

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

**FACULTAD DE INGENIERIA
ESPECIALIZACION EN PLANEACION AMBIENTAL Y MANEJO INTEGRAL
DE RECURSOS NATURALES**



**ANALISIS MULTITEMPORAL MEDIANTE IMÁGENES LANDSAT DEL CAMBIO
DE LA COBERTURA VEGETAL Y SU IMPACTO EN LA DESECACIÓN DEL
ESPEJO DE AGUA EN LA LAGUNA DE TOTA PARA EL PERIODO DE 1991 AL
2017**

**DANIELA ROJAS PAEZ
ING. AMBIENTAL**

**Junio, 2018
Bogotá, DC**

ANALISIS MULTITEMPORAL MEDIANTE IMÁGENES LANDSAT DEL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL Y SU IMPACTO EN LA DESECACIÓN DEL ESPEJO DE AGUA EN LA LAGUNA DE TOTA PARA EL PERIODO DE 1991 AL 2017

Daniela Rojas Páez
Ingeniera Ambiental, Especialista en Planeación Ambiental y Manejo Integral de Recursos Naturales
Bogotá, Colombia

RESUMEN

La presión antrópica y la incompatibilidad ambiental de los usos del suelo establecidos a través del tiempo, deterioran y transforman rápidamente los ecosistemas naturales que generan modificaciones en las coberturas y el uso del suelo. En el caso del municipio de Boyacá existe un potencial agronómico importante con suelos con grandes capacidades productivas, principalmente de cultivos intensivos que al ser más rentables generan un cambio en las perspectivas sin incluir consideraciones de sustentabilidad.

Por esta razón, el presente artículo presenta una comparación multitemporal del cambio en la cobertura vegetal de los últimos 26 años del espejo de agua y el área correspondiente a la cuenca de la laguna de Tota. Implementando el uso de imágenes satelitales landsat y un procesamiento fundamentado en la teledetección como técnica para realizar seguimiento ambiental, generación de mapas y planeación territorial.

Los resultados de este artículo evidenciaron un aumento de zonas de producción agrícola especialmente cultivos de cebolla larga, así como un incremento de zonas urbanas lo cual refleja la progresiva presión antrópica sobre el ecosistema, la disminución de zonas forestales y la pérdida de superficie del lago por procesos de desecación que responde a la discrepancia entre las actividades productivas y los sistemas naturales.

Palabras claves: Teledetección, cobertura vegetal, imágenes landsat, Multiespectral, transformación.

ABSTRACT

The Anthropogenic pressure and the environmental incompatibility of established land uses deteriorate and rapidly transform natural ecosystems that generate modifications in the coverage and use of land over time. In the case of the municipality of Boyacá, there is an important and large productive capacity with agronomic soils; mainly of intensive crops that by being more profitable, generate a change in perspectives without including considerations of sustainability.

For this reason, this article conducted a multitemporal comparison of the change in vegetation coverage of the last 26 years in the water mirror and the corresponding

area to the Tota lagoon basin. The implementation of Landsat satellite images and remote sensing processing shows to be an effective technique for environmental monitoring, generation of maps and territorial planning.

The results of this article showed an increase in areas of agricultural production, especially long onion crops. It showed an increase in urban areas which evidences the progressive anthropogenic pressure on the ecosystem; a decrease of forest areas and the loss of surface of the lake due to processes of desiccation that responds to the discrepancy between productive activities and natural systems.

Keywords: Teledetection, plant Cover, landsat images, Multispectral, transformation.

INTRODUCCION

El Lago de Tota se encuentra localizado entre tres municipios pertenecientes al departamento de Boyacá, el municipio de Cuitiva, el municipio de Tota y el municipio de Aquitania [1]. Localizada en la Latitud 5.54 ° N longitud 72.92 ° W, con una altura: de 3015 msnm, un clima frio y un tipo de área que se extiende desde las regiones montano alto, paramo y paramo [2].

La laguna de Tota es considerado como el más extenso en el país y el segundo a nivel de Sudamérica, usada como fuente de abastecimiento de agua potable a distintos municipios del país, que no solo tiene el carácter de humedal, sino que también está ubicado dentro del ecosistema de paramo objeto de protección especial [3].

Durante las últimas décadas la laguna tota ha visto afectada su conservación como ecosistema estratégico generando conflictos ambientales dentro de los que se encuentran: la disminución del área del espejo de agua de la laguna, el aumento de la erosión por el mal manejo de los productos agroquímicos, el aumento descontrolado de áreas destinadas a cultivos de cebolla y las practicas excesivas de pesca y turismo [4].

Existe una oferta importante de suelos con altas capacidades productivas, utilizadas en cultivos intensivos, agricultura tradicional con tendencias a la intensificación del cultivo de cebolla, pasturas, pastizales, rastrojos abandonados, plantaciones forestales y pequeños relictos de vegetación natural [1]. Los sistemas existentes en la zona responden a un proceso de transformación de los sistemas tradicionales integrados con el propósito de autoconsumo, causada por los cultivos comerciales, inicialmente de papa, luego de cereales y en la actualidad, de cebolla larga.

Como consecuencia de su riqueza hidrológica la cuenca del lago de tota es considerado como una de las principales zonas agrícolas del país, en donde el sector agropecuario ocupa el primer puesto en el PIB [5], generando una producción de 131.451 toneladas de cebolla por año y un rendimiento de 34,53 toneladas por ha [6]. Dichos cultivos requieren el uso de plaguicidas para el control

de plagas que modifican las propiedades del cuerpo de agua y alteran la calidad de la misma [7].

Lo anterior se traduce en una inadecuada gestión ambiental y sectorial de la cuenca que genera despreocupación y contaminación debido a la presión e intervención antrópica. La planeación del territorio sin lugar a dudas es una estrategia indispensable para el adecuado desarrollo de la región, y por consiguiente en el presente artículo se plantea el uso de la teledetección como herramienta para la construcción de mapas e interpretación de superficies en pro en una buena planificación del territorio.

La percepción remota o teledetección es considerada como la ciencia y arte de obtener información de un objeto o fenómeno sin tener contacto con él, permitiendo realizar levantamientos de altos volúmenes de información de la superficie terrestre [8]. Lo anterior mediante la interacción energética entre el sensor y la superficie, donde es medida la intensidad de radiación electromagnética distinguible de otras a lo largo del espectro y cuya información puede ser almacenada para su posterior interpretación [9]

Este artículo pretende evidenciar el cambio de la cobertura vegetal desde el año de 1991 al 2017, en la cuenca del lago y su efecto en el espejo de agua. Lo anterior por medio de teledetección utilizando imágenes landsat de los años 1991, 2000 y 2017, mediante clasificación supervisada y la metodología *Corine Land Cover adaptada para Colombia*.

1. MATERIALES Y METODOS

1.1. Metodología

Las actividades comprendidas para el desarrollo del presente artículo se observan en la Figura 1, donde se establece la relación y el orden de los procedimientos que se lleva a cabo para lograr identificar y visualizar el objetivo del presente documento.

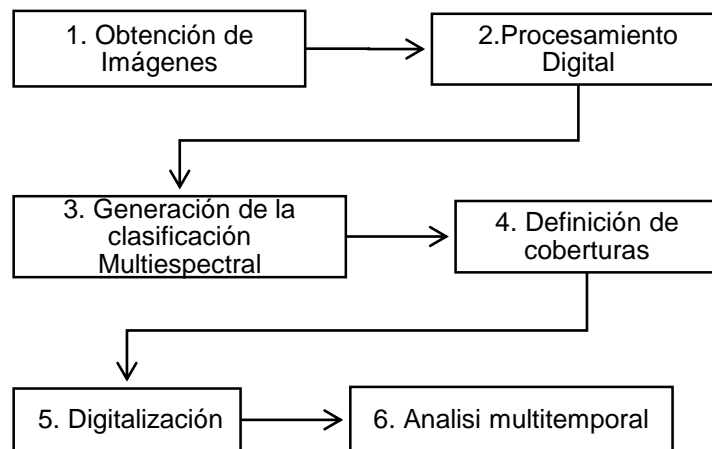


Fig. 1. Metodología general
Fuente: Elaboración Propia

1.1.1. Obtención de imágenes

Para poder realizar el análisis multitemporal para los periodos establecidos se obtuvieron tres imágenes satelitales tipo *Landsat* del año 1991, 2000 y 2017 respectivamente. Las imágenes se descargaron de forma gratuita mediante Landsat Viewer, el cual es un explorador de imágenes por satélite para teledetección desarrollado EOS DATA ANALYTICS, INC.

La familia landsat tiene una trayectoria de 25 años y se ha caracterizado por su buena resolución, su alcance global y periódico en las observaciones que realizan y el fácil acceso. En términos de resolución landsat posee una gran habilidad para registrar información y discriminarla de forma detallada. Al tener en cuenta que el concepto de resolución implica al menos cuatro manifestaciones: espacial, espectral, radiométrica y temporal [10].

La clasificación y los diferentes tipos de resolución de las imágenes obtenidas se describen en la tabla 1 para las cuales se tienen en cuenta condiciones de nubosidad menores del 15% para la elección de las mismas.

Tabla 1. Características: Imágenes Landsat

N°	Imagen	Sensor	Fecha	Radiometría	Temporal
1	LANDSAT_5	TM	16-mar-91	8 Bits	16días
2	LANDSAT_7	ETM	13-dic-00	8 Bits	
3	LANDSAT_8	OLI/TIRS	20-dic-17	12 Bits	
MAP_PROJECTION = "UTM"- DATUM = "WGS84" - ELLIPSOID = "WGS84" - UTM_ZONE = 18					

Fuente: Elaboración Propia

1.1.2. Procesamiento Digital

Para poder trabajar sobre las imágenes landsat, es indispensable realizar un procesamiento digital de las mismas. Dicho proceso se realizará por medio del programa ERDAS 2014.

En primer lugar, es necesario delimitar el área de estudio, para esto se delimito la cuenca del lago como área de influencia con la ayuda de cartografía secundaria y la creación de un shape de curvas de nivel a partir de un DEM de elevación 30. En consecuencia, se estableció una escala cartográfica de 1:50.000 y se determinó un área mínima cartografiarle correspondiente de 0,04 km² [11], esto permitirá lograr coherencia en la representación espacial y eficiencia en la lectura y utilidad del mapa [12].

También fue necesario realizar una transformación del sistema de referencia a MAGNA Colombia Bogotá y hacer una corrección radiométrica por niveles digitales de 12 Bits a 8 Bits para la imagen de 2017. Posteriormente es importante una Orto-rectificación utilizando la herramienta LPS y el *Protocolo de Orto-rectificacion de*

Imágenes Satelitales Landsat [13], con un DEM de 30 m de la zona específica, ya que es recomendable la implementación de herramientas de ajuste espacial para proyectos en donde se pretenda desarrollar la actualización de una capa temática a partir de la interpretación de imágenes de satélite no ortorrectificadas [14].

1.1.3. Generación de la clasificación Multiespectral

Por medio de las mediciones de radiancia obtenidas en las diferentes bandas de longitud de onda y sus diferentes combinaciones (Falso color, color infrarrojo y tierra/agua) para cada pixel, se pretende identificar el patrón o firma espectral de las diferentes coberturas presentes en el área de estudio. Lo anterior con el fin de generar una clasificación supervisada de coberturas en cada una de las tres imágenes (año 1991, año 2000 y año 2017).

La combinación del infrarrojo cercano (2, 3, 4) son muy útiles para identificar los límites entre el suelo y el agua, las áreas urbanas son fácilmente observables con un tono azul al igual que el suelo expuesto. Por otra parte es sensible a la clorofila, permitiendo que se observen variaciones de la vegetación, que aparecen en tonos rojos [15].

Los métodos de la extracción de información a partir de imágenes de satélite se subdividen en dos: La primera está basada en la habilidad del ser humano de relacionar tonos, colores y patrones espaciales que aparecen en una imagen con elementos del mundo real. Y la segunda, es la extracción de información basada en el tratamiento automático o semiautomático por parte del ordenador [16].

La clasificación supervisada se basa en el conocimiento previo de la zona de estudio, ya que la familiaridad con el área de interés facilita delimitar sobre la imagen áreas representativas de cada una de las categorías a representar. Por medio del análisis estadístico multivariado y una serie de muestreos, la clasificación supervisada hace posible agrupar diferentes tipos de atributos o clases específicas [17].

La clasificación supervisada es una técnica muy útil y es usada en diversos campos como el reconocimiento de patrones espectrales, ya que su objetivo es la asignación de un objeto o un fenómeno físico a una de las diversas clases o categorías, compuestas por objetos con características comunes o patrones similares [18].

Es indispensable realizar una visita de campo en donde sea posible realizar una identificación del territorio y las dinámicas del mismo en especial en las áreas periféricas al lago. Lo anterior será la base para realizar una clasificación supervisada de las coberturas de manera más asertiva.

1.1.4. Definición de coberturas y digitalización.

La metodología *Corine Land Cover* tiene como propósito la realización del inventario homogéneo de la cubierta biofísica (cobertura) de la superficie de la tierra a partir

de la interpretación visual de imágenes de satélite asistida por computador y la generación de una base de datos geográfica [19]. Y su aplicación inicialmente se hizo con imágenes actuales de los satélites Landsat y Spot, buscando la identificación de algún cambio en la forma de los polígonos de coberturas del suelo de años previos [20].

Las determinaciones de coberturas presentes en el área de estudio se establecieron utilizando la metodología *Corine Land Cover adaptada para Colombia* mediante interpretación visual y digitalizada manualmente utilizando ArcGis 10.1, creando mapas de cobertura resultantes para cada año. En la tabla 2 se especifican las coberturas identificadas en el área de estudio con su respectivo código.

Tabla 2. Clasificación de unidades de cobertura según *Corine Land Cover*

CODIGO	COBERTURA	CODIGO	COBERTURA
1	Territorios Artificializados	2,4,4	Mosaico de pastos con espacios naturales
1,1,1	Tejido urbano continuo	3	Bosques y Áreas Seminaturales
1,2,2	Red vial	3,1,4	Bosques de galería y ripario
2	Territorios Agrícolas	3,1,5	Plantación Forestal
2,3,1	Pastos limpios	3,2,1	Herbazal
2,3,2	Pastos Arbolados	3,3,1	Zonas arenosas naturales
2,4,1	Mosaico de cultivos	5	Superficies de Agua
2,4,2	Mosaico de pastos y cultivos	5,1,2	Lago, laguna
2,4,3	Mosaico de cultivos, Pastos y espacios naturales	5,1,4	Cuerpos de agua artificiales

Fuente: Elaboración Propia

1.1.5. Análisis multitemporal.

Basados en los resultados o mapas de cobertura se procederá a realizar una comparación multitemporal de la evolución o cambio en la superficie de estudio incluido el espejo de agua del lago a través de los últimos 26 años.

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La combinación de bandas que hizo posible la visualización de las diferentes coberturas vegetales fue la (4,3,2) para los años 1991, 2000 y (5,4,3) para el año 2017, como se muestra a continuación en las figuras 2, 3 y 4

Fig.2. Año 2017



Fig.3. Año 2000



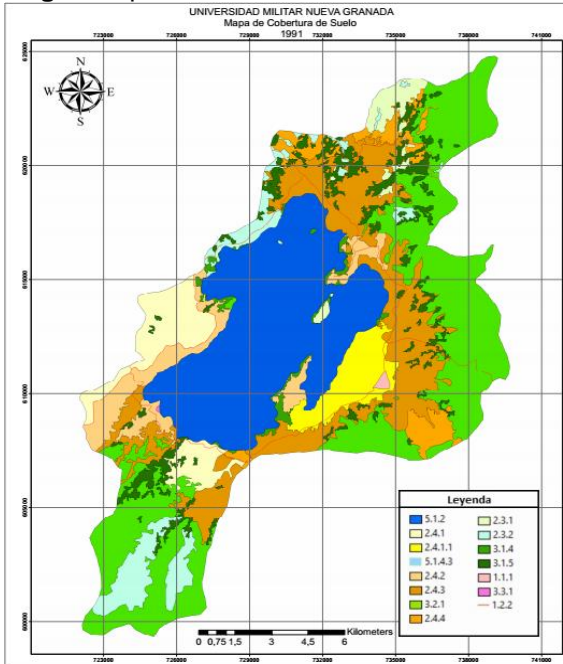
Fig.4. Año 1991



Fuente: Elaboración Propia

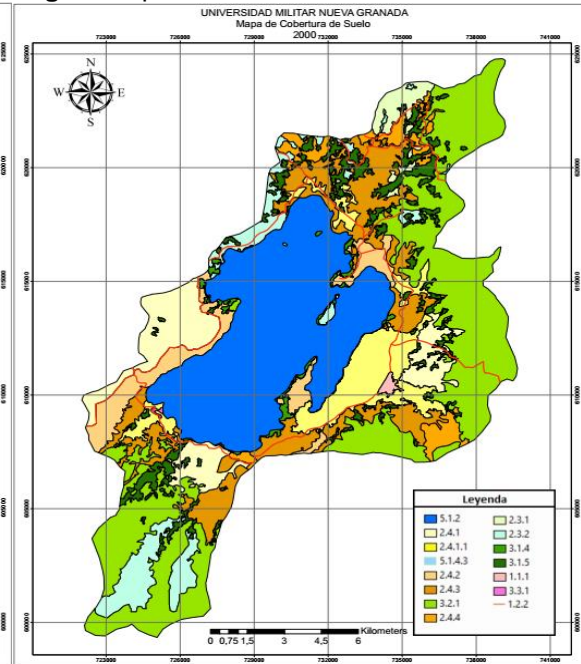
Como resultado de la clasificación supervisada se generaron tres productos cartográficos a escala 1:50.000 para cada año respectivamente, donde se evidencia las coberturas presentes en el área de estudio para cada año.

Fig.5. Mapa de Cobertura de suelos año 1991



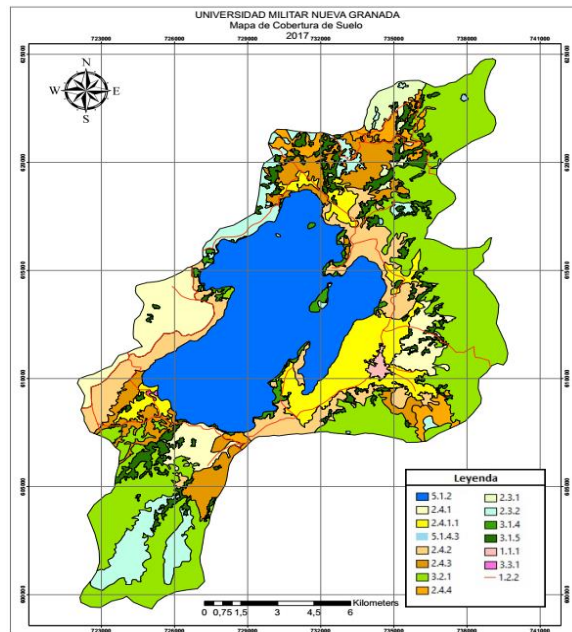
Fuente: Elaboración Propia

Fig.6. Mapa de Cobertura de suelos año 2000



Fuente: Elaboración Propia

Fig.7. Mapa de Cobertura de suelos año 2017



Fuente: Elaboración Propia

Para poder cuantificar las coberturas vegetales y su cambio durante los últimos 26 años, se calculó las áreas para cada cobertura y a partir de esta información se generó una tabla multitemporal de cambios para el año 1991, 2000 y 2017(ver tabla 3), lo que permite observar las zonas de cambio y magnitud del mismo para los últimos 26 años.

Tabla 3. Coberturas vegetales por año

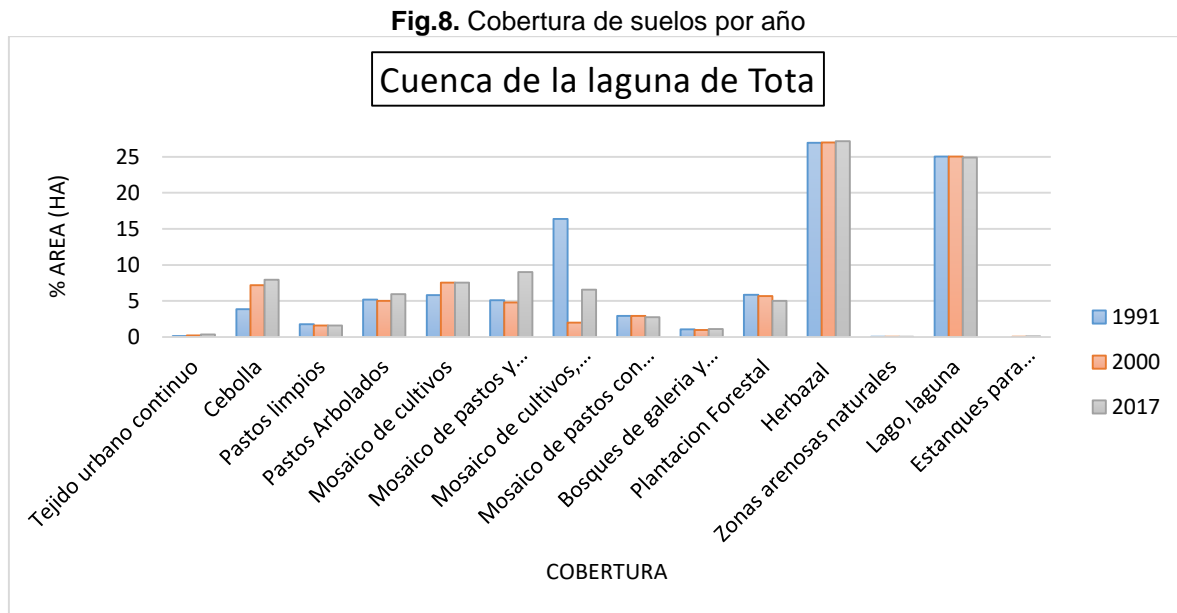
CODIGO	COBERTURA	1991,00		2000,00		20017,00		CAMBIO
		HA	%	HA	%	HA	%	
1	Territorios Artificializados	28,73	0,13	48,44	0,22	79,60	0,37	50,87
1,1,1	Tejido urbano continuo	28,73	0,13	48,44	0,22	79,60	0,37	50,87
1,2,2	Red vial(km)	61,47	-	69,10	-	80,02	-	18,55
2	Territorios Agrícolas	8926,57	40,99	8923,97	40,98	9002,86	41,34	76,29
2,1,4,1	Cebolla	839,40	3,85	1567,90	7,20	1727,30	7,93	887,90
2,3,1	Pastos limpios	385,80	1,77	350,20	1,61	350,24	1,61	-35,56
2,3,2	Pastos Arbolados	1126,40	5,17	1094,60	5,03	1297,80	5,96	171,40
2,4,1	Mosaico de cultivos	1265,67	5,81	1639,70	7,53	1639,70	7,53	374,03
2,4,2	Mosaico de pastos y cultivos	1112,90	5,11	1041,70	4,78	1960,00	9,00	847,10
2,4,3	Mosaico de cultivos, Pastos y espacios n	3560,73	16,35	2594,20	11,91	1426,80	6,55	-2133,93
2,4,4	Mosaico de pastos con espacios naturales	635,67	2,92	635,67	2,92	601,02	2,76	-34,65
3	Bosques y Áreas Seminaturales	7371,08	33,85	7343,35	33,72	7262,25	33,35	-108,83
3,1,4	Bosques de galería y ripario	225,35	1,03	214,11	0,98	242,11	1,11	16,76
3,1,5	Plantación Forestal	1271,50	5,84	1238,90	5,69	1094,90	5,03	-176,60
3,2,1	Herbazal	5871,03	26,96	5879,40	27,00	5914,30	27,16	43,27
3,3,1	Zonas arenosas naturales	3,19	0,01	10,94	0,05	10,94	0,05	7,75
5	Superficies de Agua	5450,00	25,03	5460,21	25,07	5431,02	24,94	-18,98
5,1,2	Lago, laguna	5450,00	25,03	5448,90	25,02	5417,80	24,88	-32,20
5,1,4,3	Estanques para acuicultura continental	0,00	0,00	11,31	0,05	13,22	0,06	13,22
Total		21776	100	21776	100	21776	100	-

Fuente: Elaboración Propia

Se evidencio una pérdida de 108,83 ha de zonas de Bosques y áreas seminaturales, donde aunque hubo un aumento del 0,08% en áreas de bosque de galería y ripario en las periferias del lago y un aumento del 0,2% en áreas de Herbazal, se vieron transformadas un 0,81% de áreas de plantaciones forestales, lo que representa 176,60 ha que cambiaron su uso.

Las zonas o territorios agrícolas tuvieron un incremento del 0,35% aproximadamente 76,29 ha más que en el año 1991, donde se destaca un aumento en las áreas cultivables y en especial en la producción y extensión de cultivos de cebolla las cuales incrementaron en un 4.08% a costa de las zonas naturales presentes. Las zonas artificializadas en especial las áreas urbanas tuvieron un incremento del 0,24%. Lo anterior refleja la presión antrópica y el crecimiento poblacional en el casco urbano de Aquitania, al igual que la infraestructura construida para el sector económico y turístico en la periferia de del lago.

Por último, el espejo de agua del lago de tota perdió 32,20 ha de superficie, lo que traduce en una disminución del 0,15% de este ecosistema acuático. Por otra parte, a partir del año 2000 se crearon estanques con fines acuícolas en varios puntos que representan 13,22 ha de la cuenca. En la figura 8 se puede observar la dinámica del cambio en términos de porcentaje para los tres años anteriormente mencionado.



Fuente: Elaboración Propia

CONCLUSIONES

El uso de esta metodología nos permitió identificar el cambio en el tiempo de las coberturas presentes en el área de influencia, así como la afectación al cuerpo de agua. La clasificación supervisada es efectiva en la medida en que el muestreo realizado a las imágenes sea representativo y homogéneo. Lo anterior sumado a un buen conocimiento previo de la zona de estudio convierte esta metodología en una herramienta económica y efectiva de hacer cartografía como base para la planeación ambiental del territorio.

Se evidencio que a lo largo de los últimos 26 años la laguna de Tota ha sufrido una disminución en su área en un 0,35% (32,20 ha), lo anterior debido a procesos de desecación y de extracción, ya que el lago es una gran reserva de recurso hídrico para todas las actividades productivas presentes en el territorio. Por otra parte, la afectación al cuerpo de agua se le atribuye al aumento de la frontera agrícola especialmente de cultivos de cebolla ubicado a las orillas del lago, que traen consigo una desprotección del suelo y una gran carga de productos agroquímicos que afectan la calidad del agua.

Los productos cartográficos y la cuantificación de las coberturas establecidas en la cuenca reflejaron un cambio de uso del suelo en donde priman las actividades agrícolas con un importante porcentaje del territorio, dejando de lado el carácter ambiental de la región refleja en la transformación o disminución de áreas naturales y/o forestales.

REFERENCIAS

- [1] Corpoboyaca, «Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca del lago de Tota,» Instituto de Estudios Ambientales para el Desarrollo IDEADE , Boyaca, 2005.
- [2] E. Moreno, «Análisis multiespectral mediante imágenes Landsat para identificación de zonas en el área circundante a la laguna de Tota departamento de Boyaca,» *Universidad Militar Nueva Granada*, p. 7, 29 Enero 2015.
- [3] Conpes, «Manejo ambiental integral de la cuenca hidrográfica del lago de Tota,» Bogotá D.C, 2014.
- [4] Gobernación de Boyaca, «Mapa de riesgo de la calidad del agua para consumo humano del casco urbano de los municipios de Firavitoba y Cuitiva,» 2012.
- [5] DANE, «Informe de Coyuntura Económica Regional,» Icer, Boyaca, 2004.
- [6] DANE, «Primer Censo del Cultivo de Cebolla Larga,» Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2001.
- [7] J. A. G. A. Mojica, «Evaluación del movimiento de plaguicidas hacia la cuenca del lago de Tota, Colombia,» *Revista Colombiana de Química*, vol. 42, nº 2, p. 4, 2013.
- [8] Comisión Nacional del Agua, «Percepción remota "Fundamentos de teledetección Espacial",» Sigra, México, 2005.
- [9] E. Chuvieco, *Fundamentos de la Teledetección Espacial*, 2 ed., Madrid: Ediciones Rialp, 1995.
- [10] A. V. García, «Landsat, sistemas de comunicación vía satélite,» España, 2016.
- [11] K. Salichtchev, *Cartografía*, La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1979.
- [12] GisGeek, 26 Julio 2016. [En línea]. Available: <http://sig-geek.blogspot.com/2016/07/area-minima-cartografiable-arcgis-104.html>. [Último acceso: 10 Junio 2018].

- [13] Ministerio de Medio Ambiente: Peru, «Protocolo : Ortorectificación de Imágenes Satelitales Landsat,» Direccion General de Ordenamiento Territorial, Lima, 2014.
- [14] G. Valencia y J. Anaya, «Implementacion de la metodologia Corine Land Cover con Imagenes Ikonos,» *Ingenierias Universidad de Medellin*, vol. 8, nº 15, p. 7, 2009.
- [15] INEGI, «Aspectos tecnicos de las imagenes Landsat,» mexico, 2016.
- [16] E. Garcia, «Análisis visual de Imagenes,» 2006. [En línea]. Available: file:///C:/Users/User/Downloads/componente45422.pdf. [Último acceso: 13 junio 2018].
- [17] E. Chuvieco, Teledetección ambiental: la observación de la Tierra desde el espacio., Barcelona: Ariel, 2006, p. 15.
- [18] S. Ormeño, Teledetección Fundamental. Universidad Politécnica, Madrid, España, 2006, p. 204.
- [19] IDEAM, «Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000.,» Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales., Bogotá DC, Colombia, 2010.
- [20] M. N. d. Lima, «mage 2000 and CLC2000 Products and methods,» Joint Research Centre., Toscana, 2005.

