

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL ESPEJO DE AGUA DEL LAGO DE TOTA
UBICADO EN EL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ, PARA LOS AÑOS 1989, 2001
Y 2018.**



RICARDO ANDRÉS ORDUZ RAMÍREZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de:

ESPECIALISTA EN GEOMÁTICA

DIRECTOR:

FELIPE RIAÑO

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESPECIALIZACIÓN EN GEOMÁTICA
BOGOTÁ
2018**

I. RESUMEN

Lago de Tota, el más grande en extensión que tiene Colombia y el segundo en Suramérica, a través de los últimos años se ha venido observando la disminución exponencial de este cuerpo de agua, los cambios físicos y químicos presentes en este lago contribuyen a que se generen estudios continuos por estudiantes y entidades gubernamentales sobre las evoluciones geomorfológicas e hidrológicas que presenta en la actualidad. El presente estudio tiene el objetivo de identificar los cambios del nivel de agua del lago de Tota ubicado en el departamento de Boyacá a partir de un análisis multitemporal utilizando imágenes satelitales Landsat 5, 7 y Sentinel 2A en los periodos 1989, 2001 y 2018. Con el fin de evidenciar las afectaciones del cambio climático y los efectos antrópicos sobre las variaciones en el nivel de la superficie del lago. Los resultados evidenciaron la disminución del lago en un 2,65% desde el año 1989 hasta la actualidad (2018) con pérdidas significativas de 1,5 Km² y en perímetro disminución de 8. 620 m en la ronda hídrica del lago.

Palabras clave: Análisis Multitemporal, imagen satelital, Lago de Tota

ABSTRACT - Lake Tota, the largest in size that Colombia has and the second in South America, through recent years has been observing the exponential decrease of this body of water, the physical and chemical changes present in this lake contribute to the generate continuous studies by students and government entities on the geomorphological and hydrological evolutions that it presents at present. The present study aims to identify water level changes in Lake Tota located in the department of Boyacá, based on a multitemporal analysis using Landsat 5, 7 and Sentinel 2A satellite images in the periods 1989, 2001 and 2018. In order to demonstrate the effects of climate change and anthropic effects on variations in the surface level of the lake. The results showed the decrease of the lake by 2,65 % from 1989 to the present; the area has presented significant changes with losses of up to 1,5 Km² and the perimeter decrease of 8.620 meters in the water round of the lake.

Keywords: Multitemporal analysis, satellite image, Lago de Tota

II. INTRODUCCIÓN

Los lagos y ríos son los recursos hídricos más accesibles para el abastecimiento de agua potable de muchas poblaciones en el mundo, estas fuentes hídricas se valoran por su capacidad de almacenar las aguas de inundación, mejorar la calidad de agua y recargar los acuíferos de aguas subterráneas. Las áreas de superficie de un lago son sensibles a los cambios naturales y por lo tanto pueden servir como importantes indicadores de las variaciones en el medio ambiente regional y las fluctuaciones en el clima mundial (Bai, Chen, Li, Yang, & Fang, 2011). La disminución del espejo lagunar del Lago de Tota ha

generado que los campesinos utilicen estos suelos como terrenos agrícolas para la siembra de cebolla larga, afectando las zonas de amortiguación del lago, cambiando el área natural de este cuerpo hídrico y causando daños severos en los componentes físicos, químicos y biológicos del Lago de Tota. Por lo tanto, la evaluación de las variaciones del nivel de agua del Lago de Tota a través de los años es fundamental para la comprensión de los impactos antrópicos y el cambio del clima que lo afectan actualmente.

El estudio de los recursos hídricos se puede ampliar de manera eficiente mediante el uso de los sensores remotos que incluyen los sensores de radar microondas e infrarrojos. La detección remota de microondas proporciona una capacidad única para mapear área de inundación y delinear los límites de agua en grandes áreas de la superficie terrestre de la Tierra (Aldorf, Rodriguez, & Lettenmaier, 2007). La explotación de los datos satelitales sobre los cuerpos de agua proporcionan información confiable para la evaluación del presente y del futuro recursos hídricos, modelos climáticos, idoneidad para la agricultura, dinámica de los ríos, inventario de humedales, cuenca hidrográfica análisis, levantamiento y gestión de aguas superficiales, mapeo de inundaciones y monitoreo del medio ambiente, que son críticos para la gestión sostenible de los recursos hídricos en la Tierra. (Zhu, Jia, & Lv, 2014) (Sun, Sun, Chen, & Gong, 2012).

Yan, detectó los cambios dinámicos en las áreas de superficie del lago Qinghai utilizando Landsat TM / ETM + imágenes basadas en el modelo que se basa en el hecho de que los cuerpos de agua aparecen oscuros en bandas de infrarrojo medio y cercano (Yan & Qi, 2012). Estos estudios proporcionan una estimación confiable de la fluctuación del lago en niveles y áreas de agua, que es de gran importancia para la gestión de los recursos hídricos bajo antecedentes del cambio climático.

Por otro lado, los datos de teledetección pueden ser integrados con Sistemas de Información Geográfica (SIG) que son una herramienta esencial para analizar y extraer información más confiable y consistente mediante el uso de imágenes de satélite como datos base. En el mundo y nuestro país, los SIG se ha convertido rápidamente en una tecnología importante que se usa ampliamente en muchos campos. Sin embargo, la elección de datos o insumos detectados remotamente para la observación de este cuerpo hídrico es un compromiso entre frecuencia temporal y resolución espacial. En este caso utilizaremos imágenes Landsat 5 del año 1989, Landsat 7 del año 2001 y Sentinel 2A del 2018.

III. ÁREA DE ESTUDIO

El lago de Tota está situado en un área interandina de la cordillera oriental en el límite superior de la zona térmica fría (3015 m.s.n.m), entre las coordenadas 5° 28' 13"- 5° 39' 14" latitud norte y 72° 50' 38"-73°00'00" longitud oeste. Tiene 13 km de largo, 8 km de ancho y un perímetro de 49 km., separado por una cadena de montañas que van desde el sur hasta el noroeste y conforman las penínsulas de Daitó y Susacá, y las Islas San Pedro y Cerro Chino (ver ilustración 1). (MORALES, 2016)

Este lago hace parte geográficamente de tres municipios, Aquitania, con el 72% del área de la cuenca, Tota y Cuítiva en el área restante, cada uno con sus cabeceras municipales cuyos acueductos se surten de esta cuenca. La cuenca del Lago de Tota tiene un área de 22.375 has, conformados por 23 subcuencas. El Lago tiene una superficie de 5.596 has, con una capacidad de almacenamiento de 1.920 millones de metros cúbicos. (Durana, 2004)

El lago está situado en el límite superior de la zona térmica fría; con una temperatura media mensual que oscila entre 9,9 °C y 11.7 °C y la mínima y máxima registradas son de 0.6 °C y 22.5 °C respectivamente.. Cuenta con un complejo insular compuesto por tres islas destacándose la Isla San Pedro de 40 has de extensión y se encuentra rodeado por los páramos de Las Alfombras, Suse, Hirva, Tobal, Curies, Pozos y Hatolaguna, entre otros. El Lago de Tota es la reserva del 13,55% del agua a nivel nacional y es una de las principales cuencas hidrográficas en la región; sus características constituyen un valor ambiental y económico a nivel regional y nacional, pues representa el abastecimiento de agua para consumo humano de 250.000 habitantes, aproximadamente el 20% del total de la población del departamento de Boyacá. (Sostenible, 2014)

LAGO DE TOTA - BOYACÁ

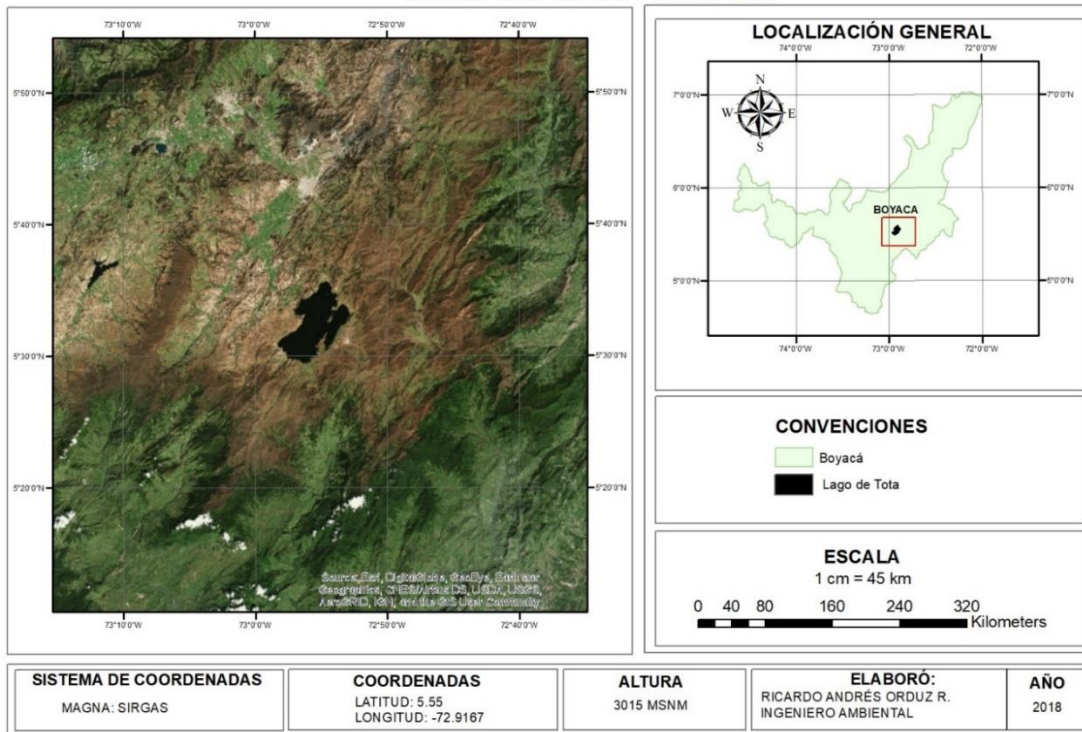


Ilustración 1. Localización general – Lago de tota

Fuente: Elaboración propia

IV. METODOLOGÍA

A continuación, se presentan las principales actividades para llevar a cabo este proyecto:

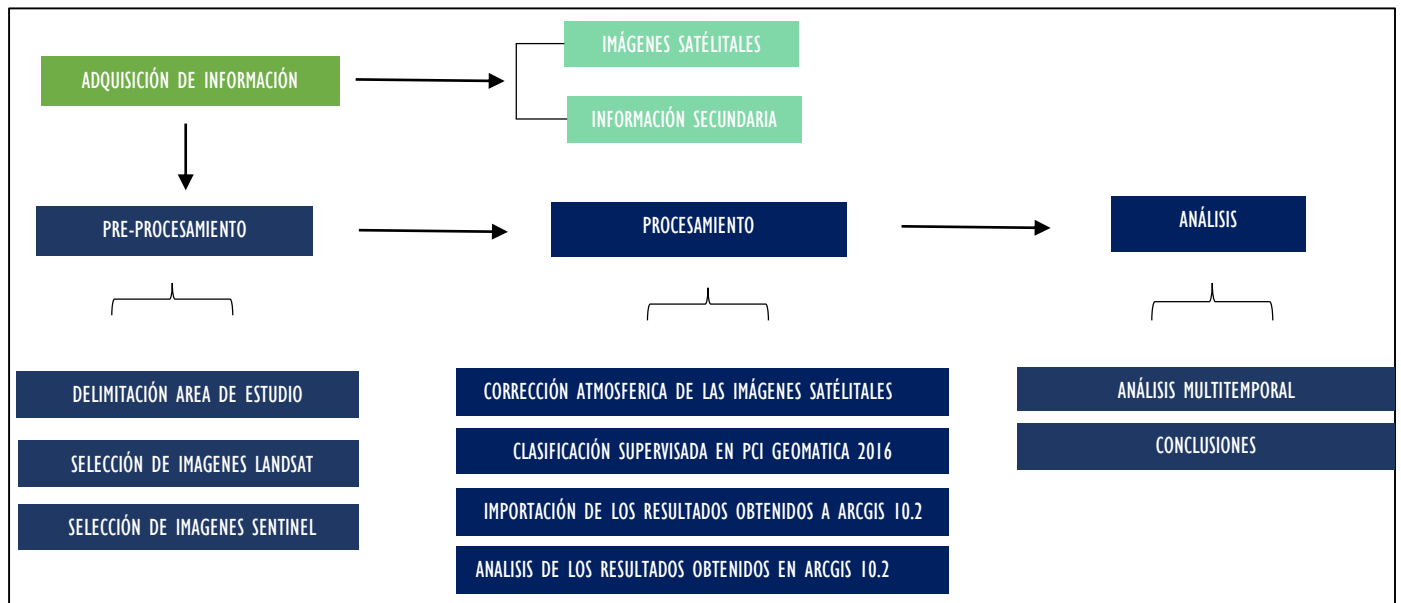


Ilustración 2. Gráfico metodológico

Fuente: Elaboración propia

ADQUISICIÓN DE INFORMACIÓN.

Las imágenes satelitales para el estudio multitemporal del lago de Tota de los años: 1989, 2001 y 2018 fueron descargadas del Servicio Geológico de los Estados Unidos USGS. Las cuales fueron escogidas después de hacer varios filtros con el fin de escoger la mejor imagen. En la tabla 1 se relacionan las imágenes que fueron descargadas y procesadas para concluir la presente investigación:



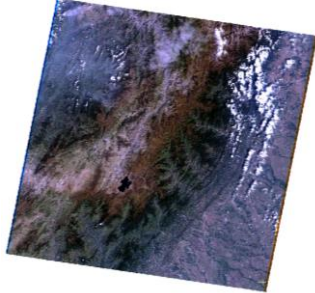
| SATÉLITE | SENTINEL-2A | LANDSAT_7 | LANDSAT_5 |
|------------------|---|---|---|
| FECHA | 2018-03-17T15:25:56.022Z | 2001-01-30T14:56:39.887465Z | 1989-12-23T14:29:23.433081Z |
| NOMBRE DE IMAGEN | L1C_T18NYM_A014279_20180317T151700 | LE07_L1TP_007056_20010130_20170207_01_T1_ANG | LT05_L1TP_007056_19891223_20170201_01_T1_ANG |
| SENSOR | INS-NOBS | ETM | TM |
| VISTA PREVIA |  |  |  |

Tabla 1: Descripción de imágenes
Fuente: Elaboración propia

CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES

Clasificación supervisada. Se basa en la disponibilidad de áreas de entrenamiento, se trata de áreas de las que se conoce a priori la clase a la que pertenecen y que servirán para generar una signatura espectral característica de cada una de las clases. Se denominan clases informacionales en contraposición a las clases espectrales que genera la clasificación no supervisada. Las áreas de entrenamiento deben ser lo más homogéneas posibles y en las que sepamos lo que había el día que se tomó la imagen. Por ello esta operación se realiza el mismo día en el que el satélite toma la imagen y luego se compra esta. Otra posibilidad es utilizar fotografía aérea o información de otro tipo. . (Clasificación , s.f.)

Clasificación no supervisada. Se utilizan algoritmos de clasificación automática multivariante en los que los individuos más próximos se van agrupando formando clases. Uno de los más habituales en teledetección es el clustering jerárquico. Este consta de N pasos siendo N el número total de individuos a clasificar. En cada paso se identifican los dos individuos más similares (próximos), se hace una clase con ellos y se sustituyen por el centroide de la clase resultante. De este modo cada paso analiza un individuo menos que el anterior ya que los individuos van siendo sustituidos por clases. El proceso se detiene cuando se ha alcanzado un número de clases igual al número de clases que había sido

establecido a priori o cuando se ha alcanzado un umbral de distancia entre clases por encima del cual no debe continuarse. (Clasificación , s.f.)

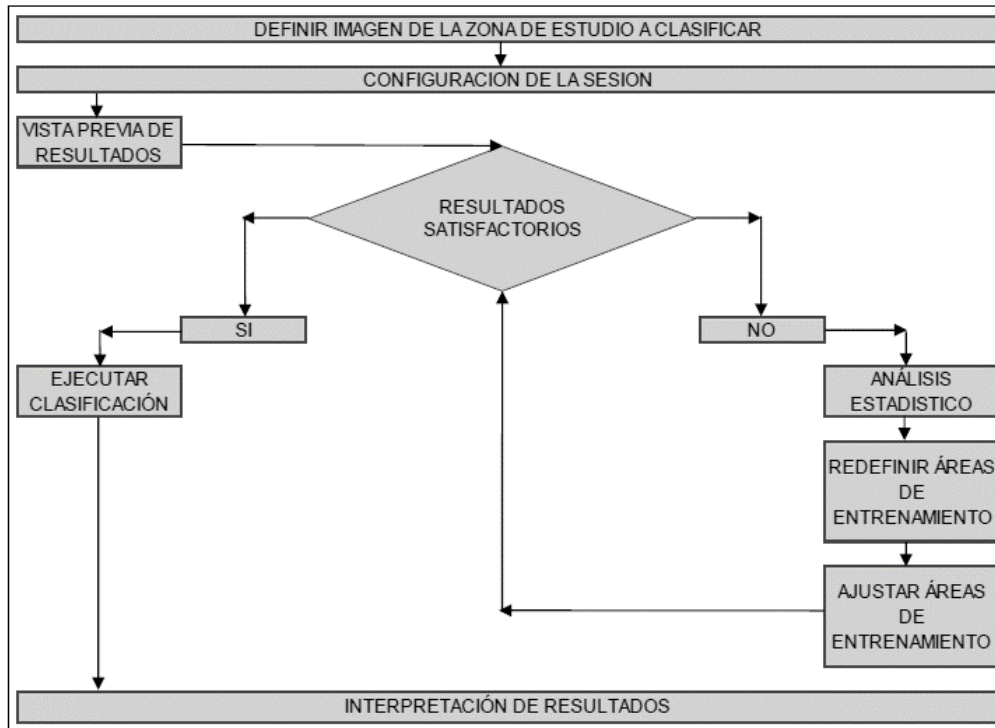


Ilustración 3. Procedimiento específico de una clasificación supervisada

Fuente: ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL GLACIAR DEL VOLCÁN NEVADO DE SANTA ISABEL (MOSCOSO, 2017)

SELECCIÓN DE IMÁGENES

Los requerimientos mínimos que debe cumplir una imagen óptima para su adecuado procesamiento son:

- Fecha de toma o captura: para estos estudios multitemporales es conveniente trabajar o procesar imágenes de la misma época del año, preferiblemente cuando hay tiempo seco.
- Inclusión de las bandas del espectro electromagnético necesitadas según la composición RGB que se desee trabajar
- El cubrimiento de nubes no debe ser mayor al 20% de la imagen, o no deben cubrir la zona de estudio
- Las imágenes descargadas deben contener metadatos

COMBINACIÓN DE BANDAS RGB

La combinación de bandas espectrales en las imágenes satelitales nos ayudan a analizar elementos específicos de la superficie terrestre gracias a las distintas funciones que caracteriza a cada una de estas bandas, gracias a las combinaciones RGB de las bandas multispectrales logramos interpretar aspectos como índices de vegetación, usos de suelo, masas de agua u otras clasificaciones de nuestras imágenes satelitales. En la tabla 2 se muestran las combinaciones RGB utilizadas para nuestro estudio del Lago de Tota según el tipo de sensor utilizado (Landsat y Sentinel 2A) y en la ilustración 4 se evidencia el resultado de esta combinación.

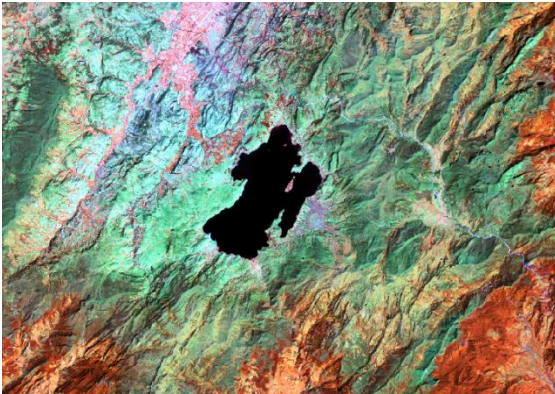
| Sensor | Banda 1 | Banda 2 | Banda 3 |
|---------------------|---------------------------------------|--------------------------------|---------|
| Landsat 5 | B4 Infrarrojo cercano NIR | B5 Infrarrojo medio SWIR | B3 Rojo |
| Landsat 7 | B4 Infrarrojo cercano NIR | B5 Infrarrojo medio SWIR | B3 Rojo |
| Sentinel 2 A | B8a Visible e infrarrojo cercano VNIR | B11 Onda corta infrarroja SWIR | B4 Rojo |

*Tabla 2. Combinaciones RGB
Fuente: Elaboración propia*

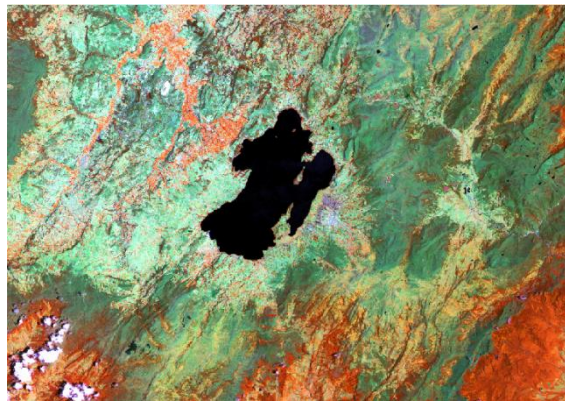
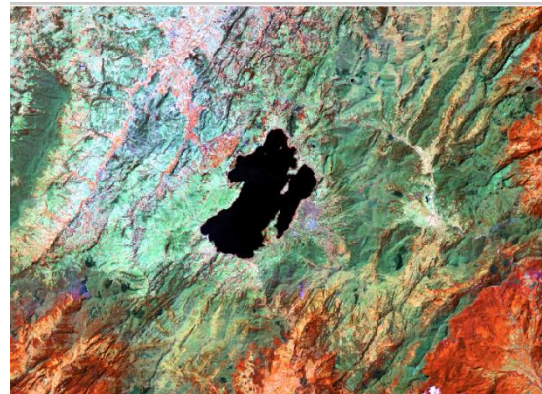
Estas combinaciones utilizadas Realzan con gran detalle los límites entre agua y tierra, Los diferentes tipos de vegetación se muestran en colores marrones, verdes y naranjas.

Realza las diferencias de humedad en el suelo y es usada para el análisis de humedad en el suelo y vegetación. Generalmente el suelo húmedo aparece más oscuro. (Fernandez, 2001)

LANDSAT 5. COMBINACIÓN RGB 4, 5, 3.



LANDSAT 7. COMBINACIÓN RGB 4, 5, 3.



SENTINEL 2A. COMBINACIÓN RGB 8A, 11, 4.

Ilustración 4. Combinaciones RGB
Fuente: Autor

CLASIFICACIÓN SUPERVISADA DE LANDSAT 5 – 1989 Y LANDSAT 7 - 2001.

Para realizar esta clasificación a las imágenes Landsat se siguió el procedimiento específico de una clasificación supervisada, (ver Ilustración 3). Donde se empleó el software PCI Geomática en el modo *focus*. Allí se utilizó la herramienta *image classification* y luego la opción *supervised*. Allí se deben crear dos canales nuevos a cada imagen donde quedaran almacenados los datos de *training áreas* y los resultados del algoritmo de *minimum distance*. Como se mencionó anteriormente se utilizó la combinación RGB 4,5,3.

CLASIFICACIÓN SUPERVISADA DE SENTINEL 2A

Para realizar la clasificación de esta imagen, se procedió a cargar las bandas necesarias de la imagen con la herramienta *utility* y *transfer layers*, donde se cargaron y combinaron las bandas 8a, 11, 4. Después de ello se siguió el procedimiento específico de una clasificación supervisada (ver Ilustración 3).

CONVERSIÓN A POLIGONOS.

Después de la clasificación de las imágenes se procede a convertir el raster a polígono utilizando el algoritmo *RAS2POLY* ubicado en la librería de algoritmos (ver ilustración 5), las clasificaciones obtenidas para el Lago de Tota para los años 1989, 2001 y 2018 en el software PCI GEOMÁTICA, se importan en ArcMap 10.2 con el fin de realizar el análisis geométrico del área, perímetro y realizar sus respectivas salidas gráficas.



Ilustración 5. Ventana del algoritmo RAS2POLY

Fuente: Autor

V. **RESULTADOS**

ESTUDIO MULTITEMPORAL DEL LAGO DE TOTA 1989, 2001 Y 2018

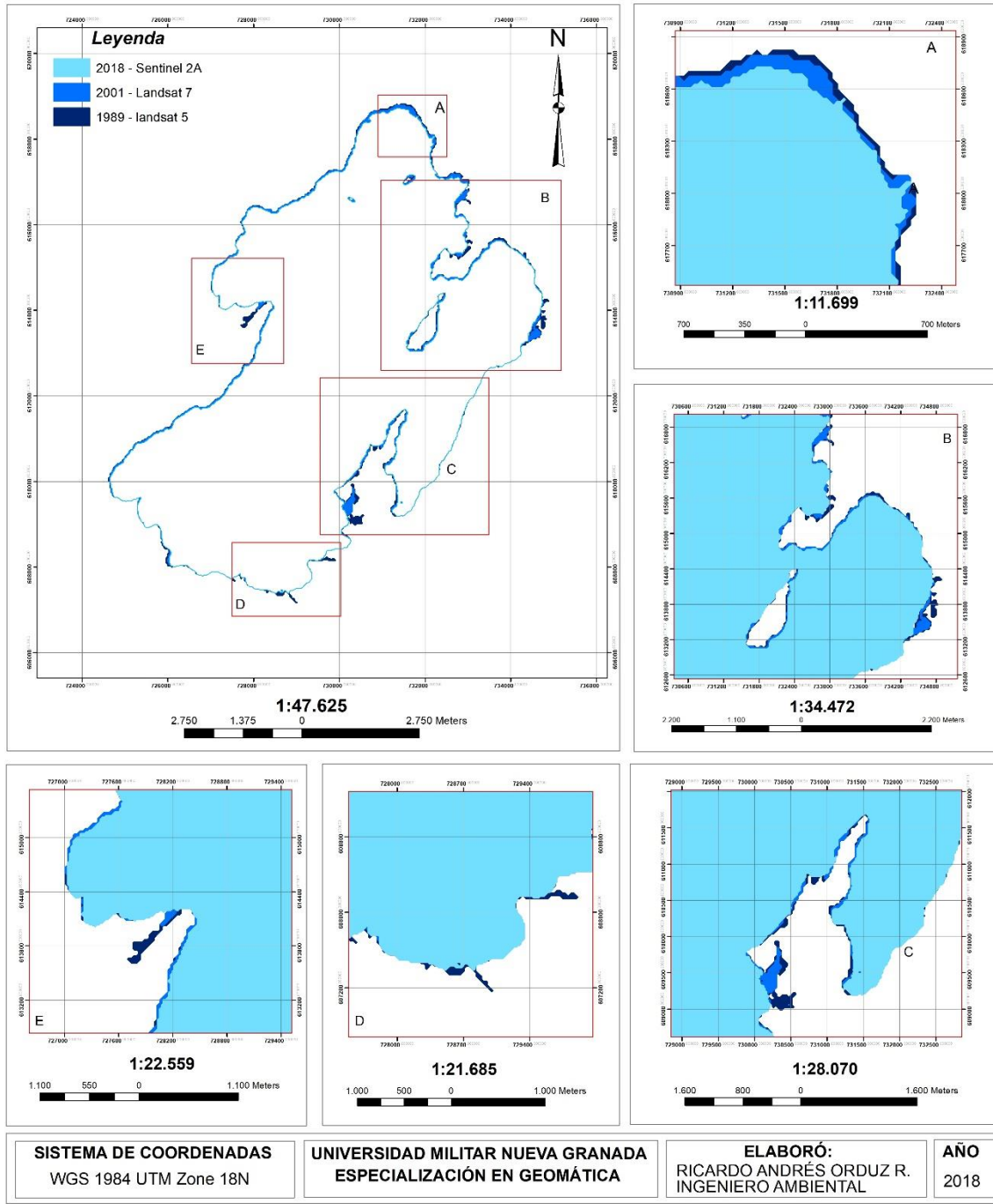
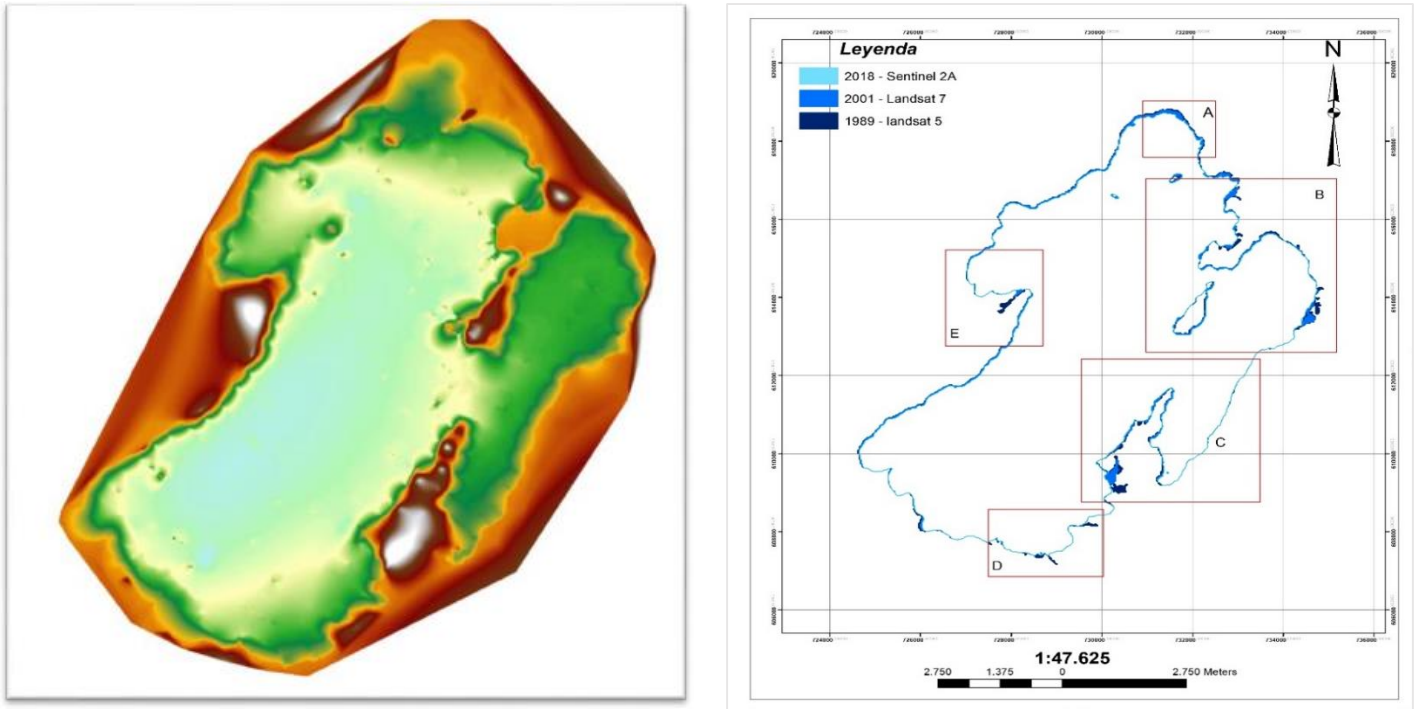


Ilustración 6. Salida gráfica de los polígonos del lago de tota para las imágenes de 1989, 2001 y 2018

Fuente: Autor



*Ilustración 7. Comparación del Modelo De Elevación Digital Del Lago De Tota y resultados obtenidos.
Fuente: Batimetría Lago de Tota IDEAM y Autor*

La mayor disminución del cuerpo hídrico se presenta al Este del Lago de Tota, más precisamente en el Municipio de Aquitania como se puede observar en la ilustración 7

Se evidencia la disminución del cuerpo hídrico del lago de Tota en un periodo de 29 años a partir del año 1989, donde podemos ver que el lago ha ido perdiendo área y perímetro a través del tiempo; en la tabla 3, podemos observar los valores obtenidos en el estudio multitemporal.

| AÑO | AREA (km ²) | PERÍMETRO (m) | ÁREA DE DIFERENCIA RESPECTO AL AÑO 1989. (km ²) | PERÍMETRO DE DIFERENCIA RESPECTO AL AÑO 1989. (m) |
|------|-------------------------|---------------|---|---|
| 1989 | 56,46 | 66.313,99 | - | - |
| 2001 | 55,52 | 60.910,76 | 0,941 | 5.403,20 |
| 2018 | 54,96 | 57.693,29 | 1,50 | 8.620,70 |

Tabla 3. Resultados obtenidos del Área y perímetro del lago de Tota en el estudio multitemporal
Fuente: Elaboración propia

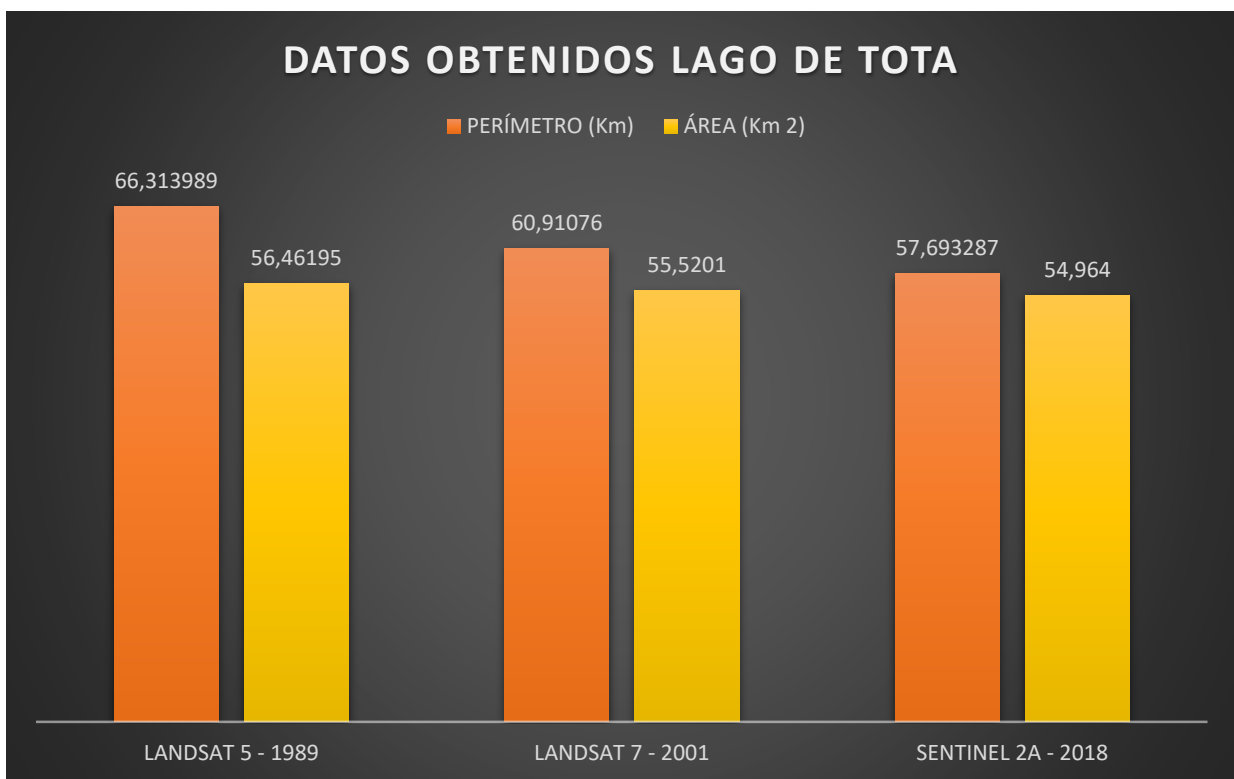


Ilustración 8. Salida grafica de los polígonos del lago de tota para las imágenes de 1989, 2001 y 2018
Fuente: Autor

VI. **CONCLUSIONES**

A partir de los resultados obtenidos en la primera imagen tomada en diciembre de 1989, se determinó que el área del espejo del lago era de 56,461 km²; en enero de 2001 el área del lago ha disminuido a 55,520 km² y en la imagen número tres tomada en marzo de 2018 el área es de 54,96 km² es decir una disminución de 1,497 km² lo que equivale al **2,65%** del área inicial (1989) del cuerpo lagunar.

Las zonas más bajas del lago de tota están ubicadas en el municipio de Aquitania, por ende la disminución del espejo de agua se ve afectada en estas zonas.

La cuenca del Lago de Tota proporciona gran variedad de bienes y servicios ecosistémicos representados principalmente en la provisión de agua y alimentos y en el desarrollo de actividades económicas y turísticas de la región. Las principales causas asociadas al cambio del nivel del agua son la descarga de sedimentos orgánicos e inorgánicos de los centros poblados de Cúitiva, Aquitania y Tota que aceleran el proceso de eutrofización del lago, lo que propicia la disminución en el almacenamiento de agua por procesos de sedimentación, disminución de oxígeno disuelto y la pérdida de espejo de agua.

La ampliación de la frontera agrícola en zonas de paramo, la ganadería extensiva, la ocupación de las rondas hídricas para usos agrícolas, generan pérdida de biodiversidad, deterioro de ecosistemas estratégicos y la alteración a la dinámica natural del lago.

Además la gran demanda del recurso hídrico de los grandes centros poblados como Sogamoso, Nobsa, Tibasosa, Firavitova, Iza, Pesca, Cúitiva, Tota y Aquitania, población que representa a aproximadamente el 20% del departamento de Boyacá que extrae aproximadamente 1.600 L/s del Lago de Tota. (MADS, 2013). Las industrias no ayuda mucho a que el lago pueda recargarse rápidamente puesto que Acerías Paz del Rio capta 7.675m³/ día, lo que equivale a 88,83 L/s, Cementos Argos 2,71 L/s, los distritos de riego 167L/s. (Universidad Santo Tomás, 2012).

El uso de herramientas de percepción remota y de Sistemas de Información Geográfica permiten la cuantificación del decrecimiento actual del Lago de Tota en un periodo de 29 años a partir de 1989. Los datos obtenidos con los software PCI GEOMÁTICA y ArcMap, ofrecen información bastante precisa para este tipo de estudios, esta precisión depende de la calidad de imagen satelital.

Bibliografía

- Alsdorf, D., Rodriguez, E., & Lettenmaier, D. (2007). *Measuring surface water from space. Rev. Geophys.* .
- Bai, J., Chen, X., Li, J., Yang, L., & Fang, H. (2011). *Changes in the area of inland lakes in arid regions of central Asia during the past 30 years* .
- Clasificación . (s.f.). Recuperado el 2018, de <http://www.um.es/geograf/sigmur/teledet/tema09.pdf>
- Durana, C. (2004). *PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA DEL LAGO DE TOTA*. Obtenido de <http://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2015/11/diagnostivo-analisis-economico-diseno-politicas-lago-tota.pdf>
- lagodetota.org*. (s.f.). Recuperado el 20 de 03 de 2018, de <http://lagodetota.org/el-lago-de-tota/7-ubicacion-marco-fisico-espacial-de-la-cuenca-del-lago-de-tota>
- MORALES, C. G. (2016). *IMPACTOS DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y LAS ACTIVIDADES HUMANAS*. Obtenido de <http://peerlagoscolombia.udea.edu.co/lakes/documents/carolina.pdf>
- MOSCOSO, J. A. (2017). ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL GLACIAR DEL VOLCÁN NEVADO DE SANTA ISABEL, LOCALIZADO EN LOS LÍMITES DE LOS DEPARTAMENTOS DE RISARALDA, CALDAS Y TOLIMA ENTRE LOS AÑOS: 1986, 1989 Y 1999.
- Sostenible, M. d. (2014). *MANEJO AMBIENTAL INTEGRAL DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL LAGO DE*. Obtenido de http://www2.igac.gov.co/igac_web/normograma_files/12.%20CONPES%203801%20MANEJO%20AMBIENTAL%20INTEGRAL%20DE%20LA%20CUENCA%20HIDROGRAFICA%20DEL%20LAGO%20DE%20TOTA.pdf
- Sun, F., Sun, W., Chen, J., & Gong, P. (2012). *Comparison and improvement of methods for identifying waterbodies in remotely sensed imagery*.
- Yan, L.-J., & Qi, W. (2012). *Lakes in Tibetan Plateau extraction from remote sensing and their dynamic changes*.
- Zhu, W., Jia, S., & Lv, A. (2014). *Monitoring the fluctuation of Lake Qinghai using multi-source remote sensing data*.