

**SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA  
EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE**

**NATHALIA GÓMEZ CHAMORRO**

**YULIANA OSORIO BETANCUR**

**JULIÁN ANDRÉS SALAZAR TAMAYO**

**MANIZALES**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA**

**ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRAFICO**

**MANIZALES**

**2013**

**SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA  
EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE.**

**NATHALIA GÓMEZ CHAMORRO**

**YULIANA OSORIO BETANCUR**

**JULIÁN ANDRÉS SALAZAR TAMAYO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
Especialistas en Sistemas de Información Geográfica**

**Asesor**

**Geol. Carlos Marcelo Jaramillo E.**

**Universidad de Manizales**

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA  
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA  
MANIZALES**

**2013**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

---

**Asesor**

Manizales, 05 de Septiembre de 2013

## **DEDICATORIA**

*A todas las personas que de una manera u otra manera estuvieron a nuestro lado dando el apoyo y el espacio para la realización de este proyecto.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*Para comenzar le damos las gracias al Geólogo especialista Carlos Marcelo Jaramillo por el tiempo dedicado, la información otorgada, su conocimiento y comentarios objetivos para una buena culminación del proyecto.*

*Igualmente a las empresas en las que trabajamos que nos dieron el espacio para la realización de la especialización.*

*Para finalizar a la Central hidroeléctrica de Caldas por facilitarnos información vital para el desarrollo del proyecto realizado.*

## CONTENIDO

Pág.

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2. JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>2</b>
<b>3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>3</b>
<b>4. HIPÓTESIS</b> .....	<b>5</b>
<b>5. OBJETIVOS</b> .....	<b>6</b>
5.1. Objetivo general .....	6
5.2. Objetivos específicos.....	6
<b>6. LOCALIZACIÓN</b> .....	<b>7</b>
<b>7. METODOLOGÍA</b> .....	<b>9</b>
7.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	9
7.2. ESTRUCTURACIÓN DE LAS BASES DE DATOS .....	9
7.3. TRABAJO DE CAMPO.....	10
7.4. DIGITALIZACIÓN DE MAPAS.....	10
7.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	11

<b>8. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>14</b>
<b>8.1. PROCESOS EROSIVOS .....</b>	<b>14</b>
<b>8.2 GEOLOGÍA.....</b>	<b>19</b>
<b>8.3 USOS DE SUELO.....</b>	<b>19</b>
<b>8.4 PENDIENTES.....</b>	<b>20</b>
<b>8.5 PRECIPITACIÓN .....</b>	<b>20</b>
<b>8.6 ZONA DE INFLUENCIA DE FALLAS.....</b>	<b>21</b>
<b>8.7 CUENCA.....</b>	<b>21</b>
<b>8.8 SIG EN MOVIMIENTOS EN MASA.....</b>	<b>21</b>
<b>9 ANTEDECENTES.....</b>	<b>25</b>
<b>9.1 A GIS tool for historical instability processes data entry: An approach to hazard management in two Italian Alpine river basins. Chiara Audisio, Guido Nigrelli, Giorgio Lollino 2009. Torino. Italia.....</b>	<b>25</b>
<b>9.2 Vulnerabilidad ambiental en cuencas hidrográficas serranas mediante SIG. Gaspari, Fernanda J. Multequina 20: 3-13, 2011; ISSN 1852-7319 on line. ....</b>	<b>25</b>
<b>9.3 Applicability of landslide susceptibility and hazard zoning at different scales. Leonardo Cascini. Department of Civil Engineering, University of Salerno, via Ponte don Melillo, 84084 Fisciano (SA), Italy.2008.....</b>	<b>26</b>
<b>9.4 Landslide hazard analysis for Hong Kong using landslide inventory and GIS. K.T. Chau, Y.L. Sze, M.K. Fung, W.Y. Wong, E.L. Fong, L.C.P. Chan. Department of Civil and Structural Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, Yuk Choi Road, Hung Hom, Kowloon, Hong Kong, China.2004. ....</b>	<b>27</b>
<b>9.5 Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. D.S. Fernández, M.A. Lutz. Tucuman. Argentina.2010... </b>	<b>27</b>
<b>9.6 Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale. Fausto Guzzetti, Paola Reichenbach, Mauro Cardinali, Mirco Galli, Francesca Ardizzone. Perugia, Italy.2005.....</b>	<b>28</b>

**SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE**

9.7	Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. Cees J. van Westen, Enrique Castellanos, Sekhar L. Kuriakose. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, Netherlands.2008. ....	29
<b>10</b>	<b>DELIMITACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA.....</b>	<b>30</b>
10.1	METODOLOGÍA DE TRABAJO CON ARCHYDRO .....	31
<b>11</b>	<b>GEOMORFOLOGIA.....</b>	<b>34</b>
<b>12</b>	<b>SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA.....</b>	<b>36</b>
12.1	METODOLOGÍA DEL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	36
12.2	DIAGNÓSTICO DE LOS PROCESOS DE MOVIMIENTOS EN MASA.....	40
12.3	ASIGNACIÓN DE LOS VALORES DE PESO A LOS PARÁMETROS.....	43
12.4	PARÁMETROS PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD.....	45
<b>13</b>	<b>MODELO CARTOGRÁFICO PARA LA CUENCA CAMPOALEGRE .....</b>	<b>62</b>
13.1	MODEL BUILDER.....	62
13.1.	PASOS PARA LA ELABORACIÓN DEL MODELO CARTOGRÁFICO DE LA CUENCA CAMPOALEGRE UTILIZANDO MODEL BUILDER.....	66
<b>14.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>71</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>.....</b>	<b>72</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Localización tomada de la corporación autónoma regional de Risaralda	7
<b>Figura 2.</b> Esquema representativo de la metodología aplicada en este trabajo	....13
<b>Figura 3</b> Modelo de elevación digital de la Cuenca del Río Campoalegre	.....35
<b>Figura 4.</b> Localización de los movimientos en masa ubicados en la cuenca Campoalegre.	.....41
<b>Figura 5.</b> Mapa de usos del suelo de la Cuenca Campoalgre	.....47
<b>Figura 6.</b> Localización de las estaciones pluviométricas de la Central Hidroeléctrica de Caldas	.....51
<b>Figura 7.</b> Mapa de Precipitación o isoyetas de la Cuenca Campoalegre	.....52
<b>Figura 8.</b> Mapa geológico de la Cuenca Campoalegre	.....57
<b>Figura 9.</b> Mapa del fallamiento presente en la Cuenca Campoalegre	.....59
<b>Figura 10.</b> Mapa de pendientes de la Cuenca Campoalegre	.....61
<b>Figura 11.</b> Elementos de Model Builder	.....65
<b>Figura 12.</b> Proceso para generar mapa de pendientes con su clasificación y reclasificación	.....68
<b>Figura 13.</b> Proceso para generar mapa de isoyetas para su clasificación y reclasificación	.....68
<b>Figura 14.</b> Proceso para obtener un mapa raster clasificado y reclasificado para:a)geología,b)zona de influencia de falla,c)uso de suelo.	.....69
<b>Figura 15.</b> Modelo cartográfico realizado para la determinación de la susceptibilidad a movimientos masa	.....70

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> Área de la cuenca en los municipios (SIG CARDER 2009).....	8
<b>Tabla 2.</b> Clasificación de los movimientos en masa, modificada de Varnes(1978), Por Corpocaldas (2001) .....	42
<b>Tabla 3.</b> Valores de peso de acuerdo a la importancia a la susceptibilidad(Cees J. et al,2008) .....	44
<b>Tabla 4.</b> Matriz de los parámetros evaluados con sus valores respectivos y los autovectores obtenidos para las cuencas occidentales. Parámetros: A= Uso del Suelo, B= Geología, C=Precipitación, D= Zona de influencia de Fallas, E= Pendiente. ....	44
<b>Tabla 5.</b> Valores de peso asignados para el parámetro USO DE SUELO y sus clases. ....	48
<b>Tabla 6.</b> Promedio de datos de precipitación media y media anual. ....	50
<b>Tabla 7.</b> Valores de peso asignados para el parámetro PRECIPITACIÓN o ISOYETA y sus respectivas clases.....	50
<b>Tabla 8.</b> Valores de peso asignados para el parámetro GEOLOGIA y sus respectivas clases y peso para las cuencas occidentales del área del proyecto. ..	56
<b>Tabla 9.</b> Valores de peso asignados al parámetro zona de influencia de fallas y sus clases asociadas.....	58
<b>Tabla 10.</b> Valores de peso asignados al parámetro PENDIENTES y sus clases asociadas. ....	61

**SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO  
CAMPOALEGRE**

**ANEXOS**

**ANEXO A:** Geodatabase

**ANEXO B:** ArcToolbox-SUSCEPTIBILIDAD para ArcGis 10.0

## **RESUMEN**

La cuenca del Rio Campoalegre se encuentra en el flanco occidental de la cordillera central en los departamentos de Caldas y Risaralda, en los municipios de Santa Rosa de Cabal, Chinchiná, Villamaría y Palestina.

Dentro del estudio realizado a la cuenca se realizaron análisis para la determinar la susceptibilidad a movimientos en masa a través de un modelo cartográfico mediante la herramienta ModelBuilder la cual es corroborada y/o verificada con los procesos erosivos caracterizados en campo con la tabla de clasificación modificada de CORPOCALDAS 2001.

A partir de los mapas parámetro cartografiados como usos de suelo, geología, zonas de influencia de fallas, pendientes y precipitación se calculó la susceptibilidad obtenida a través del software Arcgis 10.0 en el cual muestra que los valores de susceptibilidad más altos se encuentran relacionados a zonas de pendientes y precipitación muy altas e igualmente en las zonas de canteras ubicadas en el municipio de Santa Rosa de Cabal.

Para la determinación de la susceptibilidad se utilizó en método multicriterio de jerarquías que asigna valores de 1 a 9 siendo 1 el menos susceptible y 9 el mayor valor de susceptibilidad; con este método se realizó una matriz la cual demostró que los principales detonantes son los parámetros de pendiente y precipitación por lo cual se le otorga un mayor valor de peso. Igualmente se hace una valoración a cada una de las subclases presentes en cada mapa parámetro.

## **1. INTRODUCCIÓN**

La cuenca del río Campoalegre es de suma importancia ya que provee agua potable y generación de energía eléctrica, es por ello que se determina las zonas susceptibles a movimientos en masa para la toma de decisiones en los momentos de emergencia.

A partir de los análisis de la información del proyecto y tomando en cuenta las variables de precipitación, pendientes, zona de influencia de fallas, usos de suelo y geología se formula un informe del comportamiento de la cuenca que permitirá determinar las posibles zonas susceptibles a los movimientos en masa a través de la aplicación del modelo cartográfico, lo cual podrá dar un diagnóstico de los lugares donde podrían ocurrir los posibles eventos que afectarían la cuenca.

## **2. JUSTIFICACIÓN**

Los movimientos en masa corresponden a movimientos de una masa de roca, escombros o tierra pendiente abajo, bajo la acción de la gravedad, cuando el esfuerzo de corte excede el esfuerzo de resistencia del material, por lo tanto, cuanto mayor sea la pendiente, mayor es el riesgo debido al mayor cizallamiento inducido por la gravedad.

Este tipo de eventos naturales ha generado alrededor del mundo cientos de desastres, que han incurrido en pérdidas de vidas humanas y económicas, por lo tanto, la evaluación de la ocurrencia de dichos movimientos es de vital importancia, ya que su predicción permitirá mitigar los efectos que estos movimientos en masa puedan provocar.

En la cuenca Campoalegre los detonantes a tener en cuenta para la generación de movimientos en masa son el uso del suelo, precipitación, pendientes, zonas de influencia de fallas y geología, que juegan un rol importante en su desarrollo y magnitud; por lo tanto, la susceptibilidad describirá donde se podría generar un movimiento en masa, teniendo en cuenta la inestabilidad que presentan las diferentes variables. Es por ello que se requiere el estudio detallado de cada uno de los factores que generan la inestabilidad de las laderas y conllevan a la generación de grandes movimientos en masa esto permitirá establecer relaciones de cómo cada uno de ellos repercute en la generación de dicho fenómeno; por lo tanto se implementará un Sistema de Información Geográfica que permita determinar la susceptibilidad.

Este sistema de información beneficiará a las empresas de abastecimiento de agua potable (EMPOCABAL, SERVICIUDAD y EMPOCALDAS) y de generación de energía eléctrica (CHEC), además de la población que se encuentra en el área de influencia de la cuenca.

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

A lo largo de la historia, los seres humanos se han visto afectados por una serie de fenómenos naturales que han cambiado su entorno, siendo los deslizamientos uno de los eventos más comunes; es por ello, que la prevención del riesgo de la población que está localizada dentro de la cuenca del río Campoalegre es de suma importancia en este estudio ya que se identificarán las zonas de mayor riesgo para la población y de esta manera evitar grandes desastres.

Los movimientos en masa han sido un problema que ha afectado de manera grave las zonas de ladera donde la acción de procesos erosivos es común. La susceptibilidad por movimientos en masa no sólo depende de los procesos erosivos sino también de otros factores como la acción de las lluvias que modifican los atributos físicos de los terrenos en general, las actividades humanas especialmente las prácticas agrícolas, también son aspectos de suma importancia. Por lo tanto, con este estudio, se pretende desarrollar y probar un enfoque heurístico, con el fin de predecir la distribución espacial de peligro por movimientos en masa dentro de la cuenca del río Campoalegre, ubicada entre los departamentos de Risaralda y Caldas en los municipios de Santa Rosa de Cabal, Villamaría, Chinchiná y Palestina. De esta manera podrían evitarse problemas como los generados por el huracán Mitch que fue uno de los más fuertes del siglo 20, ya que generó intensas lluvias que provocaron deslizamientos de tierra e inundaciones generalizadas en Centro América.

Esta cuenca realiza el mantenimiento del caudal de numerosos ríos y quebradas; la red de drenaje principal la componen los ríos Campoalegre, Campoalegrito y San Eugenio, los cuales afloran desde el Paramillo de Santa Rosa (red de drenaje

## **SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RÍO CAMPOALEGRE**

dendrítica y subparalela) y la Quebrada La Estrella, la cual nace en la Serranía del Nudo y se une al Río Campoalegre para finalmente entregar sus aguas al Río Cauca en el municipio de Chinchiná. De estos caudales se abastecen los acueductos de los municipios de Santa Rosa de Cabal y Dosquebradas en el Departamento de Risaralda, Chinchiná y Palestina en el Departamento de Caldas y una gran cantidad de acueductos veredales; es allí en donde está la mayor importancia de esta cuenca, ya que de ella se abastecen de agua aproximadamente 80.000 habitantes que residen en el área de ésta (Idarraga, 2009).

Para esto se implementará un SIG que buscará desarrollar un modelo cartográfico que permitirá determinar las zonas de alto riesgo a presentar movimientos en masa según sus características evaluadas y así emitir una alerta temprana que ayudará a la toma de decisiones principalmente en temporadas de lluvias.

#### **4. HIPÓTESIS**

Este Sistema de Información Geográfica permitirá determinar las posibles zonas con mayor susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa en zonas donde las condiciones de pendientes y precipitación son los principales detonantes de los movimientos en masa en la zona del eje cafetero y cuyas condiciones son propensas a presentar este tipo de eventos.

¿Son las altas pendientes, la precipitación, el tipo de roca, el uso de suelo y las zonas de influencia de fallas, los principales agentes que provocan la inestabilidad del terreno?

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. Objetivo general**

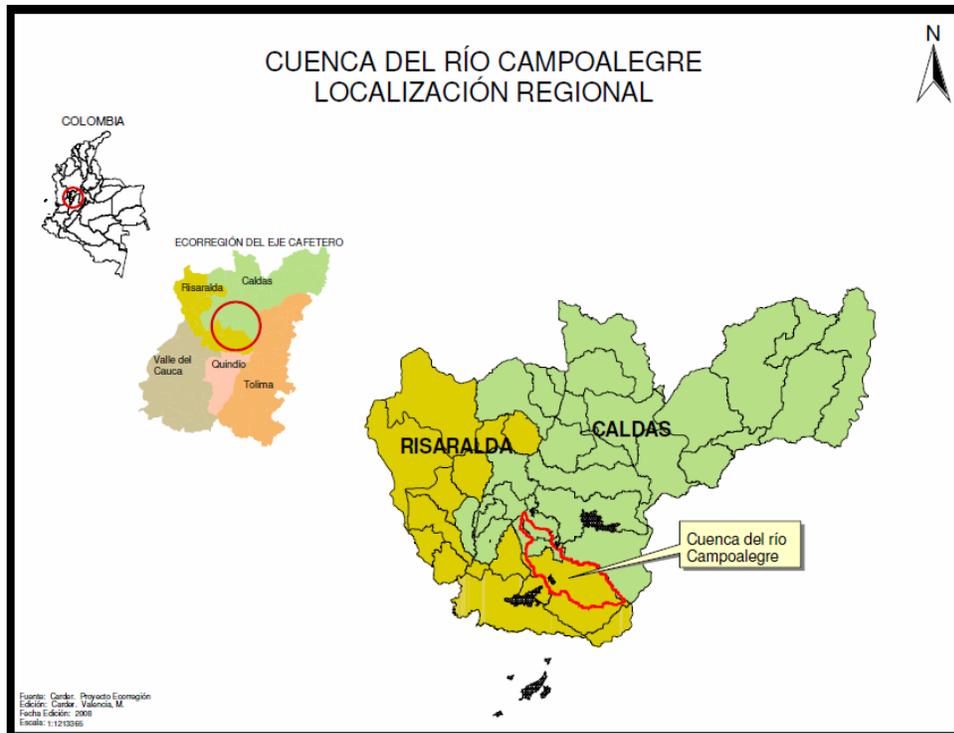
Desarrollar un Sistema de Información Geográfica que permita evaluar la susceptibilidad por movimientos en masa para la prevención del riesgo en la cuenca del río Campoalegre.

### **5.2. Objetivos específicos**

- ✓ Recolectar la información de los movimientos en masa existentes en la cuenca.
- ✓ Procesar y analizar la información recolectada en campo.
- ✓ Elaborar la base de datos espaciales.
- ✓ Generar los mapas con la información recolectada en las fases de revisión bibliográfica.
- ✓ Determinar las zonas potencialmente inestables para prevenir la afectación de la población en el área de influencia de la cuenca Campoalegre; además delimitar zonas adecuadas para el desarrollo de infraestructura y de asentamientos humanos.

## **6. LOCALIZACIÓN**

Según CARDER (2009) la cuenca del río Campoalegre tiene una extensión de 42.956.76 Ha (429.56 km<sup>2</sup>), de la cual el 75% (322,17 km<sup>2</sup>) corresponde a Risaralda y el 25% (107,39 km<sup>2</sup>) restante corresponde a Caldas (Figura 1).



**Figura 1. Localización tomada de la corporación autónoma regional de Risaralda**

El río Campoalegre nace en el Nevado Santa Isabel a 4.600 m.s.n.m. y desemboca en el río Cauca en el límite de los municipios de Chinchiná y Palestina a 870 m.s.n.m., luego de recorrer 72 km en dirección Suroriente Noroccidente (Tabla 1).

**SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE**

<b>MUNICIPIO</b>	<b>AREA TOTAL DEL MUNICIPIO H(a)</b>	<b>AREA EN LA CUENCA</b>
Santa Rosa de Cabal	55.612,245	59,69%
Chinchiná	10.856,749	52,53%
Villamaría	45.993,540	1,21%
Palestina	11.222,061	31,20

**Tabla 1. Área de la cuenca en los municipios (SIG CARDER 2009)**

## **7. METODOLOGÍA**

Para el desarrollo de los objetivos planteados en este trabajo se llevaron a cabo diferentes etapas que son conceptualizadas a continuación y resumidas en la Figura 2.

### **7.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

En esta etapa se realizó la búsqueda de material bibliográfico de las unidades litológicas que se encuentran en la zona, para determinar los rasgos más representativos, la búsqueda de los mapas topográficos que fueron utilizados como base para la elaboración del mapa de la zona y la búsqueda de fotografías aéreas.

Igualmente se revisaron los estudios realizados por CORPOCALDAS y CARDER (plan de manejo de la cuenca), Universidad de Caldas, estudios realizados por la CHEC y los datos históricos hidrológicos y meteorológicos. Para la caracterización, igualmente se tuvo en cuenta la literatura existente para determinar la caracterización de procesos erosivos y usos de suelo en la cuenca.

### **7.2. ESTRUCTURACIÓN DE LAS BASES DE DATOS**

Se definieron los ítems de la base de datos para el levantamiento de la información en campo y los diferentes mapas temáticos que serán utilizados en el estudio, además de la estructuración de la geodatabase.

### **7.3. TRABAJO DE CAMPO**

El trabajo de campo se realizó a partir de recorridos a lo largo de la cuenca, con el objetivo de identificar los diferentes procesos erosivos y corroborar los datos existentes y actualizarlos. Esta fase está conformada por las siguientes etapas:

**7.3.1. Fase de reconocimiento.** Aquí se identificó las rutas posibles para acceder a los diferentes puntos de la zona y hacer un análisis preliminar.

**7.3.2 Fase de identificación y diagnóstico de los procesos denudativos.** A largo de esta fase se reconocieron las diferentes procesos erosivos, donde se caracteriza cada proceso, para determinar los diferentes factores que los determinan y así poder corroborar el modelo de susceptibilidad.

### **7.4. DIGITALIZACIÓN DE MAPAS**

Se digitalizó el mapa de la cuenca del río Campoalegre, utilizando el software ArcGis 10.0 y unificando las planchas del Instituto Agustín Codazzi ( 205-IV-A,205-IV-C,224-II-A,224-II-C,225-I-B,225-I-D,225-II-A,225-II-C), unificadas al sistema de coordenadas Magna Bogotá, para generar un mapa con escala 1:50.000 con el fin de tener una base cartográfica.

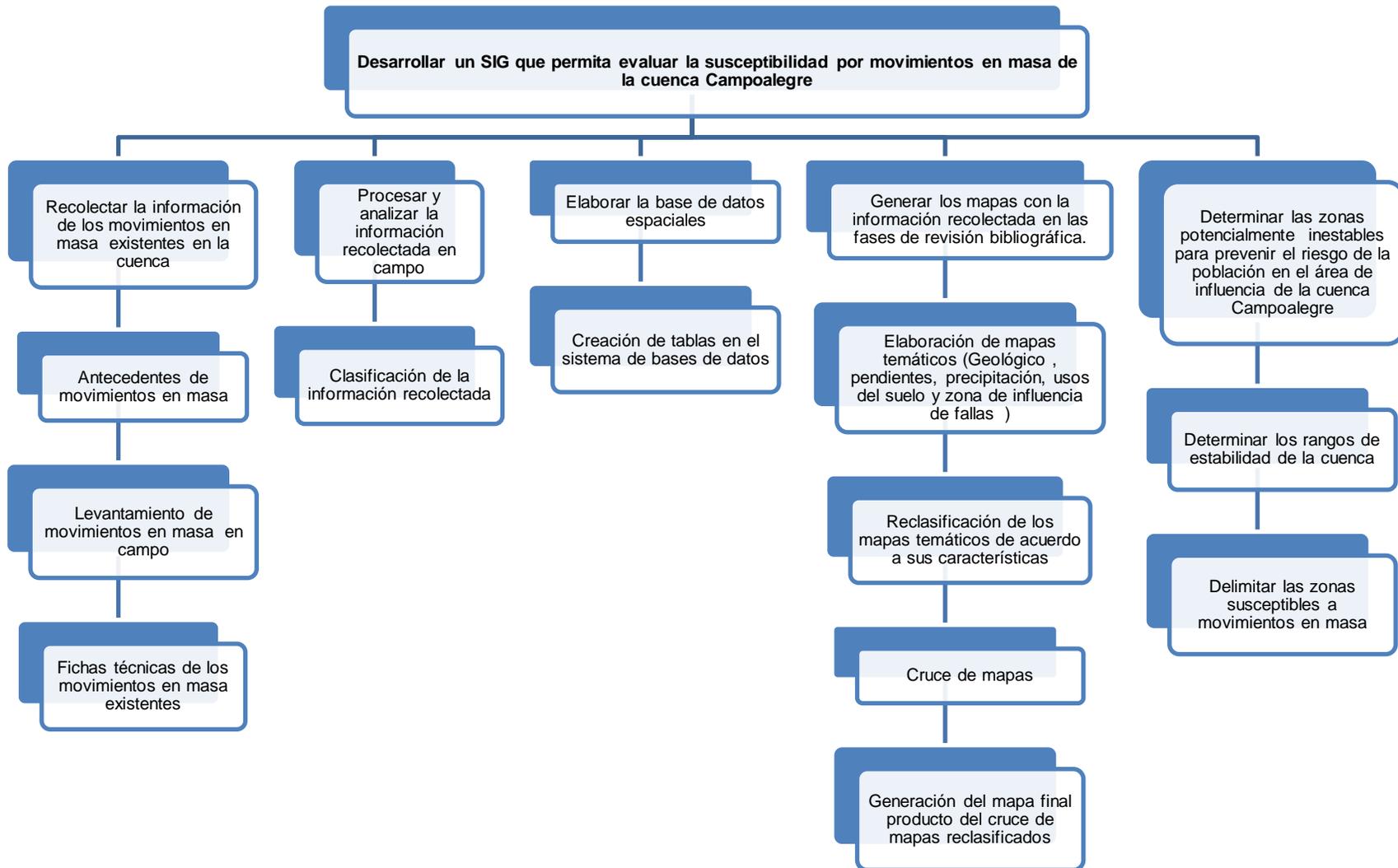
Igualmente en este proceso se generó la delimitación de la cuenca (ArcHydro) y las áreas de influencia directa e indirecta con fin de plasmar la información recolectada en campo para los diferentes mapas temáticos (Geología, Fallas, Pendientes, Usos de Suelo y Precipitación).

## **7.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Se determinaron las zonas potencialmente inestables para prevenir el riesgo a movimientos en masa de la población en el área de influencia de la cuenca Campoalegre y así determinar las zonas con susceptibilidad.

Los mapas generados y el resultado de las diferentes operaciones Raster serán almacenados en una geodatabase para un almacenamiento óptimo de la información.

## SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE



**Figura 2. Esquema representativo de la metodología aplicada en este trabajo**

## 8. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

Los resultados de la susceptibilidad a movimientos en masa para la cuenca Campoalegre podrán controlar y prevenir procesos que afecten a la población, tales como: erosión, inundaciones, inestabilidad geológica, deforestación, simplificación y fragmentación de ecosistemas; además, traducir tales estudios en beneficios para la región otorgando especial interés a los recursos hídricos, los aprovechamientos hidroeléctricos, la prevención de desastres y la calidad ambiental (CARDER, 2009).

En los departamentos de Caldas y Risaralda, debido a las complejas características Geológico – Estructurales, las diferentes formaciones superficiales y los procesos de geodinámica externa que ocurren en la zona donde están establecidos, se presentan procesos erosivos que influyen en la tasa de sedimentación de las corrientes de aguas superficiales y que afectan la vida útil de obras en operación como los embalses de agua.

Para un mejor desarrollo y conceptualización de este proyecto, se hace necesario describir de manera clara y concisa los términos empleados en este texto, con el fin de que el escrito sea más fácil de comprender:

### 8.1. PROCESOS EROSIVOS

**8.1.1 Erosión Hídrica.** Proceso de disgregación y transporte de las partículas del suelo por la acción del agua.

**8.1.2 Erosión pluvial.** La erosión pluvial es el desprendimiento y el movimiento de las partículas del suelo delgado causado por el impacto de las gotas de

lluvia sobre el suelo. La masa y la velocidad de las gotas inciden en la magnitud de la erosión, facilitando el proceso la pendiente del sector donde ocurren las precipitaciones (Rodríguez, 2005)

**8.1.3 Erosión fluvial.** Es la que llevan a cabo los cursos de aguas continentales (ríos y torrentes). La erosión fluvial (disección) determina el ángulo de las vertientes, lo cual a su vez condiciona los mecanismos como opera la erosión de la vertiente, por su puesto en concordancia con las características de la zona climática donde estos procesos ocurren.

En las regiones montañosas el levantamiento tectónico estimula la intensidad de la erosión fluvial generando cañones y valles en “V”, bastante profundas (Rodríguez, 2005).

**8.1.4 Erosión glacial.** Este tipo de erosión se debe a la acción del hielo que puede tomar una de dos formas. Puede ser causada por el movimiento del hielo, por lo general como los glaciares, en un proceso denominado erosión glacial. También puede ser debida a los procesos de congelación/descongelación en los que el agua dentro de los poros y fracturas en la roca puede ampliar el agrietamiento (CORPOCALDAS, 1999).

**8.1.5 Erosión Gravitacional.** El término abarca un conjunto de procesos debido al transporte directo de materiales, por la acción de la gravedad, sin que medie un agente de transporte (hielo, agua, viento) y en donde la pendiente juega un papel importante.

**8.1.5.1 Movimientos en masa.** Corresponden a un desplazamiento hacia abajo (vertical o inclinado en dirección del pie de una ladera) de un volumen de material litológico importante, en el cual el principal agente es la gravedad. Los términos más utilizados para denominar globalmente estos fenómenos son: movimientos en masa, movimientos de terreno, deslizamientos, deslizamientos de terreno, deslizamientos de vertiente, movimientos de ladera, entre otros Varnes (1996) en Franco, 2004.

A continuación se definen cuatro grupos principales de movimientos en masa.

- ✓ **Caídas:** Según Varnes (1978, 1996) Hutchinson (1988) (en Franco, 2004) una caída se inicia con la separación de suelo o roca desde una ladera a lo largo de una superficie sobre la cual poco o ningún desplazamiento cortante tiene lugar, descendiendo principalmente a través del aire cayendo, rebotando o rodando. El movimiento es de muy rápido a extremadamente rápido.  
Este movimiento ocurre generalmente en zonas de alta pendiente y la gravedad constituye el principal agente motor del movimiento. Las caídas, desprendimientos o desplomes son generados por procesos similares, ellos son distinguidos solamente por la magnitud del fenómeno.
  
- ✓ **Volcamientos:** Es la rotación hacia fuera de un talud, de masas de suelo o roca alrededor de un punto o eje por debajo del centro de gravedad de la masa desplazada. El movimiento puede ser dirigido por la gravedad ejercida por el material ladera arriba de la masa desplazada y algunas veces por agua o hielo en fisuras o grietas en la masa. Los volcamientos pueden conducir a caídas o deslizamientos de la masa desplazada, dependiendo de la geometría de la masa que se mueve, la geometría de la superficie de separación y la orientación y extensión de las discontinuidades cinemáticamente activas (Varnes 1996 en Franco 2004).

- ✓ **Deslizamientos:** Varnes (1978, 1976) y Hutchinson (1988) en Franco 2004) coinciden en definir los deslizamientos como movimientos rápidos pendiente abajo, de suelo o roca sobre una o más superficies críticas de deslizamiento límite.

También generan diferentes mecanismos y formas de ruptura que permiten diferentes clasificaciones.

- **Traslacional:** la masa se desplaza a lo largo de una superficie planar ondulante deslizándose afuera sobre la superficie del terreno original con una dirección casi paralela al talud (Varnes 1978, 1996; Hutchinson 1988 en Franco 2004); los deslizamientos traslacionales son relativamente más superficiales que los deslizamientos rotacionales
- **Rotacional:** se mueven a lo largo de una superficie de ruptura curva o cóncava; si la superficie de ruptura es circular o cicloidal en perfil , la cinemática dicta que la masa desplaza puede moverse a lo largo de la superficie con poca deformación interna (Varnes 1996 en Franco 2004)
- **Planar:** la masa que se mueve consiste de una sola unidad poco deformada o varias unidades cercanamente relacionadas (Varnes, 1978 en Franco 2004)
- **Compuesto:** Varnes (1996) y Hutchinson (1988) definen los deslizamientos compuestos como deslizamientos intermedios entre rotacionales y traslacionales.

## SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE

Se caracterizan porque las superficies de deslizamiento son marcadamente no circulares, formadas por una combinación de una parte plana curva o plana profunda en la parte trasera y una más plana en la base (Hutchinson 1988)

- ✓ **Flujos:** Son movimientos de material litológico de textura fina y gruesa que se desplaza a lo largo de una superficie de falla bien definida. Aunque comúnmente los flujos son caracterizados como movimientos rápidos y compuestos por lodos también pueden ser lentos y compuestos por rocas y suelos no saturados. En general estos movimientos se caracterizan por presentar superficies de ruptura planares a lo largo de una discontinuidad litológica, determinada por el contacto suelo-roca o roca meteorizada-roca fresca, dejando superficies pulidas y estriadas.

Los flujos, también se caracterizan por su forma alargada y estrecha desde su corona hasta el pie, en donde se expande en abanicos con formas lobuladas interiormente.

A diferencia de los procesos fluviales, presentan una alta saturación de los materiales sólidos más esporádicos. Se producen con el exceso de agua aportada en un derretimiento brusco de nieve por lluvias de alta intensidad y duración.

Los flujos generalmente se clasifican por el material litológico involucrado en el movimiento como: flujos de lodo, de tierras, de detritos y de escombros (CORPOCALDAS, 1999).

## 8.2 GEOLOGÍA

La geología generalmente define las características o propiedades del suelo o roca. La formación geológica determina la presencia de materiales duros o de baja resistencia con características homogéneas, y las discontinuidades pueden facilitar la ocurrencia de movimientos a lo largo de ciertos planos de debilidad.

Los elementos geológicos principales son los siguientes:

- ✓ **Unidad geológica:** Los materiales de origen ígneo-metamórfico poseen un comportamiento diferente a los suelos de origen sedimentario, aluviones, coluviones, etc.
- ✓ **Estructura y discontinuidades:** En los suelos residuales y rocas la estratificación y las discontinuidades actúan como planos de debilidad o como conductores de corrientes de agua subterránea y las características de estas pueden facilitar los movimientos.
- ✓ **Meteorización:** La descomposición física o química produce alteraciones en la roca o suelo, las cuales modifican substancialmente los parámetros de resistencia y permeabilidad, facilitando la ocurrencia de deslizamientos.

## 8.3 USOS DE SUELO

Engloba los diferentes usos que el hombre puede hacer de la tierra, su estudio y los procesos que llevan a determinar el más conveniente en un espacio concreto. Menos del 30% de la superficie de nuestro planeta es tierra. No toda ella puede ser utilizada por los humanos, motivo por el cual constituye un recurso natural valioso y sometido, en muchas partes del mundo.

## 8.4 PENDIENTES

La variable denominada pendiente, considera tanto el ángulo de inclinación como la longitud de la ladera y los marcados cambios de pendiente a través de las laderas. Todos los autores consideran que es una variable, algunos las combinan con las formas (morfología), el índice de relieve relativo, las diferencias de altura, y las direcciones de las pendientes; conceptos que son agrupadas en la ciencia denominada geomorfología, junto con la morfodinámica (procesos erosivos y neotectónicos) (Rodríguez 2005)

Los perfiles más profundos de meteorización se encuentran en los taludes suaves más que en los empinados. Para cada formación, en un estado determinado de meteorización existe un ángulo de pendiente a partir del cual un talud es inestable. Mientras algunos suelos residuales de origen ígneo permiten ángulos del talud superiores a 45 grados, en lutitas meteorizadas saturadas éste no debe exceder los 20 grados y hasta valores de la mitad del ángulo de fricción.

## 8.5 PRECIPITACIÓN

**8.5.1 Estaciones.** Reportaran la intensidad de lluvia y el comportamiento de estas en las áreas de influencia directa.

**8.5.2 Intensidad.** Cantidad de agua que de acuerdo a las características climáticas del sector aumentarán en zonas más bajas y se disminuirán hacia las parte altas topográficas.

## **8.6 ZONA DE INFLUENCIA DE FALLAS**

Este factor detonante permite definir la probabilidad de que ocurra un evento por el nivel de aceleración superficial del terreno.

## **8.7 CUENCA**

**8.7.1 Delimitación.** La delimitación de una cuenca está dado por las divisorias de aguas que la separa del resto de drenajes y que hacen que confluyan.

**8.7.2 Drenajes.** Corresponde al conjunto de ríos que se encuentran drenando por las divisorias que delimitan a la cuenca la cual está compuesta por una cantidad de drenajes que se clasifican de acuerdo al número que estas reciben en su recorrido desde el nacimiento. Por ejemplo en el nacimiento son llamado de primer orden y a medida que reciben agua de tributarios aumentaran en su número de orden.

## **8.8 SIG EN MOVIMIENTOS EN MASA**

La evaluación de la susceptibilidad de deslizamientos dentro de un SIG, integra factores condicionantes de la inestabilidad de laderas, basadas en jerarquías analíticas y sumas lineales ponderadas de pesos de factores y clases.

Se propone un método indirecto de evaluación de la susceptibilidad de deslizamientos dentro de un SIG, que integra factores condicionantes de la inestabilidad de laderas, algunos de ellos extraídos a partir del análisis de imágenes de satélite multiespectrales y multitemporales, y técnicas de evaluación multicriterio, basadas en jerarquías analíticas y sumas lineales ponderadas de

pesos de factores y clases. El método permite evaluar cuantitativamente la consistencia en la asignación de pesos, con lo que se reduce la subjetividad inherente a ésta, que es típica de los métodos de indexación. Dicho método se considera especialmente útil para la evaluación de la susceptibilidad a escalas intermedias (1:25.000 y 1:50.000) en zonas donde apenas existen datos geotécnicos e hidrogeológicos, y en las que además no es factible realizar muestreos estadísticos adecuados (Hervas, 2001)

Existen diversos métodos de evaluación de la susceptibilidad a los deslizamientos a través de SIG. Soeters y van Westen (1996), Aleotti y Chowdhury (1999) y Guzzetti et al. (1999), entre otros autores, proporcionan una amplia visión de los más utilizados, entre los que se incluyen principalmente los estadísticos, determinísticos, de indexación y de evaluación directa de la susceptibilidad. La aplicabilidad de cada método a una zona determinada depende sobre todo de las características y extensión de dicha zona, del tipo y extensión de los deslizamientos existentes, de los datos geotécnicos e hidrogeológicos disponibles y de la escala de trabajo (Hervas, 2001)

Para la cartografía regional de susceptibilidad, a escalas intermedias, del orden de 1:25.000 y 1:50.000, frecuentemente no se dispone de suficientes datos que permitan el uso de métodos determinísticos, siendo éstos además poco apropiados para tales escalas. El uso de métodos estadísticos, generalmente más adecuados en estos casos, conlleva a un gran esfuerzo de recolección de datos. Cabe también destacar que estos últimos no son aplicables en zonas donde predominan los deslizamientos respecto a las áreas estables. Por otra parte, el empleo de métodos tanto de evaluación directa de la susceptibilidad como de evaluación indirecta, mediante el uso de índices, implica generalmente una gran subjetividad, por lo que los criterios de evaluación son difícilmente extrapolables a otras zonas. Una aplicación más adecuada de los métodos de evaluación indirecta requiere la utilización de algún procedimiento que disminuya la subjetividad en la

asignación de pesos o que normalice analíticamente el criterio con el que éstos se asignan a los diferentes factores condicionantes de deslizamientos considerados (Hervas, 2001)

El método empleado para la evaluación de la susceptibilidad requiere en primer lugar la creación de la base de datos mediante la elección de mapas temáticos y cartografía de los factores del terreno condicionantes de la inestabilidad. Para ello se utilizan técnicas tradicionales, como la fotointerpretación y el reconocimiento directo de campo, junto con otras de tratamiento digital de imágenes de satélite, de interpretación de imágenes de satélite tridimensionales (Hervás y Rosin, 2001) y de imágenes de sombreado del relieve a partir de modelos de elevación del terreno (MDE) de alta resolución. Asimismo se han digitalizado y actualizado algunos mapas ya existentes. Estos factores, una vez homogeneizados en cuanto a contenido, escala y formato gráfico, se integran en un SIG (Hervas, 2001)

A continuación se subdivide cada factor en clases, a las que asignan pesos en función de su influencia relativa en la inestabilidad. Posteriormente se determina analíticamente el peso relativo de cada factor con respecto a los demás, usando para ello el método de evaluación multicriterio de las jerarquías analíticas (Saaty, 1980, 1994; Eastman et al., 1995). Éste utiliza una estructura jerarquizada de criterios (los factores del terreno en nuestro caso) junto con la comparación de criterios por parejas para establecer sus pesos. Con este método se crea primero una matriz cuadrada, en la que el número de filas y columnas viene definido en nuestro caso por el número de factores de inestabilidad. A cada elemento de la matriz se le asigna un valor que representa la importancia relativa del factor de su fila con respecto al de su columna en cuanto a posible inestabilidad (Hervas, 2001)

El procedimiento de las jerarquías analíticas da mayor preponderancia al peso establecido en los criterios sobre los valores asignados a las alternativas en el proceso de toma de decisiones (Barredo, 1996). Esto significa en nuestro caso que el índice de susceptibilidad obtenido depende fundamentalmente del peso

## **SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE**

asignado a los factores (evaluado mediante la razón de consistencia), y en menor medida de la asignación de pesos a cada clase dentro de un factor, por lo que la subjetividad y ausencia de control inherentes a éste último proceso no influye sobremanera en el cálculo del índice final (Hervas, 2001)

Paralelamente a la evaluación analítica de la susceptibilidad, la visualización tridimensional de algunos de los mapas de factores condicionantes de la inestabilidad, e incluso de imágenes de satélite multiespectrales de alta resolución espacial (Hervás y Rosin, 2001), mediante su superposición a un MDE de alta resolución, permite ayudar tanto al propio analista como a las autoridades a una mayor comprensión de la influencia que dichos factores, ya sea individualmente o combinados entre sí, puede ejercer sobre las condiciones de estabilidad de la zona (Hervas, 2001)

## 9 ANTEDECENTES

**9.1 A GIS tool for historical instability processes data entry: An approach to hazard management in two Italian Alpine river basins. Chiara Audisio, Guido Nigrelli, Giorgio Lollino 2009. Torino. Italia.**

El objetivo de este documento era desarrollar un sistema de información geográfica (SIG) que permitiera la entrada de datos de una manera fácil con el fin de comparar la información en diferentes escalas temporales y espaciales combinándolo con una metodología para el análisis de datos y la identificación de las principales áreas en riesgo de manera rápida y precisa para obtener así la frecuencia de eventos catastróficos y su recurrencia espacial.

Los resultados presentados en el texto demuestran que las áreas actualmente vulnerables fueron procesos de inestabilidad en el pasado, por lo tanto al comprender esta continuidad se podría contribuir en la investigación de riesgos y de zonificación e igualmente determinar que el agua no es el único factor causante de los movimientos en masa sino que es la combinación de varios factores.

**9.2 Vulnerabilidad ambiental en cuencas hidrográficas serranas mediante SIG. Gaspari, Fernanda J. Multequina 20: 3-13, 2011; ISSN 1852-7319 on line.**

El objetivo del estudio fue zonificar la vulnerabilidad ambiental en la Cuenca alta del rio Sauce Grande en Buenos Aries mediante el uso de un SIG.

Los resultados alcanzados permitieron obtener una base de datos cartográfica para la zonificación de la vulnerabilidad ambiental por medio de un modelo cartográfico conformado por un conjunto de mapas con factores condicionantes y activadores basados en la asignación de códigos a las categorías de cada una de las capas temáticas, para combinarlas y obtener un valor único de manera cualitativa y aditiva, zonificando así la susceptibilidad ambiental (factores condicionantes) y por medio del Índice de Fournier Modificado (IFM) calcular su agresividad y variación espacial (factores activadores).

**9.3 Applicability of landslide susceptibility and hazard zoning at different scales. Leonardo Cascini. Department of Civil Engineering, University of Salerno, via Ponte don Melillo, 84084 Fisciano (SA), Italy.2008.**

El objetivo de este documento se centra en la aplicación de la susceptibilidad a deslizamientos de tierra y la zonificación de riesgo a diferentes escalas con el fin de que se puedan visualizar los mapas de manera apropiada según sea su utilidad para mejorar la planificación del uso del suelo y poder reducir futuros daños y pérdidas de vidas causadas por deslizamientos de tierra.

En cuanto a los desprendimientos de tierras y laderas de ingeniería, se presenta una propuesta de Directrices Internacionales para susceptibilidad a deslizamientos, de peligros y riesgos de Zonificación para la planificación del uso del suelo, que proporcionan definiciones, terminología y normas internacionales para los métodos, niveles, escalas y tipos de zonificación.

**9.4 Landslide hazard analysis for Hong Kong using landslide inventory and GIS. K.T. Chau, Y.L. Sze, M.K. Fung, W.Y. Wong, E.L. Fong, L.C.P. Chan. Department of Civil and Structural Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, Yuk Choi Road, Hung Hom, Kowloon, Hong Kong, China.2004.**

El objetivo de este trabajo es presentar un inventario de riesgo a deslizamientos basados en un SIG usando datos históricos en Hong Kong como: el acoplamiento de datos geológicos, geomorfológicos, población, clima y datos de lluvia.

Los resultados que se obtienen se basan en datos de 1448 deslizamientos entre 1984 y 1998, en donde se establecen las distribuciones diurnas y estacionales de los deslizamientos de tierra y se comparan con la variación estacional de las lluvias; concluyendo que las muertes acumuladas y las lesiones causadas por deslizamientos de tierra aumentan con la precipitación acumulada e indican una fuerte correlación entre la precipitación y las consecuencias de deslizamientos.

En términos de afectación por un deslizamiento de tierra, los asentamientos ilegales y las carreteras en la isla de Hong Kong están en mayor riesgo.

**9.5 Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. D.S. Fernández, M.A. Lutz. Tucuman.Argentina.2010**

Los objetivos de este trabajo son el desarrollo de una zonificación urbana por peligro a inundación por medio de un GIS con ayuda de dos parámetros: la aplicación de análisis de decisión multicriterio y la evaluación por medio de la incertidumbre y el análisis de sensibilidad para la provincia de Tucumán, Argentina.

## **SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE**

El modelo incorpora cinco parámetros: la distancia de los canales de drenaje, topografía (alturas y pendientes), planta baja de la profundidad de la capa freática, y el uso de la tierra urbana. El mapa de riesgo final para cada categoría se obtiene mediante un algoritmo que combina factores lineales ponderados, por medio de valores de peso y rango para las clases de cada capa de manera subjetiva.

El mapa de riesgos de inundaciones urbanas muestra que la parte sureste de San Miguel de Tucumán tiene el riesgo de inundación más alto como consecuencia de la conjunción de las tierras bajas y la presencia de canales de la corriente urbana con plan de mantenimiento pobre, causa de la inundación de varios barrios.

### **9.6 Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale. Fausto Guzzetti, Paola Reichenbach, Mauro Cardinali, Mirco Galli, Francesca Ardizzone. Perugia, Italy.2005**

El objetivo de este artículo es proponer un modelo probabilístico para determinar la amenaza de deslizamientos a nivel de cuenca, es decir, que ocurrirán, con qué frecuencia y qué tan grandes serán.

Los resultados se ponen a prueba en un modelo de la cuenca del río Staffora, en el norte de los Apeninos, Italia, con un mapa de inventario multi-temporal a través de la interpretación de varios conjuntos de fotografías aéreas tomadas entre 1955 y 1999 el cual está bajo un conjunto de supuestos.

Para cada unidad de mapeo, se obtiene la recurrencia de deslizamientos dividiendo el número total de eventos inventariados por el lapso de tiempo del período investigado. Suponiendo que la recurrencia a deslizamientos seguirá siendo la misma en el futuro, y la adopción de un modelo de probabilidad de Poisson, se determina la probabilidad de excedencia de tener uno o varios deslizamientos de tierra en cada unidad de mapeo, para diferentes períodos

**9.7 Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. Cees J. van Westen, Enrique Castellanos, Sekhar L. Kuriakose. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, Netherlands.2008.**

El objetivo de este trabajo era discutir una serie de cuestiones relacionadas con el uso de la información espacial para la vulnerabilidad de deslizamiento de tierra, riesgo y evaluación de la vulnerabilidad para la ciudad de Tegucigalpa en Honduras.

El documento tiene la intención de complementar la información dada en las Directrices para la susceptibilidad a deslizamientos, peligros y riesgos para la Zonificación y Ordenación del Territorio. Para lo cual se considera importante contar con un inventario de deslizamientos con el fin de cuantificar el peligro y el riesgo. Los factores como la geología, usos de suelo, pendientes, modelos de elevación digital, fallas y la pluviometría (detonante principal) proporcionan detalles sobre la importancia de estos aplicando métodos por heurística, análisis estadísticos teniendo en cuenta la escala de trabajo.

## 10 DELIMITACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA.

Una cuenca hidrográfica es una unidad morfográfica superficial, delimitada por divisorias (“parteaguas”) desde las cuales escurren aguas superficiales hacia quebradas, ríos, lagos, pantanos o acuíferos subterráneos. Al interior, las cuencas se pueden delimitar o subdividir en sub-cuencas o cuencas de orden inferior, asimismo se diferencian zonas caracterizadas por una función primordial (cabecera-captación y transporte-emisión) o por su nivel altitudinal (cuenca alta, media y baja).

La delimitación de cuencas implica una demarcación de áreas de drenaje superficial donde las precipitaciones (principalmente las pluviales) que caen sobre éstas tienden a ser drenadas hacia un mismo punto de salida.

Para la delimitación de la cuenca hidrográfica se combinaron métodos semi-automatizados, junto con métodos y técnicas manuales-digitales (utilizando ArcGis 10 con su aplicativo de ArcHydro) con datos cuya escala original es 1:25 000. Los criterios y el método utilizado para la elaboración del mapa de la cuenca son:

- ✓ Las cuencas son unidades morfográficas, por lo cual su delimitación debe estar regida únicamente por variables topográficas e hidrográficas, dejando de lado criterios como: tamaño, uso del suelo, grado de contaminación y/o características administrativas.
- ✓ Los criterios para la delimitación deben presentar consistencia.
- ✓ Se delimitó solamente la cuenca principal de estudio utilizando siempre información con escala 1:25 000.

Los pasos metodológicos seguidos para la obtención del límite de la cuenca hidrográfica fueron:

## SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE

- ✓ Integración, revisión y rectificación de la red hidrográfica y las curvas de nivel a escala 1:25 000 del área a trabajar.
- ✓ Generación del modelo digital de elevación a partir de curvas de nivel y elaboración de un modelo sombreado del relieve.
- ✓ Digitalización de la red de drenajes del área de trabajo.
- ✓ Se realizó un proceso semiautomático, utilizando la capa vectorial de los drenajes y el modelo elevación digital obtenido a través de las curvas de nivel, en el software ArcGis 10 con aplicativo de Archydro en donde se delimitó la cuenca igualmente pudiéndose utilizar el módulo de Hydrology del software utilizado para este fin.

### 10.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO CON ARCHYDRO

- ✓ En la barra de herramientas de Archydro lo primero que se realiza es configurar la dirección donde se van a guardar los shapes y raster obtenidos; para ello se selecciona la pestaña *ApUtilities/Set Target Location* y se selecciona *HydroConfig/Application*; allí se define la ruta donde se desean guardar los elementos generados
- ✓ Se selecciona la pestaña *Terrain Preprocessing/Data Management Terrain Preprocessing* donde se cargan los datos base, para este caso el DEM se carga en la pestaña Raw DEM y los drenajes en Stream.
- ✓ Se trabaja el DEM en la pestaña *Terrain Preprocessing/DEM Manipulation* donde se realizará el reacondicionamiento del DEM con el elemento DEM *Reconditioning*. Aquí se demanda los datos del DEM y los drenajes

**SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE**

obteniendo como resultado un archivo llamando *AgreeDEM*; seguidamente se modifica el valor de *Stream Buffer* por cero y lo demás se deja por defecto

- ✓ Posteriormente utilizando la herramienta *Terrain Preprocessing/DEM Manipulation/Fill Sinks* la cual rellenara los defectos (hoyuelos) que tenga el DEM después de haber sido reacondicionado.
- ✓ Inmediatamente después de tener el DEM sin defectos se corren las herramientas en su orden *Flow Direction* y *Flow Accumulation* que se encuentra en la pestaña *Terrain Preprocessing*
- ✓ Luego se definen los drenajes de la microcuencas con la herramienta *Terrain Preprocessing/Stream Definition* seguidamente *Terrain Preprocessing/Stream Segmentation* cuya función es delimitar los segmentos de cada drenaje.
- ✓ Para delimitar la cuenca se utiliza la herramienta *Terrain Preprocessing /Catchment Grid Delineation* la cual delimitará las cuencas de cada uno de los segmentos definidos
- ✓ Para convertir a archivos vectoriales este DEM generado por *Catchment Grid Delineation* se utiliza el *Catchment Polygon Processing*.
- ✓ Por último se sobre impone el archivo de drenaje para determinar cuáles son los polígonos de las micro-cuencas que conforman la cuenca principal.
- ✓ Seguidamente se unen los polígonos resultantes para crear un solo archivo.

## **SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE**

Posteriormente, se obtuvo el límite final de la cuenca hidrográfica del río Campolalegre, implementada bajo un ambiente de SIG, lo que permitió paralelamente la generación de su tabla de atributos que contiene las propiedades básicas de la cuenca.

Los insumos empleados para la delimitación de la cuenca son un conjunto de datos vectoriales correspondiente a la red hidrográfica y cuerpos de agua generados por el Instituto Agustín Codazzi los cuales, se derivan de la digitalización de las planchas topográficas escala 1:25 000; con las curvas de nivel se generó un Modelo Digital de Elevación (MDE) en formato de celdas (raster).

## **11 GEOMORFOLOGIA**

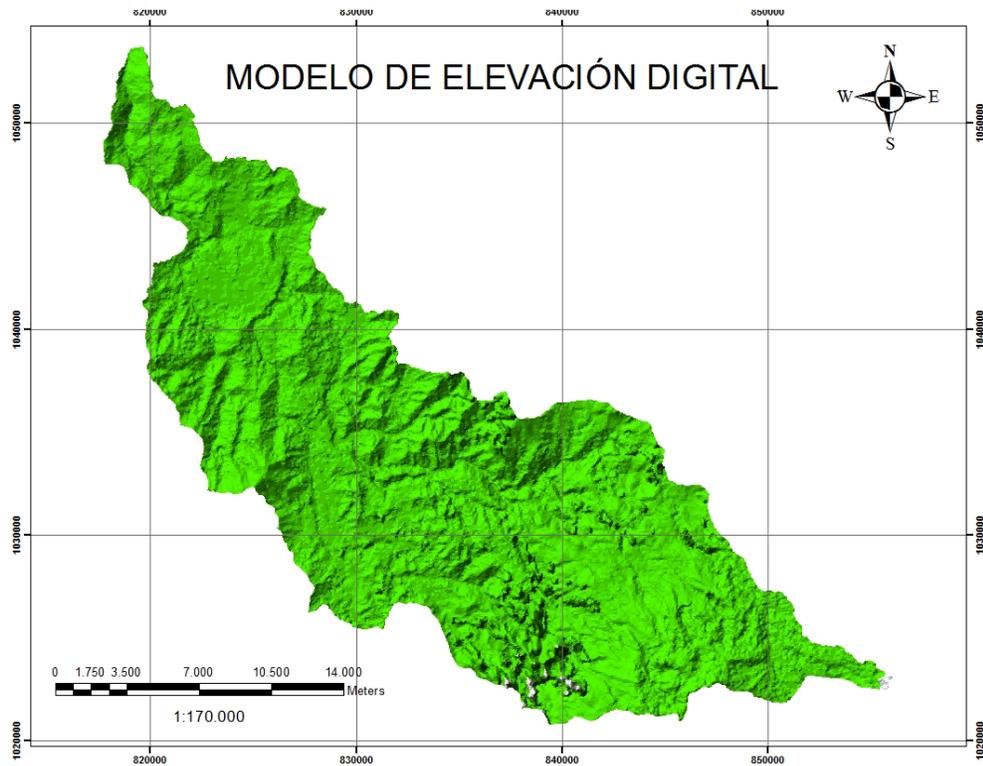
El paisaje actual de la cuenca del río Campoalegre tiene su origen en la intensa actividad volcánica (Plioceno – Pleistoceno) y de ambientes glaciares que generaron las diferentes geoformas existentes en la cuenca (Figura 3)

La parte alta de la cuenca presenta relieves escarpados de altas pendientes, drenajes de tipo sub-paralelo y valles en forma de “v” muy cerrados; se aprecia coberturas vegetales consistentes en bosques primarios, secundarios y pastos. Dentro de las geoformas glaciares en la cuenca se encuentran circos y valles glaciares. La parte media se caracteriza por pendientes moderadas y drenajes tipo dendríticos que forman incisiones profundas y laderas verticales, incrementando el potencial de deslizamientos traslacionales y la ocurrencia de inundaciones, principalmente en el municipio de Santa Rosa de Cabal; se evidencian geoformas de acumulación y de erosión. En la parte baja de la cuenca se observaron pendientes bajas con valles profundos con proceso denudativos asociados a rocas ígneas y metamórficas; sus uso de suelo se relacionan a cultivos de café y mosaicos.

Además, las unidades rocosas presentan un alto fracturamiento y diaclasamiento, los cuales son favorables para las condiciones de inestabilidad de la zona, generando movimientos de masa y procesos erosivos.

Los procesos denudativos actuales están influenciados por el carácter tectónico (escarpes, hombreras y basculamientos), el uso antrópico (explotación de material pétreo para la construcción, pastoreo, cultivos) y el régimen meteorológico de la zona que ayuda a la aceleración de la meteorización y la generación de procesos denudativos.

**SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE**



**Figura 3 Modelo de elevación digital de la Cuenca del Río Campoalegre**

## **12 SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA**

La evaluación y la caracterización de los fenómenos de inestabilidad que afectan la cuenca Campoalegre se realizó a partir de recorridos por las vías secundarias y terciarias en los alrededores del municipio de Santa Rosa, Chinchiná, Villamaría y Palestina.

Durante los trayectos realizados en campo se hizo una evaluación del terreno para la caracterización de los procesos de movimientos en masa que afectan los corredores viales y se obtuvo la información con respecto al registro donde se evidencia cada uno de las causas que provocan los diferentes eventos y son ubicados espacialmente para determinar los puntos críticos de la cuenca y sub-cuencas aferentes al río Campoalegre.

Las causas que favorecen la generación, reactivación y progreso de la actividad de los procesos de movimientos en masa son de orden natural y antrópico. Dentro de las causas naturales se cuenta el material geológico y su grado de fracturamiento y las causas antrópicas que contribuyen son la deforestación, el pastoreo, los cortes para adecuaciones viales y las deficiencias en la malla vial.

En la mayoría de los casos la frecuencia e intensidad del régimen pluviométrico junto con los cultivos limpios de la región constituye el principal factor detonante para la generación de los procesos de movimientos en masa.

### **12.1 METODOLOGÍA DEL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

Según la metodología utilizada por Van Westen et al. (2008) los datos principales necesarios para la evaluación de la susceptibilidad por movimientos en masa

pueden ser divididos en tres grupos principales o capa de datos como los siguientes:

- ✓ **Inventario de deslizamientos:** Es el más importante ya que da información sobre la ubicación de los fenómenos de deslizamiento, los tipos, mecanismos, factores causales, la frecuencia de ocurrencia y los volúmenes.
- ✓ **Factores ambientales:** Son una colección de capas de datos que se espera tendrán un efecto sobre la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa o deslizamientos y pueden ser utilizados como factores causales en la predicción de futuros deslizamientos. Entre los cuales tenemos la geología, usos de suelo y las pendientes. (Van Westen et al., 2008).

La lista de los factores ambientales sugeridas por Van Westen et al. (2008) no es exhaustiva, por lo tanto para este trabajo se tomaron los factores específicos que están relacionados a los procesos de movimientos en masa determinados durante los corridos de la etapa de campo; teniendo en cuenta la escala regional del análisis y las características intrínsecas del área de estudio.

- ✓ **Mecanismos de disparo:** Se establecieron al realizar un inventario de los movimientos en masa o los deslizamientos, en la cual fue posible discriminar los factores detonantes de este proceso entre los cuales se tuvieron en cuenta la parte estructural y la pluviosidad, por lo tanto, estos factores detonantes probables se analizan de igual manera que los factores ambientales, siguiendo la propuesta de Jian & Xiang-guo (2009). Estos autores hacen una evaluación de amenaza a escala regional y todos los factores se consideran como factores causativos de deslizamientos y solo

## SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE

los categorizan de acuerdo a la base con la cual fueron establecidos: DEM, análisis de sensores remotos, entre otros.

Teniendo en cuenta la bibliografía revisada y los aspectos arriba expuestos, se escogió el método heurístico para el mapeo de la susceptibilidad por movimientos en masa, basado en índices (Index-based approach, Nguyen, 2008). En su propuesta metodológica, el autor incluye todos los factores como causativos al igual que Jian & Xiang-guo (2009) y cada factor es considerado como un mapa parámetro.

La importancia relativa de cada mapa parámetro es evaluada de acuerdo con el conocimiento y la experiencia del geólogo que hace el chequeo en campo de los procesos movimientos en masa en el área de estudio.

Los mapas parámetros escogidos fueron los siguientes:

- ✓ **USO DE SUELO** (Uso y cobertura actual, proporcionado por Corpocaldas, 2012)
- ✓ **ISOYETA** (Precipitación Media Anual).
- ✓ **GEOLOGIA** (Planchas de Ingeominas escala 1:100.000)
- ✓ **ZONA DE INFLUENCIA DE FALLAS** (Buffer de fallas activas y probablemente activas, con magnitud máxima probable).
- ✓ **PENDIENTE** (Obtenido del DEM).

Comparando los diferentes parámetros, son asignados valores de peso para cada mapa parámetro. Luego, cada mapa parámetro es clasificado en un número significativo de clases basadas en su influencia relativa sobre los movimientos en masa (Barredo et al., 2000 en Nguyen, 2008) y se asignan valores a cada clase

## SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE

dependiendo de su influencia sobre la inestabilidad de los taludes. Los valores son fijados de acuerdo a las características observadas y descritas en campo de los diferentes procesos de remoción en masa. Finalmente, la integración de los factores (mapas parámetros) y las clases, definen el Índice de Susceptibilidad por Deslizamientos (ISD), que es la suma ponderada de los pesos de los factores y clases definidos (Voogd, 1983 en Nguyen, 2008).

$$ISD = \sum W_j W_{ij}$$

**ISD:** Índice de Susceptibilidad por Deslizamientos

**W<sub>j</sub>:** Valor del peso para el parámetro j.

**W<sub>ij</sub>:** Valor de peso de la clase i en el parámetro j. n: número de parámetros

Diversos autores han realizado procedimientos similares para obtener el Índice de Susceptibilidad por Movimientos en masa a diferentes escalas de trabajo, las cuales pueden ser encontradas en varios estudios, donde difieren en las características de campo para la asignación de los valores de peso (e.g., Hervás et al., 2002; Lee et al., 2008; Jadda et al, 2009, Avinash & Ashamanjari, 2010; Sujatha, 2012; Onagh et al., 2012).

El valor de peso en cada parámetro refleja la importancia en la ocurrencia de movimientos en masa y junto con los valores de peso para las clases individuales mostrar el grado de amenaza que ellos representan.

Cada uno de los mapas parámetros tienen diferentes categorías y a cada categoría de acuerdo con su importancia relativa se le asigna un valor de peso (W<sub>j</sub>) en la ecuación No.1 entre 1 y 9, siendo 1 la categoría menos susceptible y 9 la más susceptible a procesos de movimientos en masa (cf. Nguyen, 2008). Luego dentro de cada parámetro, a las clases existentes se les asigna un valor de peso

( $w_{ij}$  en la ecuación No.1) también variando entre 1 y 9. Una vez obtenidos los pesos de los factores, en el SIG se obtiene finalmente el ISD mediante la suma lineal ponderada de pesos de los parámetros y clases de acuerdo con la Ecuación 1.

## **12.2 DIAGNÓSTICO DE LOS PROCESOS DE MOVIMIENTOS EN MASA**

Con el fin de determinar el grado de afectación del área de estudio, se hicieron recorridos por los diferentes caminos y vías con el objeto general de definir los sitios más críticos y los de mayor recurrencia.

Se georeferenciaron los lugares con mayor afectación, determinando el tipo de movimiento y el área de afectación. Los procesos se caracterizaron de acuerdo a la clasificación modificada de Varnes, CORPOCALDAS y Suárez (2001), para determinar el material que ha sido desplazado por el movimiento, como se muestra en la Tabla 2.

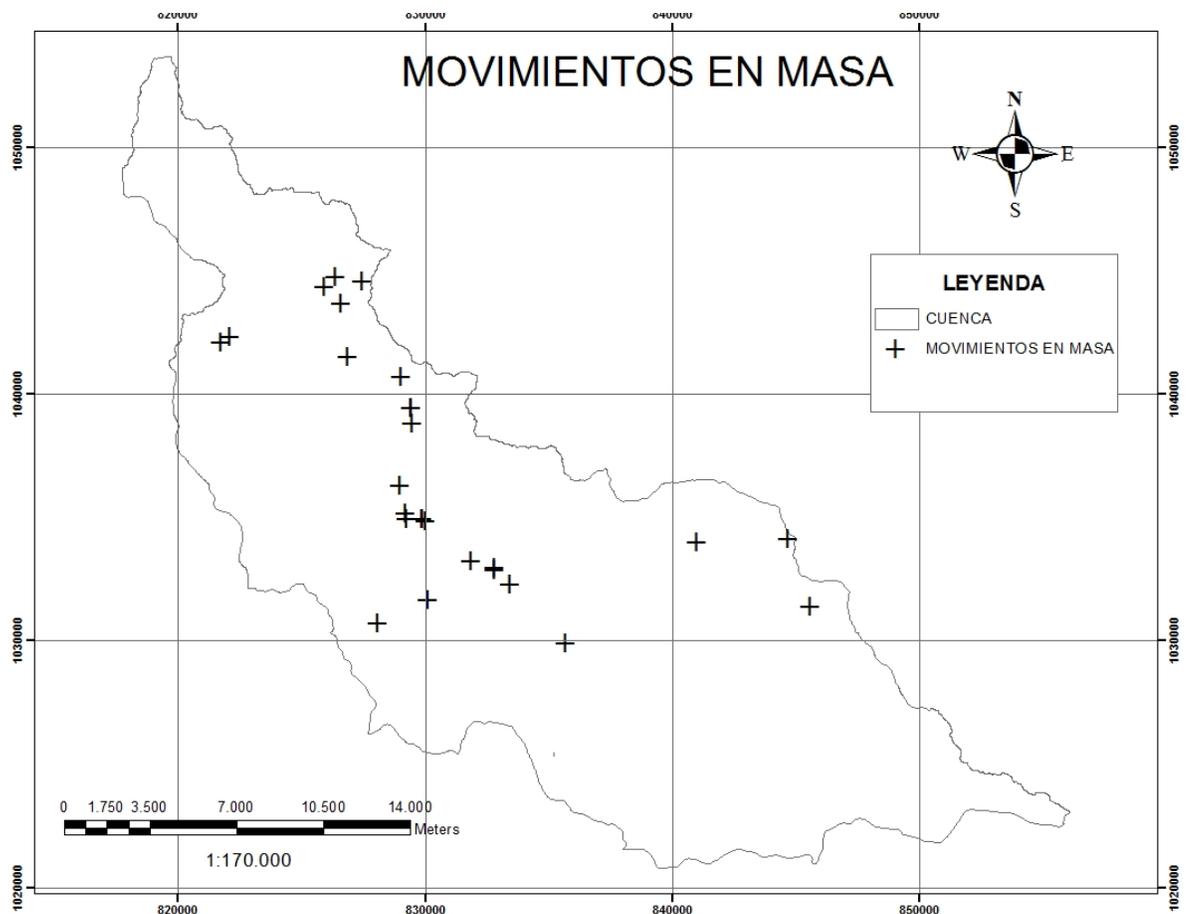
El diagnóstico de campo hace una aproximación acerca de cómo los cambios en la dinámica de usos del suelo, la incidencia de factores como la actividad antrópica (explotación de canteras, cortes para la apertura, ampliación o adecuación de vías) y los controles estructurales (manifestados en el grado de fracturamiento de los macizos rocosos y la ocurrencia de subsidencias subregionales y/o existencia de corredores de falla correlacionables en campo), influyen sobre la dinámica erosiva de la zona de estudio.

Los procesos reportados en el trabajo realizado en campo se presentan en las laderas con cortes para la adecuación vial y sus obras derivadas (Figura 4). Estos cortes generan pérdida de soporte lateral, concentración de esfuerzos en las masas rocosas, escorrentía e infiltración sobre los materiales expuestos y aumento de las presiones de poros en los materiales; igualmente se originan

## SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE

procesos de erosión concentrada (surcos y cárcavas), generando movimientos en masa de mayor magnitud pasando a movimientos de traslación y rotación.

Los procesos que están estrechamente relacionados con el régimen estructural de zonas de fallamiento activo y probablemente activo; los cambios en la actividad de usos de suelo, donde la cobertura vegetal ha sido removida para dar paso a los pastos para ganadería y el establecimiento de cultivos limpios, además de procesos de erosión lateral y de profundización de cauce ejercida por los drenajes de las cuencas.



**Figura 4. Localización de los movimientos en masa ubicados en la cuenca Campoalegre.**

**SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE**

<b>TIPO</b> 1.Deslizamiento 2.Desliz-Flujo 3.Flujo	<b>SUBTIPO</b> 1.Rotacional 2.Traslacional 3. Planar 4.Compuesto	<b>PROFUNDIDAD</b> 1. Superficial 2 .Profundo	<b>ACTIVIDAD</b> 1. Estable 2.Durmiente 3.Activo	<b>CUERPO/ESCARPE</b> 1.Cuerpo 2.Escarpe 3.Ambos	<b>TALUD</b> 1. Natural 2.Antrópico 3.Ambos
<b>ESTRATIFICACIÓN</b> 1.A favor de la pendiente 2.En contra de la pendiente		<b>EROSIÓN SUPERFICIAL</b> 1.Erosión laminar 2.Erosión en surcos 3.Erosión en cárcavas 4.Caminos de ganado 5.Socavamiento de cauce		<b>GRIETAS</b> 1.Sobre corona 2.En flancos 3.En cuerpo 4.Sin grietas	<b>ALTURA DEL NAF</b> 1.Bajo corona 2.Sobre corona 3.Sobre el cuerpo 4.En la base 5.Desconocido
<b>MATERIAL</b> 1.Suelo residual 2.Suelo orgánico 3.Material de relleno 4.Deposito caída piroclástica 5.Depositos de flujo de Lodo 6.Fm. Quebradagrande 7. Cplj Cajamarca 8. Cplj Arquía 9. Flujos Andesíticos 10. Stock de Manizales 11.Depósitos Aluviales 12.Depósitos Coluviales 13.Fm. Amaga 14.Stock de Santa Rosa y Pereira			<b>CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS</b> 1.Pendiente cóncava 2.Pendiente convexa 3.Pendiente recta 4.Pendiente larga 5.Pendiente corta 6.Nichos semicirculares 7.Relieve escalonado 8.Relieve hummocky	<b>CARACTERÍSTICAS DRENAJE</b> 1.Permanente 2.Intermitente 3.Afloramiento aguas subterráneas 4.Nacimiento 5. Quebrada 6. Río 7. Antrópico	
<b>CARACTERÍSTICAS DE LA VEGETACIÓN</b> 1.Sin vegetación o área improductiva 2.Vegetación rastrera 3.Rastrojo bajo (< 0.4 m) 4.Rastrojo medio ( 0.4< h < 1.0 m) 5.Rastrojo alto (>1.0 m) 6.Bosques 7.Contraste vegetación dentro y fuera del proceso 8.Presencia de árboles de gran tamaño y/o peso 9.Presencia de árboles inclinados y/o caídos 10.Vegetación zona húmeda			<b>USO DEL SUELO</b> 1. Agrícola 2.Pecuario 3.Industrial 4.Minero 5.Forestal 6.Residencial 7.Otro	<b>ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS INCIDENTES</b> 1.Diaclasas 2.Fracturas 3.Trituramiento 4.Fallas 5.susceptibilidad de la roca	
<b>MEDIDAS DE TRATAMIENTO EXISTENTES</b> 1.Terrazas 2.canales y /o cunetas 3.Muros de contención 4.Zanjas colectoras 5.Box culvert y/o transversales 6.Drenes 7.Otros 8.Ninguno			<b>CAUSAS</b> 1.Pérdida de soporte en la base por excavación 2.Pérdida de soporte en la base por socavación 3.Saturación por agua lluvias 4.Elevación del NAF 5.Mal manejo de aguas lluvias y escorrentía 6.Sobrecarga en la corona 7.Remoldeo del suelo 8.sobrepastoreo 9.Características del material 10.Estructura geológica 11.Grado de trituración del la roca 12.Discontinuidad a favor de la pendiente 13.Angulo de la pendiente 14.Longitud de la pendiente 15.Cambio de uso del suelo desfavorable 16.Profundización del cauce		

**Tabla 2. Clasificación de los movimientos en masa, modificada de Varnes(1978), Por Corpocaldas (2001)**

### 12.3 ASIGNACIÓN DE LOS VALORES DE PESO A LOS PARÁMETROS

Los pesos son indicadores de la importancia que se atribuye a cada uno de los criterios o alternativas. Parece, por tanto, razonable asignar los pesos teniendo en cuenta las escalas escogidas para las evaluaciones. Aunque existen diferentes métodos de ponderación, cada uno con sus problemas específicos, en realidad hay sólo dos grandes formas de abordar este problema: o bien se parte de las evaluaciones hechas a las alternativas en la matriz de evaluación para posteriormente, mediante métodos objetivos, deducir los pesos de cada criterio; o bien, se asigna primero los pesos a los criterios y, en segundo lugar, deducimos los valores de las alternativas. Los primeros reciben el nombre de métodos objetivos y a los segundos suele conocerseles como métodos de asignación directa.

Se determina analíticamente el peso relativo de cada factor con respecto a los demás, usando para ello el método de evaluación multicriterio de las jerarquías analíticas (Saaty, 1980, 1994; Eastman et al., 1995) que ofrece la oportunidad de obtener un análisis equilibrado de todos los aspectos. Éste utiliza una estructura jerarquizada de criterios utilizados para la determinación de la susceptibilidad de los movimientos en masa que son los factores del terreno condicionantes de la inestabilidad junto con la comparación de criterios por parejas para establecer sus pesos. Con este método se crea primero una matriz cuadrada, en la que el número de filas y columnas viene definido en nuestro caso por el número de factores de inestabilidad. A cada elemento de la matriz se le asigna un valor que representa la importancia relativa del factor de su fila con respecto al de su columna en cuanto a posible inestabilidad. Saaty (1980) propone en otros casos de evaluación multicriterio que se asignen valores comprendidos entre 9 ("mucho más importante que"), 1 ("igual de importante que") y  $1/9$  ("mucho menos importante que") (Cees J et al, 2008).

**SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE**

Esta escala de valores de peso se divide en nueve intervalos con los siguientes significados.

<b>IMPORTANCIA</b>	<b>VALOR DE PESO</b>
Extremadamente menos susceptible	0,11
Menos susceptible	0,14
Poco susceptible	0,2
Moderadamente menos susceptible	0,33
Igualmente susceptible	1
Moderadamente susceptible	3
Susceptible	5
Muy susceptible	7
Extremadamente más susceptible	9
Valores intermedios de susceptibilidad	2,4,6,8

**Tabla 3. Valores de peso de acuerdo a la importancia a la susceptibilidad(Cees J. et al,2008)**

En la Tabla 4 se muestra la matriz resultante y los autovectores que representan el orden de prioridades de los parámetros utilizados para la evaluación del índice de susceptibilidad por movimientos en masa en las cuencas occidentales en este proyecto.

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>SUMATORIA</b>	<b>Autovectores</b>	<b>Peso</b>
<b>A</b>	1	3	0.33	3	1	7	0,25	8
<b>B</b>	0,33	1	0.5	2	0.25	2,33	0,08	5
<b>C</b>	3	2	1	3	1	9	0,32	9
<b>D</b>	0,33	0,5	0,33	1	0.33	1,16	0,04	3
<b>E</b>	1	4	1	3	1	9	0,32	9

**Tabla 4. Matriz de los parámetros evaluados con sus valores respectivos y los autovectores obtenidos para las cuencas occidentales. Parámetros: A= Uso del Suelo, B= Geología, C=Precipitación, D= Zona de influencia de Fallas, E= Pendiente.**

De acuerdo con los valores de los autovectores, la influencia mayor es del parámetro C y la menor del parámetro D.

#### **12.4 PARÁMETROS PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD**

La susceptibilidad por movimientos en masa se realiza a partir de la información recolectada y las características identificadas y analizadas por geólogos en campo. Los parámetros seleccionados para la elaboración del mapa de susceptibilidad de la cuenca del río Campoalegre son los descritos a continuación.

**12.4.1 Uso de suelo (Uso y cobertura actual).** La mayoría de los autores (e.g. Morgan, 1986) coinciden en que la generalidad de los procesos de movimientos en masa tiene una conexión directa con el tipo de cobertura, encontrándose que menos del 1% de las cicatrices de movimientos en masa se presentan en áreas boscosas, 47% están en terrenos cultivados y otro 47% en terrenos en pastos y rastrojo.

Aquellos que presentan sistemas de raíces de anclaje profundo y hacia los lados en el suelo como lo es la vegetación arbórea y arbustiva permite una resistencia a la ruptura, fracturación o fallamiento y generando la estabilidad del terreno a los procesos de movimientos en masa.

Suárez (1998) afirma que en lo referente a control de erosión se ha encontrado que donde hay árboles altos la erosión es menor que en el caso de arbustos. Además, se ha descubierto que las hierbas o malezas protegen generalmente mejor contra la erosión que los pastos.

La deforestación por cambios en el uso (pastos y cultivos) genera una inestabilidad de las formaciones superficiales siendo propensas a procesos de

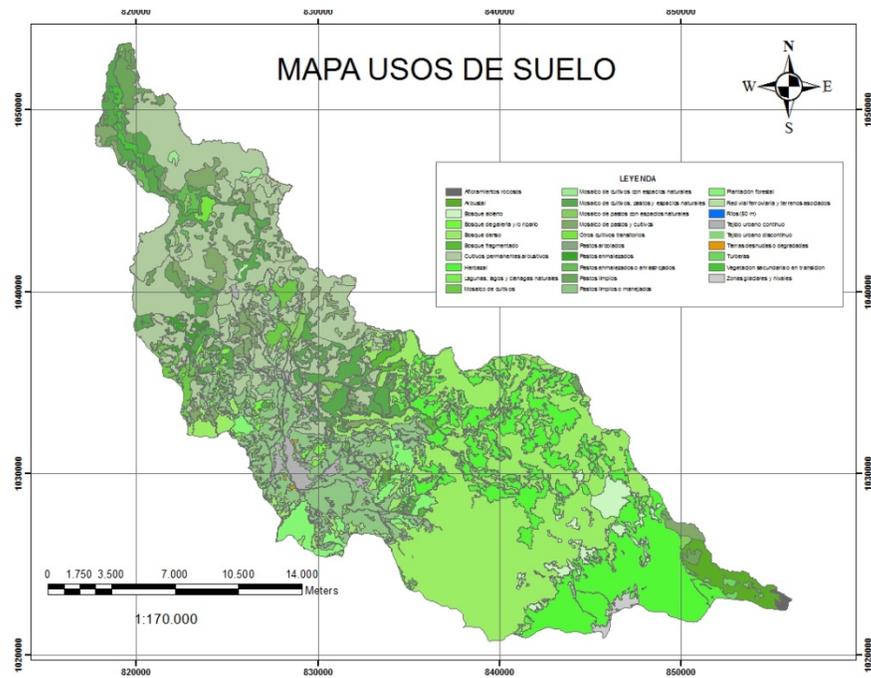
## SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE

movimientos en masa. En zonas de pendientes fuertes la estabilidad se debe a raíces profundas (Rice, 1977 citado por Flórez, 1986), tanto por el anclaje vertical como por el horizontal (Gray, 1971, Dyrnes, 1967, citados por Flórez, 1986).

Se concluye que a mayor cobertura vegetal con sistemas de raíces profundas y mayor variedad de especies vegetales, la susceptibilidad a la ocurrencia de procesos de movimientos en masa sería menor que en aquellos casos en donde el uso predominante son los pastos, suelos desnudos y cultivos limpios.

Según los trabajos realizados por la CARDER y CORPOCALDAS (identificación y análisis de amenazas para evaluar la vulnerabilidad y riesgo de las cuencas hidrográficas de los ríos Arma, Campoalegre y los aferentes de los ríos Cauca y Magdalena 2012) se obtuvo el mapa digital de las zonas de estudio y se procede a definir los diferentes usos de suelo de acuerdo a las metodologías utilizadas por Corine Land Cover y las visitas de campo para corroborar los trabajos mencionados anteriormente (Figura 5). Adicionalmente se debe emplear la herramienta *Conversion Tool/ to Raster/Feature to Raster* en ArcGis 10 para poder realizar la sumatoria de los mapas parámetros para hallar la susceptibilidad. Adicionalmente debe emplearse la herramienta *Spatial Analyst Tool/ Reclass/ Reclassify*.

**SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE**



**Figura 5. Mapa de usos del suelo de la Cuenca Campoalgre**

Según las observaciones y distribución de los procesos erosivos de movimientos en masa, respecto al uso del suelo, se estiman y se asignan valores de peso a cada uso para el área de estudio, como se observa en la Tabla 5 que se encuentran en una columna en la tabla de atributos del shape.

VALOR DE PESO PARAMETRO $W_j$	1
DESCRIPCION	Valor peso clase $W_{ij}$
Tejido urbano continuo	1
Red vial ferroviaria y terrenos asociados	1
Otros cultivos transitorios	1
Cultivos permanentes	9
Pastos limpios Manejados, Herbazal	9
Pastos enmalezados	1

**SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE**

Mosaicos	8
Bosque denso	1
Bosques secundarios	3
Plantación forestal	1
Rastrojos	7
Vegetación secundaria o en transición	1
Afloramientos rocosos	1
Tierras desnudas y degradadas	1
Zonas glaciares y nivales	1
Turberas	1
Aguas continentales	1

**Tabla 5. Valores de peso asignados para el parámetro USO DE SUELO y sus clases.**

**12.4.2 Isoyeta (Precipitación Media Anual).** Según Suárez (1998) existen evidencias muy claras de la relación directa entre el régimen de lluvias y la ocurrencia de procesos de movimientos en masa. Se recomienda tener en cuenta para el análisis la intensidad de la lluvia en una hora, la lluvia de 24 horas y la lluvia antecedente por períodos hasta de tres meses. El autor plantea que se pueden diferenciar dos procesos diferentes:

- ✓ **Deslizamientos inmediatos por saturación:** Estos ocurren durante o inmediatamente después de una lluvia y están relacionados con la eliminación de la succión al producirse la saturación por acción del frente húmedo de infiltración. Cuando las lluvias son muy intensas puede llegarse incluso a la saturación completa del talud durante la lluvia.
- ✓ **Deslizamientos diferidos por aumento de presión de poros:** Su ocurrencia está relacionada con el régimen de aguas subterráneas el cual a su vez depende del régimen de lluvias del sitio y de la región.

## SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE

Se ha encontrado que existe un lapso entre la ocurrencia de las lluvias, el aumento de la presión de poros y los deslizamientos.

La activación de un deslizamiento puede depender no solamente de la cantidad total de lluvia sino también de la duración y de la intensidad de las lluvias que producen saturación y del régimen de los periodos lluviosos. Existe un valor crítico de lluvia que activa un deslizamiento pero su cuantificación previa es muy difícil. Generalmente los valores por encima del promedio de lluvias son los que generan la mayoría de los problemas. Entre más lenta sea la lluvia habrá más infiltración y menos escorrentía. En zonas de pluviosidad moderada las lluvias lentas pueden producir el mayor número de deslizamientos. La proporción escorrentía-infiltración depende de la intensidad de la lluvia, la pendiente, la cobertura vegetal y la permeabilidad del suelo subsuperficial.

En general se puede inferir que existe una relación directa entre las tasas pluviométricas y la susceptibilidad de los terrenos a la ocurrencia de deslizamientos, incrementándose dicha susceptibilidad en la medida que disminuye la cobertura vegetal y aumenta la pendiente, asociándose de manera complementaria un incremento de la humedad de los suelos.

Para la elaboración del mapa de isoyetas de la cuenca del rio Campoalegre se tuvo en cuenta los datos de precipitación media anual (tabulados en Excel) de estaciones pluviométricas del sistema meteorológico de la Central Hidroeléctrica de Caldas (Tabla 6 – figura 6); posteriormente se procede a cargar los datos en ArcGis 10, donde se utiliza el método de interpolación y extrapolación *Spline* que es utilizado para pluviometría y así obtener un Raster con las zonas de menor y mayor precipitación que después es clasificado de

**SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE**

acuerdo a las intensidades descritas en la tabla anterior para generar los contornos o isoyetas (Figura 7). Después de realizado este procedimiento se realizar la reclasificación con los valores de peso de la Tabla 7. Mediante la herramienta *Spatial Analyst Tool/ Reclass/ Reclassify*.

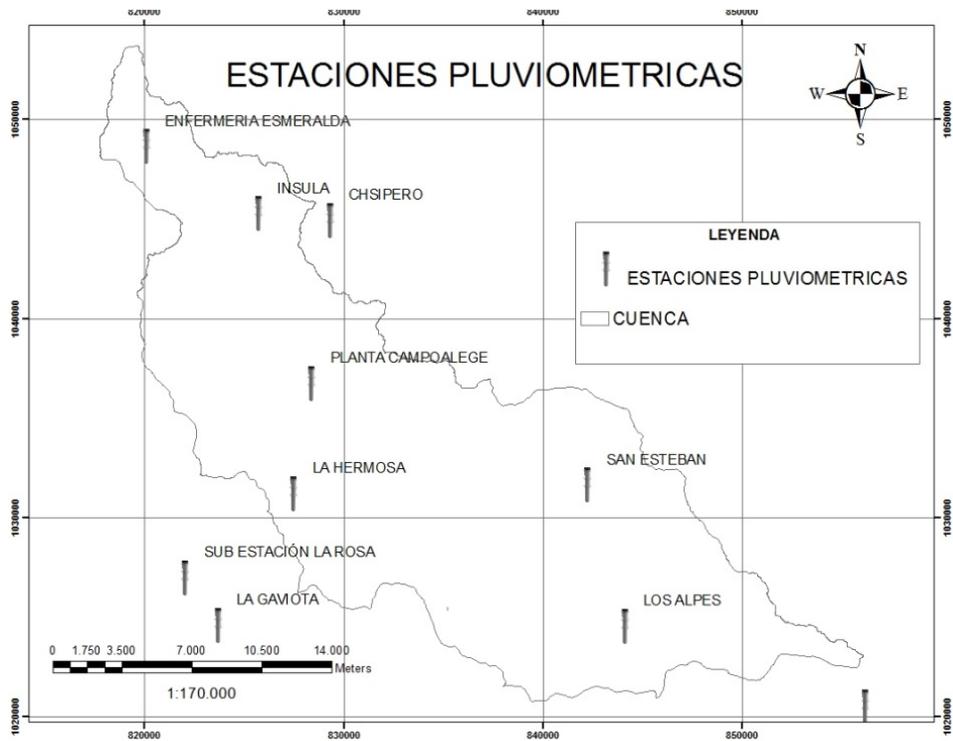
ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PREP_ANUAL
Insula	159	177	218	318	316	249	220	217	248	320	322	200	2887
Planta Campoalege	190	192	239	295	260	206	184	177	201	304	295	212	2722
La Hermosa	168	199	231	303	275	210	174	181	221	322	294	225	2749
San Esteban	119	113	147	202	257	132	90	90	146	241	215	128	1747
La Gaviota	217	237	333	345	355	286	241	239	287	322	325	369	3082
Los Alpes	208	344	557	1009	711	417	292	230	442	604	530	216	2954
Sub estación La Rosa	156	152	245	300	287	214	161	159	214	332	342	238	2549
Chsiperó	178	193	244	268	291	223	204	200	240	289	300	221	2658
Enfermería Esmeralda	138	190	209	240	296	228	220	173	241	267	302	197	2399

**Tabla 6. Promedio de datos de precipitación media y media anual.**

VALOR PESO PARÁMETRO $W_j$	9
ISOYETAS (mm/año)	Valor peso clase $W_j$
1000 – 2000	5
2000 – 3000	7
> 3000	9

**Tabla 7. Valores de peso asignados para el parámetro PRECIPITACIÓN o ISOYETA y sus respectivas clases**

## SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE



**Figura 6. Localización de las estaciones pluviométricas de la Central Hidroeléctrica de Caldas**

Los hallazgos permiten inferir que para la zona de estudio las lluvias críticas para la ocurrencia de procesos de movimientos en masa, están relacionadas con otros factores como el uso del suelo, la geología y las pendientes.

## SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE

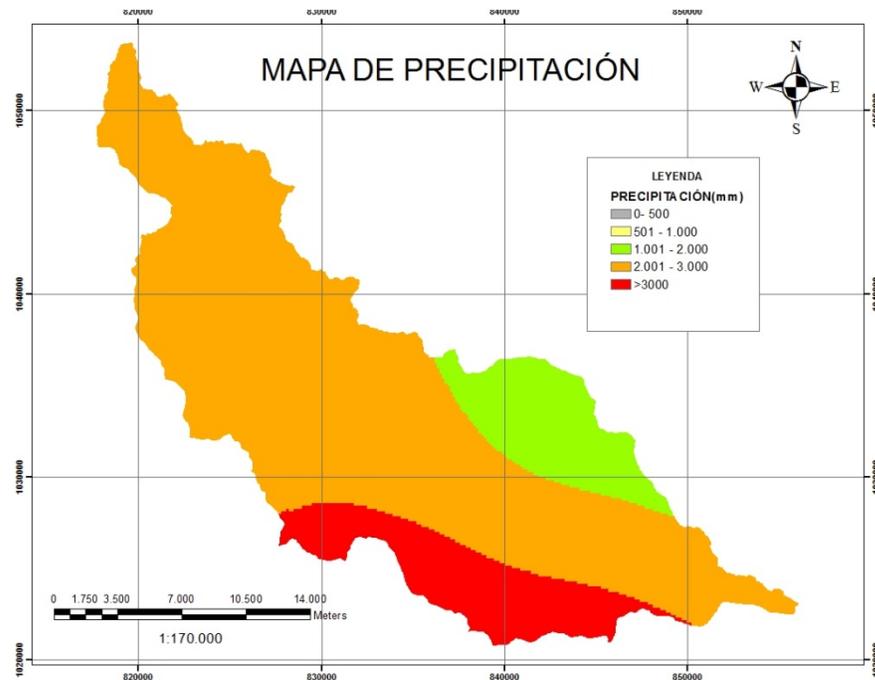


Figura 7. Mapa de Precipitación o isoyetas de la Cuenca Campoalegre

**12.4.3 Geología.** El marco geológico de las cuencas occidentales del área de estudio se encuentra dentro de la Cordillera Central, el valle del río Cauca y el flanco oriental de la cordillera occidental. La geología de estos se divide en 4 grandes grupos, siguiendo la propuesta de Nguyen (2008). Las unidades geológicas de trabajo se basan en los mapas geológicos a escala 1:100.000 del Ingeominas, para los departamentos de Caldas (Plancha 205) y Risaralda (Planchas 224 y 225)

- ✓ **Depósitos cuaternarios:** Conformados por depósitos aluviales, piroclásticos, depósitos de flujos de lodo, escombros, de talud, glaciares y de lava; caracterizados por su diversidad de componentes, texturas y tamaños de grano.

**SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE**

La denominación formal de las lavas es: Lavas de composición andesítica (Ql); los flujos de lodo, de escombros y las cenizas, formalmente se denominan Flujos de Lodo - Cenizas y Flujos de Escombros (Qfl), las rocas piroclásticas (Qto); los Depósitos Glaciares (Qg); y los depósitos aluviales se clasifican como: Depósitos Aluviales Recientes (Qal), Aluviones recientes (Qar).

- ✓ **Rocas sedimentarias:** Comprenden tanto rocas clásticas como químicas. Las rocas sedimentarias clásticas corresponden a areniscas, lodolitas, arcillolitas, conglomerados e intercalaciones de los anteriores; también incluyen los sedimentos volcano-sedimentarios y volcánicos.

Este grupo se conforma por el miembro sedimentario del Complejo Quebradagrande (Ksc), Formación Nogales (Kn), Grupo Dagua (Kso), Formación Amagá (miembro inferior Toi ) y el conjunto de brechas y aglomerados de la Formación Barroso (Kvb)

- ✓ **Rocas ígneas:** Dentro del grupo de las rocas ígneas se incluyen las intermedias, máficas y ultramáficas, sean intrusivas o extrusivas. La gran variedad de rocas ígneas en la zona de estudio incluyen granodioritas, tonalitas, monzonitas, dioritas, gabros, complejos ofiolíticos, pórfidos dacíticos y andesíticos, basaltos y lavas andesíticas.

A este grupo pertenecen: los stocks Diorítico de Santa Rosa (Kds) y Gábrico de Pereira (Kgp). Así mismo pertenecen al grupo de rocas ígneas el miembro volcánico del complejo Quebradagrande (Kvc). Adicionalmente se tiene la unidad de Andesitas (NgQa).

- ✓ **Rocas metamórficas:** Las rocas metamórficas comprenden rocas de todos los tipos de metamorfismo. Dentro de las rocas con bajo grado de metamorfismo tenemos los esquistos cuarzo moscovíticos verdes y negros del Complejo Arquía (Kiea, Kies); del Complejo Cajamarca los esquistos sericíticos (Pes), esquistos verdes (Pev) y los esquistos verdes y grafiticos (Pe).

Rocas con grado de metamorfismo medio están representadas por la unidad de anfibolitas (Pa) y las rocas con metamorfismo de medio a alto grado se constituyen por el neis de Chinchiná (Pnch) del Grupo Arquía y la anfibolita sausurítica de Chinchiná (Kach).

Las rocas y los macizos rocosos están sometidos constantemente a tensiones y deformaciones que permiten evaluar su comportamiento mecánico, a partir del reconocimiento de las propiedades físicas y de las condiciones a las que están sometidas en la naturaleza. Las propiedades físicas controlan las características resistentes y deformación de la matriz rocosa y son el resultado del origen, condiciones y procesos geológicos y tectónicos sufridos por la roca a lo largo de su historia. Adicionalmente, otros factores como las condiciones hidrogeológicas, las condiciones ambientales, el clima y otros fenómenos meteorológicos, inciden sobre el potencial comportamiento mecánico de los materiales.

A partir de la resistencia a la compresión se podría generalizar que las rocas más susceptibles a la erosión son las sedimentarias blandas; seguidas por las metamórficas foliadas, las sedimentarias duras, las ígneas intrusivas y finalmente las ígneas efusivas y las metamórficas de contacto tendrían resistencias altas, hecho que se puede comprobar en la alta susceptibilidad que presenta el Complejo Quebradagrande (miembro volcánico Kvc y miembro sedimentario Ksc) en la ocurrencia de procesos de movimientos en masa, en el área de estudio.

**SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE**

Cabe resaltar que las pendientes, el grado de fracturamiento y las precipitaciones locales, son parámetros detonantes para la determinación de la susceptibilidad de una roca a los procesos de movimientos en masa.

De acuerdo a las características descritas anteriormente las unidades que presentan mayor susceptibilidad a movimientos en masa son los depósitos de flujos de lodo, cenizas y flujos de escombros (Qfl) seguido del Complejo Quebradagrande en su miembro sedimentario debido a sus características geomecánicas y a sus controles estructurales.

Para la elaboración del mapa geológico se tuvo como base las planchas cartográficas de INGEOMINAS a escala 1:100 000 y la información aquí consignada se corroboró con visitas de campo. Posteriormente se procede a georreferenciar y digitalizar cada una de las unidades litológicas vistas en el área de estudio (Figura 8). En el Model Builder se emplea la *herramienta Conversion Tool/ to Raster/Feature to Raster* para poder realizar la sumatoria de los mapas parámetros para hallar la susceptibilidad. Posteriormente se emplea *Spatial Analyst Tool/ Reclass/ Reclassify* para asignar los valores de peso que se muestran en la Tabla 8 cabe anotar que estos valores deben estar dentro de la tabla de atributos del shape.

<b>GEOLOGIA</b>	<b>VALOR PESO PARÁMETRO <math>W_j</math></b>	<b>5</b>
<b>CODIGO</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>Valor peso clase <math>W_{ij}</math></b>
Qal	Depósitos Aluviales Recientes	1
Qar	Aluviones recientes	1
Qfl	Flujos de Lodo - Cenizas y Flujos de Escombros	1
Qg	Depósitos Glaciares	1
Ql	Lavas de Composición Andesítica	3
Qto	Rocas Piroclásticas	1
Kn	Formación Nogales	1
Ksc	Complejo Quebradagrande-Miembro sedimentario	9

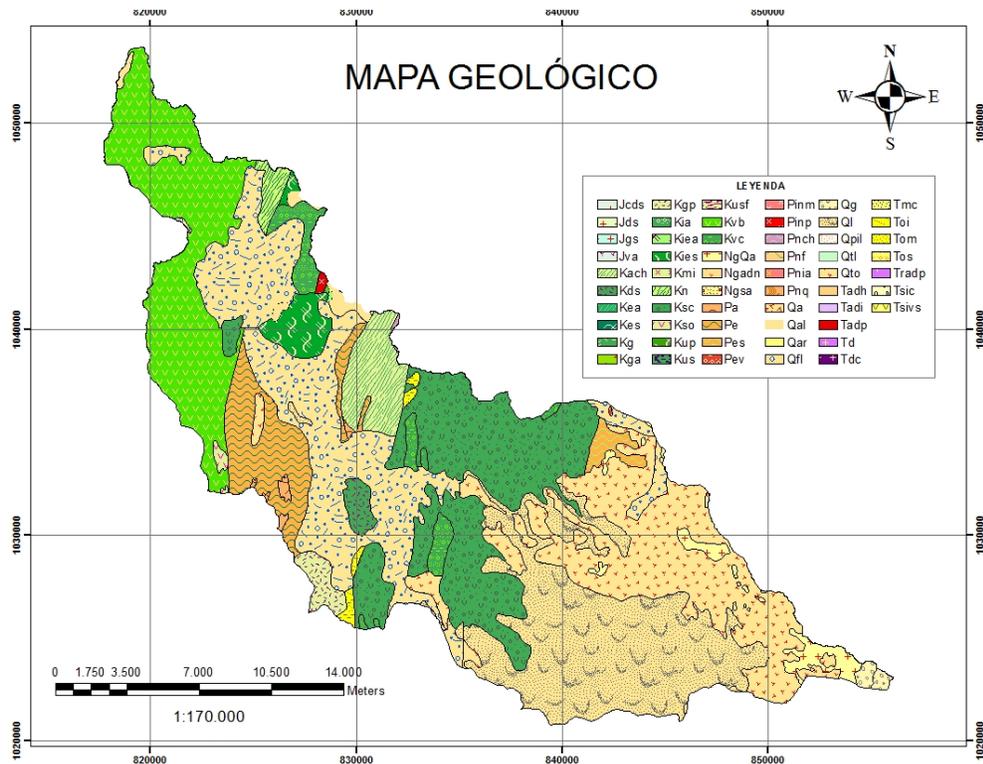
**SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE**

Ksp	Grupo Dagua	1
Kvb	Fm. Barroso	9
Toi	Fm. Amagá- Miembro inferior	1
Kds	Stock Diorítico de Santa Rosa	1
Kgp	Stock Gábrico de Pereira	1
Kvc	Complejo Quebradagrande-Miembro volcánico	9
NgQa	Andesitas	1
Kach	Anfibolita Saussurítica de Chinchiná	6
Kiea	Complejo Arquía-Esquistos Verdes	7
Kies	Complejo Arquía-Esquistos Negros	1
Pa	Esquistos anfibólicos	1
Pe	Esquistos verdes y grafiticos	1
Pes	Complejo Cajamarca	7
Pev	Complejo Cajamarca	7
Pnch	Neis de Chinchiná	1

**Tabla 8. Valores de peso asignados para el parámetro GEOLOGIA y sus respectivas clases y peso para las cuencas occidentales del área del proyecto.**

Las unidades geológicas expuestas en los afluentes que componen la cuenca se encuentran afectadas por procesos de socavación lateral que favorecen la ocurrencia de movimientos en masa debido a que produce inestabilidad en la parte baja de los taludes.

**SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE**



**Figura 8. Mapa geológico de la Cuenca Campoalegre**

**12.4.4 Zonas de influencia de Fallas (Fallas geológicas).** Radbruch-Hall (1976) observó que las zonas altamente falladas son áreas de incidencia particularmente alta en la potencial ocurrencia de procesos de movimientos en masa. De igual forma, Varnes (1984) llegó a la conclusión que el grado de fracturamiento y de cizallamiento de un macizo rocoso juega un papel importante en la determinación de la estabilidad de taludes o laderas. En general, la tectónica contribuye a la inestabilidad de las laderas por la presencia de estructuras geológicas: fracturas, fallas, diaclasas y juntas.

La estrecha relación entre zonas de actividad tectónica y deslizamientos, está confirmada en el territorio nacional por la multiplicidad de eventos reportados y diagnosticados en las zonas de influencia directa de los corredores de falla activos, como bien se puede apreciar en la zona de

**SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE**

estudio con la influencia de las fallas Cauca-Almaguer, Piedecuesta, Santa Rosa, Filandia, Silvia-Pijao y San Jerónimo; además de un lineamiento que recorre la parte alta de la cuenca Campoalegre.

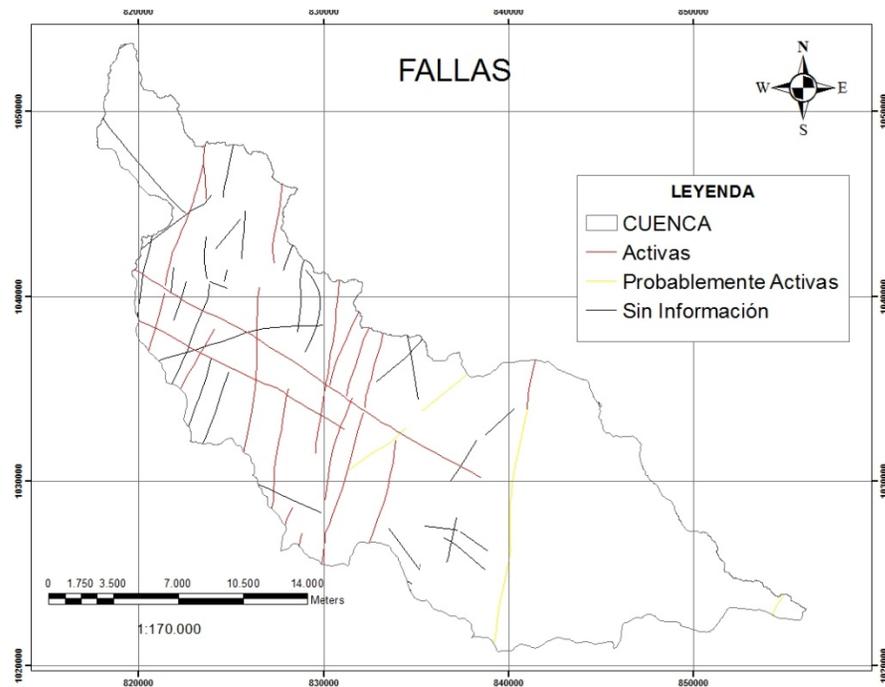
Debido a la proximidad de las fallas activas y potencialmente activas identificadas en campo, se pudo comprobar que los movimientos en masa se encuentran en el rango de influencia de los 0-3 km, que confirma la relación existente entre el grado de fracturamiento de los macizos rocosos y la susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa.

Para la elaboración del mapa de fallas geológicas se obtuvo como base el mapa de fallas activas de Colombia de INGEOMINAS (1999) y las definidas en campo. Se digitalizaron las fallas potencialmente activas y se realizó una clasificación subjetiva de acuerdo al área de influencia y se definió una división de acuerdo a su actividad sísmica (Figura 9). Posteriormente en el software Arcgis 10 se carga el shape de fallas y se emplea la *herramienta Conversion Tool/ to Raster/Feature to Raster* para poder realizar la sumatoria de los mapas parámetros para hallar la susceptibilidad; adicionalmente se utiliza *Spatial Analyst Tool/ Reclass/ Reclassify* y se emplean los valores que se muestran en la Tabla 9 y que se localizan dentro de la tabla de atributos del shape.

<b>VALOR PESO PARÁMETRO <math>W_j</math></b>	<b>3</b>
<b>Proximidad al trazo de falla</b>	<b>Valor peso clase <math>W_{ij}</math></b>
0-3 km	5
0-6 km	7
0-9 km	9

**Tabla 9. Valores de peso asignados al parámetro zona de influencia de fallas y sus clases asociadas.**

## SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE



**Figura 9. Mapa del fallamiento presente en la Cuenca Campoalegre**

**12.4.5 Pendientes.** Varnes (1978) en SHUK 1995, considera las pendientes de gran importancia en el estudio de los movimientos de ladera, estableciendo el ángulo de la pendiente, como la variable de mayor influencia en el desarrollo de movimientos de ladera de terrenos montañosos. Plantea además, que al aumentar el ángulo de la pendiente de la ladera, disminuye el peso y por consiguiente el volumen del material afectado por unidad de área. También establece que las pendientes en cualquier área, se relaciona estrechamente con la historia geológica

En general se ha aceptado por parte de los estudios del tema que un mayor grado de inclinación de los terrenos los hace más susceptibles a la ocurrencia de procesos de movimientos en masa, aunque dicha premisa no aplique para algunas zonas en donde la presencia de vegetación arbórea,

## SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE

la dureza del material geológico aflorante, la presencia de pendientes cortas y muy empinadas y la escasa capacidad de infiltración de las aguas de escorrentía, genera condiciones de mayor estabilidad que terrenos con menor inclinación.

Este mapa se realizó a partir de las curvas de nivel obtenidas del DEM descargado de ASTER GDEM; en el software Global Mapper 12.0 se carga el modelo de elevación digital y se adiciona la característica de drenajes para realizar la ubicación de la cuenca; seguidamente se busca la herramienta generar contornos *en File/Generate Contours*, se selecciona el área para la cual se quieren tener los contornos en la pestaña *Contour Bounds* y se hace click en *Draw a Box* y en la pestaña *Contour Option* se especifica el intervalo de las curvas (para este caso 20m), después de generar las curvas se exportan en formato Vector específicamente en Shape para poder trabajar en ArcGis 10.

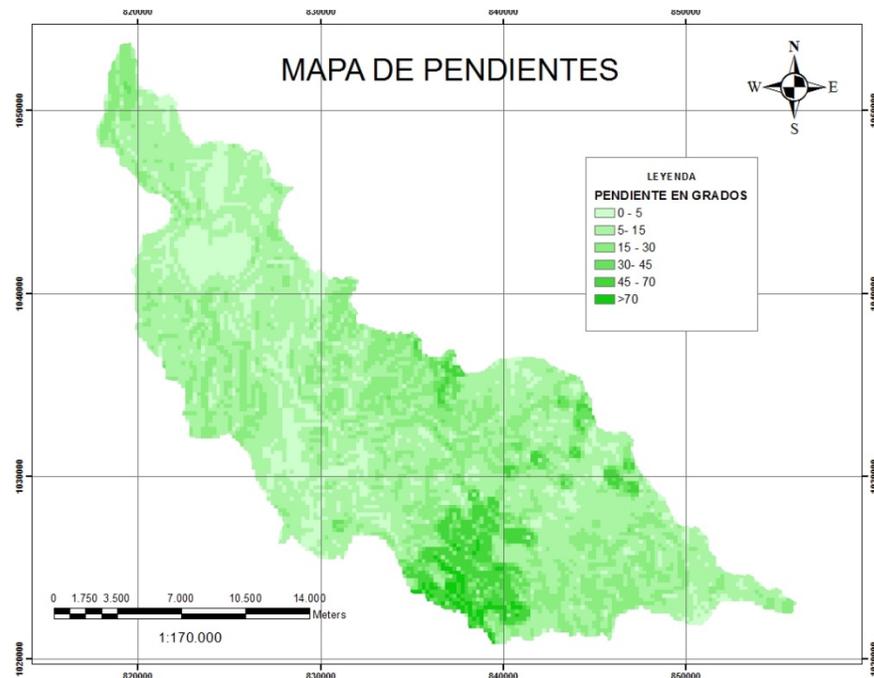
Posteriormente se creó un modelo de elevación digital realizado en Arcgis 10 con la herramienta: *3D Analyst Tools/Tin Management/Create Tin*. Luego de crear el tin se genera el mapa de pendiente con la herramienta convertir tin *3D Analisis Tools – Conversion From Tin/Tin to Raster*; como la reclasificación debe realizarse en grados entonces se emplea la herramienta *Spatial Analyst Tools/Surface - Slope* Después de obtener el mapa de pendientes se le asignan valores de peso de acuerdo a su grado de inclinación (Tabla 10) con la herramienta *Spatial Analyst Tools/Reclass/Reclassify*. Adicionalmente se recorta el raster de acuerdo a la forma de la cuenca con *Spatial Analyst Tool/Extraction/Extract by mask* (Figura 10)

**SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE**

VALOR PESO PARÁMETRO $W_j$	9
Rango de pendiente (grados)	Valor peso clase $W_{ij}$
<5	1
5-15	3
16-30	5
31-45	7
46-70	9
>70	8

**Tabla 10. Valores de peso asignados al parámetro PENDIENTES y sus clases asociadas.**

Los procesos de movimientos en masa se ubican en rangos de pendiente de moderadas a fuertes haciéndose evidente en campo, debido a la estrecha relación entre la actividad erosiva y la actividad antrópica, representada en cortes y excavaciones para la apertura y adecuación de infraestructura vial, explotación de agregados pétreos y una dinámica de cambios de usos de suelo.



**Figura 10. Mapa de pendientes de la Cuenca Campoalegre.**

## **13 MODELO CARTOGRÁFICO PARA LA CUENCA CAMPOALEGRE**

Para la elaboración del modelo cartográfico de la cuenca Campoalegre se utilizó el Model Builder que es una herramienta de análisis que se incluye con ArcGIS Desktop que de una manera genérica permite organizar y expresar los métodos por los cuales las variables y las operaciones son seleccionadas y usadas para desarrollar un modelo SIG. En un modelo cartográfico y a partir de unas capas o variables de partida se pueden obtener variables derivadas y nuevas salidas cartográficas.

ModelBuilder es una aplicación que se utiliza para crear, editar y administrar modelos. Los modelos son flujos de trabajo que encadenan secuencias de herramientas de geoprocésamiento y suministran la salida de una herramienta a otra herramienta como entrada. ModelBuilder también se puede considerar un lenguaje de programación visual para crear flujos de trabajo.

### **13.1 MODEL BUILDER**

#### **13.1.1 Funciones**

- ✓ Automatiza flujos de trabajo repetitivos.
- ✓ Se puede usar en procesos complejos que toman gran cantidad de tiempo procesando datos.
- ✓ Estandariza los procesos

### 13.1.2 Características de un Model Builder

- ✓ Model Builder es muy útil para construir y ejecutar flujos de trabajo sencillos, pero también proporciona métodos avanzados para ampliar la funcionalidad de ArcGIS, ya que permite crear y compartir los modelos a modo de herramienta.
- ✓ Proporciona una documentación gráfica del proceso.
- ✓ Puede generar informes por separado como un documento XML y puede ser compartido y utilizado como una plantilla para análisis similar, además puede ser exportado como parte de una caja de herramientas o un documento XML.

### 13.1.3 ELEMENTOS DE UN MODELO

Los elementos del modelo son bloques de construcción básicos de modelos. Hay tres tipos (Figura 11):

- ✓ **HERRAMIENTAS:** Las herramientas de geoprocésamiento son los bloques de construcción básicos de flujos de trabajo en un modelo. Las herramientas llevan a cabo varias acciones en datos geográficos o tabulares. Cuando se agregan herramientas a un modelo, se convierten en elementos de modelo
- ✓ **VARIABLES:** Las variables son elementos de un modelo que contienen un valor o una referencia a datos almacenados en el disco. Hay dos tipos de variables:
  - **Datos:** Las variables de datos son elementos de modelo que contienen información descriptiva sobre los datos

almacenados en el disco. La información de campo, la referencia espacial y la ruta son ejemplos de propiedades de datos que se describen en una variable de datos.

- **Valores:** Las variables de valor son valores como cadenas de caracteres, números, booleanos (valores verdadero/falso), referencias espaciales, unidades lineales o extensiones. Las variables de valor contienen de todo excepto referencias a datos almacenados en el disco.
- ✓ **CONECTORES:** Los conectores conectan datos y valores a herramientas. Las flechas de conexión indican la dirección del procesamiento. Hay cuatro tipos de conectores:
- **Datos:** Los conectores de datos conectan datos y variables de valor a herramientas.
  - **Entorno:** Los conectores de entorno conectan una variable que contiene una configuración del entorno (datos o valor) a una herramienta. Cuando se ejecuta la herramienta, utiliza la configuración del entorno.
  - **Condición previa:** Los conectores de condición previa conectan una variable a una herramienta. La herramienta se ejecutará sólo después de que se haya creado el contenido de la variable de la condición previa.

## SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE

- **Comentarios:** Los conectores de retroalimentación conectan la salida de una herramienta de nuevo a la misma herramienta como entrada.

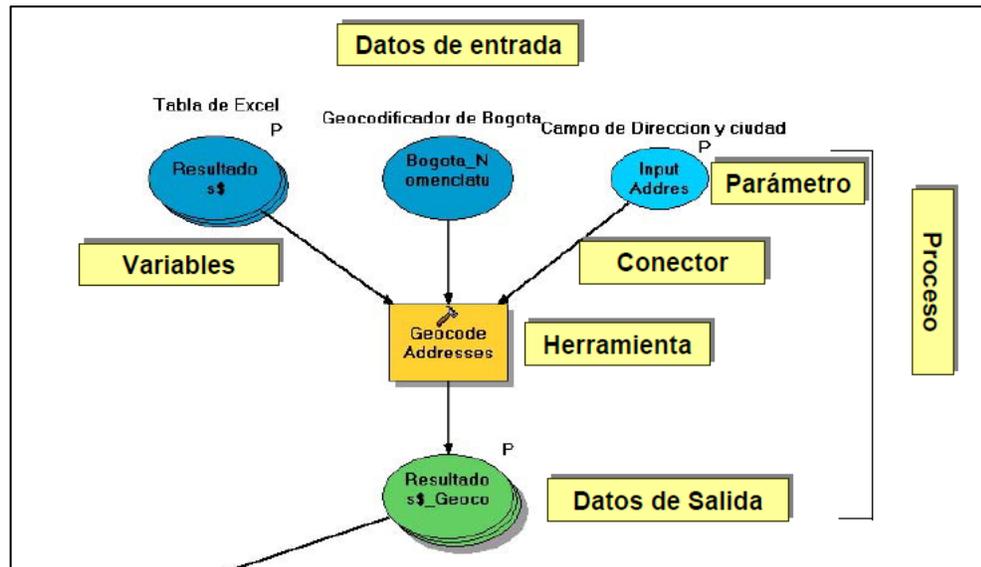
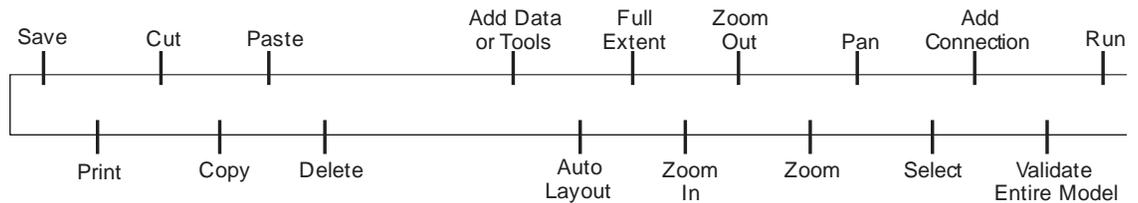


Figura 11. Elementos de Model Builder

### 13.1.4 BARRA DE HERRAMIENTAS



 **SAVE:** Permite guardar el proyecto actual generando un toolbox seguido del model donde se almacenara todo el proceso.

 **PRINTER:** Herramienta que se ejecuta en el proceso de impresión de la estructura.

## SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE

 **ADD:** Adiciona capas y tablas

 **CUT, COPY, PASTE:** Cumplen funciones de edición cuando se ha clonado un objeto.

 **AUTO LAYOUT:** Genera una vista de la estructura de forma ordenada y secuencial.

 **FULL EXTEND:** Da una vista completa al modelo.

 **ZOOM IN:** Acercamiento al objeto a verificar.

 **ZOOM OUT:** Se aleja de la estructura observada

 **ZOOM:** Este actúa como un lente que permite aumentar o disminuir el tamaño de los objetos.

 **PAN:** Este comando permite ver una porción diferente del dibujo.

 **SELECT:** Selecciona la herramienta a ejecutarse o cualquier otro objeto.

 **RUN:** Acción que permite ejecutar la herramienta creada.

 **ADD CONNETION:** Los conectores conectan datos y valores a herramientas. Las flechas de conexión indican la dirección del procesamiento.

### 13.1. PASOS PARA LA ELABORACIÓN DEL MODELO CARTOGRÁFICO DE LA CUENCA CAMPOALEGRE UTILIZANDO MODEL BUILDER

## **SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE**

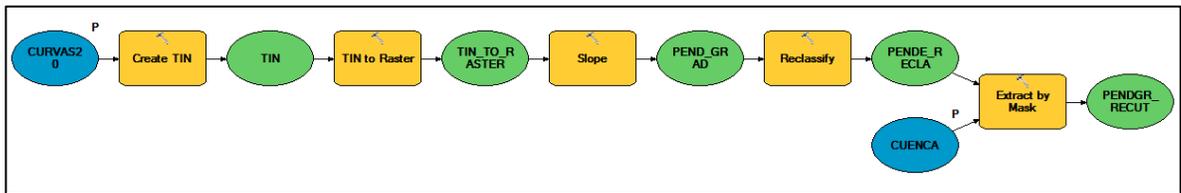
Siendo el Model Builder una herramienta de automatización de procesos a continuación se explican los pasos para obtener el resultado final de susceptibilidad a movimientos en masa a través de 5 parámetros y su proceso.

Antes de elaborar el modelo se deben cargar los parámetros (shapes, vector) que se van utilizar o aquellos elementos que sean necesarios para crear cada uno de estos y que serán la base para el desarrollo del trabajo en ArcMap.

Se abre ArcCatalog para crear una caja de herramientas la cual llevara el nombre del trabajo a realizar, dentro de esta se crea un Model builder donde se guardaran cada uno de los procesos. Inmediatamente después se abre la ventana de Model Builder donde se comienza a desplazar cada una de las herramientas o procesos que se van a utilizar desde el Arctoolbox

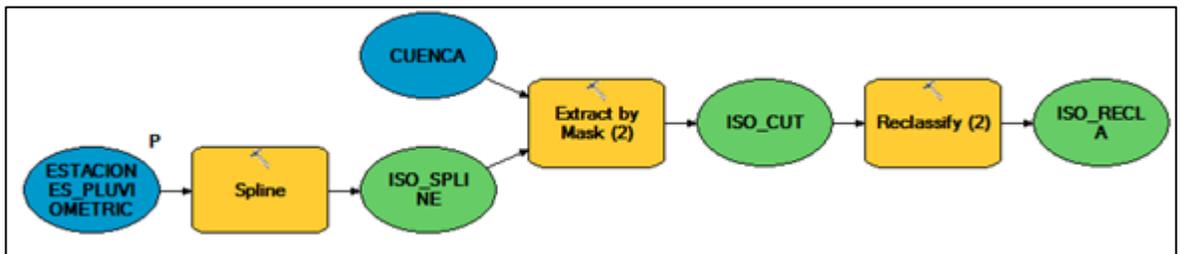
Para la generación del mapa de pendiente se tuvo en cuenta el parámetro de curvas de nivel con su respectiva elevación que es la base para la elaboración del modelo de elevación digital a través de la herramienta crear TIN; seguidamente es convertida en un Raster para la generación de la pendiente con la función Slope, posteriormente se procedió a hacer el recorte de acuerdo al área de estudio realizando una extracción a través de una máscara que será para nuestro caso la delimitación de la cuenca. Después de tener el mapa de pendiente se procede a realizar la clasificación y reclasificación de acuerdo a las evaluadas por el profesional la cual le dará los rangos de evaluación seguidamente los valores de peso(Figura 12).

## SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE



**Figura 12. Proceso para generar mapa de pendientes con su clasificación y reclasificación**

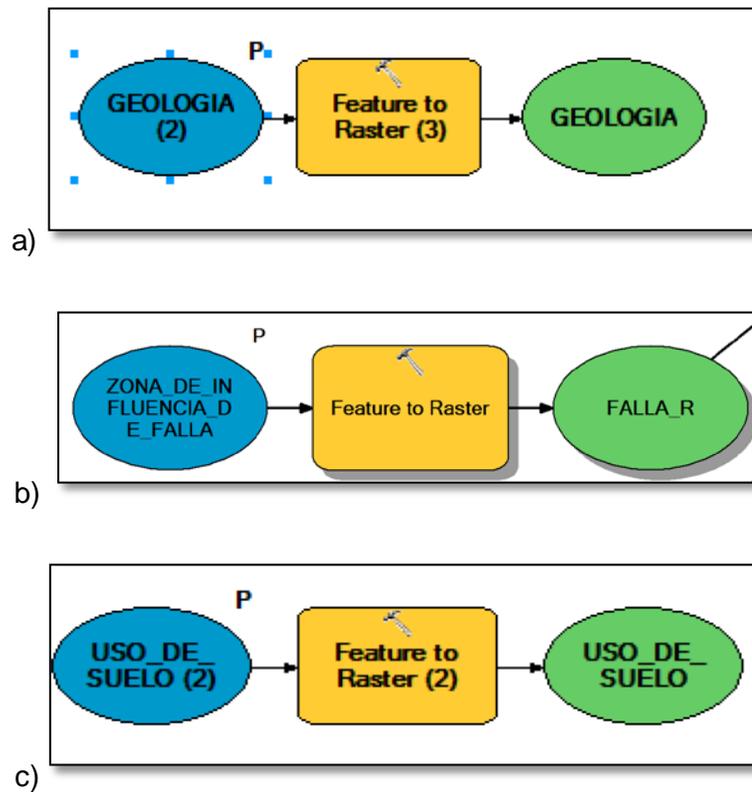
El mapa de isoyetas se generó a partir de los datos de precipitación media anual suministrados por estaciones pluviométricas. Para la elaboración de estos mapas se tomó la extensión de interpolación con el método Spline utilizado para meteorología e inmediatamente se realiza el recorte al área de estudio para luego ser clasificada y reclasificada con sus valores de peso (Figura 13).



**Figura 13. Proceso para generar mapa de isoyetas para su clasificación y reclasificación**

En los mapas de vectoriales de Geología, Uso de Suelo y Fallas se adiciona el valor de peso otorgado en una columna para luego ser éste la base para convertirlo en mapa Raster (Figura 14a, 14b, 14c).

**SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE**



**Figura 14. Proceso para obtener un mapa raster clasificado y reclasificado para: a) geología, b) zona de influencia de falla, c) uso de suelo.**

Después de haber obtenido los mapas raster se utiliza la herramienta Raster Calculator para realizar la operación de suma que consiste en la sumatoria de cada uno de los píxeles con valores asignados; en este caso los valores de peso en los cinco mapas parámetros la cual dará como resultado un valor máximo y mínimo que se deberá reclasificar para darle la condición o característica del área analizada.

Para poder visualizar los datos obtenidos se ejecuta con click derecho sobre la herramienta y se da doble click en add to Display y el resultado aparecerá en ArcMap.

Los datos obtenidos pueden ser guardados en una carpeta asignada dándole una ruta desde cada herramienta que se ejecuta. Para terminar se guarda el Model



## **14. CONCLUSIONES**

- ✓ Para la determinación de la susceptibilidad a movimientos en masa en la cuenca Campoalegre se implementó un SIG automatizado a través de la herramienta Model Builder, por medio de un método heurístico.
- ✓ De acuerdo a la matriz de evaluación multicriterio de las jerarquías analíticas los factores detonantes para los movimientos en masa de la cuenca Campoalegre son: pendientes y precipitación.
- ✓ Se obtuvieron 5 mapas parámetro a los cuales se les asignaron unos valores de peso de manera subjetiva (1 a 9) siendo 1 el menos susceptible y 9 el más susceptible para la obtención del mapa final.
- ✓ A partir del mapa final se puede establecer que la susceptibilidad en la cuenca Campoalegre es moderada.
- ✓ Al evaluar el mapa de susceptibilidad vs la ubicación de los movimientos en masa se observa que estos se encuentran entre el límite de la susceptibilidad moderada y alta.
- ✓ La herramienta Model Builder optimiza el geoprocesamiento de la información.
- ✓ El modelo cartográfico generado puede ser aplicable en las diferentes cuencas, teniendo en cuenta los 5 mapas parámetros y el valor de peso incluido en cada tabla para la clasificación.

**BIBLIOGRAFIA**

Bakker X. Taller:Análisis y Modelamiento Espacial .Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2005.

CARDER. Plan de manejo ambiental de la cuenca del río Campoalegre. Pereira, 2009.

CASCINI L.Applicability of landslide susceptibility and hazard zoning at different scales.Department of Civil Engineering, University of Salerno, via Ponte don Melillo, 84084 Fisciano (SA), Italy.2008.

CEES J. VAN WESTEN, ENRIQUE CASTELLANOS, SEKHAR L. KURIAKOSE .Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, Netherlands.2008.

Centro Agronómico tropical de investigación y enseñanza. Curso:Sistemas de información geográfica aplicada al manejo de los recursos naturales. Ejercicios 14.1 y 14.2 Model Builder.Turrialba.Costa Rica.2010

CHIARA AUDISIO,GUIDO NIGRELLI,GIORGIO LOLLINO.A GIS tool for historical instability processes data entry: An approach to hazard management in two Italian Alpine river basins. 2009.Torino.Italia.

CLAVIJO, A. y MURILLO, C. Análisis petrográfico y estructural del cuerpo gabroide aflorante entre los municipios de Chinchiná (Caldas) y Santa Rosa de Cabal (Risaralda). Tesis de grado Geólogo. Manizales: Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, 2003.

**SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE**

COMMISSION ON LANDSLIDES. Suggested Nomenclature for Landslides. Bulletin of the International Association of Engineering Geology. 1990, No 41, p 31.

CORPOCALDAS. Agenda para la gestión ambiental del municipio de Chinchiná. Manizales, 1999.

CORPOCALDAS. Clasificación de movimientos en masa. Modificado de Varnes, 1978. Manizales, 2001.

CORPOCALDAS. Identificación Y Análisis De Amenazas Para Evaluar La Vulnerabilidad Y Riesgo De Las Cuencas Hidrográficas De Los Ríos Arma Y Campoalegre Y Los Aferentes Directos A Los Ríos Cauca Y Magdalena. Manizales, 2012.

ESRI. Creating tools in-modelbuilder-tutorial. United States of America. 2010.

ESRI. ModelBuilder - Tutorial de ejecución de herramientas. United States of America. 2012.

FAUSTO GUZZETTI, PAOLA REICHENBACH, MAURO CARDINALI, MIRCO GALLI, FRANCESCA ARDIZZONE. Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale. Perugia, Italy. 2005

FERNÁNDEZ, M.A. LUTZ. Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. Tucuman. Argentina. 2010.

FRANCO, G., Estado del arte de movimientos de ladera. Universidad de Caldas, Manizales, 2004.

**SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE**

GASPARI, FERNANDA J. MULTEQUINA. Vulnerabilidad ambiental en cuencas hidrográficas serranas mediante SIG. 20: 3-13, 2011; ISSN 1852-7319 on line.

HERD, D. G. Glacial and volcanic geology of the Ruiz – Tolima complex. Cordillera Central, Colombia. Bogotá: Publicaciones geológicas especiales del Ingeominas, 1974. No. 8, 48 p.

Hyslop, Michael D., Using ArcGIS ModelBuilder to batch process files. Michigan Technological University. United States of America. 2013.

IDÁRRAGA, JORGE. Revisión de amenazas en la cuenca del Río Campoalegre con énfasis en la inestabilidad de laderas. Manizales, 2009.

INGEOMINAS. Geología de las planchas 205 – Chinchiná y 225 Nevado del Ruiz a Escala 1:100000. Bogotá, 2001.

INGEOMINAS. Mapa geológico de Colombia de las planchas 8 y 9 a escala 1:5000000. Bogotá, 2007.

INGEOMINAS. Memoria del mapa geológico generalizado del departamento de Risaralda, escala 1:200000. Bogotá, 1993.

INGEOYSIS. Obtención de datos para el cálculo del caudal de garantía ambiental del río Campoalegre. Manizales, 2008.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Caldas y Risaralda. Bogotá, 2004.

JAMES, M. Estudio sismotectónico en el área del viejo Caldas. Medellín: Ingeominas, 1986.

**SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE**

K.T. CHAU, Y.L. SZE, M.K. FUNG, W.Y. WONG, E.L. FONG, L.C.P. CHAN .Landslide hazard analysis for Hong Kong using landslide inventory and GIS.Department of Civil and Structural Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, Yuk Choi Road, Hung Hom, Kowloon,Hong Kong, China.2004.

MAYA, M. y GONZÁLES, H. Unidades litodémicas de la cordillera central de Colombia. En: Boletín Geológico Ingeominas, 1995. Vol. 35, N° 2-3.

MORENO, Mario y PARDO, Andrés. Stratigraphical and sedimentological constrains on western Colombia: Implications on the evolution of the Caribbean plate. The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation and plate tectonics. En: AAPG Memoir, 2003. No.79, pp. 891-924.

NARANJO, J. y ESTRADA, W. Evaluación geológica y geomorfológica de la cuenca del río San Eugenio. En: Contrato de consultoría N° 039 de 1994. Pereira: CARDER, 1995.

NARVÁEZ y TOBÓN. Petrografía y geoquímica del campo de lavas de Tarapacá, Santa Rosa de cabal – Risaralda, 2007.

PROCALCULO PROSIS, Analisis-SIG-Con-Model-Builder.Colombia.2007

RODRIGUEZ, S. Estado del arte de los métodos de zonificación de la susceptibilidad, la amenaza y el riesgo por proceso de movimientos en masa en laderas, Universidad de Caldas, Manizales, 2005.

Schaeffer j. Working with Model Builder: Geoprocessing Basics in ArcGIS. United States.2006

**SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE**

SHUK E., T. Metodología de taludes naturales (MTN), principios y aplicaciones. Sociedad Colombiana de Geotecnia, Santafe de Bogota, 1995.

SKEMPTON, A. y HUTCHINSON, J. Stability of natural slopes and embankment foundations. México: Seventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. State of Art, 1969. Vol. 2. pp 291 – 340.

SUÁREZ, J. Deslizamientos: análisis geotectónico. Tomo I y II. Medellín, 2008.

SUÁREZ, J. Deslizamientos: análisis geotécnico. Tomos I y II. Medellín. Disponible en página Web: [www.erosion.com.co](http://www.erosion.com.co).

THOURET, Jean. Carte geomorphologique de la Cordillere Centrale et de Sesbordures – Andes de Colombie, 1985.

THOURET, Jean; CONTAGRET, J. M.; SALINAS, R. y MURCIA, A. Quaternary eruptive history of Nevado del Ruiz. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 1996. Vol. 41. pp 225-251.

VARGAS, G. Guía técnica para la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza por movimientos en masa. Villavicencio: Cooperación Colombo-Alemana, proyecto Guatiquia, 1999.