

# Criterios pictórico-morfológicos para la identificación de movimientos en masa empleando imágenes de muy alta resolución espacial

Pedro Karin Serrato\*

Yesenia Vargas Tejedor\*\*

Cristina Acosta Muñoz\*\*\*

Luis Alexander Vergara Garzón\*\*\*\*

*Recibido el 15 de julio de 2014; aceptado el 23 de octubre de 2014*

## Abstract

Colombia has different geographical, geological or geomorphological, among others, that showing areas of major and minor stability of the earth's surface; where we found areas of high landslide susceptibility of high impact and frequency. In this way, the project began collecting and studying various methodologies for recognized and interpretation landslides; we integrate them with the earth observation technologies, this is used for analysis and generation of pattern from remote sensing images. After evaluating different geodynamic instability areas, the pilot area was delimited in the Antioquia's Department; therefore, we searched inputs used for the analysis, considering use images of medium and high resolution, such as: SPOT 5, RapidEye and Ultracam-Vexcel. Once established pictorial-morphological criteria, were tested, locating and characterizing different types of landslides, in order to evaluate the strengths and needs added for modeling landslides patterns for satellite images and airborne.

Key words: *Landslide, multispectral images, interpretation, patterns, pictorial-morphological criteria.*

\* Ingeniero Agrólogo, especialista en imágenes de sensores remotos y M. Sc. en Geología, correo electrónico: pkserrat@igac.gov.co

\*\* Ingeniera geóloga y candidata a M. Sc. en Geografía, correo electrónico: yesenia.vargas@igac.gov.co

\*\*\* Ingeniera ambiental y especialista en Sistemas de Información Geográfica, correo electrónico: cristina.acosta@igac.gov.co

\*\*\*\* Ingeniero Topográfico y especialista en Geomática, correo electrónico: luisalexander.vergar@igac.gov.co

Centro de Investigación y Desarrollo de Información Geográfica (CIAF), Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Carrera 30 N° 48-51, Edificio CIAF, Bogotá D.C., Colombia.

## Resumo

Colombia tem grande diversidade geográfica, geológica ou geomorfológica, além de outras, apresentando assim zonas de maiores e menores estabilidades da superfície terrestre; por isto achamos que zonas com maiores susceptibilidades á geração de movimientos em massa de grande impacto e frequência. Por isso o projeto inicia recopilando e estudando diversas metodologías para o reconhecimento e interpretação de movimientos em massa; integrando estas pelo medio das tecnologías de observação da terra, as utilizadas para o analise da geração de padrões a partir de imagens de sensores remotos. Depois de valorar distintas áreas de inestabilidade em sua geodinámica externa se delimitou a área piloto no Departamento de Antioquia; assim fizemos a procura de insumos para o analise feito com imagens de meia e altíssima resolução, quanto sao SPOT 5, RapidEye E Ultracam-Vexcel. Uma veis estabelecidos os criterios pictórico-morfológicos se fizeram testes de localização e caracterização diferentes tipos de movimientos em massa, com o fim de avaliar as fortalezas e necesidades demais para o modelamento de padrões de movimento em massa a partir de imagens saltitais e aerotransportadas.

Palavras chave: *Movimentos em massa, imagens multiespectrais, interpretacao, padrões, critérios pictórico-morfológicos.*

## Resumen

Colombia tiene gran diversidad geográfica, geológica o geomorfológica, entre otras, presentando así zonas de mayor y menor estabilidad de la superficie terrestre; es por esto que encontramos zonas alta susceptibilidad a la generación de movimientos en masa de gran impacto y frecuencia. De este modo, el proyecto inicia recopilando y estudiando diversas metodologías para el reconocimiento e interpretación de movimientos en masa; siendo la integración de éstas con el uso de las tecnologías de observación de la Tierra, las utilizadas para el análisis de la generación de patrones a partir de imágenes de sensores remotos. Después de valorar distintas áreas de inestabilidad en su geodinámica externa se delimitó el área piloto en el Departamento de Antioquia; así mismo se realizó la búsqueda insumos a utilizar para el análisis contemplando utilizar imágenes de media y muy alta resolución, como son SPOT 5, RapidEye y Ultracam-Vexcel. Una vez establecidos los criterios pictórico-morfológicos se realizaron pruebas localizando y caracterizando distintos tipos de movimientos en masa, con el fin de evaluar las fortalezas y necesidades añadidas para el modelamiento de patrones de movimientos en masa a partir de imágenes satelitales y aerotransportadas.

Palabras clave: *Movimientos en masa, imágenes multiespectrales, interpretación, patrones, criterios pictórico-morfológicos.*

## Introducción

El estudio de eventos que ocurren como parte de la dinámica externa de la Tierra, son de gran interés, ya que a través de éstos es posible llegar al entendimiento de su actividad y de su medio ambiente desde una visión holística. Este es el caso de los fenómenos movimientos en masa (FRM), ya que suelen ser eventos recurrentes en gran parte de Colombia y que además dejan gran evidencia de su alteración después de un evento. Cuando el área de estudio es de gran extensión y de difícil acceso, las técnicas de campo, a pesar de ser muy precisas y necesarias para la verificación, no son suficientes para el mapeo de movimientos en masa. Es posible la identificación de éstos debido las características superficiales que presentan, permitiendo utilizar para ello técnicas de análisis y procesamiento propios de la percepción remota. Esto es, a partir de la resolución espacial, radiométrica, espectral, temporal o anchos de escena que nos ofrecen este tipo de insumos; como complemento fundamental de las técnicas de campo, ya que es la vista de pájaro la que nos genera mayor información del terreno.

Aunque las técnicas para el mapeo de unidades geomorfológicas y movimientos en masa se basan fundamentalmente en la interpretación visual de imágenes, en los últimos años se han realizado estudios que involucran el procesamiento digital de imágenes, para ayudar en el análisis temático. Es así el caso de entidades y/o centros de investigación tienen amplia experiencia en esta temática como es el International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), y el U.S. Geological Survey (USGS); además, destacan los aportes de Vargas, 1999; Herva's *et al.*, 2003, Barredo, 2000; Metternicht, Hurni y Gogu, 2005; Casson, Delacourt y Allemand, 2005; y Derron y Jaboyedoff, 2010.

En este proyecto se hará uso de imágenes multispectrales provenientes de sensores remotos satelitales y aerotransportados, de media a muy alta resolución espacial; para ello serán establecidos diversos criterios pictórico-morfológicos interpretables, permitiendo así el análisis de los insumos para el reconocimiento de movimientos en masa. Esto aproximará de forma cualitativa la potencialidad de los distintos insumos utilizados para establecer patrones de remoción en masa, reconociendo la fiabilidad del reconocimiento e interpretación de éstos.

## Materiales y métodos

### *Área de estudio*

Se localiza al oriente del Departamento de Antioquia (Colombia), cubriendo un total de 600,000ha y conformado por los municipios de Amalfi, Angostura, Anori, Briceno, Caceres, Campamento, Carolina, Gómez Plata, Guadalupe, Ituango, Remedios, Santa Rosa de Osos, Segovia, Taraza, Valdivia, Vegachi, Yali, Yarumal y Yolombo; así mismo el área corresponde a las planchas 105, 106 y 117 a escala 1:100,000.

### **Definición de tipo de imágenes**

Para este proyecto se realizó una búsqueda de imágenes existentes en el Banco Nacional de Imágenes (BNI) para el área de estudio. De este modo, se obtuvieron imágenes de diferentes sensores remotos como SPOT-5, RapidEye y Vexcel-Ultracam; de los que a continuación se describen sus características generales.

**Tabla 1**  
**Síntesis de las características de imágenes ópticas existentes en el Banco Nacional de Imágenes y que pueden ser utilizadas para la generación de mapas temáticos de geomorfología y mapeo de movimientos en masa a escala 1:25.000**

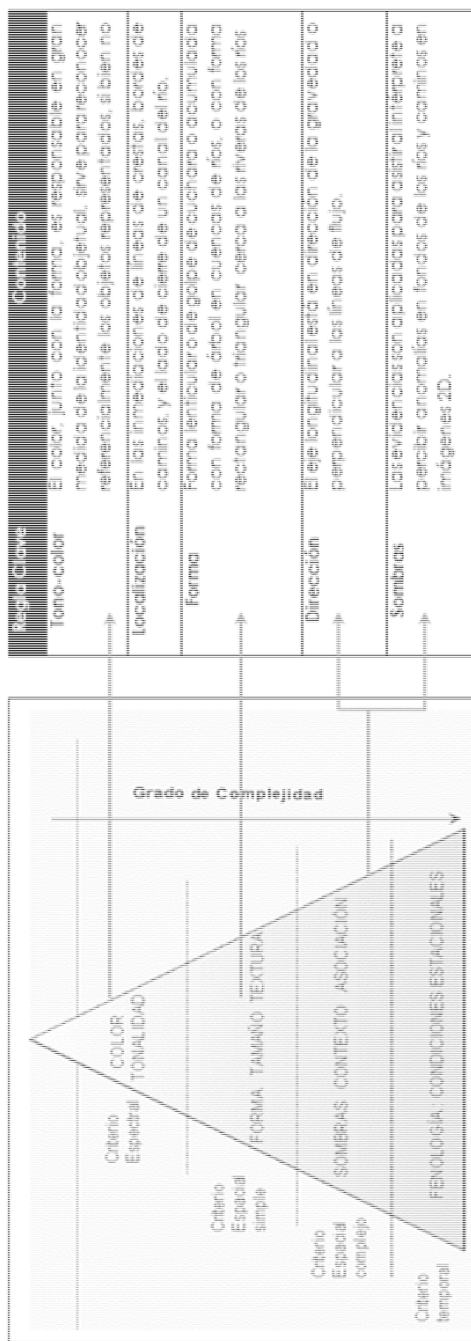
<i>Tipo de sensor</i>	<i>Sensor</i>	<i>NB</i>	<i>Resolución Espacial</i>	<i>Años</i>	<i>SWATH WIDTH</i>
Satelital	RapidEye	5	MS:5m	2009/2010/2011	77km
Satelital	Spot-5	5	P:2.5-5m MS:10m	2008/2009	60x60km
Aerotrans-portado	Vexcel-Ultracam	5	30cm	2009/2010	12000x7500 pixeles

**Fuente:** Spot Image, RS-geoimage, IGAC.

### **Clasificación de criterios pictórico morfológicos de interpretación visual con énfasis en la identificación de movimientos en masa**

La metodología generada se basa en los criterios pictórico-morfológicos serán considerados y establecidos para la interpretación de visual de imágenes, presentada por Chuvieco (2002) y (Chang y Liu, 2005); ellos diferenciaron entre Criterios Espectrales y Espaciales (Simples y Complejos) (véase Figura 1) para la interpretación de las imágenes de sensores remotos con énfasis en movimientos de remoción en masa (MRM) y que a continuación se describen. Este tipo de criterios, están de acuerdo a autores como: Stohr, 2000; Metternicht, Hurni y Gogu, 2005; y Fauso Guzzetti, 2012), quienes también definen indicadores cualitativos y cuantitativos para el reconocimiento de movimientos en masa a partir de imágenes.

*Criterios espectrales:* estableciendo combinaciones de banda combinaciones de banda RGB se contempla el color o matiz dependiendo de la reflectividad de los objetos, pudiendo observar contrastes de color antes suelos desnudos o cambios de vegetación. Aunque se usa para imágenes pancromáticas, se contempla la posibilidad de describir el tono como los grados de variación de grises o de un mismo color.



**Figura 1.** Izq. Criterios de interpretación visual (Chuvieco, 2002). Der. Reglas de interpretación de asociación para identificar movimientos en masa (Chang y Liu, 2005).

*Criterios espaciales simples:* de acuerdo a los criterios presentados por Chuvieco (2002) se establece la forma de los movimientos y sus partes diferenciables (cresta o pie de la superficie de rotura). Se considera el tamaño como la extensión que ocupa el movimiento, que será definido en hectáreas. Aunque no se considera como parte fundamental en la interpretación de movimientos en masa, se deja la posibilidad de establecer la textura como repetición de tonos en grupos de objetos que son demasiado pequeños para ser discriminados individualmente (Aguilar, 2002).

*Criterios espaciales complejos:* se tiene en cuenta la cobertura según la Metodología Corine Land Cover para Colombia establecida por el IDEAM (2010) y si es posible, establecer el uso del suelo también. Además se diversifica la descripción del contexto indicando los aspectos morfométricos como pendiente y la orientación de ésta; así también queda reflejo de la morfometría y toponimia de la zona.

Se plantea además, la posibilidad de definir las sombras (si aplica), usándolo como apoyo para observar y discernir las formas, relieves u objetos. Éste último tomará mayor importancia al utilizar modelos digitales de terreno (MDT) de alta resolución espacial, así como en modelos estereoscópicos; que permiten resaltar características así como escarpes de los deslizamientos, abombamientos del terreno generados por la masa desplazada, entre otros.

Dentro de estos criterios espaciales complejos también permaneció el criterio asociación como definición del tipo de movimiento y la codificación de éste según la clasificación establecida para este proyecto.

### **Formato para la identificación de movimientos en masa en imágenes de sensores remotos**

Para el diseño del “Formato para la identificación de movimientos en masa (MRM) en imágenes de sensores remotos se integraron los criterios descritos, con el fin de establecer homogeneidad para la interpretación de movimientos en masa. Este formato establece los fundamentos para dicha interpretación, que además será clave para observar la aplicabilidad y la posibilidad de generación de patrones reales según los insumos.

En primer lugar se establece una descripción general con la intención de definir la ubicación del movimiento en masa, conteniendo aspectos como Municipio, Departamento, Plancha 1:25,000 en la que se encuentra, además de coordenadas exactas del movimiento.

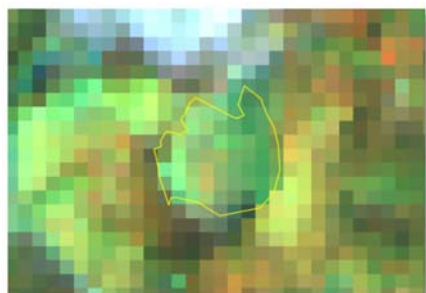
Para cada movimiento se presentan los insumos de los que se dispone; imágenes de sensores remotos SPOT, RapidEye y Vexcel-Ultracam, y representación en modelo tridimensional en conjunto con una posible visión estereoscópica como apoyo a la interpretación de la primeras. Definiendo la escala de visualización a la cual se muestran las imágenes y el año de captura.

De manera fundamental, se describen según los criterios pictórico-morfológicos considerados y presentados anteriormente; y finalmente, se dictaminará el nivel de confianza para establecer el ejercicio de identificación como patrón bajo la siguiente clasificación: cierto, probable o dudoso.

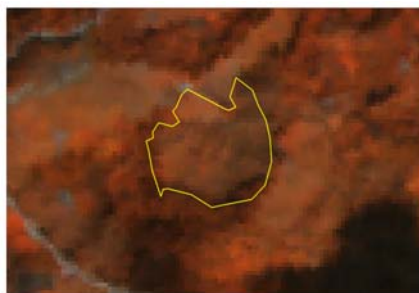
### Resultados y discusión

Se presenta entonces, los resultados de los FRM más representativos en cuanto tamaño e idoneidad por presentar suelos desnudos y claras formas. Así, en este primer caso que se presenta un deslizamiento Rotacional. En la visión monoscópica, es Ultracam el insumo que permite discernir la forma por el contraste de la coloración de la cobertura, disminuyendo así la incertidumbre en la interpretación; también hay que resaltar, que aunque la sombra no se tomó como un criterio fundamental, pero nos ofrece gran información para delimitar el FRM.

Sin embargo como ya se había comentado anteriormente, para este proyecto se utilizó también apoyo de la visión estereoscópica (ver Figura 3), ésta ha sido un gran apoyo no solo para la interpretación sino para evidenciar las pendientes y orientaciones de la misma.



SPOT 5, RGB=(V, SWIR, R)



zRapidEye, RGB=(NIR, RE, R)

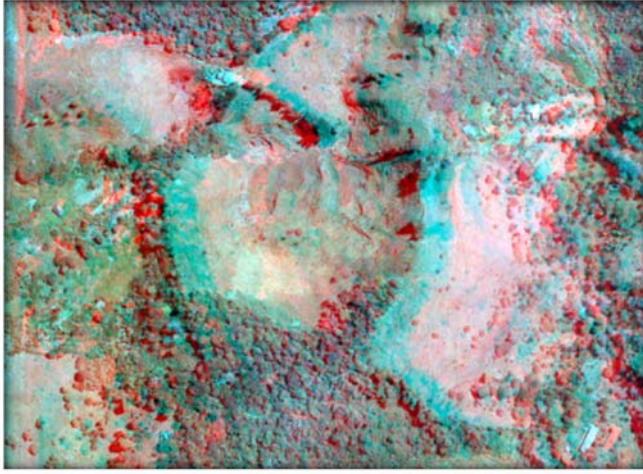


SPOT 5, RGB=(V, SWIR, R)

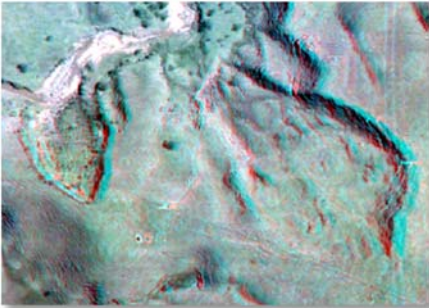


Modelo Tridimensional

**Figura 2.** Ejemplo 1: Insumos para reconocimiento de del movimiento en masa Deslizamiento Rotacional.



**Figura 3.** Ejemplo 1: Visión estereoscópica del movimiento en masa Deslizamiento Rotacional.



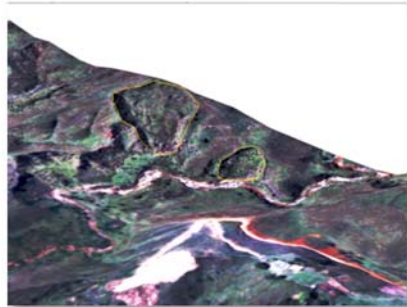
**Visión Estereoscópica**



**RapidEye, RGB=(NIR, RE, R)**



**SPOT 5, RGB=(V, SWIR, R)**



**Modelo Tridimensional**

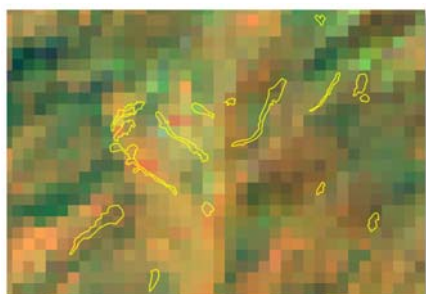
**Figura 4.** Ejemplo 2: Insumos para reconocimiento del movimiento en masa Deslizamiento Traslacional.



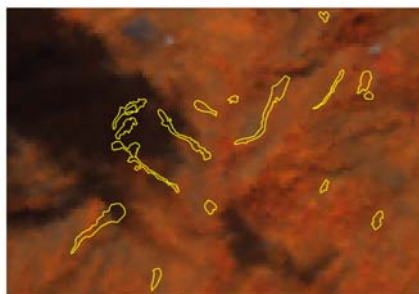
El siguiente deslizamiento Traslacional (véase Figura 4), son los criterios espaciales los que toman importancia, como la textura y las sombras; que dan forma y muestran cierta rugosidad en una misma dirección convergiendo en el pie del movimiento, dejando a la vista también la corona por el brusco cambio de pendiente debido al pequeño escarpe generado por el desplazamiento.

En este otro ejemplo de FRM tipo flujo (véase Figura 5), únicamente la alta resolución de Vexcel-Ultracam ofrece la posibilidad de interpretar monoscópicamente debido al efectivo cambio de coloración (evidencia de suelo desnudo por sus colores amarillos, carácter de un desplazamiento de masa reciente) y sus formas alargadas a favor de la pendiente (basado en la morfometría).

Aunque muy escasos, se encontraron FRM de gran extensión, recientes y que contienen coberturas de suelos desnudos, que permiten su interpretación en imágenes de media resolución (véase Figura 6) como SPOT 5 y RapidEye; dado que los criterios espectrales son observables por los evidentes contrastes de color entre las capas de cobertura, pudiendo intuir así la forma del movimiento.



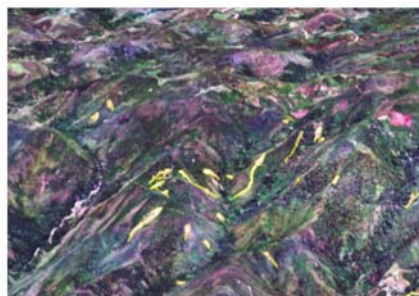
SPOT 5, RGB=(V, SWIR, R)



RapidEye, RGB=(NIR, RE, R)

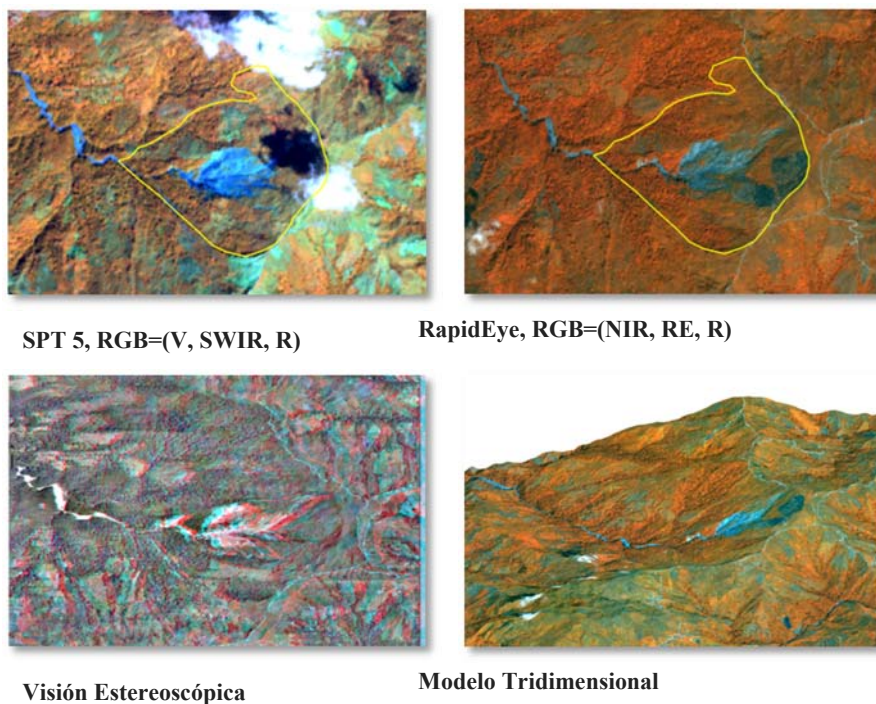


SPOT 5, RGB=(V, SWIR, R)



Modelo Tridimensional

**Figura 5.** Ejemplo 3: Insumos para reconocimiento del movimiento en masa Flujos.



**Figura 6.** Ejemplo 4: Insumos para reconocimiento del movimiento en masa de gran tamaño y extensión.

Es importante indicar que dependiendo del objetivo del análisis de FRM, las posibilidades y limitaciones de los sensores remotos satelitales y aerotransportados y el hecho de que la información existente para la realización de estos análisis generalmente es de tipo multiescalar, general (país), regional (cuenca), municipal es necesario definir niveles para la identificación de movimientos en masa con un enfoque jerárquico a partir de sensores remotos.

## Conclusiones

Aunque existen numerosas técnicas de procesamiento digital de imágenes que son utilizadas para mejorar las imágenes satelitales y fotografías aéreas y facilitar así el reconocimiento de movimientos en masa, los procesos denominados automáticos aún son experimentales, así que las técnicas deben enfocarse en los mejoramientos radiométricos, espaciales y espectrales, la simulación y visualización tridimensional del terreno, análisis multitemporales y de detección de cambios, y la interpretación visual siempre acompañada de expertos temáticos.

Se concluye por tanto que monoscópicamente solo se puede inferir en imágenes multispectrales utilizando combinaciones de banda que éstas nos ofrecen. Siendo las bandas del infrarrojo medio y las del visible las que más información ofrecen para diferenciar con más certeza las coberturas de suelos desnudos y los contrastes con la vegetación. Es así como existe menor incertidumbre en la identificación de fenómenos de remoción en masa, cuando los movimientos son recientes y mantienen suelos desnudos.

Así mismo, de todas las técnicas de percepción remota aplicadas, la fotogrametría digital cobra gran importancia ya que permite identificar de forma estereoscópica fenómenos de remoción en masa; que no son posibles de determinar de forma monoscópica. Es por esto, que se considera de gran importancia incluir e integrar las técnicas fotogrametría digital en la interpretación de movimientos en masa.

Aunque no menos, la visualización tridimensional a partir de los modelos digitales de elevación brindan un gran apoyo en la interpretación de las imágenes multispectrales de forma monoscópica, generando gran información sobre los Criterios Espaciales Complejos.

## Bibliografía

- Casson, B., Delacourt, C. and Allemand, P., "Contribution of multi-temporal remote sensing images to characterize landslide slip surface - Aplicación to the La Clapière landslide (France)", *Natural Hazards and Earth System Sciences*, no. 5, pp. 425-437, 2005.
- Chang, K. and Liu, J., *Landslide features interpreted by neural network method using a*, Taiwan, 2005.
- Chuvieco, *Criterios de interpretación visual*, 2002.
- Derron, M.-H. and Jaboyedoff, M., "LIDAR and DEM techniques for landslides monitoring and characterization", *Natural Hazards and Earth System Sciences*, no. 10, pp. 1877-1879, 2010.
- Fausto Guzzetti, A.C., *Landslide inventory maps: New tools for an old problem*, Italia, 2012.
- Hervás, J.; Barredo, J.I.; Rosin, P.L.; Pasuto, A.; Mantovani, F. and Silvano, S., "Monitoring landslides from optical remotely sensed imagery: the case history of Tessina landslide", *El servier - Geomorphology*, no. 54, 63-75, 2003.
- Metternicht, G.; Hurni, L. and Gogu, R., Remote sensing of landslides: An analysis of the potential contribution to geo-spatial system for hazard assessment in mountainous environments. *Le Servier - Remote Sensing of Environment* 98, pp. 284-303, 2005.
- USGS, *The U.S. Geological Survey Landslide Hazards Program 5-Year Plan 2006-2010*, USA, s/f.

Vargas Cuervo, G., *Guía técnica para la zonificación de la Susceptibilidad y la Amenaza por Movimientos en Masa. Cooperación Colombo-Alemana Proyecto Río Guatiquía (PRG)*, Villavicencio, 1999.