

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

Especialización en Geomática

Facultad de Ingeniería

Dirección de Postgrados



Proyecto de Geomática Aplicada

Estudio de los movimientos en masa en las antiguas zonas urbana y de expansión en el municipio de Gramalote (Norte de Santander) a través de un análisis multi-temporal geomorfológico

Jaime Adrián Rodríguez Andrade
Ingeniero Agrónomo
Código. 3101263
jarodriguezan@gmail.com

Supervisado por:
Elsa Adriana Cárdenas Quiroga M.Sc

Enero de 2016

ESTUDIO DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA EN LAS ANTIGUAS ZONAS URBANA Y DE EXPANSIÓN EN EL MUNICIPIO DE GRAMALOTE (NORTE DE SANTANDER) A TRAVÉS DE UN ANÁLISIS MULTI-TEMPORAL GEOMORFOLÓGICO

STUDY OF LANDSLIDES IN THE ANCIENT URBAN AREAS AND EXPANSION IN THE MUNICIPALITY OF GRAMALOTE (NORTE DE SANTANDER) THROUGH A MULTI - TEMPORAL ANALYSIS GEOMORPHOLOGICAL

Jaime Adrián Rodríguez Andrade
Ingeniero Agrónomo
Bogotá D.C., Colombia
jarodriguezan@gmail.com

RESUMEN

A partir del análisis multitemporal geomorfológico, se estudió la zona urbana y de expansión en el municipio desaparecido de Gramalote, con el objetivo de identificar y caracterizar los cambios morfológicos indicadores de posibles procesos de remoción en masa, para así convertirse en una herramienta que permita prevenir los riesgos generados por la remoción y aportar a la planificación de los usos del suelo. A través de la fotointerpretación, se determinaron las características morfológicas del área de estudio, identificando señales de deslizamiento visibles en fotografías aéreas de distintas fechas (1985, 1992, 2004, 2014).

Una vez ocurrido el desastre del casco urbano, se evidenció una nueva unidad geomorfológica (Coluvio), como producto del nuevo flujo de los detritos y escombros previamente identificados. La evidencia del movimiento se refleja en el cambio total de cobertura, el movimiento de la ladera donde se ubicaba el casco urbano y finalmente, el cambio a escarpe de línea de falla producido por la erosión y fracturación simultánea, originadas a su vez por el movimiento técnico ocurrido en la zona. Por su naturaleza arcillosa (bajo índice de fricción) y sumado a las condiciones climáticas, de pendiente y la constante deforestación, causaron la pérdida de cohesión que condujo tanto a la destrucción del casco urbano, como al movimiento y reducción del valle intramontano.

Palabras clave: análisis multitemporal, remoción en masa, cobertura, geoformas, casco urbano.

ABSTRACT

From the geomorphological multitemporal analysis, and urban expansion was studied in the town disappeared from Gramalote, in order to identify and characterize morphological changes indicative of possible landslides processes, thus becoming a tool to prevent the risks posed by removal and contribute to the

planning of land use. Through remote sensing tools, the morphological characteristics of the study area were determined, identifying signs of slippage visible on aerial photographs of different times (1985, 1992, 2004, 2014).

Once the village disaster occurred, a new geomorphological unit (colluvium) was evident, as a result of new debris flow and debris previously identified. The evidence of movement is reflected in the total coverage change, the movement of the slope where the village was located and finally, switching to fault line scarp produced by erosion and simultaneous fracturing, caused in turn by the movement technical occurred in the area. For its clayey nature (low coefficient of friction) and added to the climatic conditions, slope and constant deforestation, they caused the loss of cohesion that led to both the destruction of the village, as the movement and reducing the intermountain valley.

Keywords: multi-temporal analysis, landslides, cover, landforms, town.

INTRODUCCIÓN

Diversas zonas montañosas en Colombia son susceptibles a sufrir procesos severos de remoción en masa, gracias a la acción compleja de diversos factores ambientales y antrópicos. A partir de la expedición de la Ley de Gestión del riesgo de desastres [1], todos los municipios colombianos deben realizar estudios de riesgos naturales como parte esencial de las políticas encaminadas a la planificación del desarrollo seguro y a la gestión ambiental territorial sostenible [2]. Los movimientos en masa "involucran a todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, detritos o de tierra por efectos de la gravedad" [3]. En dichos procesos, es claro que influyen variables naturales como las *características del terreno* (tipos de roca, suelos, paisajes, pendientes), *el agua* y además, el inevitable desarrollo territorial. Entonces, a partir de estos, surge la necesidad de analizar y establecer las necesidades de una planeación adecuada del territorio y las posibles eventualidades determinantes de peligros, emergencias o desastres.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se han convertido en una herramienta fundamental para el desarrollo de investigaciones y proyectos referidos al estudio y análisis de amenazas y vulnerabilidades espaciales de alguna población. Además, esta herramienta cuenta con una gran versatilidad que permite realizar análisis multitemporales, geomorfológicos y otros de gran relevancia científica [4]. Por tal razón, este trabajo desarrolla un análisis multi-temporal geomorfológico, que sirva como herramienta para la reducción de los riesgos asociados a procesos de remoción en masa, con lo que podría obtenerse una estimación de daños, costos asociados y pérdidas potenciales, y así, establecer la probabilidad de ocurrencia de este tipo de fenómeno en diferentes sectores del país; así mismo, la predicción del riesgo ayudará a reaccionar más eficazmente con relación a los cambios dinámicos (naturales y humanos) en los paisajes y a conocer las consecuencias potenciales de los procesos [5]. Los objetivos con los que se abordó este trabajo son:

- Determinar las características morfológicas de la zona de estudio y su variación como indicador de posibles fenómenos de inestabilidad. (diferentes

condiciones de amenaza que han surgido como producto de la presencia de procesos de remoción en masa y erosión de suelos).

- Identificar señales de deslizamiento visibles en pares estereoscópicos de distintas fechas en el área de estudio.

Para tal efecto, se tomó como área de estudio, el casco urbano de Gramalote (Norte de Santander) y sus zonas circundantes, afectada casi en su totalidad por un fenómeno de remoción en masa tipo rotacional complejo que se inició el 17 de diciembre de 2010.

1. DATOS Y MÉTODOS

1.1 Datos

Se interpretaron fotografías aéreas para analizar el comportamiento de los movimientos en masa del municipio de Gramalote en el departamento del Norte de Santander, para evaluar la dinámica de los procesos de remoción en masa, erosión y zonas de sedimentación activa. Se realizó el análisis multitemporal con tres (3) pares de fotografías aéreas de la zona, tomadas hace 30, 20 y 10 años, respectivamente. Igualmente, se revisó información histórica otorgada por las cartas topográficas, con lo cual se abarcó un registro temporal comprendido entre los años 1985 y 2005. El listado de las fotografías aéreas solicitadas se encuentra en la **Tabla 1**

Tabla 1. Fotografías aéreas utilizadas

VUELO	AÑO	SOBRE	IMÁGENES
2222	1985	33162	132 y 133
2482	1992	36339	67 y 68
2731	2004	39565	92 y 93

1.1.1 Caracterización del área de estudio

El municipio de Gramalote se localiza en el Departamento de Norte de Santander, al Oeste de la ciudad de Cúcuta (capital del Departamento). Tiene una superficie cercana a los 151 Km², que equivale al 0.69% de la extensión del Departamento, al referenciar como superficie departamental 21.679 Km², y se encuentra a una altura de 1.040 metros sobre el nivel del mar. Su ubicación en la cordillera oriental le da a su territorio características topográficas con pendientes pronunciada y escarpada [6].

En el casco urbano de este, el 17 de Diciembre de 2010, se presentó un gran proceso de remoción en masa que destruyó el lugar. Este movimiento fue clasificado como flujo de detritos y bloques, de tipo rotacional que levantó un escarpe en su flanco oriental de unos 8 metros de altura y hundiendo su flanco occidental, teniendo como causas del fenómeno la alta pendiente de la zona, el tipo de materiales y las fuertes lluvias en el sector [7]. Para este trabajo, el área de estudio (**Figura 1**) fue determinada por una ventana cartográfica que comprende el casco urbano y las áreas circundantes a este, incluyendo la quebrada La Calderera. Las unidades geomorfológicas, establecidas de acuerdo a su morfogénesis y morfología en el área de estudio [8], se espacializan en la

Figura 2; y en la **Tabla 2** se hace la jerarquización de las diferentes subunidades geomorfológicas identificadas.

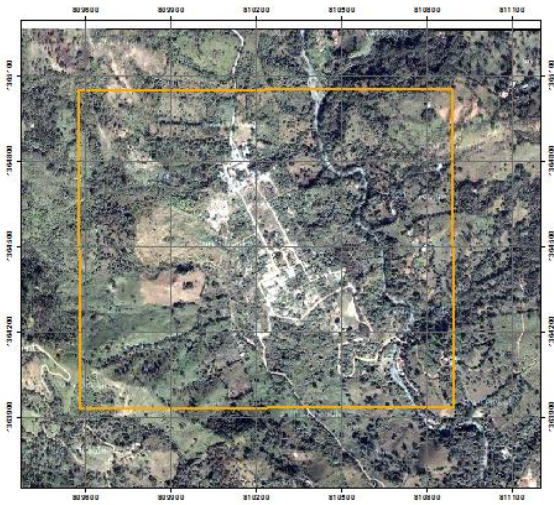


Figura 1 Área de estudio. Casco urbano antiguo Gramalote
Fuente: Google Earth (2014)

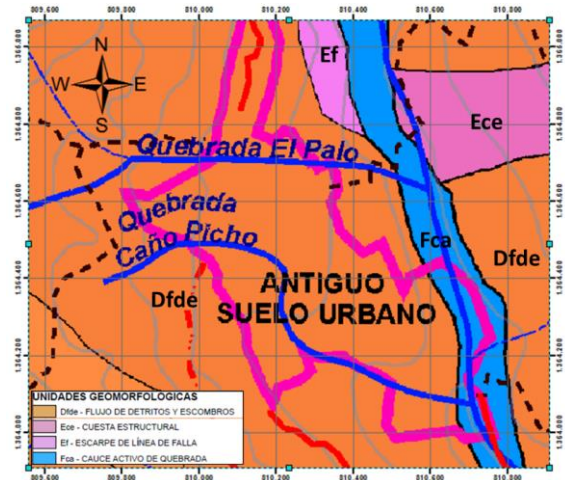


Figura 2 Unidades geomorfológicas del municipio de Gramalote
Fuente: Alcaldía Municipio de Gramalote (2013)

Tabla 2. Caracterización geomorfológica del área de estudio

Morfo-estructura	Provincia	Gran paisaje	Morfogénesis	Unidad geomorfológica	Subunidad geomorfológica
Cordillera, Orogenia	Cordillera Oriental	Montaña	Estructural – Denudacional	Crestón	Cuesta estructural (Ece)
			Denudacional	Glacis	Escarpe de línea de Falla (Ef)
			Fluvial	Valle Intramontano	Flujo de Detritos y escombros (Dfde)
					Cauce activo (Fca)

1.2 Metodología

La preparación de la información, se enfocó en la revisión y validación de la información contenida en los estudios elaborados en la zona, junto con la revisión de fuentes como el Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio de Gramalote [6-1], información del Servicio Geológico Colombiano [9] y la elaboración de la cartografía temática a partir de la interpretación de los pares estereoscópicos, para la realización del análisis multitemporal, el cual complementa la identificación preliminar de los elementos del terreno que hacen parte del área en épocas pasadas en relación con la imagen del 2014 (Google Earth) donde se evidencia la dinámica de estos procesos y su relación con los demás componentes del estudio. Para el desarrollo del estudio, se adelantaron las siguientes etapas:

Recopilación, depuración y análisis de información existente: En esta etapa de trabajo se seleccionaron las imágenes más idóneas de acuerdo al catálogo disponible, con el fin de realizar todas las actividades posteriores con las mejores herramientas. Inicialmente se hizo una identificación del área basada principalmente sobre imágenes Google y se procedió a la localización de las líneas de vuelo de fotografías aéreas convencionales.

Preprocesamiento de las imágenes: En las fotografías se define el área de estudio, en donde se procede a delimitar la zona del Municipio, así como su zona de influencia. Se georreferenciaron las fotografías aéreas mediante el software Arcgis 10.2, a partir de la identificación de puntos de control en común con la imagen 2014, descargada de Google Earth a través del software SASPlanet. Es importante mencionar que se llevó a cabo la georreferenciación de esta manera, contemplando que los resultados de este trabajo se esperan y presentan de manera cualitativa.

Análisis de imágenes: El estudio de las variables geoambientales o factores del terreno en las imágenes, se realizó mediante el uso de un estereoscopio de bolsillo; la fotointerpretación incluyó el análisis de las variables como geología, fallas, geomorfología, cobertura vegetal y drenajes, determinando los cambios que se presentan en el sector, como los nuevos datos que se pueden anexar identificando fenómenos tales como deslizamientos y socavación, así como los procesos erosivos que imperan en la zona.

2. RESULTADOS

2.1 ANÁLISIS MULTITEMPORAL

La interpretación de las imágenes para el análisis multitemporal, se enfocó en la morfodinámica del costado oriental de la quebrada La Calderera, incluyendo el casco urbano y las áreas circundantes más afectadas por el movimiento en masa ocurrido en el año 2010; se hace también un análisis visual del comportamiento de la cobertura vegetal en las áreas circundantes al casco urbano al igual que se realizó también la identificación del área urbana y cauces de agua.

- **Años 1985 y 1992**

Se analizaron las fotografías aéreas del vuelo C-2222 y C-2482, en las cuales se observó en el sector norte centro un escarpe de falla, desde el oriente de la vía interdepartamental hasta el pequeño valle que forma la quebrada La Calderera. En el costado nor-oriental y de acuerdo a la geomorfología reciente, se evidencia la presencia de la geoforma de origen estructural, asociada a litología de grano fino y muy fino (arcillas) exhibiendo una cuesta (ladera estructural) alomada con los estratos inclinados a favor de la pendiente, de longitud larga con pendientes moderadas, formada por capas o planos discontinuos, ubicados en el mismo sentido de la pendiente. Es importante anotar que aunque no hace parte de la zona caracterizada, durante la interpretación de la imagen se observó una línea del sistema de fallas en la región que va en sentido Noroccidente – Suroriente.

El casco urbano se identificó sobre un depósito de ladera de gran extensión lo que permite una superficie con una pendiente menos inclinada que en los alrededores. Dicho depósito hace parte del flujo de detritos resultante del movimiento ladera abajo, cuyo desplazamiento ocurre a lo largo de una superficie de falla ganando terreno hacia el costado oriental y así mismo, impidiendo el crecimiento del valle. En cuanto a la cobertura vegetal existente para entonces, con respecto al año de 1985, hubo una disminución importante hacia las zonas boscosas circundantes de las quebradas principales (Quebradas El Palo y Caño Picho), al igual que en los alrededores del casco urbano, al aumentar la escala de observación. Se puede considerar que dicho cambio se

pudo haber producido por la actividad antrópica en el cambio de uso del suelo, convirtiendo poco a poco dichas zonas, en zonas de ganadería extensiva y así mismo, conllevándolas a un potencial de amenaza en cuanto a la activación de procesos de remoción en masa, además de factores influyentes como las pendientes pronunciadas de la zona y el clima.

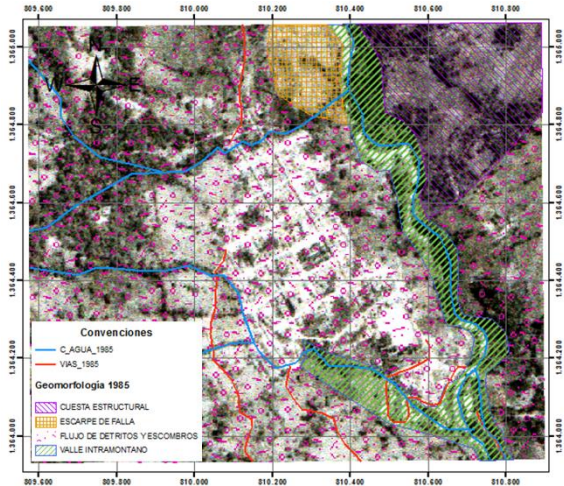


Figura 3 Geomorfología identificada 1985

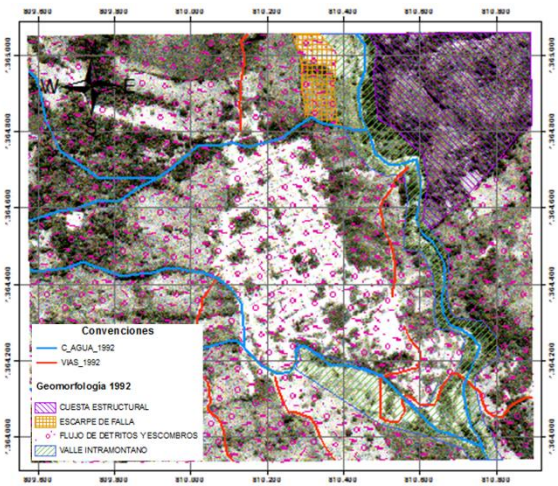


Figura 4 Geomorfología identificada 1992

- **Año 2004**

Se identificaron por la escala (1:10000) algunos procesos erosivos geodinámicos que son evidentes de tipo terraceta (pata de vaca) ocasionados principalmente por el pastoreo de ganado. Estos procesos favorecen el desplazamiento de los procesos de remoción en masa hacia las partes más altas del municipio (hacia el norte). Según la cartografía base [8-1], y de acuerdo con lo observado en las imágenes, en el costado norte del casco urbano aparece una geoforma denominada escarpe de falla, que se define en una forma de relieve inicial, propia de estadios del proceso erosivo, que evidencia el desplazamiento de la superficie del terreno de manera que uno de los lados permanece elevado y con el paso del tiempo, va erosionando el otro lado, hasta convertirse en un escarpe de línea de falla [10].

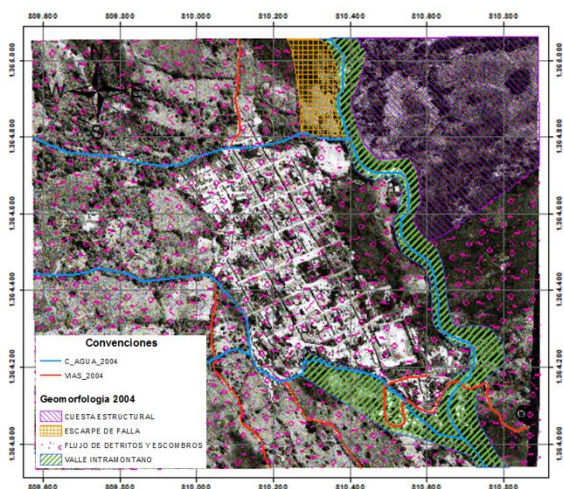


Figura 5 Geomorfología identificada 2004

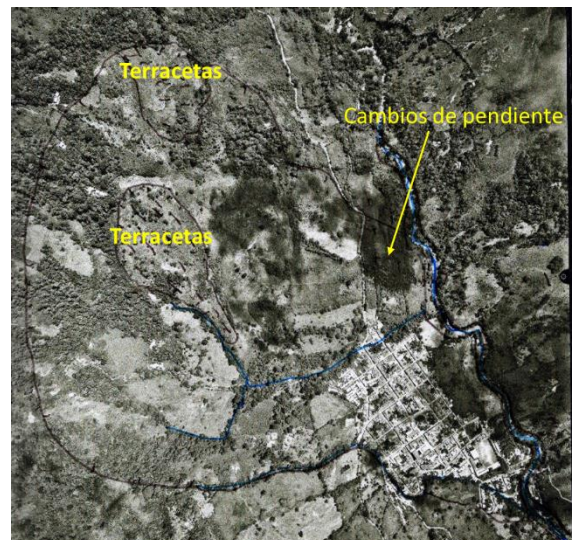


Figura 6 Cambios observados 2004

Finalmente, para la imagen de este año cabe anotar el incremento en la desaparición de la cobertura vegetal inicial, principalmente hacia el sector donde ocurriría el deslizamiento que poco a poco acabó con el casco urbano en el 2010 (Sector oriental del área de estudio). En la **Figura 6**, se puede apreciar la interpretación donde se evidencian los procesos erosivos de tipo terraceta y los cambios pronunciados de pendiente en el escarpe de falla.

- **Año 2014**

Recientemente se observa, que una vez ocurrido el desastre del casco urbano, se genera una nueva unidad geomorfológica (Coluvio), como producto del nuevo flujo de los detritos y escombros previamente identificados. La evidencia del movimiento se refleja en el cambio total de cobertura (costado oriental), el movimiento de la ladera donde se ubicaba el casco urbano y finalmente, el cambio a escarpe de línea de falla producido por la erosión y fracturación simultánea, originadas a su vez por el movimiento técnico ocurrido en la zona.

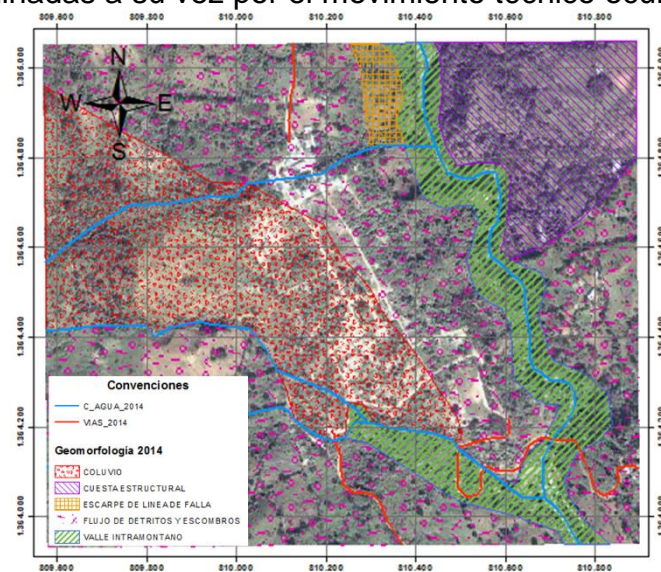


Figura 7 Geomorfología identificada 2014

3. CONCLUSIONES

El período de tiempo analizado evidencia que los procesos erosivos registrados persisten, cambian y aumentan progresivamente en el tiempo, debido a que la vegetación natural ha sido reemplazada en algunas áreas por pastos que disminuyen la cobertura protectora del suelo y promueven a la degradación de los suelos.

La quebrada La Calderera, drenaje principal en la zona estudiada y la cual por su posición estructural de la litología asociada a esta, se muestra como un drenaje de control estructural asociado al sistema de falla. Se observó que a través del tiempo, la quebrada ha venido socavando su costado oriental (corriendo su lecho), reflejando que no gana en profundidad o se encañona como lo hace un drenaje típico de zonas montañosas.

A través del análisis multitemporal, se evidencian para el área de estudio, que los sectores que presentan mayores cambios en las geoformas son las áreas asociadas al flujo de detritos, que por su naturaleza arcillosa (bajo índice de fricción) y sumado a las condiciones climáticas, de pendiente y la constante

deforestación, causaron la pérdida de cohesión que condujo tanto la destrucción del casco urbano, como el movimiento y reducción del valle intramontano.

En la parte suroriental del área de estudio, los cambios geomorfológicos se presentan con menos intensidad, dispersos y no persisten en el tiempo, favorecidos por ser áreas de litología con mayor consistencia, cementación y consolidación; a su vez, por presentar sectores con cobertura vegetal más protectora y resistente.

Teniendo en cuenta el análisis multitemporal desarrollado y la poca experiencia del autor en la interpretación, cabe resaltar que este tipo de análisis puede servir como herramienta para reducir el riesgo por procesos de remoción en masa en zonas geológicamente inestables de Colombia, siempre y cuando se tenga en cuenta que se realice un procesamiento más riguroso de las imágenes con herramientas de mayor precisión y alcance, para que se puedan obtener resultados cuantitativos más cercanos a la realidad. Los resultados determinados serán el punto de partida para iniciar una zonificación acorde a niveles de riesgo y susceptibilidad, que mejore los procesos de planificación del territorio y conlleve a la construcción de un territorio seguro y sostenible.

REFERENCIAS

- [1] Congreso de Colombia, (2012). Ley 1523 de 2012: Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones. En: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/index.jsp> (Septiembre del 2015).
- [2] UNAL - SGC., (2015). Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa escala detallada. Bogotá, D.C.
- [3] Cardozo, P., Toyos, G., y Baumann, V., (2015). Identificación mapeo y análisis cuantitativo de los procesos de remoción en masa en la cuenca del río Tartagal (Salta-Argentina) con datos de sensores remotos. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, (pág. 8). João Pessoa-PB.
- [4] Rosales Veitia, J. A., y Marcano Montilla, A. (2013). Análisis geomorfológico de las microcuencas de drenajes Monroy y Zumba, municipio Sucre - Estado Miranda, Venezuela; empleando sistemas de información geográfica. En: Revista Universitaria de Investigación y Diálogo Académico, Vol.9 (1), pp. 16-36.
- [5] Pineda, M., (2012). Evaluación de riesgo de movimientos en masa en la subcuenca del río caramacate (estado Aragua) a través de un análisis temporal multivariado. En: http://www.researchgate.net/publication/269222028_ (Octubre 2015)
- [6] Alcaldía Municipal de Gramalote (2002). Esquema de Ordenamiento Territorial del Municipio de Gramalote, Norte de Santander.
- [7] Gutiérrez Limas, E. A. (2014). Gramalote, pos-desastre. Un espacio para la planificación del territorio. (j. R. Delgado, ed.) En: Revista ambiental agua, aire y suelo, Vol. 5 (1)
- [8] Alcaldía Municipal de Gramalote. (2013). Plano D06/17. Unidades Geomorfológicas. Revisión ordinaria del Esquema de Ordenamiento Territorial del Municipio de Gramalote, Norte de Santander. Convenio Marco No. 056 de 2013.
- [9] Servicio Geológico Colombiano. (2012). Amenazas geológicas y entorno ambiental. Estudios de geología y geomorfología escala 1:25.000 para la reubicación del casco urbano del Municipio de Gramalote, departamento Norte de Santander. Volumen 1.
- [10] Oxford University Press. (2004). Diccionario de Ciencias de la Tierra. Ed. Complutense. España. pag. 290.