximación a la interpretación de fenómenos difícilmente analizables, con medios convencionales (modelación de la temperatura del mar, comportamiento de la precipitación, variaciones espaciales de formaciones vegetales) y que conducen a proyectar futuros escenarios de cambio según un patrón determinado para el pasado y el presente (Chuvieco 1996; 2002).

A partir de las herramientas de teledetección se crean los datos que se incorporan a los sistemas de información geográfica (SIG) con la combinación de atributos (espaciales y alfanuméricos) almacenados y manipulados (Jiménez & Moreno 2006; Sanabria-Marín 2007). La combinación de los sensores remotos en el área ambiental y los SIG, que han sido ampliamente utilizados para la generación de mapas temáticos de uso y cobertura terrestre, también se enfocan en la orientación de estrategias de conservación de la biodiversidad (servicios ecosistémicos y el capital natural) y la planeación ambiental (Chuvieco 1995).

3.3. Características de los sensores e imágenes de satélite.

En el análisis espacial con teledetección, las imágenes satelitales son consideradas una representación del mosaico espacial de un determinado territorio, cuya información de detalle varía según las características del sistema sensor y según la resolución (Chuvieco 1995; 2002; Gónima 2001), así:

- Resolución espacial: designa al objeto más pequeño que puede ser distinguido por una imagen (mínima separación, a la cual los objetos aparecen distintos y separados en la imagen).
- Resolución espectral: Número y ancho de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor (registro simultáneo del comportamiento de los objetos en distintas

- bandas del espectro).
- Resolución radiométrica: sensibilidad del sensor, relaciona la capacidad para detectar variaciones en la radiancia espectral que recibe; se trata de una codificación digital expresada en número de bits que precisa cada elemento de la imagen (Landsat 5 y 7 con 8 bits, 2⁸: 256 ND; Landsat 8 con 16 bits: 2¹⁶: 65536 ND).
 - Resolución temporal: frecuencia de cobertura que proporciona el sensor (periodicidad con la que se adquiere imágenes de la misma porción de la superficie terrestre), en función de las características orbitales de la plataforma (altura, velocidad e inclinación).
 - Resolución angular: capacidad del sensor para observar la misma zona desde distintos ángulos.

Los satélites de observación terrestre, proveen bases de datos, que aumentan continuamente y permiten realizar estudios de seguimiento con la generación de modelos cuantitativos y cualitativos de variables observadas; este seguimiento, es producto de la exploración secuencial de la superficie terrestre que a intervalos regulares, permite adquirir la radiancia que proviene de los objetos sobre ella situados (en función de las características de las parcelas del terreno) y el tamaño dado por la resolución espacial del sensor (Chuvieco 2002; Hantson et al. 2011).

El principal insumo en un análisis multitemporal son las imágenes de satélite; en éstas, la unidad mínima de información es el pixel (cada uno de los pequeños cuadros de la imagen), caracterizado por un valor numérico que determina un nivel de gris o de color al combinar tres bandas. Este valor se denomina Nivel Digital (ND) y la intensidad de gris o de color Nivel Visual (NV) (Chuvieco 1996).

El incremento en el número de imágenes satelitales, permite monitorear coberturas terrestres de grandes extensiones sobre intervalos de tiempo regular (Friedl et al. 2002). La cartografía y monitoreo de la cobertura terrestre es una de las mayores aplicaciones de observación de la Tierra, mediante datos de sensores satelitales útiles para estimar cambios de cobertura (Rodríguez-Galiano et al. 2012).

En el análisis de la transformación del paisaje, las imágenes satelitales se convierten en el insumo básico para la detección de cambios espaciales,

éstas permiten la aplicación de métodos cuantificables definidos por sus características, que según Moreira & Ojeda (1988) y Friedl et al. (2002) son las “diferencias espectrales entre dos pixeles de fechas diferentes, con formatos homogéneos, información sobre regiones no visibles del espectro y que en conjunto sean analizados estadísticamente”.

3.4. Estado del arte de la multitemporalidad.

La implementación de herramientas de percepción remota, procesamiento e interpretación de imágenes satelitales y los Sistemas de Información Geográfica, son ampliamente estudiados y aplicados en problemáticas ambientales y paisajísticas, dado que, han permitido la disposición de datos espaciales con resoluciones espacio-temporales adecuadas; la implementación de imágenes en servicios ambientales o climáticos, permiten analizar la dinámica de las coberturas vegetales y como operan los factores naturales y humanos sobre ellas (Palacios-Morera 1992; Chapin et al. 2000).

Casos particulares son los estudios realizados por Recondo et al. (2002), Heredia et al. (2003), Pezzola & Winschel (2004), Armenteras et al. (2011a), Merino-de-Miguel et al. (2011) y Veraverbeke et al. (2012), en donde evaluaron a nivel espacio-temporal con bandas de infrarrojo, los sectores afectados por incendios forestales (antes y después del evento). Estas investigaciones abordan un enfoque integral del desarrollo rural con la implementación de estrategias dirigidas a mejorar la gestión, el uso del suelo, y los recursos naturales; de igual forma, apoyan la implementación de imágenes satelitales, porque, su uso provee información confiable y veraz de datos de focos y expansión de incendios.

Por otro parte, los estudios de cambios espacio-temporales, a nivel de comunidades vegetales, se han centrado en el análisis de la evolución y de los actores que influyen en las modificaciones espaciales que sufren los remanentes de vegetación. Casos puntuales son las investigaciones realizadas por Fernández et al. (2001) quienes aplicaron metodologías del índice de vegetación NDVI y variables climatológicas para obtener modelos predictivos de cambios de remanentes.

Otra utilidad de las imágenes de satélite y de las herramientas de teledetección se evidencian,

en la investigación realizada por Ruíz-Linares et al. (2007), quienes analizaron los cambios sucesionales de la vegetación del departamento de Casanare, con la implementación de imágenes LANDSAT; a partir de ellas, identificaron áreas deforestadas en un periodo no superior a 15 años, y cambios atribuidos a asentamientos humanos. Aunque la metodología fue pertinente, discrepa y pierde validez en el hecho de suponer áreas nubadas como vegetación boscosa, de allí, la importancia de realizar verificaciones en campo, en áreas donde los datos satelitales no arrojen información detallada; esto acompañado de estudios de composición y estructura de la vegetación y la fauna (Medina et al. 2015; Sanmartín-Sierra et al. 2016).

De igual forma, las imágenes de satélite son utilizadas para la identificación de áreas fragmentadas. Como lo exponen, Chapa-Bezanilla et al. (2008), quienes implementaron análisis de imágenes y fotografías aéreas para medir la fragmentación a escala multitemporal, en áreas boscosas de Aguascalientes (México, sector Sierra Fría), concluyendo que los cambios en la superficie y el grado de fragmentación, no es significativo para considerarla una intervención humana severa, puesto que, la tasa de aprovechamiento de los recursos maderables es equiparable a la tasa de recuperación del ecosistema, lo cual, permite un aprovechamiento sostenible.

Por sus características espectrales y espaciales, las imágenes de satélite permiten identificar y sectorizar áreas con deforestación. Armenteras et al. (2011b) analizaron el deterioro de los bosques montanos y de tierras bajas de los Andes colombianos (1985-2005), a partir de sensores remotos, SIG y modelación lineal (GLM); los resultados determinaron que dichos bosques muestran una tasa de deforestación positiva, influenciada por las actividades económicas, áreas protegidas y relieves quebrados, mientras que es negativa, debido a las tierras parceladas, densidad de carreteras, escasez de agua y temperaturas mínimas. Los autores relacionan para los bosques de tierras bajas, una tasa de deforestación estrechamente relacionada con la población rural, el porcentaje de pastoreo, los cultivos y las áreas protegidas.

De igual manera, Bodart et al. (2011), evaluaron áreas con cambios de cobertura forestal con

análisis multi-dato y multi-escena, en los periodos de 1990-2000-2005 para regiones tropicales. El procesamiento de más de 12000 datos Landsat TM y ETM+ implicó la conversión de la reflectancia atmosférica, detección de sombras nubosas, corrección de neblina y normalización radiométrica de las imágenes. Tales resultados, evidenciaron una mejora significativa en la apariencia visual de la imagen, específicamente con las bandas de infrarrojos, al implementar algoritmos para la corrección de neblina. Concluyen que el pre-procesamiento de imágenes, proporcionan un consistente set de datos multi-temporales para el trópico y que constituyen una base objetiva para la clasificación supervisada.

Otro caso corresponde al desarrollado por Rodríguez-Galiano et al. (2012), evaluaron la transformación de coberturas terrestres mediante algoritmos de clasificaciones aleatorias boscosas, mediante la captura de datos Landsat-5 Thematic Mapper, modelos digitales del terreno para la identificación de 14 categorías terrestres. La información compilada con el algoritmo utilizado, fue lo suficiente para identificar una presión cartográfica del 92% de confiabilidad, concluyendo así, que el monitoreo de coberturas, requiere de métodos de clasificación robustas, que arrojen cartografía de precisión y diferenciación de categorías de uso del suelo (Saadat et al. 2011).

Es así como, las imágenes satélites permiten monitorear y estimar cambios en la cobertura del suelo, análisis de deforestación, inventarios de vegetación, y determinación de áreas prioritarios con fines de conservación (Lambin et al. 2001; Mas et al. 2004; Turner et al. 2007). De igual forma, Brovkin et al. (2004), Bala et al. (2007), Betts et al. (2007), Bonan (2008) y Armenteras et al. (2013), recalcan la importancia de utilizar sensores remotos para identificar modificaciones y efectos sobre la cobertura terrestre, debido a que hoy día el cambio climático ocasionado por la concentración CO₂ y gases de efecto invernadero, junto al uso inadecuado de los recursos naturales, amenazan la diversidad biológica de Colombia, particularmente de la franja de vegetación alto andina y el páramo.

4. CONCLUSIONES

Los estudios multitemporales enfocados en la dinámica de coberturas vegetales, contribuyen

en la delimitación, espacialización y análisis de desequilibrios entre los paisajes naturales vs los artificiales; para este tipo de estudios no es suficiente generar información temática, a estos deben ser incorporados modelos espaciales que incluyan datos métricos a escala de paisaje, variabilidad climática e intensidad de disturbio a escala 1:1.

Los estudios espaciotemporales a partir de pre-procesamientos de imágenes, metadatos, métricas que cuantifican la composición y configuración del paisaje y los Sistemas de Información Geográfica, son entonces herramientas que aportan criterios para seleccionar ecosistemas estratégicos con mayor o menor prioridad de conservación; esto debido a que la información que proveen son un insumo valioso para determinar procesos de fragmentación, deforestación, pérdida o ganancia de la conectividad entre remanentes de vegetación.

Las sensores espaciales son la fuente de monitoreo a gran escala en tiempos regulares. De ellos se desprenden diferentes métodos que cuantifican el cambio dentro de estos se encuentran los índices de vegetación NDVI, variables climatológicas, los modelos lineales generalizados (GLM) y los estadísticos de confiabilidad y variabilidad espectral (divergencia transformada, gráficas de firmas y matrices de exactitud temática).

REFERENCIAS

- [1]. Armenteras, D., Retana, J., Molowny, R., Roman, R., Gonzalez, F., y Morales, M. 2011a. Characterizing fire spatial pattern interactions with climate and vegetation in Colombia. *Agricultural and Forest Meteorology*. 151(3):279-289.
- [2]. Armenteras, D., Rodríguez, N., Retana, J., y Morales, M. 2011b. Understanding deforestation in montane and lowland forests of the Colombian Andes. *Environmental Change*. 11(3):693-705.
- [3]. Armenteras, D., Cabrera, E., Rodríguez, N., y Retana, J. 2013. National and regional determinants of tropical deforestation in Colombia. *Environmental Change*. 13(6):1181-1193.
- [4]. Bodart, C., Hugh, E., Beuchle, R., Rastislav, R., Simonetti, D., Stibig, H., Brink, A., Lindquist, E. y Achard, F. 2011. Pre-processing of a sample of multi-scene and multi-date Landsat imagery used to monitor forest cover changes over tropics. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 66(5):555-563.
- [5]. Brovkin, V., Sitch, S., Von-Bloh, W., Claussen, M., Bauer, E. y Cramer, W. 2004. Role of Land Cover change for atmospheric CO₂ increase and climate change during the last 150 years. *Global Change Biology*. 10(8):1253-1266.
- [6]. Evangelista V., López, J., Caballero, J. y Martínez, M. 2010. Patrones espaciales de cambio de cobertura y uso del suelo en el área cafetalera de la Sierra Norte de Puebla. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*. 72:23-38.
- [7]. Friedl, M., Brodley, C. y Strahler, A. 2002. Maximizing Land Cover classification accuracies produced by decision trees at continental to global scales. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 37(2):969-977.
- [8]. Hantson, S., Chuvieco, E., Pons, X., Domingo, C., Cea, C., More, G., Cristobal, J., Peces, J. y Tejeiro, J. 2011. Cadena de pre-procesamiento estándar para las imágenes Landsat del Plan Nacional de Teledetección. *Revista de Teledetección*. 36:51-61.
- [9]. Mas, J., Velázquez, A., Díaz, J., Mayorga, R., Alcántara, C., Bocco, G., Castro, R., Fernández, T. y Pérez, A. 2004. Assessing land use/cover changes. A nationwide multirate spatial database for Mexico. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 5(4):249-261.
- [10]. Medina, W., Macana-García, D. y Sánchez, F. 2015. Aves y mamíferos de bosque altoandino-páramo en el páramo de Rabanal (Boyacá-Colombia). *Ciencia en Desarrollo*. 6(2):185-198.
- [11]. Molina, G. y Albarran, A. 2013. Análisis multitemporal y de la estructura horizontal

de la cobertura de la Tierra: Parque Nacional Yacambú, estado Lara, Venezuela. Cuadernos de Geografía - Revista Colombiana de Geografía. 22(1):25-40.

- [12]. Moncada-Rasmussen, D. 2010. Análisis espacio-temporal del cambio en los bosques de roble (*Quercus humboldtii* Bonpl.) y su relación con la alfarería en Aguabuena (Ráquirá-Boyacá). Colombia Forestal. 13(2): 275-298.
- [13]. Palacios-Morera, M. 1992. Cambio ambiental, teledetección y sistemas de información geográfica temporal. Actas del V Coloquio de Geografía Cuantitativa. Universidad de Zaragoza, España. p291-304.
- [14]. Pérez, M. y García, M. 2013. Aplicaciones de la teledetección en degradación de suelos. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles. 61:285-308.
- [15]. Pezzola, A. y Winschel, C. 2004. Estudio espacio-temporal de incendios rurales, utilizando percepción remota y SIG. Estación Experimental Agropecuaria Hilario Ascasubi, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Boletín Técnico N° 20. p12.
- [16]. Prieto, E., Rivas, B. y Sánchez, J. 2013. Natural polymer grafted with syntethic monomer by microwave for water treatment-a review. Ciencia en Desarrollo, 4(1):219-240.
- [17]. Rodríguez-Galiano, V., Ghimire, B., Rogan, J., Chica-Olmo, M. y Rigol-Sánchez, J. 2012. An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for Land-cover classification. Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 67:93-104.
- [18]. Ruíz, V., Savé, R. y Herrera, A. 2013. Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el paisaje terrestre protegido Miraflores Moropotente Nicaragua, 1993–2011. Ecosistemas. 22(3):117-123.
- [19]. Saadat, H., Adamowski, J., Bonnell, R., Sharifi, F., Mohammad, N. y Ale-Ebrahim, S. 2011. Land Use and Land Cover classification over a large area in Iran based on single date analysis of satellite imagery. Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 66(5):608-619.
- [20]. Sanmartín-Sierra, D., Angarita-Hernández D. y Mercado-Gómez J. 2016. Estructura y composición florística del bosque seco tropical de Sanguaré-Sucre (Colombia). Ciencia en Desarrollo. 7(2):43-56.
- [21]. Sepulveda, O., Suárez, Z., Patarroyo, M., Canaria, L. y Bautista, S. 2015. Estudio del comportamiento e impacto de la climatología sobre el cultivo de la papa y del paso en la región central de Boyacá empleando los sistemas dinámicos. Ciencia en Desarrollo. 6(2):215-224.
- [22]. Veraverbeke, S., Gitas, Lo., Katagis, T., Polychronaki, A., Somers, B. y Goossens, R. 2012. Assessing post-fire vegetation recovery using red-near infrared vegetation indices: Accounting for background and vegetation variability. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 68:p. 28-39.