

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Posgrados

**Modelamiento o Simulación de un Flujo de un Cuerpo
Coluvioaluvial - Municipio de Cáqueza, Departamento de
Cundinamarca Colombia**

Alberto García - Bolívar

Richard Resl, Ph.Dc., Director de Tesis

Tesis de grado presentada como requisito
para la obtención del título de Magister en Sistemas de Información
Geográfica

Bogotá D.C. - Colombia

Marzo de 2014

Universidad San Francisco de Quito

Colegio de Posgrados

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

**Modelamiento o Simulación de un Flujo de un Cuerpo
Coluvioaluvial - Municipio de Cáqueza, Departamento de
Cundinamarca Colombia**

Alberto García Bolívar

Richard Resl, Ph.Dc.

.....

Director de Tesis

Pablo Cabrera, Ms.

.....

Miembro del Comité de Tesis

Richard Resl, Ph.Dc.

.....

**Director de la Maestría en Sistemas
de Información Geográfica**

Stella de la Torre, Ph.D.

.....

**Decana del Colegio de Ciencias
Biológicas y Ambientales**

Víctor Viteri Breedy, Ph.D.

.....

Decano del Colegio de Posgrados

Quito, marzo de 2014

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma:

Nombre: **Alberto García Bolívar**

C. I.: C.C.: 11.339.715

Bogotá D.C. Colombia, Marzo de 2014

Resumen

Un depósito coluvial se define como la acumulación de material muy cerca de su sitio origen y proviene de las rocas adyacentes, que se acomodan de manera que rellenan o suturan las paleoformas. En Colombia se tiene un caso reciente, donde sobre un coluvión se construyó el municipio de Gramalote, el cual fue movido por la cinemática de otro coluvión, originando daños y pérdidas catastróficas.

Existe la necesidad de mejorar los modelos para el conocimiento de este tipo de depósitos, con herramientas y metodologías de fácil acceso e implementación, las cuales ayuden a la planeación y uso adecuado del territorio, minimizando la vulnerabilidad de comunidades e infraestructura, al determinar de manera potencial cuando se puede desencadenar un agente detonante, para así modelar para la prevención de escenarios de vulnerabilidad. Como aporte al conocimiento de este tipo de eventos, se escogió un estudio de caso, correspondiente a la cinemática que se da en el municipio de Cáqueza (Colombia), implementando en un software SIG (Sistemas de Información Geográfica), algunas capas de información preexistentes y generando un modelo básico de análisis que permitiera analizar el porqué de la dinámica del coluvión y determinar las variables.

La historia del coluvión de Cáqueza tiene cerca de 100 años, donde se han realizado estudios técnicos de diferentes especialidades, pero en los últimos 10 años, se le ha dado una mayor importancia en razón a que en el año 2010 se presentó un movimiento sísmico regional con epicentro cerca al municipio, que desencadenó agrietamientos en las casas y colapso de algunas; movimientos en masa en vías y áreas rurales.

Entonces para dilucidar y encontrar una explicación, se fijaron como objetivos realizar el modelamiento o simulación del coluvión y determinar las características y datos para la implementación mediante un SIG. Partiendo del conocimiento previo existente y las características de los flujos tipo coluvión; seleccionando algunos datos espacializables que pudieran ser usados, se propuso un modelo conceptual que permitió plantear el porqué del movimiento diferencial del coluvión.

Se presentaron alternativas metodológicas y luego de discusiones conceptuales y temáticas con el director de trabajo, los asesores de la universidad y compañeros geólogos e ingenieros del Servicio Geológico Colombiano, se seleccionaron los datos a usar en un modelamiento mediante un SIG; como parte integral de los estudios que aportan información a la Gestión del Riesgo y caracterizan atributos y estos a su vez un evento.

En la naturaleza los eventos no se pueden generalizar porque no se presentan dos que tengan las mismas proporciones y mucho menos los mismos volúmenes y espesores, heterogéneos en su composición y heterométricos, adicionalmente no cumplen con ningún modelo matemático.

Como resultado se propuso un modelo de datos sencillo para simular el flujo del coluvión donde se encuentra el casco urbano del municipio de Cáqueza, el que arroja espesores diferentes a través del depósito, lo que lleva a concluir que para la extensión lateral del mismo, su espesor promedio es muy bajo y la paleotopografía presenta altos (Paleoaltos) que cambian la cinemática, es decir frenan de manera diferencial el desplazamiento, en el que intervienen la pendiente preexistente que lleva a que se tengan dos dominios o rampas de despegue, cuyas cicatrices y procesos cinemáticos actuantes, concuerdan con los resultados del modelo.

Se realizó así en campo la comprobación de que al tratarse de un depósito no consolidado, con poco trabajo, con una mezcla de bloques polimícticos, se permite la acumulación y circulación de agua que actúa como lubricante.

Lo anterior permite concluir que los sistemas de información geográfica, con adecuados modelos y usuarios expertos, pueden ayudar a determinar las características y datos que al ser implementados en software SIG; darán nuevas herramientas para la prevención de emergencias.

Abstract

A colluvial deposit is defined as the accumulation of material close to its origin site and coming from the surrounding rock, settling so paleoformas filled or sutured. In Colombia there is a recent case, where Gramalote township was built on a colluvium, then it was moved by kinematics of other colluvium, causing catastrophic damage and loss.

The need to improve the knowledge models of this type of deposits, tools and methodologies with easy access and implementation, planning and contribute to the appropriate use of the land, minimizes the vulnerability of communities and infrastructure, potentially to determine when a blasting agent can be triggered, thereby preventing modeling scenarios for vulnerability. It is chosen a case study corresponding to kinematics given in the municipality of Cáqueza (Colombia), implementing a GIS software (Geographic Information Systems), using some existing data layers and generating a basic model to allow analysis about the dynamics of colluvium and identify variables, as a contribution to the knowledge of these events.

The history of the colluvium of Cáqueza has nearly 100 years at which technical studies have been conducted in different specialties, but the last 10 years have been given greater importance, because of a regional earthquake centered near the municipality in the year 2010 that triggered cracks in the house and collapse of some, mass movements at roads and rural areas.

Next to clarify and find an explanation, the objective is to perform a model or simulation of colluvium and determine the characteristics and data, through a GIS implementation, based on the existing prior knowledge and the type flows characterizing colluvium; to select spatial data for this purpose and to propose a conceptual model that allowed to try an explanation about the colluvium differential movement.

Methodological alternatives are presented and after conceptual and thematic discussions with this thesis director, college advisors and fellow geologists and engineers of the Colombian Geological Service, data were selected using a GIS model as an integral part of studies that provide information to the Risk Management and characterize attributes and then an event.

At nature the events can not be generalized because there aren't two of them of the same proportions, much less the same volumes and thicknesses, they are heterogeneous in composition and additionally heterometric, they do not meet any mathematical model.

As a result ,it is proposed a simple data model to simulate the flow of colluvium where the urban area of which threw Cáqueza different thicknesses in order to lead to the conclusion that the lateral extension of the same average thickness is low and shows high palaeotopography generated (Paleoaltos) that change kinematics, then slows differentially the displacement, which involves the pre-existing slope leads to have two domains or off ramps whose scars and acting kinematic processes are consistent with the model results.

An unconsolidated deposit with little work, showing a mixture of polimígticos blocks allowing the accumulation and circulation of water, and acting as a lubricant, is found in the studied field.

This allows to conclude that the geographic information systems, properly implemented and suitable models used by experts, can help to determine the characteristics and data through GIS software; all of these will provide new tools for the prevention of emergencies.

Tabla de Contenidos

Resumen	2
Abstract.....	7
1. Introducción	14
1.1 Objetivos.....	16
1.1.1 General	16
1.1.2 Específicos.....	16
1.2 Alcance.....	17
2. Marco de Referencia.....	18
2.1 Marco Referencial Histórico.....	19
2.2 Marco teórico.....	21
2.2.1 Sensores Remotos o Teledetección.....	22
2.2.2 Sistemas de Información Geográfica (SIG).....	24
2.3 Morfodinámica	28
2.4 Aplicaciones de los SIG.....	36
3. Metodología	39
3.1 Procesamiento de Información y Elaboración de Mapas Insumos	43

3.2 Generación de Modelo 3D.....	46
3.2.1 Capa de delimitación zona de estudio.....	46
3.2.2 Superficie del coluvión (o del terreno).....	46
3.2.3 Paleosuperficie (Base del Coluvión).....	50
4. Análisis y Resultados.....	52
4.1 Generación del TIN.....	52
4.2 Generación superficie Modelo Digital de Elevación - DEM.....	55
4.2.1 Visualización 3D.....	56
4.3 Perspectivas y Recomendaciones.....	61
5. Conclusiones.....	63
6. Referencias.....	65

Indice de Tablas

Tabla N° 1 - Clasificación abreviada de movimientos de taludes.....	32
Tabla N° 2 - Orden de magnitud de la actividad de un movimiento en masa.....	35
Tabla N° 3 - Descripción longitudinal del comportamiento de las paleoformas del depósito.....	60

Índice de Figuras

Fig. 1 - Mapa de ubicación del municipio de cáqueza y el depósito coluvial. base cartográfica igac escala 1:25.000.....	18
Fig. 2 - Elementos de un proceso de teledetección. a: Fuente de energía o iluminación. b: Radiación y la atmosfera. c: Interacción del objeto. d: Detección de energía por el sensor. e: Transmisión, recepción y procesamiento. f: Interpretación y análisis. g: Aplicación.	23
Fig. 3 - Esquema ilustrativo de los principales movimientos en masa (tomado y modificado de Varnes 1978, mapa de amenazas del departamento de Cundinamarca 1998).....	33
Fig. 4 - Diagrama flujo del proceso.....	42
Fig. 5 - Marco referencial para el desarrollo del proyecto	43
Fig. 6 - Modelo metodológico	44
Fig. 7 - Límite del coluvión determinado mediante interpretación de sensores remotos sobre la base cartográfica	48
Fig. 8 - Topografía o superficie del coluvión, requerida para el modelo digital. base cartográfica	49
Fig. 9 - Paleotopografía o base del coluvión	51
Fig. 10 - Integración mediante el ArcGis v 10.1, para determinar las curvas de nivel, tanto de la superficie del terreno y de la paleogeografía.....	53

Fig. 11 - Ejemplo del Triangulated Irregular Network TIN de la superficie del coluvión.	54
Fig. 12 – DEM y matriz hipsométrica del coluvión.....	56
Fig. 13 - Modelo 3D visto desde el sur. (perspectiva ortogonal).....	57
Fig. 14 - Proyección que resalta la parte más norte del coluvión.	58
Fig. 15 - Vista desde abajo donde se presenta la forma de la base del coluvión .	58
Fig. 16 – Perfil del depósito coluvial donde se resalta la paleoforma o base del depósito.....	61

Introducción

Eventos naturales anómalos como precipitaciones de gran volumen en corto tiempo; desglaciaciones o pérdidas de casquetes glaciales por oleadas o aumento súbito de calor ya sea atmosférico o de origen volcánico; rotura de presas (naturales o antrópicas) generan volúmenes de agua que incorporan en su arrastre, sedimentos, materia orgánica (vegetación, animales y suelo) y cuyo comportamiento físicamente es lo más parecido al de un coloide y no encaja en el de un fluido ni tampoco de un sólido, una mezcla de concreto es lo más parecido. Otros tipos de flujos corresponden a los de lavas que viajan cuesta abajo a poca velocidad en razón a su extrema viscosidad o por el contrario del mismo origen volcánico una oleada piroclástica, donde la mayor fracción corresponde a partículas gaseosas y su velocidad inicial genera un ímpetu asociado a la temperatura.

La simple capacidad de transporte de un cauce que es sobrepasado por un evento torrencial, hace que cada uno de los episodios sea diferente a cualquiera de los anteriores. Aunque todos son procesos de remoción en masa y cambia o se combinan las fases sólida, líquida y gaseosa; la que se trata este documento corresponde a coluviones que son depósitos asociados a zonas de fractura o zonas de falla y formados por rocas subangulares, provenientes de las rocas adyacentes, inmersas en una matriz lodosa; la forma de los clastos se debe a que el desplazamiento es muy corto; pero todos ellos tienen en común que se convierten de

eventos naturales anómalos y no fenómenos como se pretenden hacer ver, en amenazas naturales que pueden generar riesgo si se presenta en un área vulnerable. Los daños y pérdidas de estos tipos de eventos pueden ser incalculables y pueden a su vez desencadenar otras amenazas como epidemias, teniendo el caso más próximo en tiempo de origen geológico es el sismo de Haití, que viene dejando víctimas pos desastre por una epidemia de cólera.

Cualquier evento natural anómalo como lo puede ser un sismo, una erupción volcánica, en flujo de lava, torrencial o de piroclastos y cualquiera de otro tipo que se desencadene como agente detonante, son amenazas que pueden modelarse para la prevención de escenarios de vulnerables y es por ello que la implementación de sistemas de información geográfica, hacen parte de las herramientas que deben ser ajustadas a medida que se conoce el comportamiento físico y la dinámica de cada tipo de ellos y esto se logra desafortunadamente con la ocurrencia de un evento no necesariamente catastrófico.

Los flujos de escombros son masas que migran a la velocidad inicial de un líquido y la primera variable es la pendiente, pero su comportamiento es absolutamente azaroso a partir de ese momento inicial en razón a una serie de variables que se van involucrando en el transcurso de su recorrido y es precisamente en este aspecto en el que se centra la investigación en la que se pretende plantear de manera técnica cuales y porqué, se deben tener en cuenta una serie de consideraciones para el real y mejor manejo de los sistemas de información geográfica aplicados al modelamiento de flujos torrenciales.

1.1 Objetivos

Para el desarrollo de la investigación se han planteado un objetivo general y tres objetivos específicos, así:

1.1.1 General

Realizar el modelamiento o simulación de un flujo de un cuerpo coluvio-aluvial y determinar la tipología y demás características de datos para la implementación mediante un SIG; como parte integral de la Gestión del Riesgo. Estudio de caso Municipio de Cáqueza, Departamento (Estado) de Cundinamarca - Colombia.

1.1.2 Específicos

- Caracterizar de manera general los flujos tipo coluvión y seleccionar que datos espaciales pueden ser usados en modelamiento espacial de un flujo.
- Proponer un modelo conceptual que implementado en un SIG permita mediante el análisis espacial modelar un flujo coluvial teniendo como referencia el del municipio de Cáqueza.
- Plantear el porqué del movimiento diferencial y comparar del coluvión.

1.2 Alcance

El presente trabajo pretende precisar que datos son adecuados en el modelamiento de flujos coluviales y plantear un modelo de aplicación general para cualquier coluvión. Como modelo metodológico se implemento en la investigación uno de tipo descriptivo que conceptualiza el proceso y uno aplicado al estudio de caso que busca presentar un modelo de datos simple, en los que las variables espaciales que permitan realizar aportes al modelamiento de este tipo de flujos con miras a determinar áreas potencialmente vedadas al uso activo; como contribución a los estudios de amenazas naturales en el ordenamiento del territorio ambiental como en cuencas hidrográficas, zonificaciones ambientales para estudios de impacto al medio natural o planes de manejo por actividades antrópicas.

La presente investigación no pretende pronosticar, predecir o generar expectativas frente al coluvión sobre el que se cimenta la población de Cáqueza, solo busca generar un modelo conceptual para otros movimientos en razón a que no hay en la naturaleza dos coluviones iguales.

Marco de Referencia

La zona de trabajo se encuentra ubicada en jurisdicción del municipio de Cáqueza localizado en el centro oriente del departamento de Cundinamarca (Fig. 1 -). Sus límites políticos corresponden por el norte con el municipio de Ubaque, al sur con Fosca, al Oriente con Fómeque y Quetame y al occidente con Chipaque y Une, todos del departamento de Cundinamarca.

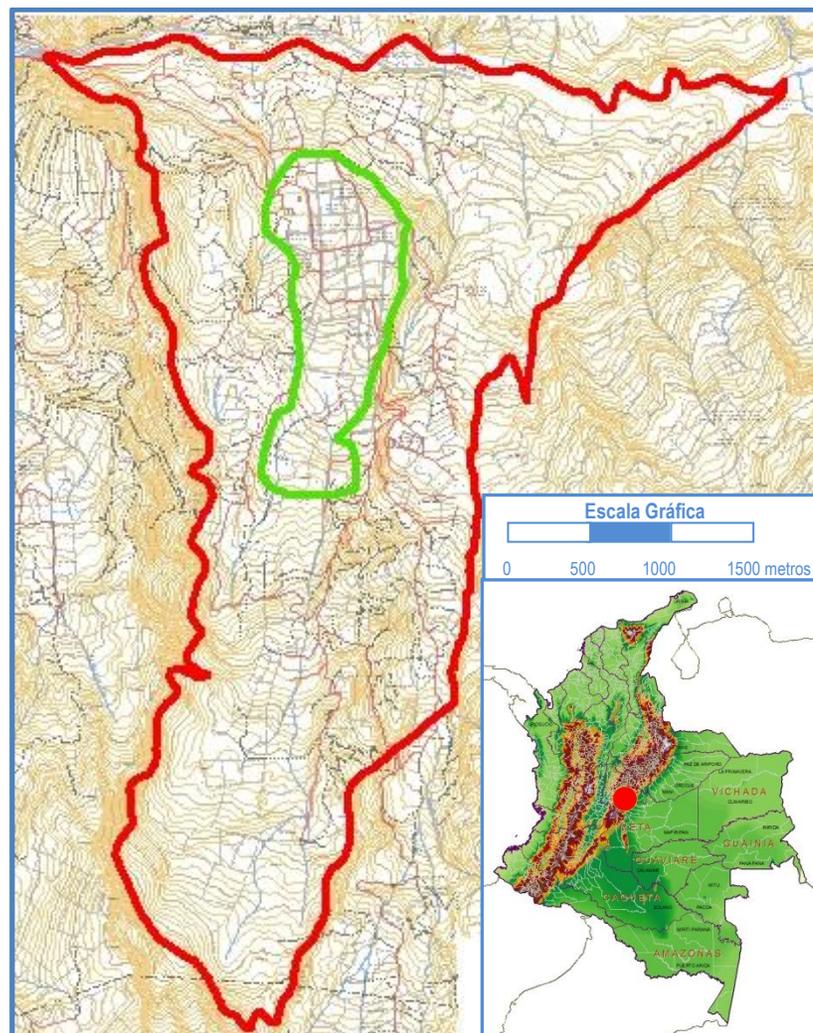


Fig. 1 - Mapa de Ubicación del municipio de Cáqueza y el depósito coluvial. Base IGAC 1:25.000.

Se encuentra a 42.7 kilómetros de Bogotá vía a Villavicencio, que corresponde geológicamente a una zona permanente activa desde el componente sísmico y por consiguiente es una zona de riesgo. En este corredor, de alta susceptibilidad, se encuentra el casco urbano del municipio de Cáqueza, potencialmente vulnerable por movimientos telúricos.

2.1 Marco Referencial Histórico

Una breve historia tomada del esquema de ordenamiento territorial menciona que “Cáqueza en lengua Chibcha quiere decir cercado o región sin bosque, según Acosta Ortegón. Dice Rufino Gutiérrez en sus monografías que los primitivos pobladores fueron los Gúchipas, de la nación Chibcha, dependientes del cacique Ebaque. Fue fundado por el Oidor Luis Enriquez mediante auto del 23 de Octubre de 1600 formado por los indios de éste y los poblamientos de Estaquecá, Ubatoque, La Cabuya, Tingavita, Tunque, Tuirá, Quirasoca y Quebrada Honda. El 22 de Noviembre de 1600 el oidor Luis Enríquez y el Fiscal Aller de Villagómez, mando juntar los indios para la correspondiente descripción, de la que resultaron 770 indios.

El 1° de mayo de 1.601 en Santafé, Luis Enríquez contrató con el albañil Hernando Arias la construcción de una iglesia en el nuevo poblado de Cáqueza. En 1607 Arias abandonó las obras y por auto del 11 de julio se encargó a sus fiadores Antonio Pérez y Luis Marqués su terminación. Esta iglesia fue reconstruida en 1.736 siendo cura Fray Tomas de Paz; fue destruida por un terremoto el 12 de julio de 1.785, el cura Ramón Eguiguren quien comenzó una que ya existía en 1.892. A un

lado del templo parroquial, reconstruido en 1.924 a 1.934, se ven las ruinas de la antigua derruida iglesia. No se conoce fecha de la erección en parroquia que pudo ocurrir a finales del siglo XVIII. En visita del oidor Joaquín de Arostegui y Escoto al pueblo de San Pablo de Cáqueza el 3 de febrero de 1.759 resultaban 336 personas; era su cura doctrinero Fray Antonio Martín del Casal y Freiria. Aróstegui y Escoto, por auto del 6 de febrero de 1759 asignó a los indios una parcela de comunidad y con sus frutos fundó una casa hospital.”¹

En 1931 el geólogo Enrique Hubach, al reconocer entre las poblaciones de Cáqueza y Quetame la sección de la transgresión Andina asociada al Valanginiano (Tiempo geológico que va inicia hace unos 130 millones de años) menciona a Cáqueza como un punto geográfico, sin detenerse más allá.

En diciembre 11 de 1933 el mismo Hubach acompañado de Benjamín Alvarado, publican en el Boletín de Minas y Petróleos un informe denominado “Los agrietamientos en Cáqueza (Cundinamarca) y el peligro que ellos ofrecen para la población;” mencionan luego de describir el entorno social económico y ambiental, que “La región está determinada principalmente por cuchillas más o menos agudas que corren de norte a sur y que encierran hoyas angostas y de fuerte asenso. Estas hoyas se han interceptado por la hoya transversal profunda del río Cáqueza y se desvanecen en la banda septentrional del río bajo la cubierta de terrazas”, esto traído

¹ (Monografía Cáqueza. 2003)

a términos de la época significa que se presentan varias cuencas y todas confluyen a la del río Cáqueza donde desaparecen en terrazas trabajadas por el río principal.

Luego mencionan “La población de Cáqueza está situada en la hoya de la quebrada Blanca del centro que va limitada al occidente por el filo alto y brusco que arranca del puente de Cáqueza (Carretera del Oriente), y al oriente por el filo angosto en que se halla la capilla de la población.” Continúan describiendo los siguiente que aún es vigente como límite del presente proyecto “La cuchilla occidental se llamará Filo del Puente, y la cuchilla oriental, que se amplía hacia el sur, Filo de la Capilla” continúan disertando donde distinguen algunos descansos en la geomorfología que atribuyen a terrazas, resaltando la más importante es donde se halla la población a 200 metros sobre el río Cáqueza. Este es otro dato que retoma importancia en el análisis.

2.2 Marco teórico

Para determinar los elementos geológicos, geomorfológicos y geográficos entre otros, una de las técnicas de apoyo directo son los sensores remotos. A continuación se resume la importancia de la teledetección como insumo al proceso metodológico. Algunos de los aportes siguientes fueron tomados del trabajo de grado de maestría de Fredy Díaz Milla.

2.2.1 Sensores Remotos o Teledetección

Los cuerpos en la naturaleza emiten diferentes tipos de radiación caracterizadas por las longitudes de onda y la cantidad de energía que en la mayoría de ocasiones está directamente ligada a la temperatura intrínseca del elemento.

Se denomina sensor a un dispositivo que conjuga tecnología para captar imágenes a distancia y detectar diferentes regiones o longitudes del espectro y cada una de estas regiones en el manejo de teledetección se conoce como canal o banda y esta es una técnica que permite obtener información a distancia sin que exista un contacto material con el objeto en este caso la superficie. Según Alonso (2003) son de tres tipos de sensores:

- Radiación solar reflejada por los objetos (luz visible e infrarrojo reflejado)
- Radiación terrestre emitida por los objetos (infrarrojo térmico)
- Radiación emitida por el sensor y reflejada por los objetos (radar)

Se conocen dos técnicas teledetección pasiva y activa; las recepciones con los dos primeros tipos se conoce como pasiva y la última como activa. Los principales satélites y sensores utilizados hoy en día en teledetección son, entre otros: METEOSAT, NOAA, LANDSAT, SPOT, IRS e IKONOS.

El proceso de teledetección requiere de una serie de condiciones que se sintetizan en la Fig. 2, tomada de Arbelo (2010) que inicia con el uso de sistemas de captura de imágenes donde se resalta la importancia de una fuente que ilumine o provea energía electromagnética. Esta energía emitida va desde la fuente al objeto y

regresará reflejada al sensor. Dependiendo de las propiedades del objeto la radiación incidente actúa sobre la sensibilidad del sensor remoto que recoge y valores que se codifican electrónicamente y en una estación terrena son procesados y convertidos a imágenes digitales.

La imagen es ahora un insumo para los intérpretes, visual y/o digitalmente, cada uno acorde a su experticia o necesidad temática reprocesa alcanzando una aplicación específica.

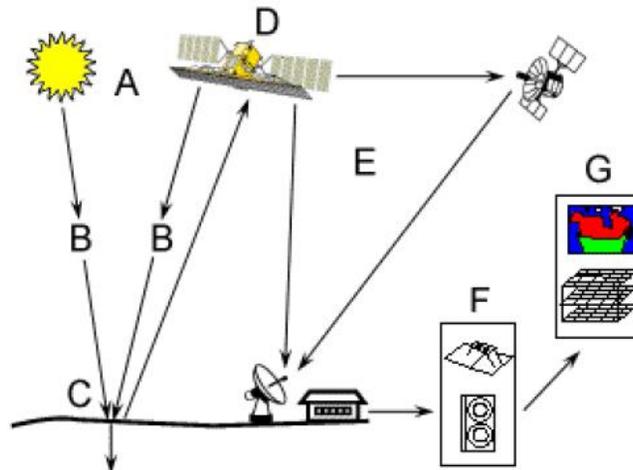


Fig. 2 - Elementos de un proceso de teledetección. A: Fuente de energía o iluminación. B: Radiación y la atmosfera. C: Interacción del objeto. D: Detección de energía por el sensor. E: Transmisión, recepción y procesamiento. F: Interpretación y análisis. G: Aplicación. Arbelo, 2010

En Colombia, la aplicación de sensores remotos tienen una muy buena tradición siendo entre otros el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, pionero a nivel regional en la implementación y uso de la teledetección expresada en múltiples

aplicaciones en el territorio nacional, como inventario y manejo de los recursos naturales, estudios del medio ambiente y diseño de obras de ingeniería y con énfasis en la última década en ordenamiento territorial, ordenación de cuencas y gestión del riesgo.

A nivel mundial la aplicación de sensores remotos en la prevención y atención de amenazas geoambientales, como inundaciones, sismos o deslizamientos, cada día adquiere mayor importancia, es el caso de las imágenes que han permitido realizar modelos y simulaciones del evento catastrófico del tsunami de Sri Lanka o las medidas de contingencia que se aplicaron en Haití. Proliferan artículos de las casas productoras tanto de software como de imágenes de sensores remotos y se publican en revistas científicas nuevas y mejores aplicaciones enfocadas a las amenazas naturales.

La aplicación de esto lleva desde escalas regionales hasta locales y puntuales y dependen del nivel de resolución espacial del sensor y el grado de precisión que requiere el planificador o el coordinador de atención de emergencias. Una buena teleobservación coadyuva al intérprete a mejorar sus pronósticos o a identificar prioridades.

2.2.2 Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Desde la década de los noventa el National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA), definió los SIG en función de la gestión de los datos y

especialmente en el análisis y otras características distintas de los SIG, como “Un sistema de hardware, software y procedimientos diseñados para realizar captura, almacenamiento, manipulación, análisis, modelización y presentación de datos referenciados espacialmente para la resolución de problemas complejos de planificación y gestión”.²

El Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, en Colombia, define los SIG como un conjunto de métodos, herramientas y actividades que actúan coordinada y sistemáticamente para recolectar, almacenar, validar, manipular, integrar, analizar, actualizar, extraer y desplegar información, tanto gráfica como descriptiva de los elementos considerados, con el fin de satisfacer múltiples propósitos.

La evolución tecnológica como resultado de la necesidad de disponer rápidamente de información ha permitido llevar información espacial a grados de interoperabilidad dominios y surgió para resolver problemas y contestar a preguntas de modo inmediato (Humboldt, 2006). Los SIG son entonces un conjunto de tecnología y personal calificado que permite la gestión de información espacializable y con soporte información no espacial.

La proliferación de software libre y la disminución en el costo de las aplicaciones SIG, ha permitido el uso e implementación en diversas temáticas que hasta hace un corto tiempo atrás ni se consideraba y ahora son apoyo directo a los procesos de planificación territorial de cuencas y de amenazas.

² (Díaz Mila, 2010)

- Realizar un gran número de manipulaciones, sobresaliendo las superposiciones de mapas en corto tiempo, transformaciones de escala, la representación gráfica y la gestión de bases de datos, así como su administración y mantenimiento.
- Consultar rápidamente las bases de datos, tanto espacial como alfanumérica, almacenadas en el sistema, con información exacta, actualizada y centralizada.
- Realizar pruebas analíticas complejas rápidas y repetir modelos conceptuales en despliegue espacial, sin la necesidad de repetir actividades redundantes o tediosas.
- Minimización de costos de operación e incremento de la productividad.
- Ayuda en la toma de decisiones con el fin de focalizar esfuerzos y realizar inversiones más efectivas.
- Comparar eficazmente los datos espaciales a través del tiempo (análisis temporal).
- Efectuar algunos análisis, de forma rápida que hechos manualmente resultarían largos y molestos.
- Integrar en el futuro, otro tipo de información complementaria que se considere relevante y que esté relacionada con la base de datos nativa u original; como pueden ser mediciones de vectores de desplazamiento como los que captura y procesa la red del Servicio Geológico Colombiano como aplicación específica en el estudio y análisis de la deformación de la corteza terrestre en Colombia (Mora, 2006 en www.sgc.gov.co), denominada “Implementación de la Red Nacional de Estaciones Geodésicas Satelitales GPS con propósitos geodinámicos”.

Según Gabriela Biali³ en su artículo “The layer “hydrogeology” necessary for elaborating landslide hazard maps using GIS” 2012, hace énfasis que en la implementación de técnicas SIG ha sido decisoria en el desarrollo de trabajos riesgos y amenazas involucrando variables alfanuméricas y ayudando a la espacialización en diferentes escalas de los factores que antes era complicado de manejar y con salidas gráficas que facilitan la comunicación a personas no expertas. Adicionalmente Biali resalta que los SIG permiten analizar e interpretar en el contexto de varios factores y variables de manera individual y finalmente integra.

De manera específica en el estudio muestra el manejo de capas de información, los datos y mapas subproducto, la metodología implementada hasta obtener el mapa síntesis, recalcando que el uso de SIG permite mantener los mapas de amenazas actualizados para una entrega oportuna y con soporte de grandes cantidades de datos históricos y la incorporación de nuevos, con una alta capacidad de almacenamiento y procesamiento.

Mahler, et al 2012, indican en la publicación Analytical Model of Landslide Risk Using GIS que para manejar áreas muy grandes que requieren determinar por medio de análisis de probabilidades, que se basa en la incorporación de datos de fuentes cartográficas como cobertura vegetal, geología, geomorfología, hidrología o drenajes y la pendiente natural un modelo de análisis de riesgo cuantitativo de la aplicación de sistemas de información geográfica (SIG).

³ (Biali, 2012).

Lo anterior lleva a poner de manifiesto que el uso de SIG implementados a eventos y procesos naturales como el que se trata en este documento, corresponde a un aporte a desarrollo de metodologías de modelamiento que ayudan a la zonificación de amenazas.

2.3 Morfodinámica

Los ríos, las aguas subterráneas, los glaciales, el viento y los movimientos de las masas de agua (Mareas, Olas y Corrientes) son los agentes morfodinámicos de primer orden. La meteorización es un término que designa un grupo de procesos responsables de la desintegración y descomposición de las rocas sobre el terreno; esta puede ser física, química o biológica y es prerequisite para la erosión.

La caída de masas ladera abajo (transferencia de material hacia abajo por acción de su propio peso); comprende deslizamientos y procesos como flujos y corrimientos de tierra y las avalanchas de escombros. Como ejemplo de esta última se tiene la que afectó el acueducto del municipio de Gacheta en el primer semestre del año en curso. La acción hidráulica es el arrastre por el agua de materia en suspensión o suelta de mayor tamaño. El proceso similar provocado por el viento se conoce como deflación. Recientemente se viene escuchando el término deslave, que en el sur del continente corresponde a lo que aquí en Colombia se denomina escorrentía, pero es aplicado de manera indiscriminada a las crecientes, flujos de tierra, lodos.

En otros trabajos el autor emplea el termino deslave como: Deslave corresponde al término derrubio y proviene de la palabra “derrubiar”, del latín rupe (Roca), y se define como “Tierra que cae o desmorona cuando un río o cualquier humedal roba lateralmente la tierra de las riveras.

A continuación se presentará la caracterización y clasificación de los procesos morfodinámicos, como ya se mencionó algunos procesos denudativos desencadenan procesos de remoción en masa y la erosión; para cartografiar y caracterizar los procesos de remoción en masa se retomaron las clasificaciones de Varnes (1978)⁴ y de García (1991) y los procesos de erosión con la clasificación de Van Zuidam (1986) adaptada por Vargas (1989)

2.3.1 Procesos de Remoción en Masa

Presencia individual o sumada de procesos denudativos que conllevan al desplazamiento con diversos rangos de velocidad que van desde lentos o rápidos, afectando áreas específicas con el desplazamiento de volúmenes de material como suelo o roca, en dirección de la pendiente y actuando la normal de la gravedad de manera permanente. Con base en la clasificación de Varnes (1.975), los procesos de remoción en masa, se agrupan como se lista seguidamente y en **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se ilustra los diferentes procesos potencialmente actuantes:

⁴ (Varnes, 1978)

- Deslizamientos (antiguos y recientes o actuales)
- Hundimientos
- Caídas o desprendimientos
- Flujos (de roca, detritos y tierra)
- Movimientos lentos o de reptación (creep)
- Avalanchas y movimientos compuestos o múltiples.

Un factor que se involucra en los procesos es la Erosión que corresponde al resultado de los procesos de separación, transporte y acumulación de partículas, productos de la meteorización y de la sedimentación, por acción de los llamados agentes erosivos siendo los principales el agua el viento, el hielo y los organismos vivos, los cuales se constituyen en medios de transporte. Los procesos erosivos pueden medirse según la intensidad y se cuantifica a partir del porcentaje de la superficie del terreno que comúnmente se eroda o muestra evidencia previa de erosión, usando principalmente como criterios, la cobertura vegetal y factores litológicos, estableciéndose por lo tanto varias unidades de intensidad de erosión: sin erosión o muy leve, baja, moderada, alta o severa y muy severa (tierras malas), basados en las clasificaciones existentes pero adaptadas a nuestro medio se presentan a continuación los parámetros a implementar en la evaluación de movimientos en masa que pueden convertirse en parámetros o variables para el modelo.

La velocidad del movimiento da los indicios y argumentos de actividad del movimiento; aunque en la naturaleza se tiene que algunos desplazamientos pueden en el tiempo ser registrados (al ojo humano es perceptible), o con instrumentación los que son imperceptibles.

La velocidad aunque es uno de los parámetros, no determina el grado de daño; en algunos casos los movimientos lentos pero constantes en el tiempo son destructivas como los que se presentan en rocas tipo arcillolita; los parámetros de velocidad fueron propuestos por Varnes en 1978.

Tabla N° 1 - Clasificación abreviada de movimientos de taludes. (Varnes, 1978)⁵

Tipo de Movimiento			Tipo de material		
			Roca	Suelo de Ingeniería	
				Predominantem	Predominantem
CAIDAS			De Rocas	De Detritos	De Tierra
VOLCAMIENTOS			Volcamiento de roca	De Detritos	De Tierra
DESGLIZAMIENTOS	ROTACIONAL	Pocas	Hundimiento de Roca	Hundimiento de	Hundimiento de Tierra
		Unidad	Deslizamiento de bloques de Roca	Deslizamiento de bloques de Detritos	Deslizamiento de bloques de Tierra
	TRASLACIONAL	Muchas	Deslizamiento de Roca	Deslizamiento de Detritos	Deslizamiento de Tierra
PROPAGACION LATERAL			Roca	Detritos	Tierra
FLUJOS			Flujo de Roca	De Detritos	de Tierra
			(Creep profundo)	Creep de suelo	
REPTAMIENTO (Creep) (áreas de gran			Creep profundo		
COMPUESTOS O MULTIPLES			Combinación de dos o más de los tipos anteriores		

Fuente: Tomado del Mapa de Amenazas del Departamento de Cundinamarca

1998

⁵ Op-cit Pagina 21.

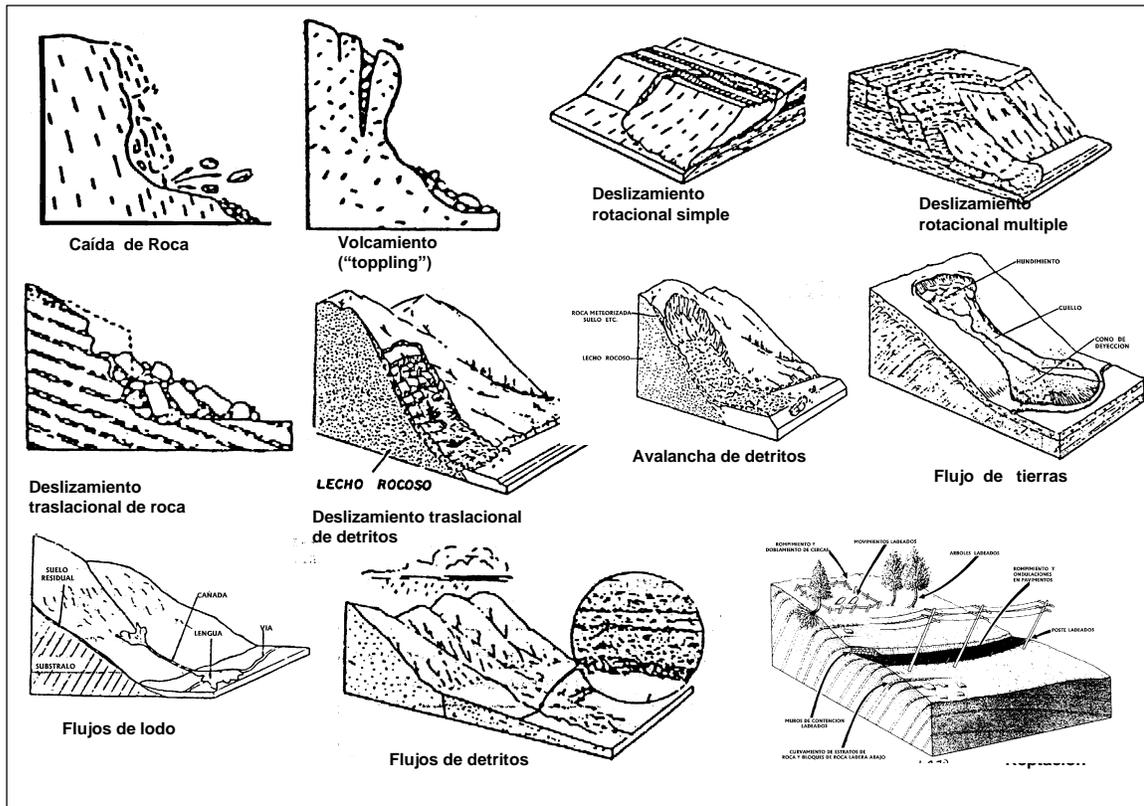


Fig. 3 - Esquema ilustrativo de los principales movimientos en masa (Tomado y modificado de Varnes 1978, Mapa de amenazas del departamento de Cundinamarca 1998)

Otro factor medible en los movimientos en masa es la cantidad de material movido, el cual se puede calcular por métodos directos o indirectos; esta información permite dar grados según el volumen pero no directamente del tipo de amenaza en razón a que si se tiene un volumen potencial, las condiciones en que el movimiento son cada vez particulares

De manera similar a los rangos de velocidad, se tiene el orden por la velocidad relativa, dado también por Varnes 1978 y cuyos contemplan tiempos relativamente

grandes donde se puede apreciar el movimiento; esto indica que un movimiento en masa puede desplazarse a pulsos y no necesariamente a una velocidad continua.

Las masas de roca y suelo, se desplazan de manera aleatoria en el tiempo; es por eso que se considera de manera relativa la magnitud del movimiento. Se toma como patrón de actividad de movimiento la propuesta por Varnes⁶ y tomada de Ojeda 2001 en Díaz Mila 2011. La escala de orden solo representa la actividad en lapsos de tiempo relativamente cortos, esto es que un movimiento puede estar inactivo durante el verano del primer año pero estar activo al tercero en la máxima de invierno, sin que se considere durmiente. Se considera durmiente el área que está latente, pero aquel que ya esta colonizado por la vegetación, o se tienen casas y hasta cascos urbanos se puede denominar estabilizado.

Como resultado de la integración de los diferentes órdenes y asociados, tan solo a un movimiento o proceso se le puede asignar una calificación a los movimientos en masa. Varnes 1978⁷, propone el cálculo algebraico para catalogar un movimiento. Otros autores como es el caso de Ojeda 2001, clasifican los movimientos desde la óptica de la pérdida física de los componentes medioambientales hasta los económicos, aunque cada uno tiene su justificación teórica la escala de intensidad propuesta por Ojeda arriesga mucho más a la conceptualización de la cuantificación dejando al observador la potestad de determinar que es grande o no. Mientras para un observador la muerte de un ser

⁶ Op-cit Pagina 21.

⁷ Op-cit Pagina 21.

humano es una gran pérdida, para otro si el número de cadáveres pasa de una determinada cifra, puede catalogarse como de clase V.

Tabla N° 2 -.- Orden de magnitud de la actividad de un movimiento en Masa

Actividad	Orden
Inactivo	1
Estabilizado	2
Durmiente	3
Semiactivo	4
Activo	6

Fuente: Varnes (1978) en Ojeda, M. J, (2001)

Otro criterio en la determinación de agentes morfodinámicos es la dureza de las rocas frente al ataque de agentes meteóricos o las fuerzas geomecánicas. Mientras una roca es dura a los esfuerzos de cizalla, esta misma es débil a ser atacada por el agua.

Para clasificar los diferentes tipos de roca por dureza, coherencia, grado de fracturamiento y por el Estado de alteración de manera integrada entre sí, se obtienen parámetros que indican la susceptibilidad de la roca a ser afectada o no por movimientos de remoción. Al integrar estos parámetros a la pendiente, sumándole la precipitación se pueden obtener mapas que muestran la susceptibilidad a reptaciones, a caídas en relación con velocidad o intensidad un movimiento.

Así mismo el grado de deterioro mecánico de la roca como respuesta a los esfuerzos de cizalla, dejan como huella las diaclasas o fisuras en la roca. El análisis de éstas mediante la aplicación de cálculos sencillos, permiten predecir la potencialidad de un movimiento en masa. Así mismo la estratificación en rocas

competentes y de fácil meteorización hacen del estudio de los conceptos geomecánicos una herramienta para el análisis de riesgo.

2.4 Aplicaciones de los SIG

Una de las aplicaciones que tienen una connotación en la vida de los habitantes de una zona corresponde a gestión territorial donde las aplicaciones SIG permiten un rápido acceso a la información gráfica y alfanumérica y suministran herramientas para el análisis espacial de la información. Facilitan labores de mantenimiento de infraestructuras, mobiliario urbano, etc., y permiten realizar una optimización en los trabajos de mantenimiento de empresas de servicio; así como la gestión de servicios de impacto social, tales como servicios sanitarios, centros escolares, hospitales, etc., suministran información sobre los centros ya existentes en una determinada zona y ayudan en la planificación en cuanto a la localización de nuevos centros. Un buen diseño y una buena implementación de estos SIG aumentan la productividad al optimizar recursos, ya que permiten asignar de forma adecuada y precisa los centros a los usuarios y cubrir de forma eficiente la totalidad de la zona de influencia.

Esto no solo a nivel urbano; también a nivel rural en el ordenamiento gestión y manejo integrado de cuencas estas aplicaciones implementadas por instituciones de medioambiente, facilitan la evaluación del impacto medioambiental en la ejecución de proyectos, el uso inadecuado del suelo, las malas prácticas agrícolas y como mecanismo de análisis espacial en el diagnóstico y prospectiva territorial.

El manejo de un gran volumen de información generado por los diferentes frentes de explotación en una mina permite la realización de análisis de elementos puntuales (sondeos o puntos topográficos), lineales (perfiles, tendido de electricidad), superficies (áreas de explotación) y volúmenes (capas geológicas). Facilitan herramientas de modelamiento de las capas o formaciones geológicas.

Otras aplicaciones están dedicadas a los inventarios; el principal de todos es el la distribución espacial de la población o demografía, que ayuda mediante el análisis para la implantación de negocios o servicios públicos, zonificación electoral, etc. El origen de los datos suele ser los censos poblacionales elaborados por algún entidad (DANE: Departamento Administrativo Nacional de Estadística, para Colombia), este grupo de aplicaciones no obligan a una elevada precisión, y en general, manejan escalas pequeñas.

Dos grandes franjas de la economía implementaron desde hace ya algún tiempo los SIG para mejorar entre otros las redes de atención según la ubicación de sus usuarios uno es el GeoMarketing que de manera indispensable adecuada campaña de marketing o el envío de correo promocional, según el diseño de rutas óptimas a seguir por comerciales y el más grande a nivel económico la banca para ubicar a sus clientes y planificar tanto sus campañas como la apertura de nuevas oficinas o cajeros electrónicos, dependiendo del número potencial de usuarios en una zona e incluyendo información sobre los establecimientos e infraestructura de la competencia.

En la mayoría de los sectores los SIG pueden ser utilizados como una herramienta de ayuda a la gestión y toma de decisiones, algunos de ellos son (HUMBOLDT, 2010):

Cartografía automatizada Las entidades públicas han implementado este componente de los SIG en la construcción y mantenimiento de planos digitales de cartografía. Dichos planos son luego puestos a disposición de las empresas a las que puedan resultar de utilidad estos productos. Las propias entidades se encargan posteriormente de proveer versiones actualizadas periódicamente.

En infraestructuras: Algunos de los primeros sistemas SIG fueron utilizados por las empresas encargadas del desarrollo, mantenimiento y gestión de redes de electricidad, gas, agua, teléfonos, alcantarillados, etc., en estas los sistemas SIG almacenan información alfanumérica de servicios, que se encuentra relacionada a las distintas representaciones gráficas de los mismos. Estos sistemas almacenan información relativa a la conectividad de los elementos representados gráficamente, con el fin de permitir realizar análisis de redes.

Caracterizar de manera adecuada la masa sobre la que se cimienta el municipio de Cáqueza se recopila a continuación algunos elementos que van desde la morfodinámica hasta la clasificación de los movimientos en masa tomando como referencia autores temáticos y experiencias del autor en el tema de amenazas naturales.

Metodología

Para el desarrollo conceptual y metodológico de la investigación, se postularon dos posibles alternativas, la primera consiste en la determinación de la dirección del flujo y la del espesor del coluvión, con herramientas con base en metodología propuesta por la Comunidad Andina que se muestra abajo y consta de seis etapas:

1. Elaboración de Términos de referencia
2. Estudio básico (revisión y análisis de información temática existente)
3. Análisis del terreno y cartografía preliminar
4. Investigaciones preliminares en terreno
5. Análisis
6. Informes

En la etapa de elaboración los Términos de referencia incluyen entre otras la definición del objetivo de la investigación, la escala de trabajo, quienes forma parte de equipos de trabajo, cronograma y del costo.

La siguiente etapa denominada Estudio básico contempla la revisión y análisis de información existente tanto temática como la tomada capturada en campo. En el caso de un trabajo de grado como el presente, esta etapa adquiere especial

relevancia porque hace una compilación de información multidisciplinar y diferentes expertos en su interpretación identificando sistemáticamente los datos adecuados. Adicional a esto está el Análisis de sensores remotos de diferentes fuentes, satelital aerotransportado, entre otros, que lleva desde la regionalidad de los eventos hasta las particularidades del depósito de Cáqueza.

El reconocimiento del terreno y la elaboración de cartografía preliminar es la etapa donde se establecen ciertas características que dependiendo de la escala del análisis, determinará prioridades y orientarán el Inventario de procesos detectados que alimentarán bases de datos

La etapa de Investigación preliminar en terreno inicia con el reconocimiento superficial de cada sitio donde se adquiere información que alimentará la base de datos, seguido por la exploración indirecta o de subsuelo que en algunos casos requiere de métodos directos como perforación o Geofísica.

Finalmente las etapas siguientes corresponden a la consolidación mediante un proceso metodológico de análisis más apropiado metodológicos y analíticos de la información que permitan una evaluación acorde al alcance y propósito de la investigación; finalmente esto da paso a la etapa de consolidación de resultados o de informe final.

Esta metodología se evaluó con la asesoría de colegas y especialistas llegando a las siguientes premisas:

1. Elaborar términos de referencia no hace parte de un proceso de investigación más corresponde a la suma de requerimientos que una

organización requiere que se le solucione y o se le supla por parte de personas o entidades con la experticia que no se tiene o que no se alcanza a cubrir con su personal.

2. Las etapas subsiguientes no presentan el componente espacial de manera explícita, por lo que se hace necesario llevar los datos que se incorporan como información existente y de campo a las bases de datos georreferenciadas.
3. El alcance de la presente investigación pretende hacer una propuesta que ayude a determinar no solo la presencia actuante o no del proceso, sino también coadyuve a determinar historia geológica y cinemática del movimiento.

Por lo anterior se escogió la metodología que se presenta a continuación que ayuda a resolver algunos otros elementos que están intrínsecos a los Sistemas de Información pero como herramienta de planeación.

Para la selección de la metodología a implementar en el desarrollo del trabajo se conceptualizó el diagrama metodológico con dos propósitos específicos, la selección de insumos y de infraestructura; a continuación se muestra el resultado a través de un flujo, Fig. 4.

Para el desarrollo de la investigación fue necesario realizar el procesamiento de la información existente de sensores remotos como imágenes de satélite y fotografías aéreas, así como la integración de información vector.

A continuación se mostrará y el resultado de los procesos orientados a realizar operaciones SIG con la información vector como base cartográfica, modelo digital y otras fuentes vectoriales existentes. Luego se procedió a la fase de procesamiento que se ejecutó siguiendo el modelo conceptual propuesto.

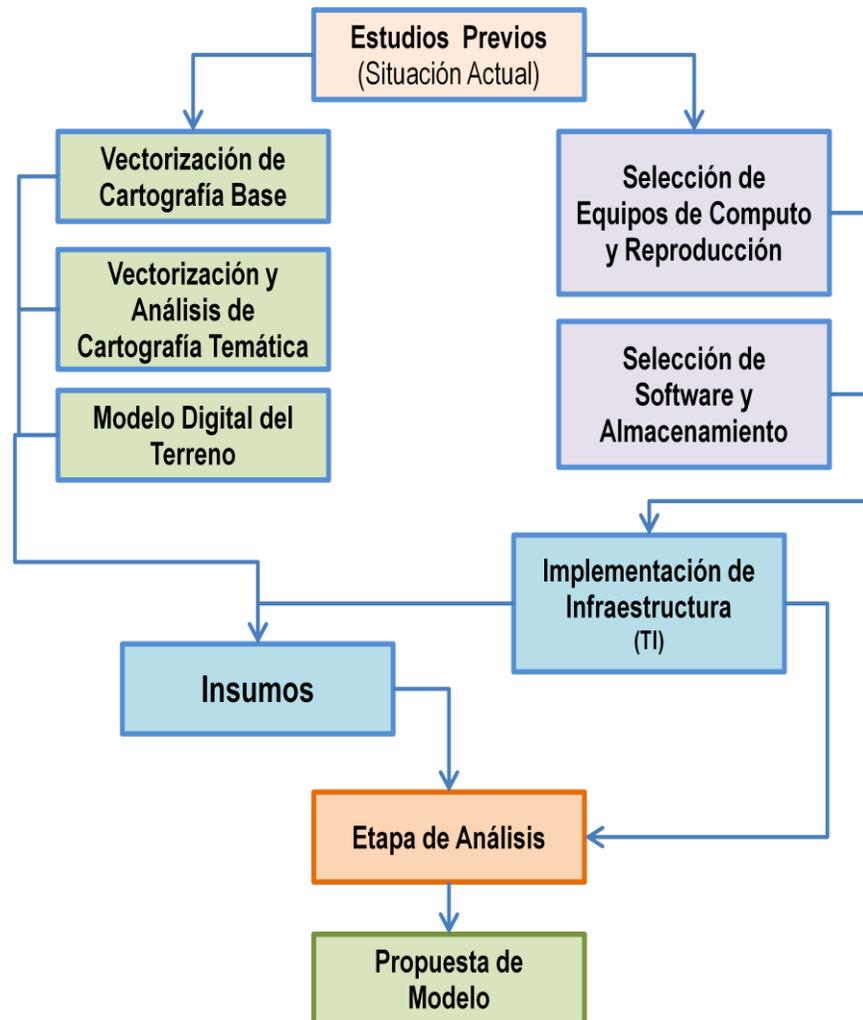


Fig. 4 - Diagrama flujo del proceso.

Se realizó luego una campaña de comprobación de campo; cabe resaltar que a esta campaña fui acompañado por dos colegas del Servicio Geológico Colombiano

quienes trabajan en la zonificación de amenazas del municipio. Lo anterior se discrimina seguidamente con el fin de ilustrar al lector de manera general y sencilla el procesamiento seguido.

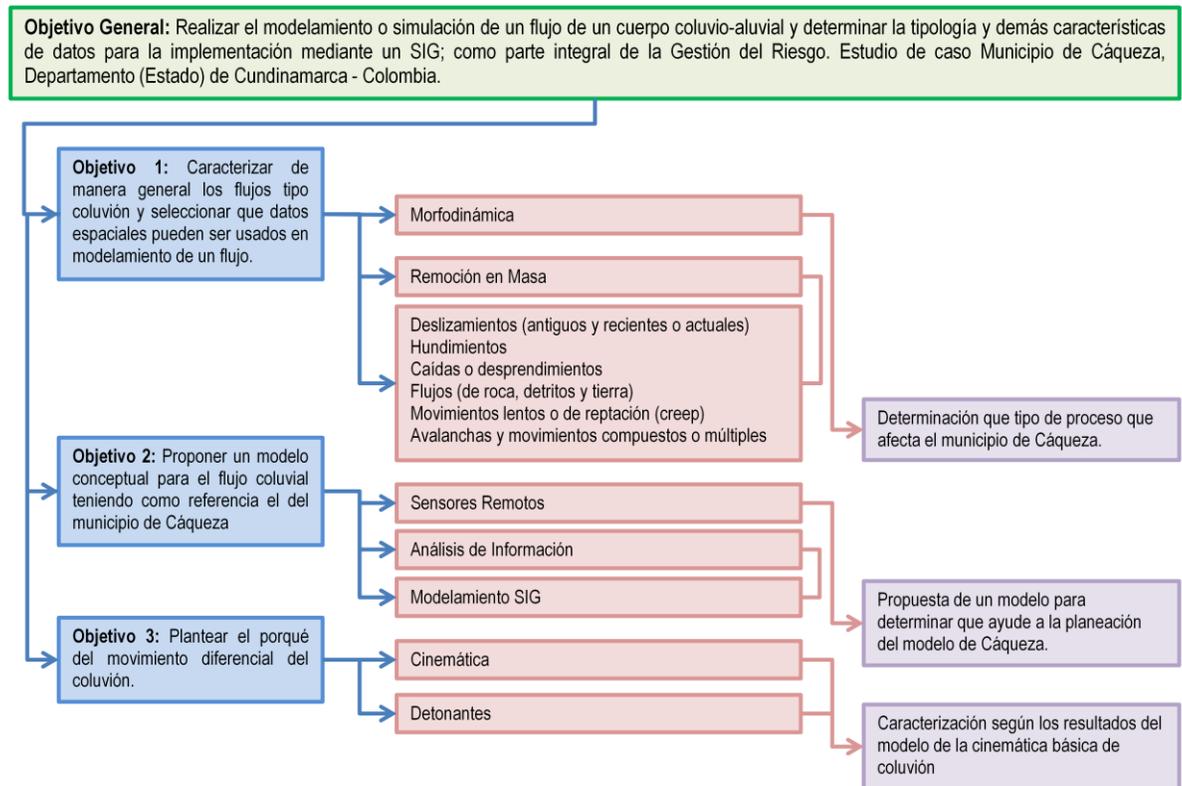


Fig. 5 - Marco referencial para el desarrollo del proyecto

3.1 Procesamiento de Información y Elaboración de Mapas Insumos

A partir de la información de sensores remotos (imágenes satelitales o fotografías aéreas), se elaboraron mapas preliminares (intermedios o de trabajo), con la ayuda de software donde se procesaron las imágenes, inicialmente georeferenciándolas y posteriormente realizando geoprocesos y con base en los

mapas resultado se seleccionaron puntos de control para comprobar en campo. Ver Fig. 6.

De la información existente se encontró una topografía de detalle que corresponde de manera parcial a la zona de interés y con esto se pudo generar el modelo de tridimensional del depósito con mayor precisión.

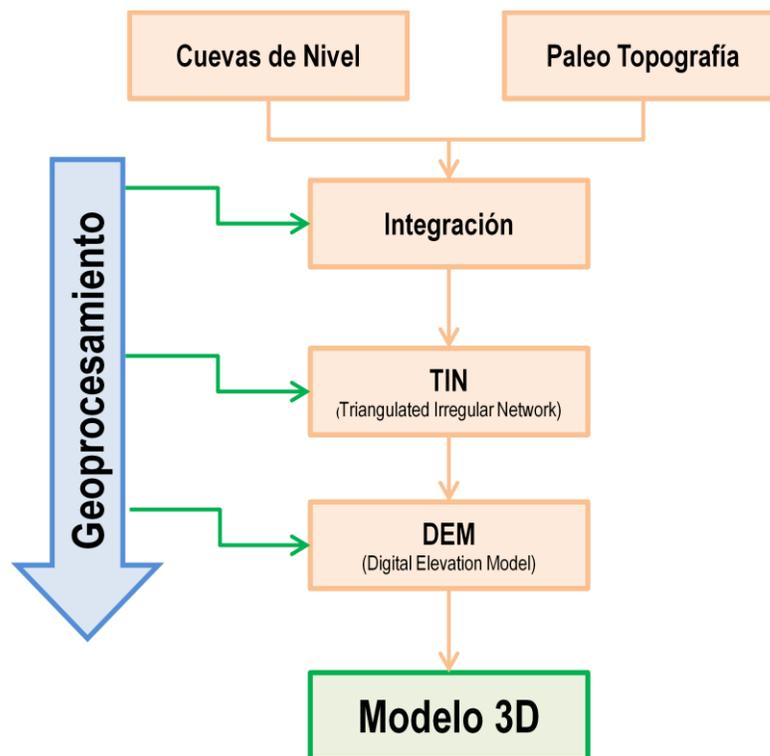


Fig. 6 - Modelo metodológico

Las etapas de Geoprocesamiento de información se han dividido en tres, así:

Se genera y selecciona en primera instancia la información espacial con el fin de tener en el mismo contexto la forma del depósito y la posición relativa, integrando las isoclinas de altura o curvas de nivel en superficie, con las de la paleotopografía o curvas de nivel.

En una segunda etapa con herramientas de SIG se realizó el modelo en tres dimensiones o Triangulated Irregular Network, que permite generar una red de puntos con base a la interpolación de la información que se selecciono en el procesamiento previo.

La última etapa de geoprocursos consiste en generar un modelo digital de elevación del terreno o DEM que se acerca a la representación de un sólido y permite dar una visión cercana a la realidad de un evento que por su extensión es difícil de medir.

Los geoprocursos son controlados en todos sus pasos para evitar que los resultados que genera el software se obtengan de datos ingresados de manera incorrecta u operados con parámetros default que pueden llevar a conclusiones no enfocadas a los resultados esperados.

A continuación se presentan de manera desagregada algunos de los pasos seguidos en los procesos y el resultado obtenido.

3.2 Generación de Modelo 3D

Las diferentes formas de abordar un problema pueden llevar a soluciones diferentes pero que apuntan al mismo resultado; por ello se propuso hacer un modelo o simulación del coluvión que afecta al municipio de Cáqueza incluso al casco urbano. Para cumplir con el cometido se realizó el aprestamiento de información y requerimientos que se presentan de manera sucinta a continuación, como parte de la generación del modelo 3D.

3.2.1 Capa de delimitación zona de estudio

Esta corresponde al resultado de una fase de interpretación de sensores remotos (Imagen de satélite y fotografías aéreas) combinado con la interpretación de la geomorfología (curvas de nivel y rasgos geológicos) donde se contorneo el límite superficial del depósito.

El límite del depósito determinado en el presente trabajo de grado, por tratarse de un proyecto académico conserva margen en el nivel de presión. La Fig. 7 muestra el resultado obtenido.

3.2.2 Superficie del coluvión (o del terreno)

Para la construcción de esta capa se tomo la expresión topográfica o curvas de Nivel que se presentan con un intervalo de 10 metros, (Se presenta Fig. 8) aunque se pueden obtener modelos de mayor precisión la usada en este proyecto es

la obtenida a partir de métodos fotogramétricos desarrollados por el Instituto geográfico “Agustin Codazzi” IGAC, como insumo del modelo fue necesario extraer solamente la información contenida en el la capa de delimitación de la zona de estudio.

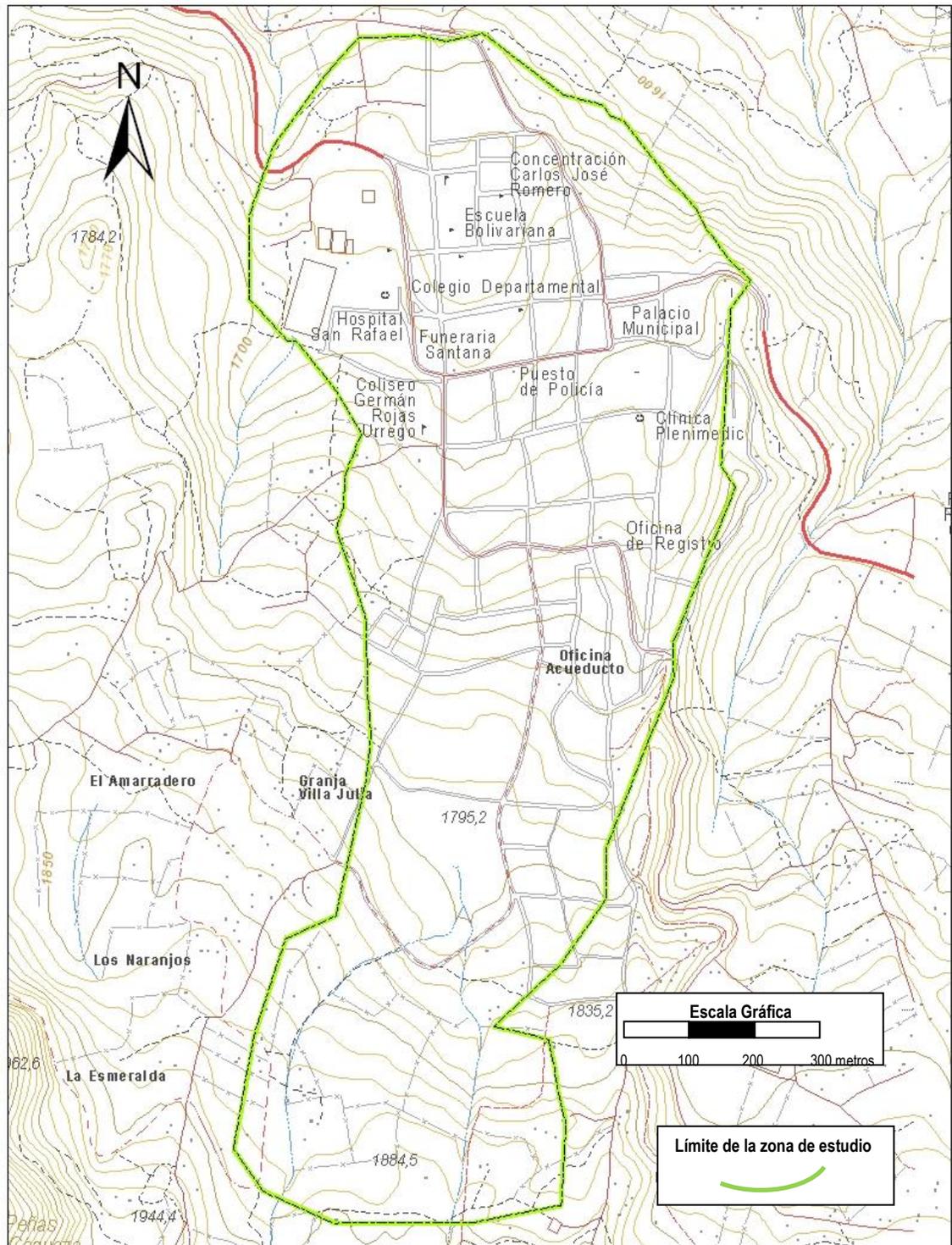


Fig. 7 - Límite del coluvión determinado mediante interpretación de sensores remotos sobre la base cartográfica IGAC escala 1:25.000.

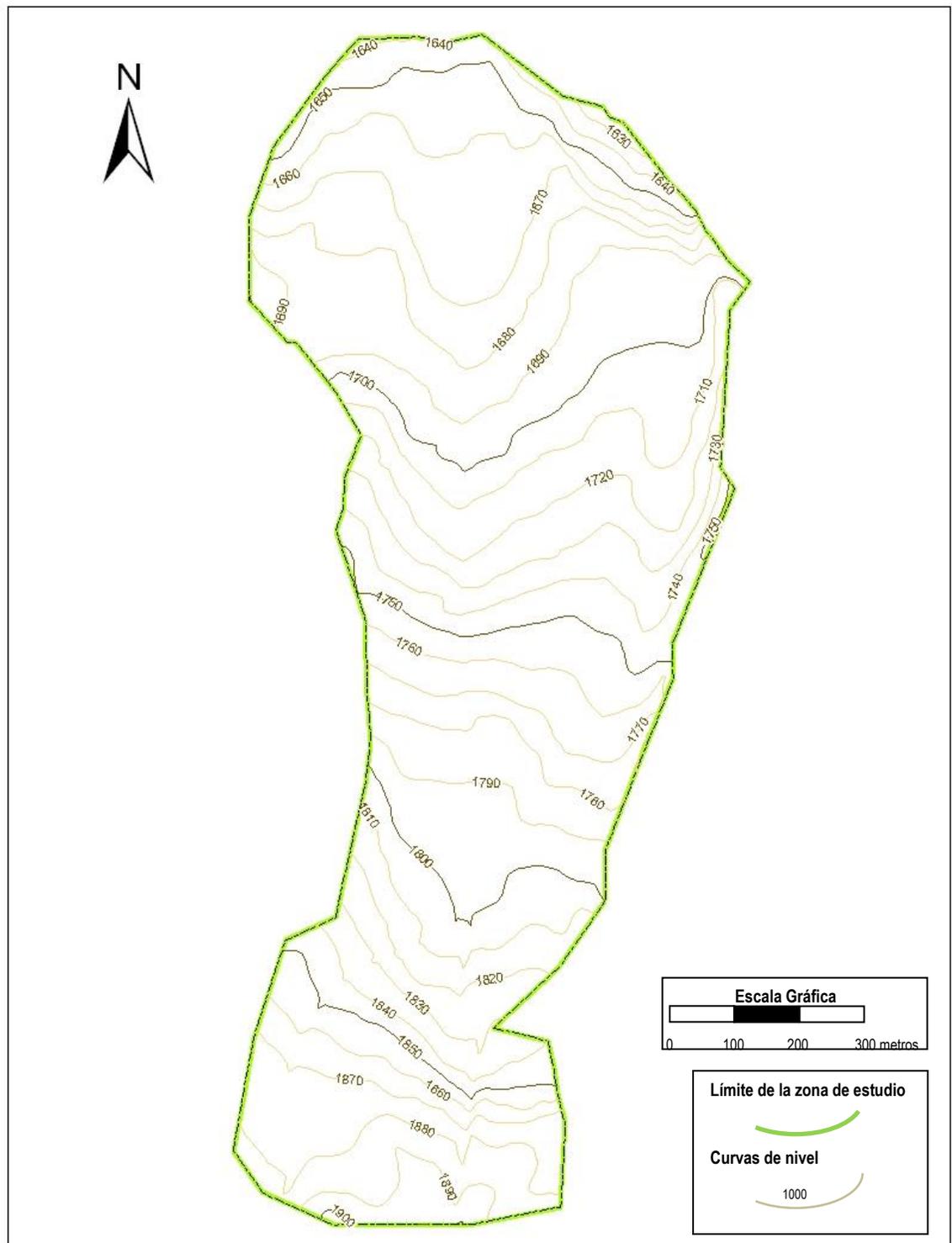


Fig. 8 - Topografía o superficie del coluvión, requerida para el modelo digital. Base cartográfica IGAC escala 1:25.000.

3.2.3 Paleosuperficie (Base del Coluvión)

Al igual que la identificación de la superficie del coluvión con la interpolación de curvas de nivel, ver Fig. 9, se requirió la construcción de la base del coluvión tomando información de varias fuentes que como resultado origina un mapa del contacto entre la base del coluvión y paleotopografía.

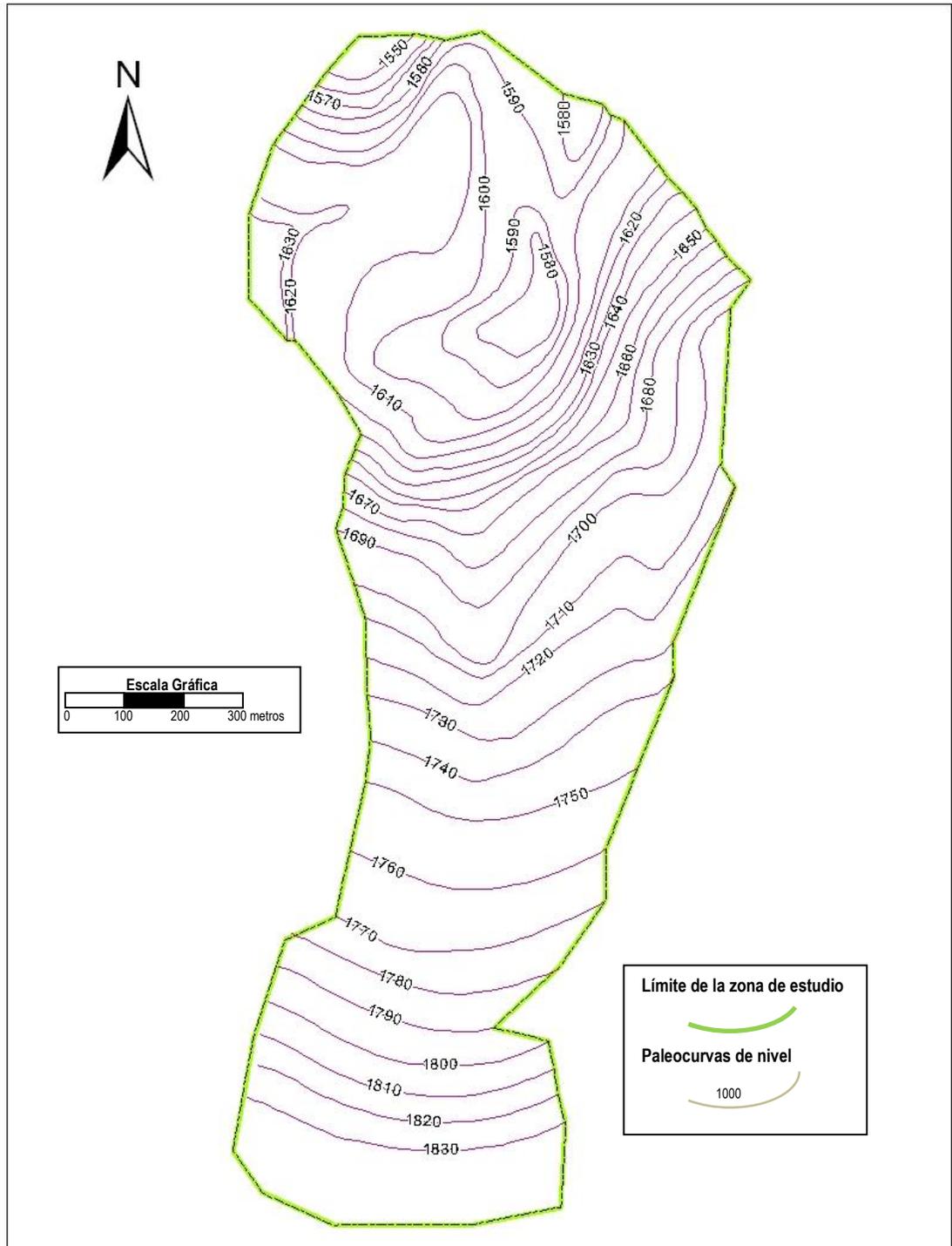


Fig. 9 - Paleotopografía o base del coluvión

Análisis y Resultados

Con base en la metodología planteada en el aparte número tres de este documento y las investigaciones

La integración de capas como la de delimitación zona de estudio, superficie del coluvión o del terreno y paleosuperficie o base del coluvión como se observa en la Fig. 10 y teniendo como derrotero que el objetivo primordial es el moldeamiento del cuerpo, se generó una sola capa espacial, a través de la integración que como atributo en común tienen la altura sobre el nivel del mar, para ello dentro de la estructura de las bases de datos se adecuó este campo, el resultado se muestra a continuación:

4.1 Generación del TIN

La herramienta TIN (Triangulated Irregular Network) que se ejemplariza en la Fig. 11, es una distribución continua de un atributo sobre una región bidimensional generada a partir de datos discretos (puntos ó líneas) por intermedio de funciones de interpolación. En este caso los datos discretos son los de las capas integradas de Superficie del coluvión y paleosuperficie o base del coluvión, mediante este proceso se generó el siguiente modelo:

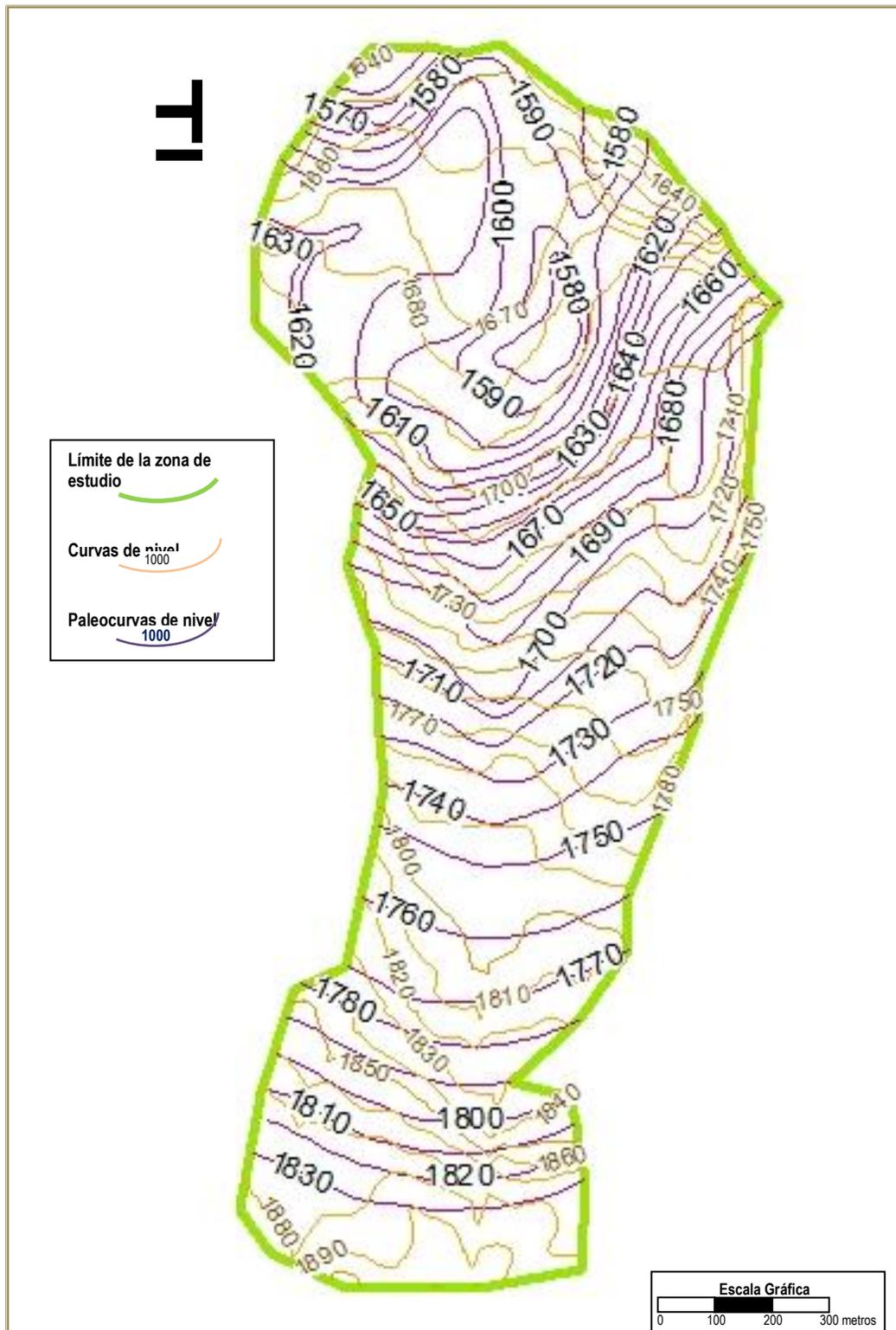


Fig. 10 - Integración mediante el ArcGis v 10.1, para determinar las curvas de nivel, tanto de la superficie del terreno y de la paleogeografía.

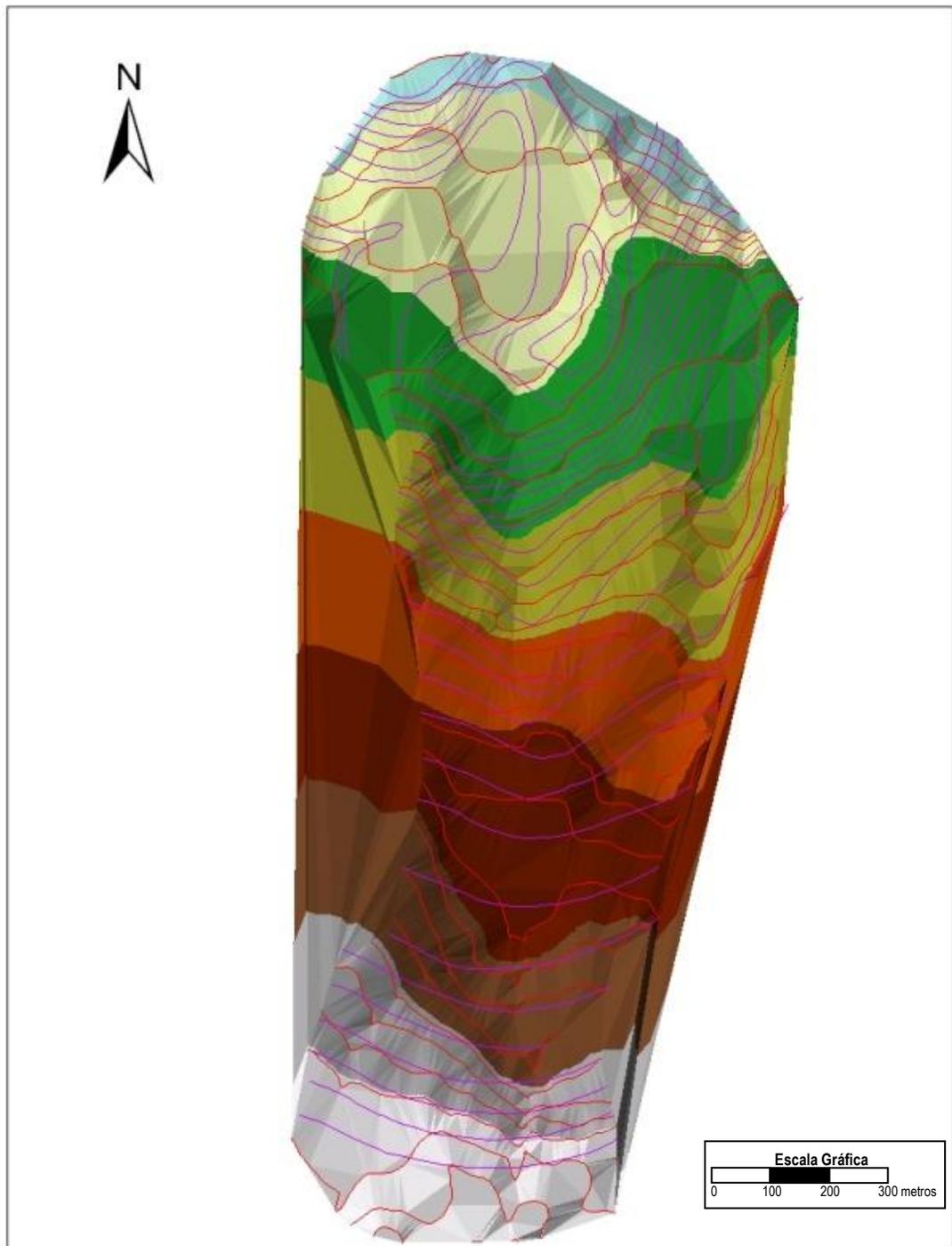


Fig. 11 - Ejemplo del Triangulated Irregular Network TIN de la superficie del coluvión.

4.2 Generación superficie Modelo Digital de Elevación - DEM

A partir del TIN generado se realiza una conversión a un Modelo Digital de Elevación que se presenta en la Fig. 12, esto se logra a partir de herramientas de análisis 3d de ARCGIS. Como resultado de este procesamiento, se obtiene una superficie continua de elevaciones, esto permite entre otros obtener submodelos como matrices hipsométricos, modelo de pendientes entre otros:

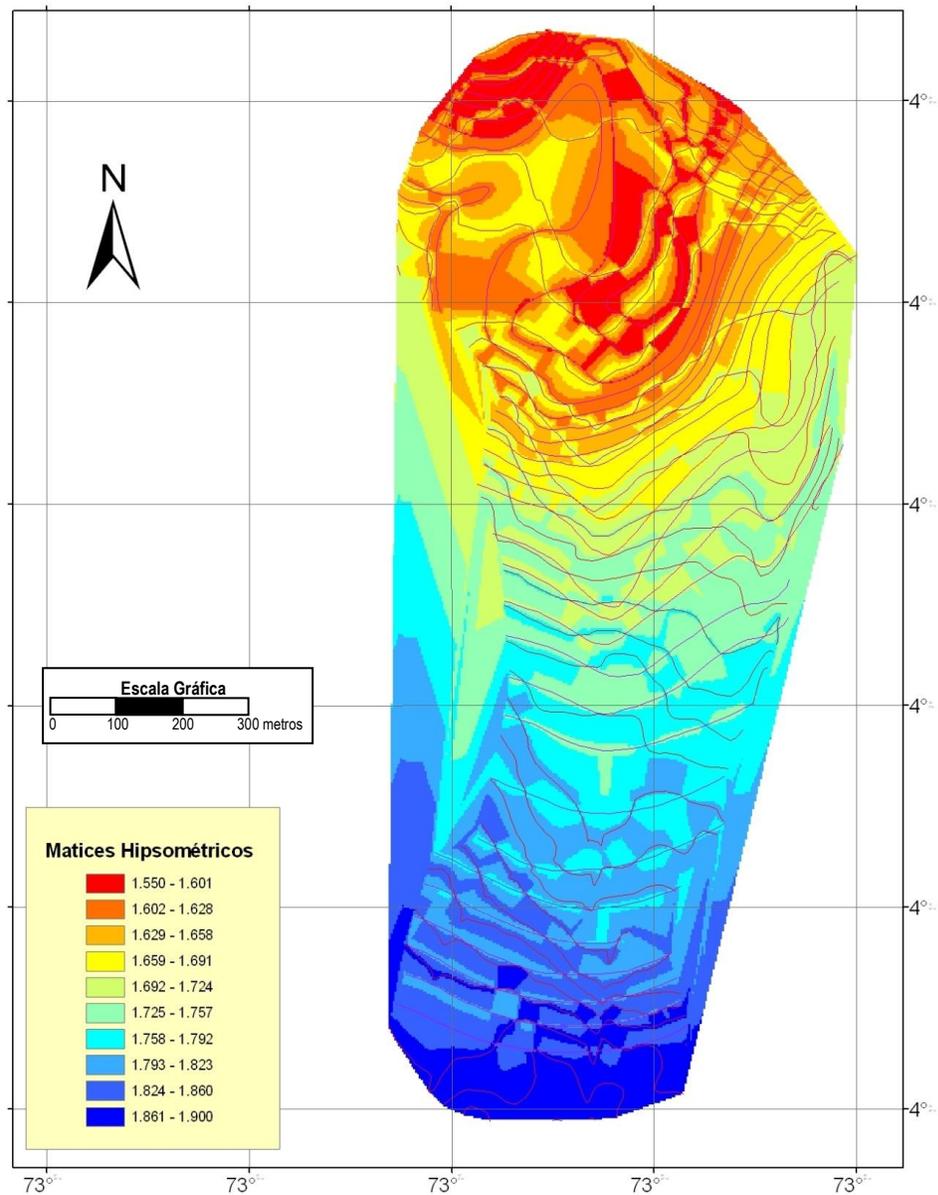


Fig. 12 - DEM y matriz hipsométrica del coluvión

4.2.1 Visualización 3D

Ya generado el modelo de elevación digital DEM, a través de ArcScene® de ESRI *Environmental Systems Research Institute*, se puede observar el modelo en 3 dimensiones, y para poder comparar este modelo con las capas insumo, éstas se convierten a capas 3D con el módulo Analyst 3D. Este módulo, permite rotar el

modelo para poderlo observar desde distintas vistas. En un recorrido desde diferentes posiciones de observación que se presentan a continuación Figuras N° 13 a 15.

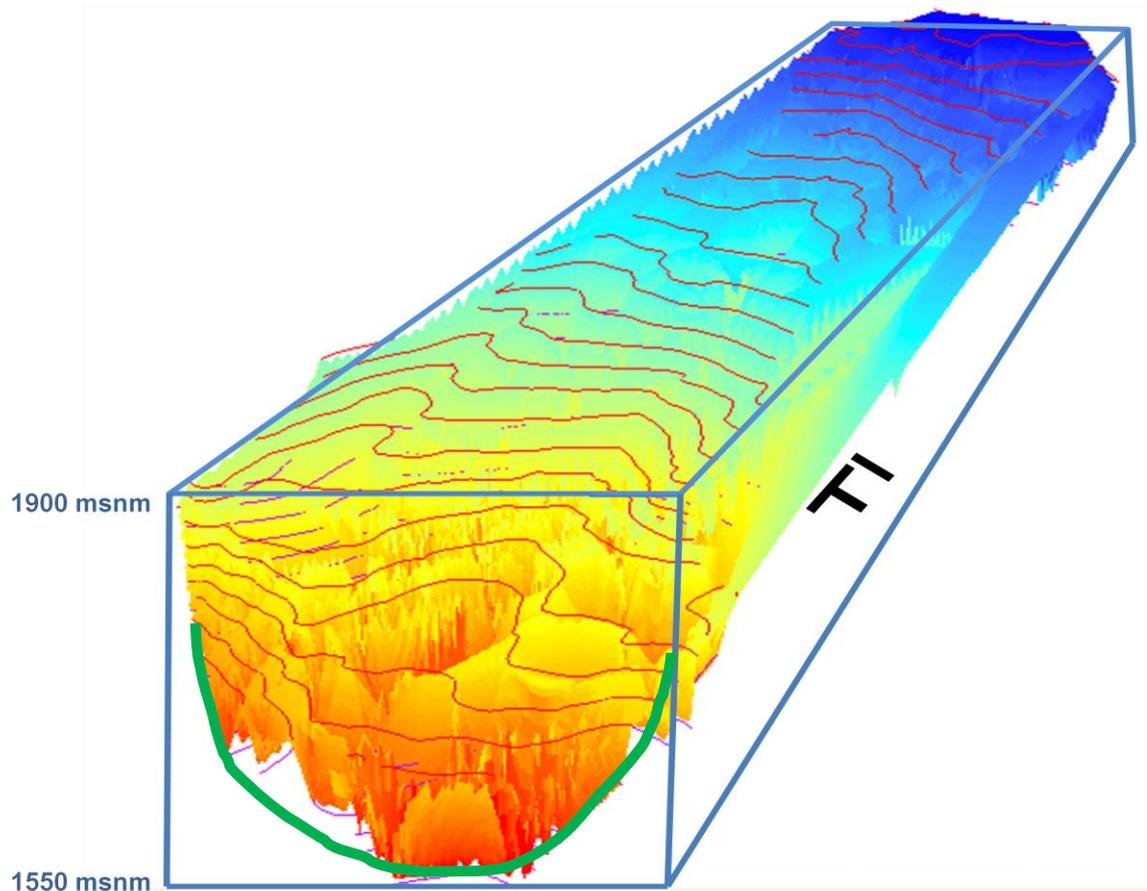


Fig. 13 - Modelo 3D visto desde el sur. (Perspectiva ortogonal)

En la figura inmediatamente anterior Vista del modelo tridimensional del coluvión desde el frente o noroeste donde se resalta la parte frontal profunda que representa en su contorno frontal, el frente de un paleocauce, profundo y amplio en el punto de entrega. La morfología típica de eventos fluvio-glaciales (Valle en U?).

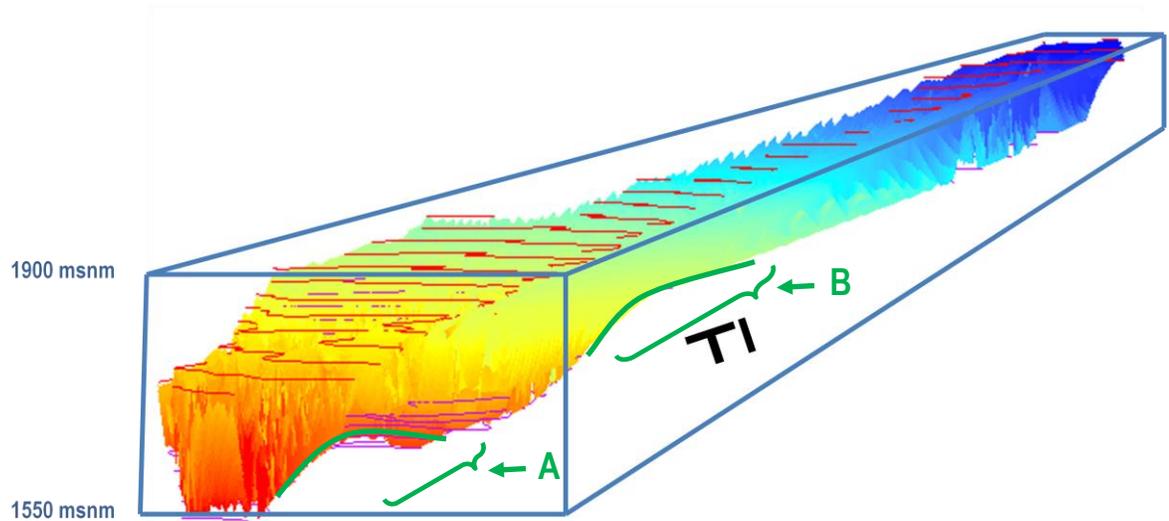


Fig. 14 - Proyección que resalta la parte más norte del coluvión.

Con un mayor ángulo se aprecian en la figura 14, dos puntos en **A** un forma convexa a la base del coluvión muy alta que corresponde a un paleo alto. **B** muestra una segunda forma similar pero de pendientes más suaves.

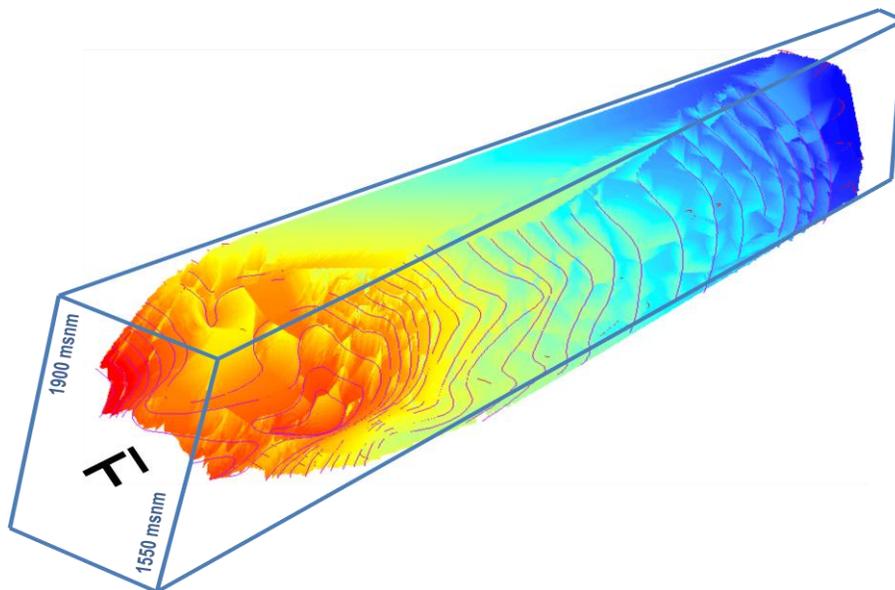


Fig. 15 - Vista desde abajo donde se presenta la forma de la base del coluvión

En la figura 15 se muestra la base del coluvión donde se resalta en colores rojos el espacio que ocupa el paleoalto.

Desde el sur o ápice hasta el norte o frente el depósito coluvial, este tiene una longitud axial cercana a los 1678 metros en la horizontal y un ancho promedio de 500 metros en el último tercio. A continuación se presenta la descripción del depósito y las variaciones encontradas y su implicación cinemática.

El siguiente perfil (Fig. 16 – Perfil del depósito coluvial donde se resalta la paleoforma o base del depósito. Fig. 16) corresponde a la interpretación de los datos de la tabla anterior; este fue procesado en ArcGIS 10.1; donde se resalta la forma de la paleosuperficie que con su dos paleoaltos hacen que con una pendiente que en algunos sitios alcanza 30° , la cinemática del cuerpo sea diferencial. Así como el paso o acumulación de agua dentro de la masa y en la superficie de contacto entre la roca (Paleotopografía) y la base del depósito coluvial.

Tabla N° 3 -.- Descripción longitudinal del comportamiento de las paleoformas del depósito coluvial.

Abscisa (En Metros)	Espesor (En Metros) Datos promedio	Descripción	Impacto
0	200	Ápice	Zona de recarga.
0 - 939	150 a 200	El depósito mantiene un espesor promedio	Zona de percolación e infiltración.
1169	300	Inicio del Paleocalte sur	El flujo subterráneo en razón a la pendiente de la paleotopografía se desplaza hacia el oriente.
1169 – 1370	220	Paleocalte al sur de la base del depósito	Barrera del flujo hidráulico el agua subterránea que viaja entre la roca y la base del depósito es direccionada hacia el oriente.
1280	140	Tope del paleocalte sur	Zona de disminución de la cinemática del depósito coluvial.
1478	280	Frente del escarpe e inicio del Frente del depósito – Inicio del paleocalte norte	Zona potencialmente acumuladora de agua por la configuración de batea de la paleoforma.
1520	120	Tope del paleocalte norte	Zona de disminución de la cinemática del depósito coluvial.
1678	220	Pie del depósito	Zona de inestabilidad por erosión por socavación lateral del río.

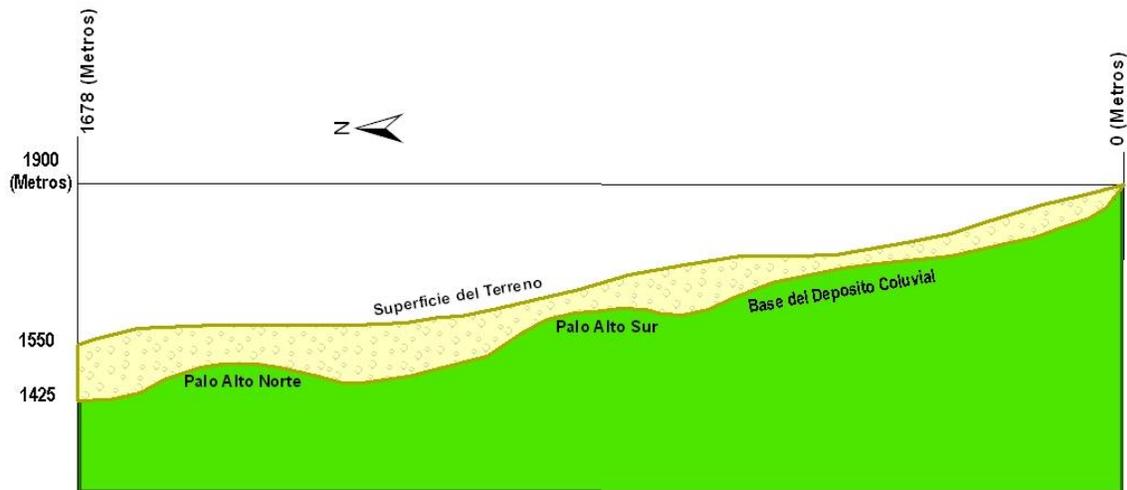


Fig. 16 – Perfil del depósito coluvial donde se resalta la paleoforma o base del depósito.

4.3 Perspectivas y Recomendaciones

De la evaluación se puede avizorar que en la investigación de amenazas geológicas de tipo movimientos en masa, se podrán implementar modelos relacionales para la prevención de amenazas y la mitigación potencial de eventos amenazantes sobre cualquier componente ambiente ambiental.

La aplicación en modelamientos para la planeación en construcción de obras civiles, como vías y embalses o simples programas de estabilización de taludes y revegetalizaciones para ayudar a la compensación de deslizamientos serán

elementos básicos en la toma de decisiones. Los resultados de un modelamiento pueden aminorar los riesgos económicos de inversiones sobre terrenos que por desconocimiento del subsuelo donde se desarrolla, aumentan la probabilidad de que se desencadene una cinemática que podría haberse evitado o manejado de manera controlada.

Esto lleva a tener una serie de consideraciones futuras con énfasis a la toma de datos espacializables que ayuden a mejorar los modelos análisis de manera particular y con mayores grados de certidumbre.

Al incorporar datos meteorológicos como isoyetas e isotermas, se pueden ayudar a determinar en qué época climática se acentúan o no la cinemática; la ubicación de focos sísmicos y sus epicentros asociados al aumento de la dinámica de los cuerpos en rangos temporales; así como la multitemporalidad de ocurrencias, podrán ayudar a la mejorar el conocimiento de áreas y zonificarlas de manera tal que se puedan apuntar los recursos en prevención y la capacidad de reacción tanto del estado y las comunidades, frente al desencadenamiento de un evento amenazante como a las medidas de manejo ambiental e ingenieril.

La toma de decisiones se convertirá así, en un método compartido de análisis espacial de la información y planeación estratégica, dejando de lado la percepción antrópica como soporte que pueden conducir a errores fatales y pérdidas económicas.

Conclusiones

Se cumplió con el objetivo de caracterizar los diferentes flujos en especial los que originan depósitos coluviales y se seleccionaron de los datos potencialmente implementables en un modelamiento de flujos mediante un SIG; como parte integral de los estudios que coadyuvan a la Gestión del Riesgo y entre otros están los que se pueden caracterizar en un atributo o propiedad que caracteriza un evento.

En la naturaleza los flujos se caracterizan porque no hay dos que tengan las mismas proporciones y mucho menos los mismos volúmenes y espesores, heterogéneos en su composición y heterométricos pero adicionalmente no cumplen con ningún modelo matemático.

Se seleccionaron datos espaciables usados en modelamiento del flujo de Cáqueza y que estuvieran disponibles.

Se realizaron propuestas o alternativas de un modelo de datos para simular como fluye el coluvión donde se cimenta el municipio de Cáqueza y parte de la zona conurbada; se seleccionó la propuesta en la que aseguraba que se tuvieran los insumos.

Al realizar el modelamiento o simulación de un flujo del cuerpo coluvio-aluvial, como el que afecta el municipio de Cáqueza, Departamento (Estado) de

Cundinamarca – Colombia, se pueden de manera representativa destacar las siguientes premisas:

El modelo arroja espesores diferentes a lo largo y ancho del depósito concluyéndose que para la extensión lateral del mismo su espesor promedio es muy bajo.

La paleotopografía generada presenta altos (Paleoaltos) que sirven de freno.

La pendiente de la paleotopografía indica que se tienen dos dominios o rampas de despegue cuyas cicatrices y procesos cinemáticos actuantes concuerdan con los resultados del modelo.

En la etapa de campo se evidencio que al tratarse de un depósito no consolidado con poco trabajo, se encontraron una mezcla de bloques polimícticos donde los fragmentos de roca angulosos por estar cerca a la fuente y mal empaquetados permiten la acumulación y circulación de agua.

De lo anterior se concluye que la sumatoria de los anteriores elementos

Los sistemas de información geográfica, debidamente implementados y con adecuados modelos y usuarios expertos pueden ayudar a determinar y determinar la tipología y demás características de datos para la implementación mediante un SIG; como parte integral de la Gestión del Riesgo.

Referencias

Biali, Gabriela., (2012) The Layer “Hydrogeology” Necessary For Elaborating Landslide Hazard Maps Using GIS. *Geographia Napocensis* Anul VI, Nr. 2, 2012. Technical University “Gheorghe Asachi”, Faculty of Hidrotechnical Engineering, Geodesy and Environmental Engineering, Department of Hydroamelioration and Environment, Iasi, Romania.

Claudio F. Mahler¹, Erika Varanda², Luiz C. D. de Oliveira³, 1- Department of Civil Engineering, COPPE, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil. 2- Transpetro S/A, Rio de Janeiro, Brazil. 3-, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca/UnED-Petrópolis, Rio de Janeiro, Brazil, Received April 12, 2012; revised May 24, 2012; accepted June 4, 2012

Calderón, Y., Avila, G., Ojeda, J. 1997. Estudio de amenazas y zonificación geológica de la cuenca del río Páez. 2 nd Pan-am. Symp. Landslides, 2nd COBRAE, Rio de Janeiro, 1997.

Cardona C.; y Pulgarín B.; 2008. Ajuste del Método LAHAR-Z a la Cuenca del Río Páez (Colombia), con base en los Flujos de Lodos Ocurridos en los años 1994 y 2007 en el sector del Volcán Nevado del Huila. VII Encuentro internacional del grupo de trabajo de nieves y hielo de América Latina del PHI-UNESCO. Manizales (Colombia), agosto de 2008.

Cardona, O. D., 1995. El Sismo del 6 de Junio de 1994: Atención de la Emergencia y Planteamientos para la Reconstrucción. En: Cauca y Huila, Colombia: Junio 1994 – Junio 1995. El Desastre y la Reconstrucción del Páez. Especial: Revista Desastre y Sociedad. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, No. 4, Año 3, pp. 77-104.

Caro, P., 1995. Geología y Geomorfología de la Parte Central del Valle del Río Páez entre Irlanda y su Confluencia con el Río Magdalena: INGEOMINAS, informe interno, 79 p. Santafé de Bogotá.

CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE BETANIA, 1989, Plan de Contingencia ante Eventos Hidrológicos y Situaciones Especiales: Proyecto Yaguará (Santa Elena). Neiva. 33 p.

Chuvienco Salinero, E: Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio. Ed. Ariel Ciencia. Madrid 2002.

Costa, J. E., 1987. Rheologic, Geomorphic, and Sedimentologic Differentiation of Water Floods, Hyperconcentrated Flows, and Debris Flows. In Baker, V. R., Kochel, R. C. and Parton, P. C., eds., Flood Morphology. New York, John Wiley and Sons, p. 113-122.

Díaz M. Fredy., 2010. "Uso de Técnicas de Teledetección y Sistemas de Información Geográficos SIG, para la Determinación del Impacto Ambiental del Factor Vegetación por la Actividad Antrópica. Estudio de Caso: Reserva Forestal Granada (Guaduas - Colombia), Tesis de Maestría, Fundación Universitaria Iberoamericana.

García; Alberto., 2010 "Determinación de Tipos de Datos, Requeridos en el Modelamiento de Flujos Torrenciales". Bogotá D.C. – Colombia. Trabajo de grado especialista en Sistemas de Información Geográfica. Universidad San Francisco de Quito.

Hubach E. 1931 El Valanginiano como sección del Girón, entre Cáqueza y Quetame y la Probabilidad del comienzo de la transgresión Andina en Colombia durante el Portlandiano. Ministerio de Minas y Energía. 3 páginas.

INGEOMINAS, 2007. Informe de simulación de escenarios de flujos de lodos en el volcán Nevado del Huila. Junio de 2007.

Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales, IDEAM. Guía técnico científica para la Ordenación de las cuencas Hidrográficas en Colombia. 2008.

Iverson, R.M., Schilling, S.P. and Vallance, J.W. (1998) Objective delineation of lahar-inundation hazard zones. Geological Society of America Bulletin 110(8), 972-984.

Pulgarín, B., 2001a. Dinámica y Mecanismo de Emplazamiento de un Flujo de Escombros Cohesivo de Gran Magnitud, sobre el Valle del Río Páez. VIII Congreso Colombiano de Geología y V Conferencia Colombiana de Geología Ambiental (Memorias Digitales). Manizales.

Raigosa, J. Y pulgarín, B., 1996. Simulación Preliminar de un Flujo de Lodo del Nevado del Huila, sobre el Río Páez, desde su confluencia con el Río Símbola. INGEOMINAS, Unidad Operativa Popayán.

Schilling, S. P (1998). LAHARZ; GIS programs for automated mapping of lahar-inundation hazard zones. Open-File Report. USGS Series. Report Number 98-638. USGS.

Varnes, D. J., 1978. Slope movement types and processes. In: Schuster R. L. and Krizek, R. J., eds. Landslides – analysis and Control. National Academy of Sciences, Washington, D. C. U.S. Transportation Research Board Special Report 176, p. 11-35.