

Análisis del retroceso glaciar del volcán nevado del Ruíz, mediante un estudio multitemporal de imágenes satelitales del periodo 1999-2016

Analysis of the glacier receding of the nevado del Ruíz volcano through a multitemporal study of satellite images of the period 1999-2016

Cristian Salas Pérez¹, & Karol Daniela Duarte Gómez²

Para citar este artículo: Salas-Perez, C. & Duarte-Gómez, K.D. (2018) Análisis del retroceso glaciar del volcán nevado del Ruíz, mediante un estudio multitemporal de imágenes satelitales del periodo 1999-2016. Revista de Topografía Azimut, pp 9-16

Fecha de Recepción: 5 de noviembre de 2017

Fecha de Aceptación: 15 de enero de 2018

Resumen

En este documento se muestra el análisis del comportamiento temporal del glaciar volcán nevado del Ruíz. El trabajo tuvo como propósito realizar una estimación de la pérdida glaciar a partir de la información de las imágenes satelitales de los sensores TM, ETM y OLI, a bordo de los satélites Landsat 5, 7 y 8, de los años 1999, 2002, 2014 y 2016, lo cual permitió abordar el comportamiento de la regresión glaciar en un periodo de 17 años. Mediante el procesamiento digital de imágenes se categorizó las cubiertas de las imágenes satelitales usando el clasificador de mínima distancia y realizando una homogenización radiométrica se generaron imágenes comparables entre sí, la calidad de la clasificación fue validada con el coeficiente Kappa. A partir del área de los cuatro periodos se buscó ajustar la tendencia de deshielo a una regresión que nos permitiera conocer el año de pérdida total del área glaciar.

Palabras clave: clasificación digital, retroceso glaciar, mínima distancia

Abstract

This document shows the analysis of the temporal behavior of the volcan nevado del Ruíz Glacier. The purpose of the work was to estimate the glacier loss from the information of the satellite images of the sensors TM, ETM and OLI, aboard the Landsat 5, 7 and 8 satellites of the years 1999, 2002, 2014 and 2016, which allowed to address the behavior of the glacier regression over a period of 17 years. Through digital image processing, the covers of satellite images were categorized using the minimum distance classifier and by performing a radiometric homogenization, images were generated compared to each other, the quality of the classification It was validated with the Kappa coefficient. From the area of the four periods it was sought to adjust the tendency of thaw to a regression that would allow us to know the year of total loss of the glacier area

Keywords: digital classification, Glacier recoil, minimum distance

¹Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico: csalasp@correo.udistrital.edu.co

²Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico: kdduarte@correo.udistrital.edu.co

INTRODUCCIÓN

Los glaciares ecuatoriales son una rareza, solo tres zonas en el mundo tienen algún remanente, estos están ubicados en África, Suramérica y Nueva Guinea. Los glaciares ecuatoriales son considerados excelentes indicadores de cambio climático por su sensible respuesta a la dinámica atmosférica (Ceballos, 2009), siendo importantes zonas para estudios temporales del clima. La altitud permite la presencia de glaciares en la zona ecuatorial, Colombia y Ecuador cuentan con los glaciares ecuatoriales de mayor área del mundo. En Colombia persisten 45,3 km² de hielo (IDEAM, 2012), con una disminución considerable de área desde hace un siglo, en donde en las últimas décadas se ha hecho más visible la reducción, hecho que amenaza con la desaparición de los glaciares.

La pérdida de área glaciar está asociada al aumento de temperatura, consecuencia de los gases de efecto invernadero; sin embargo, los controles climáticos que influyen en sus fluctuaciones no se entienden completamente (Kelly, y otros, 2015).

Este trabajo tiene como objetivo analizar temporalmente el comportamiento del área glaciar del volcán nevado del Ruíz, mediante una clasificación supervisada de cuatro imágenes de un periodo de 17 años, buscando determinar según el comportamiento actual en qué año desaparecerá el área glaciar.

Área de estudio

El volcán nevado del Ruíz se ubica en la cordillera central, en las coordenadas geográficas 4° 53' N y 75° 19' W, se encuentra en jurisdicción de los departamentos de Tolima y Caldas, con una altura máxima de 5321 m.s.n.m., con un cráter activo y un volumen de hielo entre 1200 a 1500 millones de metros, según datos del IDEAM (2012). Se reconoce, también, como un estratovolcán

activo.

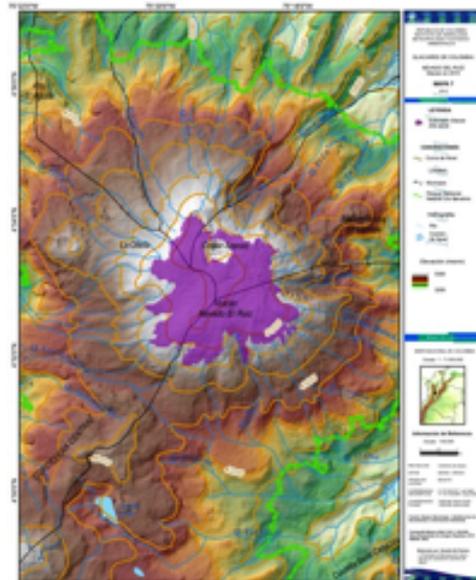


Figura 1: Volcán nevado del Ruíz

Fuente: IDEAM (2012).

Marco teórico

A partir de la clasificación digital se busca generar una cartografía e inventario del fenómeno de estudio, asignando a una categoría a cada cubierta, usando una imagen multibanda; al terminar el proceso, el *nivel digital* de un píxel clasificado será el identificador de una clase (Chuvienco, Digital Image Classification, 2016).

La clasificación digital se realiza con imágenes multiespectrales; puede ser supervisada o no, y la calidad de los resultados se juzga a partir del coeficiente kappa (Jog & Dixit, 2016). Una diferencia fundamental entre los dos tipos de clasificación es que en la no supervisada el analista define el número de clases y posteriormente las interpreta. En la supervisada el analista interpreta y selecciona las clases.

La clasificación de imágenes satelitales nos permite estudiar de forma multitemporal los cambios en las cubiertas terrestres, esta

es una de las aplicaciones más importantes que brinda la teledetección, en campos como la agricultura o estudios de impacto ambiental. La detección de cambios implica la cuantificación de los efectos temporales y la evaluación de la exactitud de los resultados (Kotkar & Jadhav, 2015).

La clasificación por mínima distancia asigna una de las categorías a clasificar a un píxel incluyéndolo en la más cercana, minimizando la distancia espectral entre el píxel y el centroide de la clase (Chuvioco, Digital Image Classification, 2016). La ventaja de este clasificador está en su sencillez y fácil ejecución; su calidad dependerá de no sobreponer las categorías, pero una de las desventajas es que no deja píxeles sin clasificar, aunque estos estén alejados del centroide de la clase, causando errores considerables en la clasificación.

Técnicas de detección de cambio

La detección de cambio de la cubierta terrestre es una tarea de gran importancia, desde la perspectiva de monitoreo de los recursos naturales, gestión de desastres naturales y planificación ambiental (Khan, He, Porikli, & Bennamoun, 2017) En la teledetección, la detección de cambios se aplica al análisis de suelos, estudios de cubierta, deforestación de bosques o vigilancia de inundaciones. En los últimos años se ha saltado de la experiencia del analista para clasificar a métodos automatizados de detección de cambios (Bhatt, Ghosh y Kumar, 2015), aplicando un algoritmo de aprendizaje automático, aunque estas técnicas sean automatizadas no se podrá descartar la habilidad del analista y su importancia para este tipo de trabajos.

Los métodos en teledetección se estructuran en una serie de ajustes radiométricos, geométricos, aplicación de procesos de clasificación, evaluación y edición (Fernández,

2017). Para este tipo de estudios es necesario establecer dos criterios importantes para lograr un resultado óptimo: el primero se basa en elegir la técnica adecuada que permita detectar y analizar el cambio; el segundo y muy importante es definir la temporalidad de la información.

Imágenes satelitales

Las imágenes satelitales fueron obtenidas de Earth Explorer del USGS (United States Geological Survey). Se descargaron cuatro imágenes de los sensores TM, ETM y OLI de los satélites Landsat 5, 7 y 8, lastimosamente no fue posible obtener información de algunos años por daño del sensor ETM a partir de 2003 y por exceso de nubosidad.

Homogenización de imágenes

Con el fin hacer comparable la información de las imágenes para un estudio de cambios de cubiertas, fue necesario hacer la corrección atmosférica, la cual fue realizada en PCI Geomatics. Es preciso homogenizar los *niveles digitales* convirtiéndolos en medidas de reflectividad.

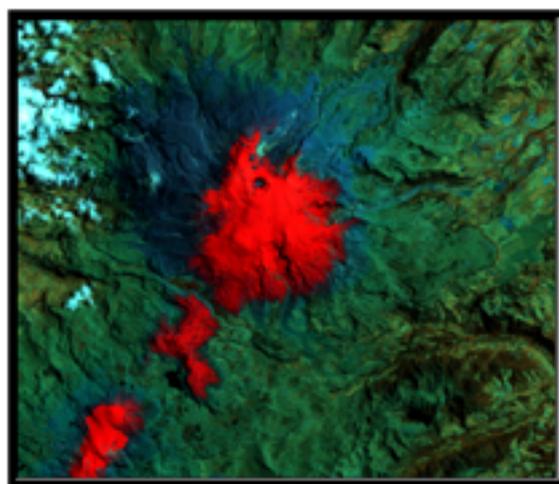


Figura 2: Imagen Landsat 5 1999 RGB (4,5,7) (área glaciar)

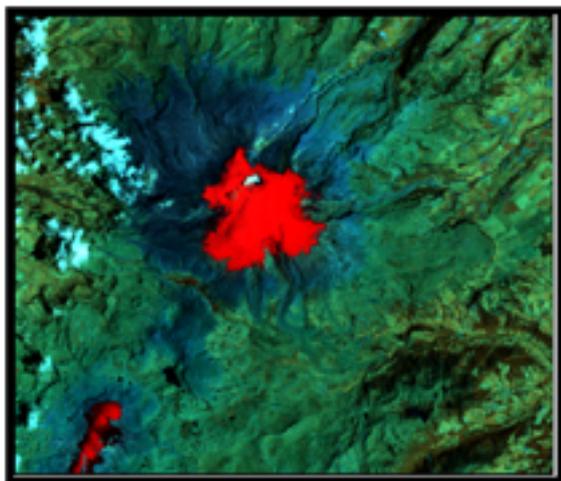


Figura 3: Imagen Landsat 7 2002 RGB (4,5,7) (área glaciar)

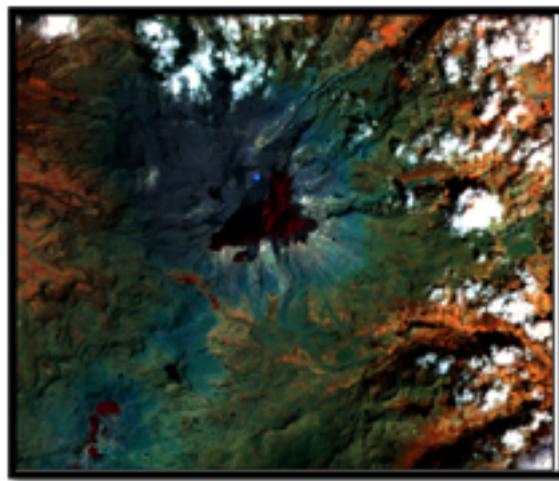


Figura 5: Imagen Landsat 8 2016 RGB (4,6,7) (área glaciar)

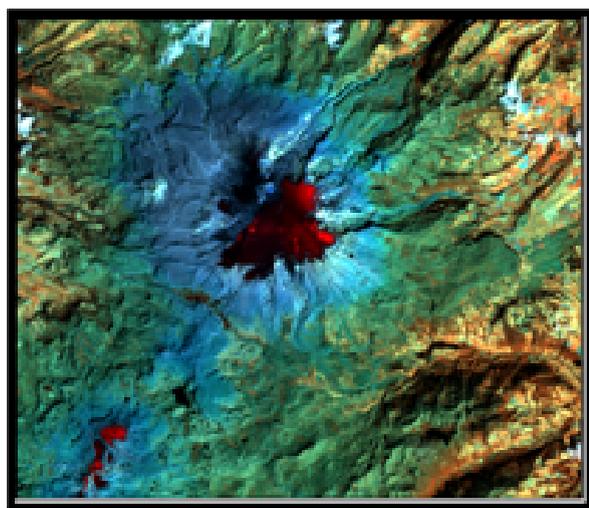


Figura 4: Imagen Landsat 8 2014 RGB (4,6,7) (área glaciar)

Clasificación por mínima distancia

La clasificación por mínima distancia consiste en la determinación de las medias de cada clase y la asignación se realiza hacia la clase con menor distancia. Algunos de los píxeles quedarán sin clasificar si se introduce una distancia máxima o una desviación estándar máxima (Chuvieco, Análisis digital de imágenes: Extracción de información temática, 2010).

Usando el clasificador de mínima distancia podemos determinar la media de las clases, el algoritmo buscará clasificar cada pixel no identificado en la clase con la media más cercana (Teledet, 2016).

Tabla 1: Información de las imágenes satelitales

SATELITE/SENSOR	FECHA	RESOLUCIÓN
LANDSAT 5 - TM	10/07/1999	30 METROS
LANDSAT 7 - ETM	14/10/2002	30 METROS
LANDSAT 8 - OLI	26/12/2014	30 METROS
LANDSAT 8 - OLI	8/07/2016	30 METROS

Clasificación por mínima distancia

La clasificación por mínima distancia consiste en la determinación de las medias de cada clase y la asignación se realiza hacia la clase con menor distancia. Algunos de los píxeles quedarán sin clasificar si se introduce una distancia máxima o una desviación estándar máxima (Chuvieco, Análisis digital de imágenes: Extracción de información temática, 2010).

Usando el clasificador de mínima distancia podemos determinar la media de las clases, el algoritmo buscará clasificar cada pixel no identificado en la clase con la media más

cercana (Teledet, 2016).

CLASIFICACIÓN SUPERVISADA

Para esta clasificación se identificaron ocho tipos de cubiertas, dándole mayor relevancia a la cubierta *área glaciar*. Ya que en esta cubierta está basado este estudio, usando la combinación de bandas RGB (NIR, SWIR-1, SWIR-2) se discrimina muy bien el área glaciar, diferenciado la cubierta área glaciar de la cubierta nubes.

Tabla 2: Categorías clasificadas

1	Area Glaciar	
2	Afloramientos Rocosos	■
3	Bosques	■
4	Cuerpos de agua	■
5	Nubes	■
6	Herbazal	■
7	Suelos	■
8	Nivales	■

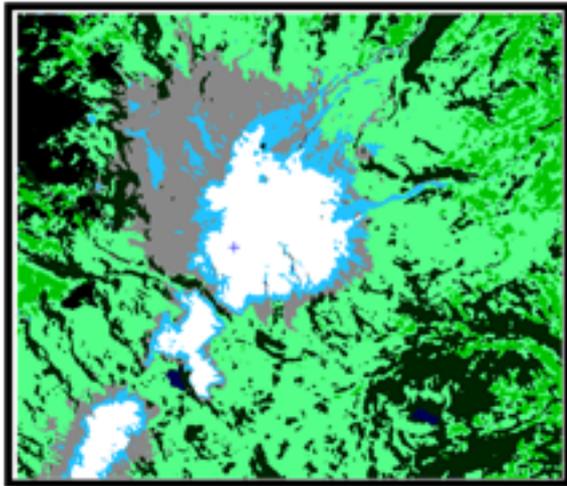


Figura 6: Resultado de la clasificación año 1999

Al definir las áreas de entrenamiento se corre el algoritmo de clasificación supervisada, en este ejercicio se usa el clasificador de *mínima distancia*, ya que es el que entrega mejores

resultados para este tipo de cubiertas. Al obtener las imágenes clasificadas se adelanta un proceso arduo de reclasificación de cubiertas, usando mascarar para evitar errores temáticos, además de un filtro modal 3X3 para darle un aspecto temático a la imagen y así eliminar el ruido de la imagen.

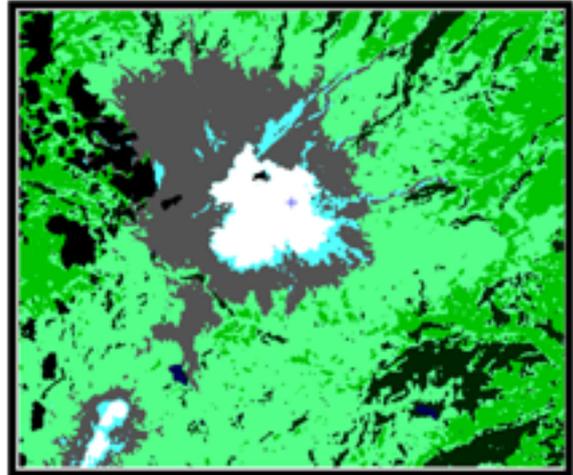


Figura 7: Resultado de la clasificación año 2002

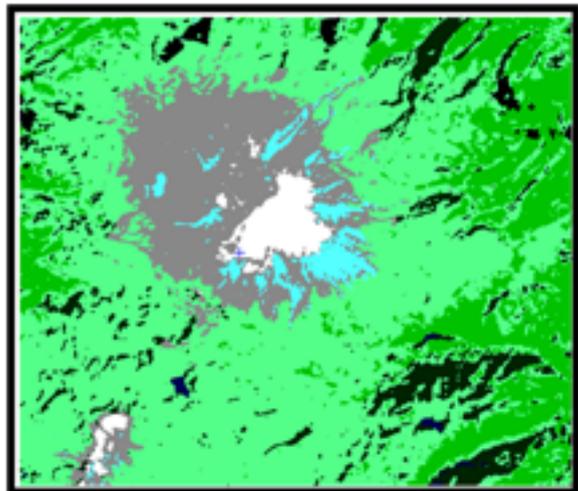


Figura 8: Resultado de la clasificación año 2014

Con el objetivo de evaluar la precisión de la clasificación se tomaron 200 puntos aleatorios, para cada imagen; a través de la verificación de exactitud temática, se obtuvo el coeficiente

kappa para cada imagen clasificada.

Tabla 3: Categorías clasificadas

Clasificación	Kappa
1999	0.96230
2002	0.92501
2014	0.93567
2016	0.90641

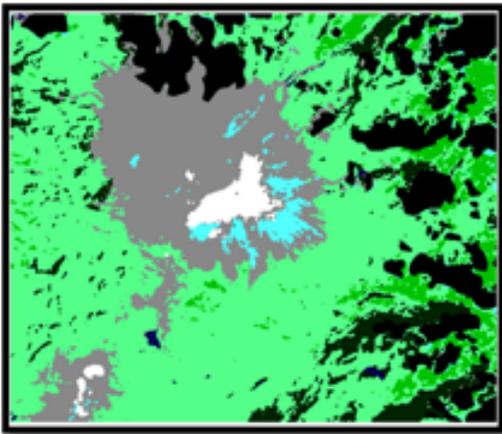


Figura 9: Resultado de la clasificación año 2016

ÁREA GLACIAR

Para obtener el área glaciar, la imagen tipo *raster* clasificada, fue necesario convertir el formato tiff a uno tipo vector.

Tabla 4: Categorías clasificadas

AÑOS	ÁREA (Km ²)
1999	26,4843
2002	12,348
2014	8,0118
2016	5,7222

Resultados

Se realizó una regresión lineal con los datos del área glaciar, pero este ejercicio arrojó un coeficiente muy bajo; según la ecuación lineal,

para el año 2021 no habrá área glaciar en el nevado del Ruíz. Por otro lado, la regresión cúbica da un coeficiente más exacto, según esta ecuación, para el año 2027 no quedará área glaciar en el nevado.

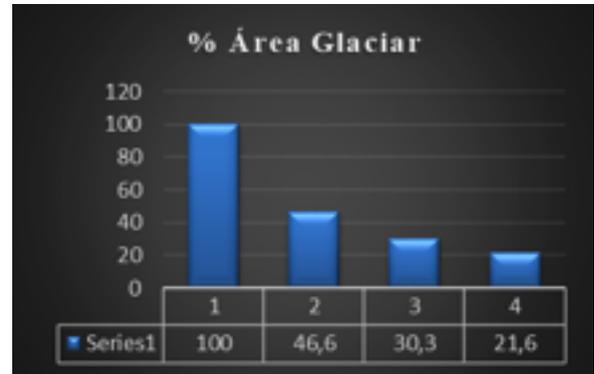


Gráfico 1: Perdida de área glaciar en 17 años

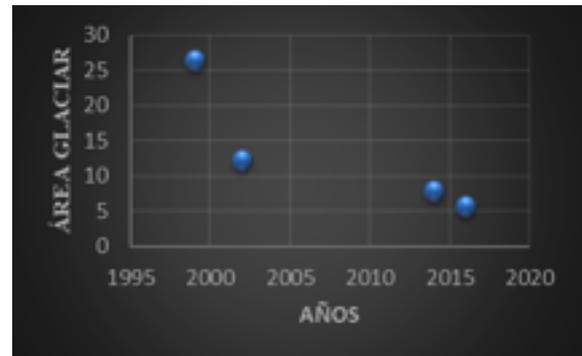


Gráfico 2: Comportamiento del área glaciar en 17 años

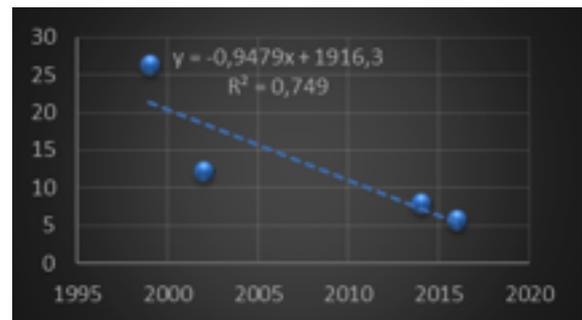


Gráfico 3: Regresión lineal (Área glaciar VS Año)

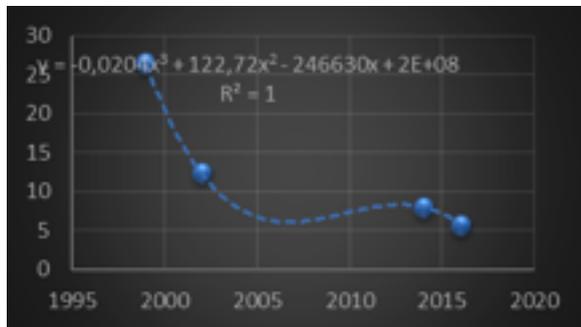


Gráfico 4: Regresión Cúbica (Área glaciar VS Año)

Tabla 5: Porcentaje y área glaciar

	AÑOS	ÁREA (Km ²)	% DE ÁREA GLACIAR
1	1999	26,4843	100
2	2002	12,348	46,6
3	2014	8,0118	30,3
4	2016	5,722	21,6

Conclusiones

- Las diferencias o ratios entre las imágenes permitían observar la diferencia entre imágenes en cuanto al retroceso de área glaciar.
- Se evidencia un retroceso glaciar acelerado en los últimos años, teniendo una cierta relación con el aumento de temperatura a nivel global.
- La regresión cúbica muestra que el glaciar desaparecerá en el año 2027.
- Es importante tener en cuenta la actividad volcánica en el nevado, ya que producto de esta el nevado puede perder temporalmente gran parte de su área glaciar, una imagen de un periodo como este no resulta válida para su clasificación.
- La falta de imágenes entre el 2005 y 2010 evitó realizar una mejor regresión.

- Se evidencia que cómo en este y otros trabajos similares no se tiene en cuenta el fenómeno de El Niño, además no se estudian los ciclos de temperatura que puede haber a lo largo del año, realizando esto se lograría estudiar con mayor precisión los cambios en el glaciar.
- Los resultados son cercanos a los del IDEAM, pero es importante desarrollar políticas ambientales a partir de estos trabajos que permitan mermar la pérdida de nuestros recursos naturales, así mismo buscar generar impacto social desde la investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bhatt, A., Ghosh, S. K., & Kumar, A. (2015). Automated Change Detection in Satellite Images Using Machine Learning Algorithms for Delhi, India. IEEE, 1678.
- Ceballos, L. J. (2009). Manifestación de cambio climático - Los glaciares de Colombia. La Tadeo, 175.
- Chuvieco, E. (2016). Digital Image Processing: Generation of Derived Variables. In E. Chuvieco, Fundamentals Satellite Remote Sensing: An Environmental Approach (p. 314). New York: Taylor & Francis Group.
- Chuvieco, E. (2010). Análisis digital de imágenes: Extracción de información temática. In E. Chuvieco, Teledetección ambiental: La observación de la tierra desde el espacio (p. 404). Barcelona: Ariel.
- Chuvieco, E. (2010). Análisis digital de imágenes: Extracción de información temática. In E. Chuvieco, Teledetección

- Ambiental (p. 438). Barcelona: Ariel.
- Chuvieco, E. (2016). Digital Image Classification. In E. Chuvieco, *Fundamentals of Satellite Remote Sensing: An Environmental Approach* (p. 314). New Taylor & Francis Group.
- Fernández, L. Á. (2017, 9 6). Universitat Politècnica de València. Retrieved from *Métodos de detección de cambios en teledetección* : <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/83139/Ruiz%20-%20M%C3%A9todos%20de%20detecci%C3%B3n%20de%20cambios%20en%20teledetecci%C3%B3n.pdf?squence=1&isAllowed=y>
- IDEAM. (2012). *Glaciares de Colombia: Más que montañas con hielo*. Bogotá: IDEAM.
- Jog, S., & Dixit, M. (2016). Supervised Classification of Satellite Images. *Advances in Signal Processing (CASP)* (p. 93). Pune, India : IEEE.
- Kelly, M. A., Russell, J. M., Baber, M. B., Howley, J. A., Loomis, S. E., Zimmerman, S., . . . Lukaye, J. (2015). Expanded glaciers during a dry and cold Last Glacial Maximum in equatorial East Africa. *Geology*, 519.
- Khan, S. H., He, X., Porikli, F., & Bennamoun, M. (2017). Forest Change Detection in Incomplete Satellite Images With Deep Neural Networks. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 5407.
- Kotkar, S. R., & Jadhav, B. D. (2015). Analysis of Various Change Detection Techniques Using Satellite Images. *Information Processing (ICIP), 2015 International* (p. 664). Pune, India : IEEE.
- Teledet. (2016, August 3). Teledet. Retrieved from *Clasificación supervisada*: <http://www.teledet.com.uy/tutorial-imagenes-satelitales/clasificacion-supervisada.htm>