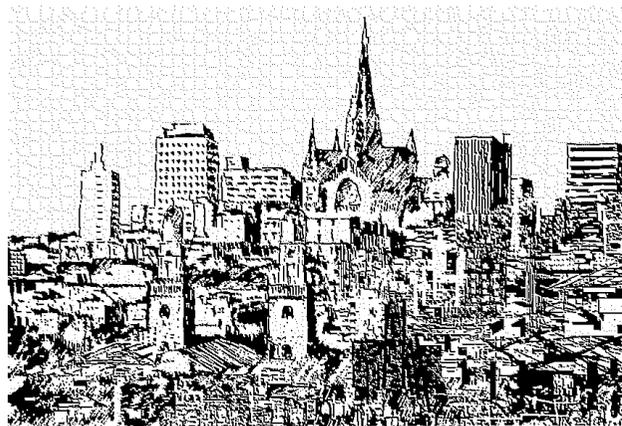


Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales  
Foro “Gestión del Riesgo por Inestabilidad de Terrenos en Manizales”

# Geomecánica de las Laderas de Manizales



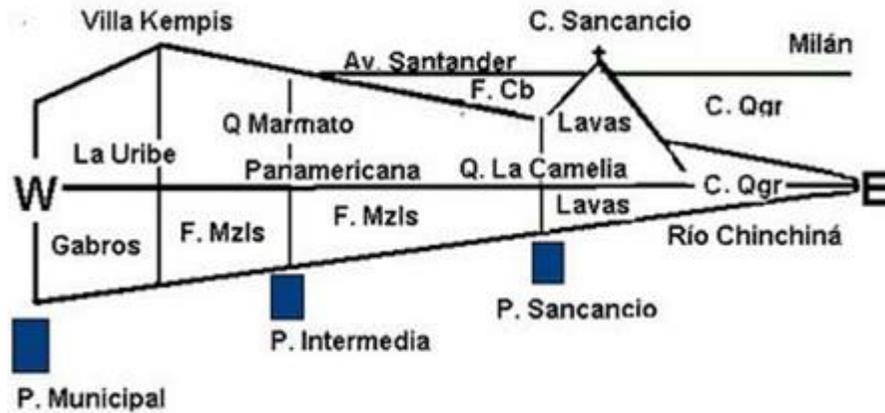
**Gonzalo Duque Escobar & Eugenio Duque Escobar**

Manizales, 13 de agosto de 2009

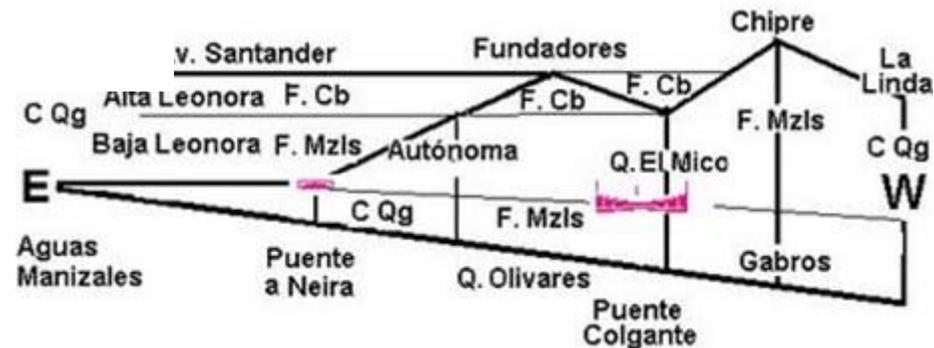
# La susceptibilidad espacial de las laderas de Manizales

- Este documento\* evalúa y muestra la susceptibilidad espacial de las laderas de Manizales, una ciudad intermedia relativamente compacta, ubicada en una zona de alto riesgo sísmico y geotécnico, sobre las laderas del trópico andino.
- La fragilidad de los suelos residuales, la fuerte topografía, la actividad neotectónica y el clima severo, son factores naturales de inestabilidad que explican el frágil equilibrio de las laderas del trópico andino. Pero esa precaria estabilidad se rompe a causa de factores antrópicos relacionados con el urbanismo descontrolado, las actividades productivas inconvenientes, gracias a fallas en la planificación y ordenamiento del territorio.
- En efecto: construcciones, sobrecargas, vertimientos de agua y modelados, además de pérdida de las coberturas vegetales, generan conflictos de aptitud, uso y manejo del suelo que agravan la mayor vulnerabilidad en el hábitat periurbano donde se demandan acciones para garantizar la sostenibilidad de las áreas de protección.
- \* El documento de soporte fue elaborado en Mayo 30 de 2007, como una extensión del trabajo citado: Vulnerabilidad de conducciones en laderas de la cuenca media del río Chinchiná. AGUAS DE MANIZALES & INGESAM LTDA, Manizales, 2006, publicado en: <http://www.galeon.com/conducciones/>

# Los modelos



- Laderas del río Chinchiná, vistas desde el Sur: la extrusión del domo Sancancio alcanzando el nivel de Chipre, anuncia un común campo de esfuerzos.



- Laderas de la Q. Olivares, vistas desde el Norte: el levantamiento cuaternario de Manizales explica los conglomerados en el escarpe tectónico de Chipre

# El modelo: $S = P \times G \times H \times R \times A \times F$

- La **Susceptibilidad S** será estimada en función de varios factores de inestabilidad, mediante la siguiente expresión:

$$S = P \times G \times H \times R \times A \times F$$

- Donde:
- **S, es la Susceptibilidad** a los movimientos de masa.
- **P, la Pendiente**, valorada en tres rangos, con marcas de intervalo 30% y 75%.
- **G, la Geología**, factor que se extiende al incorporar como factor la amplificación, A. Los rangos se establecerán según se trate de suelos, regolitos y saprolitos; de rocas muy blandas; y de rocas al menos medianamente competentes.
- **H, la Humedad**, valorada a partir de las isoyetas de octubre, donde se establecen tres rangos con marcas de intervalos en 220 y 250 mm.
- **R, la Rugosidad**, factor que considera los depósitos visiblemente importantes que se encuentran ubicados en las partes altas de las laderas.
- **F, el Fallamiento**, un factor que se define considerando afectado un corredor de 150 m de ancho, donde se presentan las fallas.

- **Metodología adaptada** de la del Observatorio Sismológico del Sur-Occidente Colombiano- **OSSO**-, titulada "Modelo de susceptibilidad a, y que aparece publicada en:

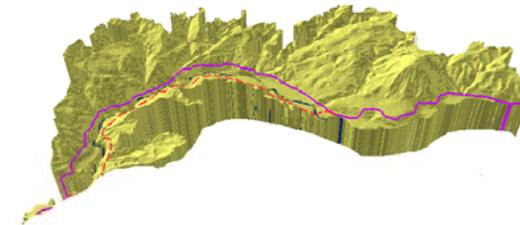
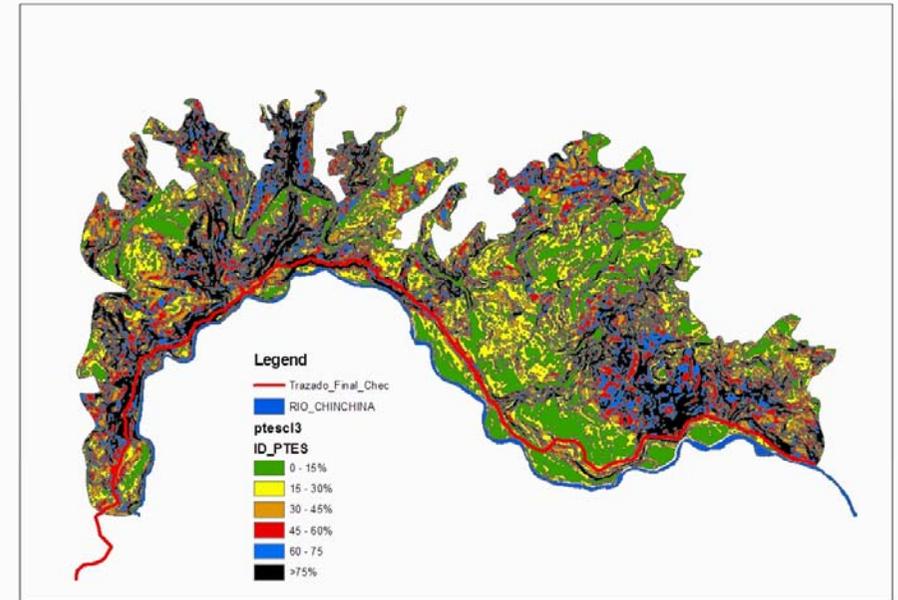
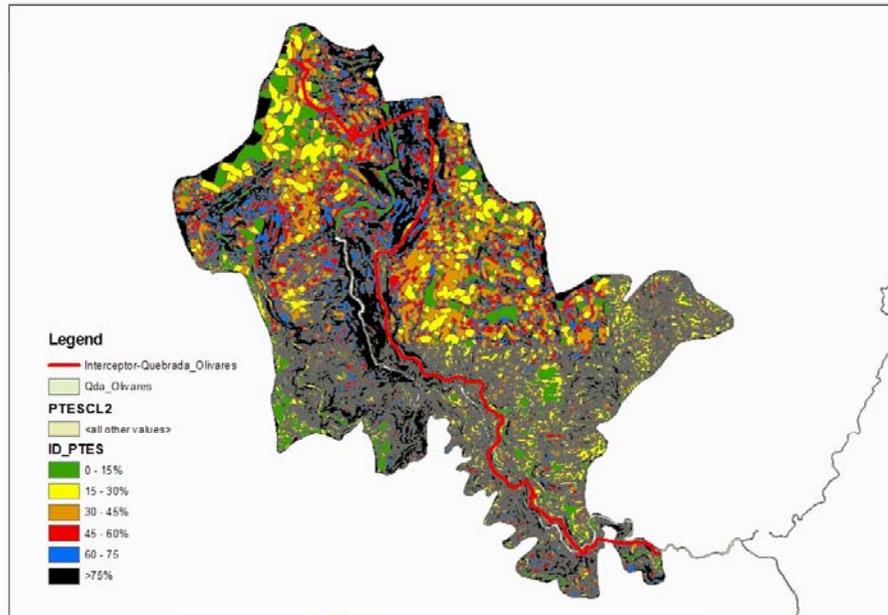
[www.osso.univalle.edu.co/doc/tesis/2002/aproximacion/modelo.pdf](http://www.osso.univalle.edu.co/doc/tesis/2002/aproximacion/modelo.pdf)

# Parametrización de rangos

	Nivel Alto	Nivel Moderado	Nivel Bajo
<b>Pendiente P:</b>	<b>PA: Más de 75%</b>	<b>PM: 30 a 75%</b>	<b>PB: Menos de 30%</b>
<b>Geología G</b>	<b>GA: Llenos, cenizas, aluviones sueltos, coluviones, F Casabianca, Depósitos de Escombros.</b>	<b>GM: Metasedimentos del C, Quebradagrande.</b>	<b>GB: F Manizales, aluviones cementados e Ígneas masivas (Lavas y Gabros, p.e.).</b>
<b>Humedad H</b>	<b>HA: Mayor que 250</b>	<b>HM: 220 a 250</b>	<b>HB: Menor que 220</b>
<b>Rugosidad R</b>	<b>RA: Si</b>	-	<b>RB: No</b>
<b>Amplificación A</b>	<b>AA: Si</b>	-	<b>AB: No</b>
<b>Fallas F</b>	<b>FA: Si</b>	-	<b>FB: No</b>

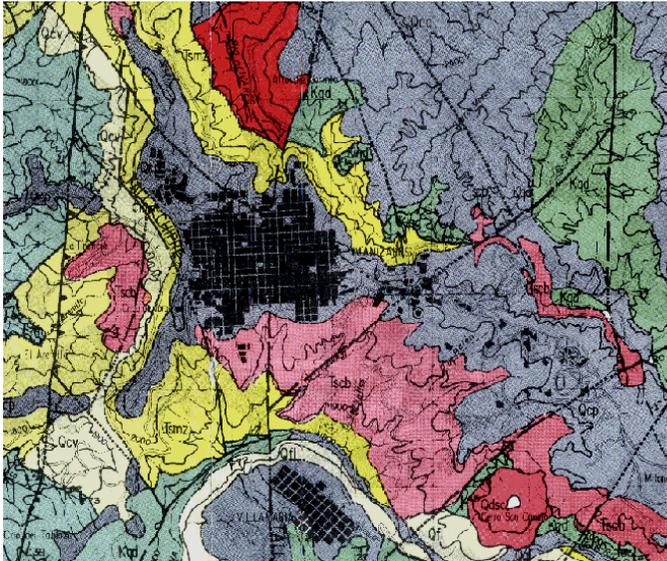
# Pendientes P: baja en verde y amarillo y alta en azul y negro

- Laderas de la quebrada Olivares. A la izquierda (NW) La Linda y a la derecha (SE) Castrilla y Santa Elena.
- Laderas del río Chinchiná. A la derecha (E) el Cerro Sancancio y a la izquierda (W) La Uribe y Tejares

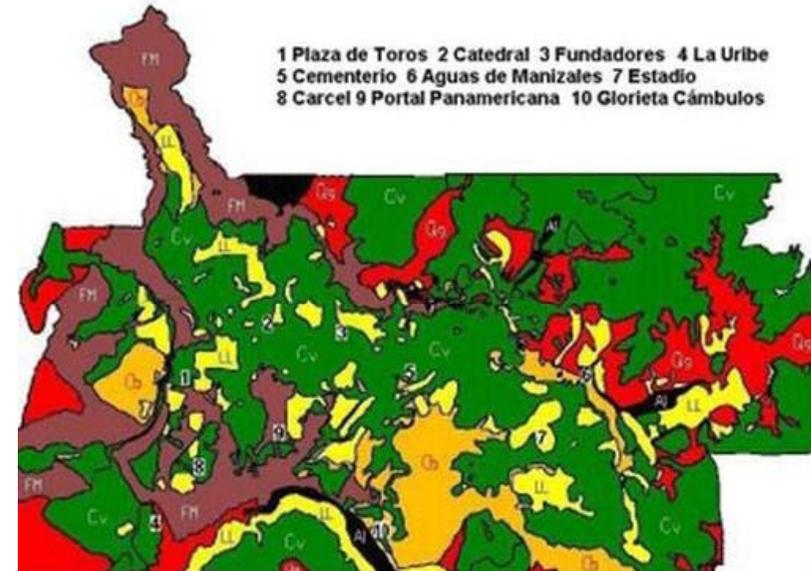


# Geología y formaciones superficiales

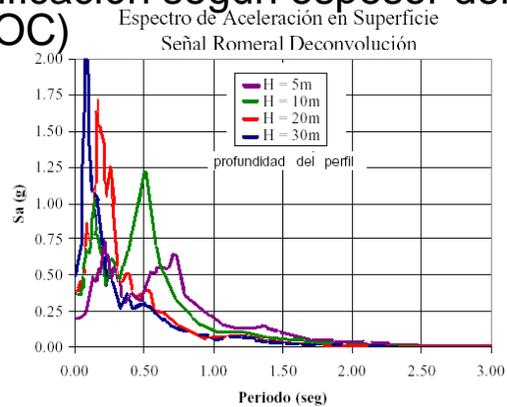
- Geología (Naranjo y Ríos)



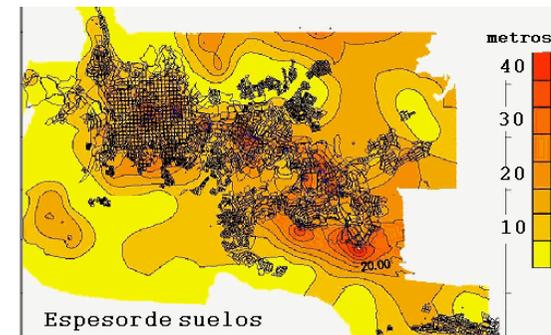
## Formaciones superficiales (CIMOC)



- Amplificación según espesor del suelo (CIMOC)



- Espesores de suelos (CIMOC)



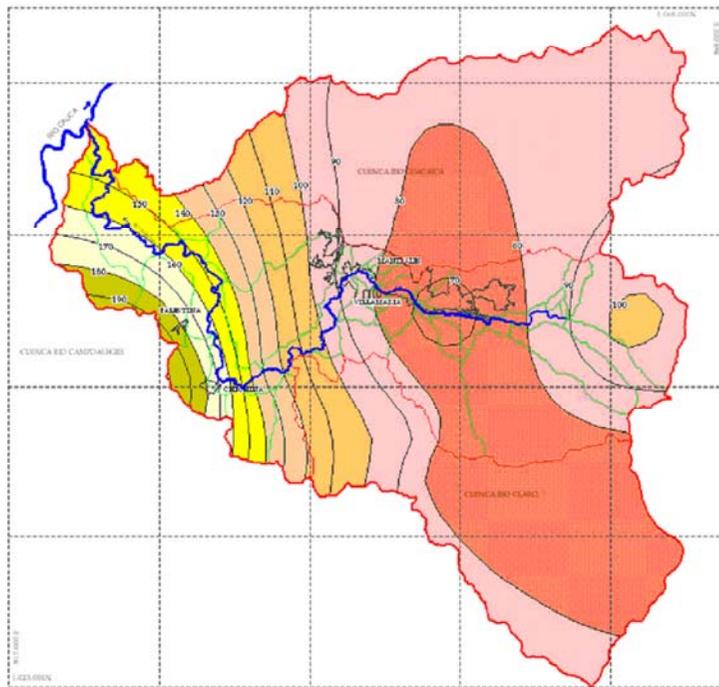
## *Clasificación de los macizos rocosos de tres de las unidades geológicas de Manizales*

<b>Rocas</b>	<b>RQD</b>	<b>Q Barton</b>	<b>Bieniawski - Categoría</b>	<b>Denominación</b>
<b>Formación Manizales</b> <i>Imagen Derecha</i>	60%	0,825	(60) – III (frontera con II)	<b>Roca de calidad Regular a buena</b>
<b>Formación Casabianca</b> <i>Imagen Centro</i>	6%	0,002	(10) – V	<b>Roca de calidad Muy mala</b>
<b>Complejo Quebradagrande</b> <i>Imagen Izquierda</i>	30%	0,011	(22)– IV (de rango inferior)	<b>Roca de calidad Mala cercana a muy mala</b>

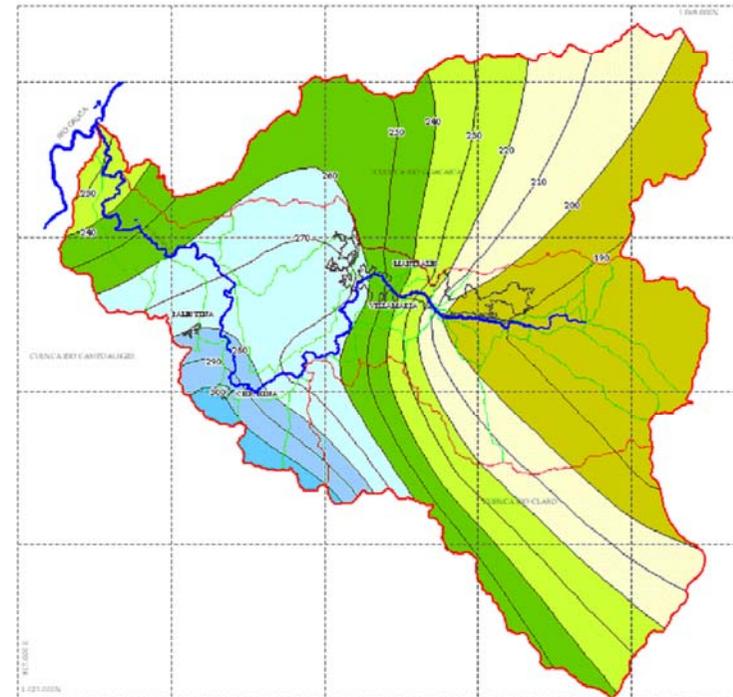


# Humedad H: verano v.s. invierno

- Isoyetas de julio: valores más bajos en rojo cerca de La Florida al E y SE (Proagua)



- Isoyetas de octubre: valores más altos en azul cerca de Río Claro al SW (Proagua)



El clima de la ciudad es bimodal y se sincronizan con los solsticios y equinoccios. Durante el fenómeno de La Niña, las temporadas de verano e invierno resultan más húmedas; y durante El Niño, más secas



# Fallas F2: morfología y relieve

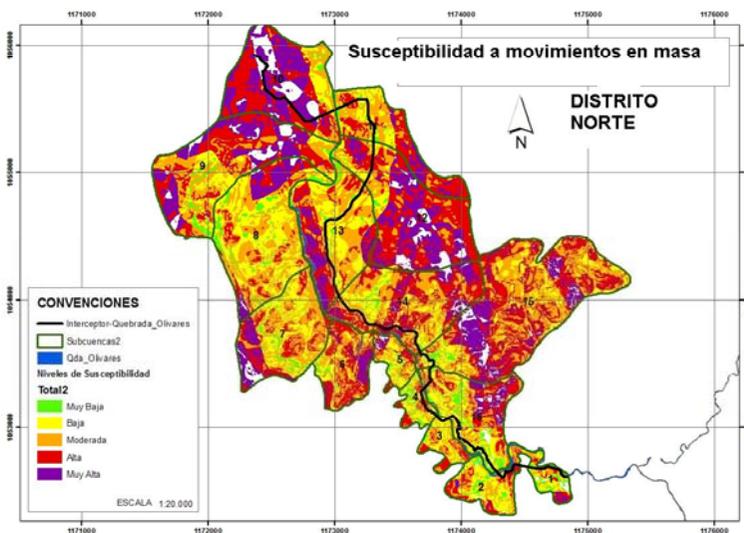
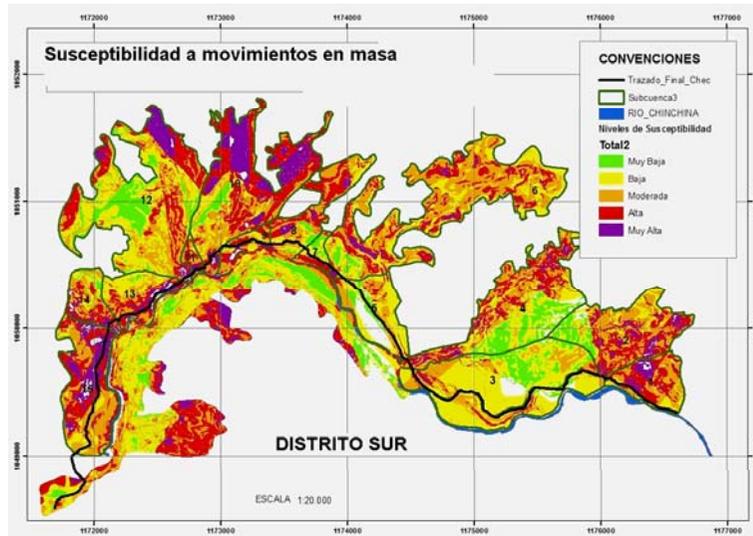
- Laderas del Norte: entallamientos sobre las salientes, anunciando los suelos frágiles (Cenizas y F. Casabianca).



- Laderas del Sur: rocas más competentes bajo las salientes de las laderas ( F. Manizales y C. Quebradagrande)



# Laderas del sur (arriba) y Norte ( Abajo)



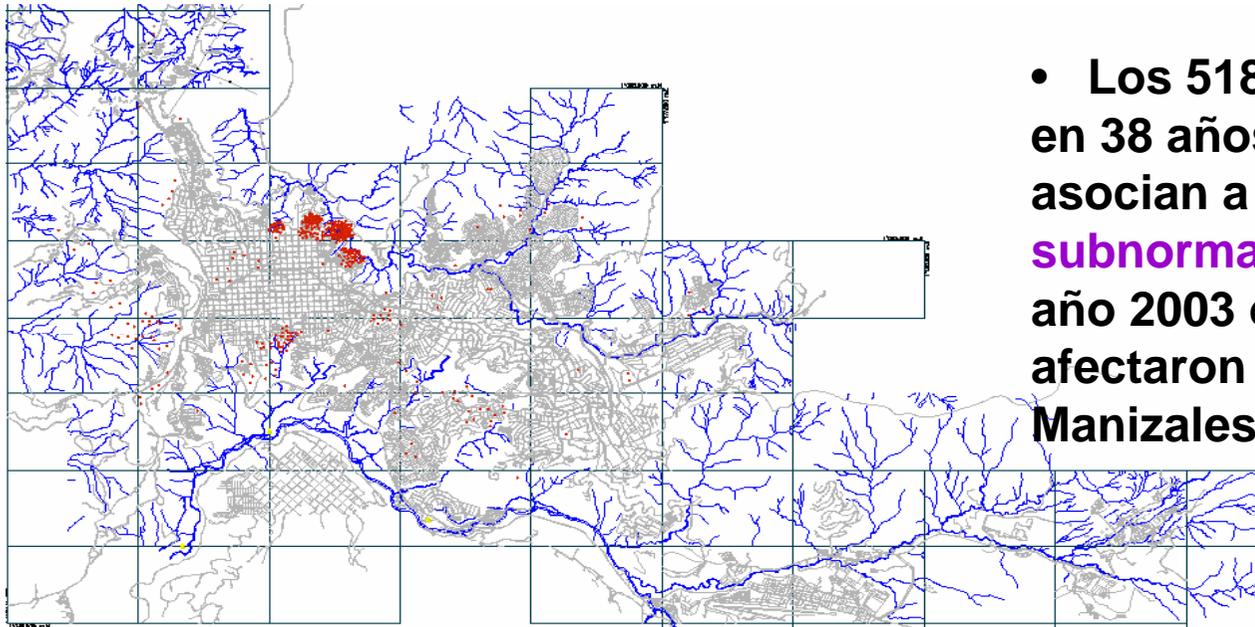
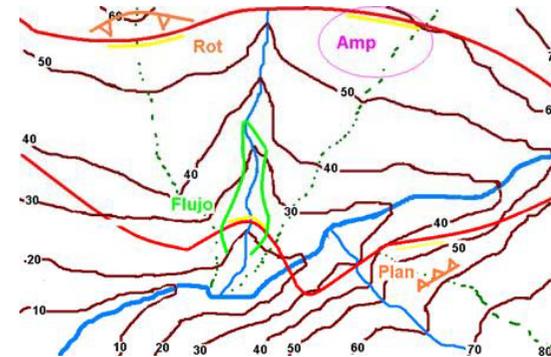
Nivel de la susceptibilidad S	Rangos de valores de S	Colores según el nivel
<i>Muy Bajo</i>	$S < 4$	<b>Verde claro</b>
<i>Bajo</i>	S entre 4 y 7	<b>Amarillo</b>
<i>Moderado</i>	S entre 8 y 15	<b>Naranja</b>
<i>Alto</i>	S entre 16 y 31	<b>Rojo</b>
<i>Muy alto</i>	$S > 32$	<b>Violeta</b>

# El Factor de Riesgo FR

FR= (% Área amenazada y afectada x % Siniestralidad del evento) / Período anual del evento.

- $FR = ((AE/AH) \times SE)/TA.$

El FR permite valorar económicamente el costo de los desastres, pero debe concertarse un TA socialmente aceptable y económicamente viable.

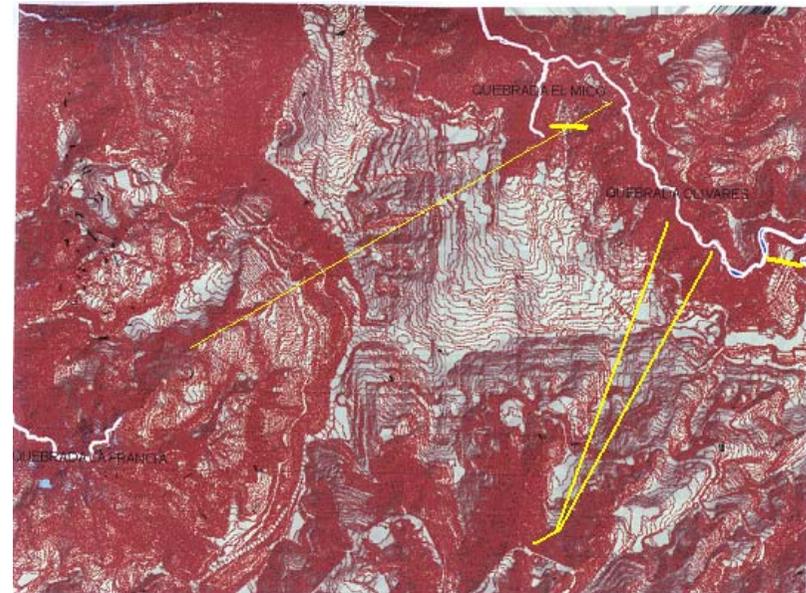


- Los 518 deslizamientos reportados en 38 años, entre 1960 y 1998, se asocian a **zonas rurubanas y subnormales**; pero en un sólo día del año 2003 ocurrieron 150 eventos que afectaron las zonas periurbanas de **Manizales**.

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 1

- Se hace evidente la diferencia de los **niveles de vulnerabilidad** existentes en las laderas, resultando **superiores los del Norte con relación a los Sur.**
- Aún más, **los niveles de vulnerabilidad** en ambos escenarios **son superiores en el entorno de la Falla Manizales – Aranzazu, y al occidente de la misma.**

•Además **hacia el occidente, entre La Linda y Tejares**, las geformas muestran **basculamiento tectónico de bloques**, advirtiendo cuál es el ambiente geológico del área de influencia del **escarpe de Chipre.**



líneas consideradas para la conducción de aguas serricas en el área de Manizales. 2006

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 2

- Al examinar el perfil de las dos vaguadas de la ciudad, es notable el mejor comportamiento estructural de las unidades litológicas por debajo de **la línea saliente de las laderas** de la Olivares y el Chinchiná, habida cuenta de que en la parte superior y por encima de esta línea, donde es mayor la ocupación del territorio, dominan los depósitos constituidos por Cenizas Volcánicas, suelos residuales asociados a la Formación Casabianca y llenos antrópicos.
- Su mayor nivel de erodabilidad, el de estos materiales de cobertura, se expresa a través del fuerte **entallamiento del drenaje**, a pesar de las menores pendientes y bajos caudales en dicho escenario.
- Por debajo de las salientes de las laderas (Fig. 4), los lugares más bajos de las vaguadas, se han construido obras como el Canal de la CHEC, una estructura de exitoso desempeño por más de 70 años.



# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 3

- En las zonas ubicadas **sobre las salientes de las laderas** que no han colapsado, los depósitos de cenizas volcánicas son más potentes. Cuando estos se desestabilizan **dominan los movimientos rotacionales**.
  - Por **debajo de las salientes**, con menores espesores aparecen los suelos de origen volcánico que al saturarse generan **deslizamientos traslacionales**; pero donde estos no aparecen y afloran los conglomerados, suele darse la caída de bloques.
  - Si bien **las zonas superiores** a causa de los **mayores espesores de suelos** son más propensas a las **aceleraciones sísmicas** y tienen mayor capacidad de absorción de aguas lluvias.
- 
- Contrariamente **las zonas inferiores** menos potentes son más propensas a los deslizamientos gracias a la fuerte pendiente, en especial cuando la cobertura y forma de la ladera, facilitan su saturación.
  - El **deslizamiento ocurre al avanzar el invierno** y presentarse una lluvia de intensidad suficiente que actúe como factor detonante sobre suelos ya saturados.



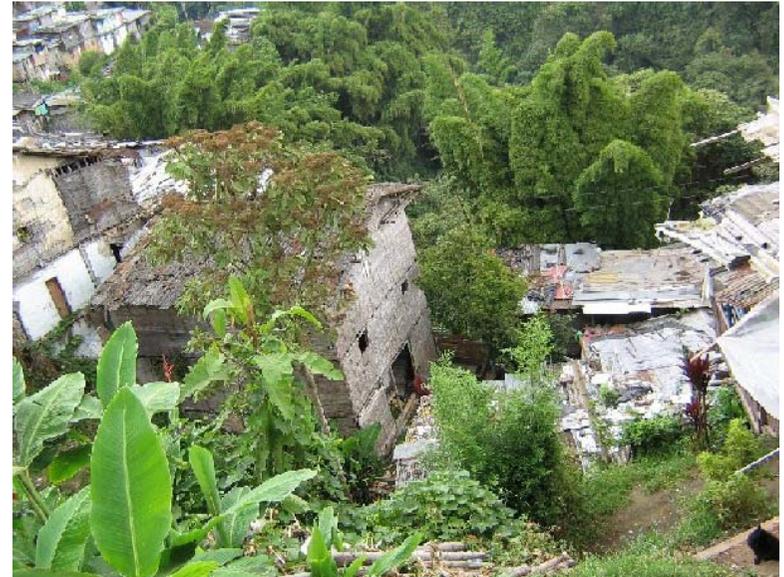
# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 4

- Desde el punto de vista antrópico, sobresalen escenarios que requieren medidas **de planificación a largo plazo pero de extrema urgencia**.
- La ocupación abajo de **la vía sobre la antigua banca del ferrocarril**, al lado de Villamaría y sobre la vaguada del Río Chinchiná, un escenario en el cual los caudales máximos para un periodo de retorno de 100 años empiezan a superar los 100 m<sup>3</sup>/s.
- Igualmente, los **barrios periféricos** en las laderas Norte y Sur vecinas a retícula del centro de la ciudad, donde se concentra **la historia de deslizamientos** con daños a la vida y a la propiedad, así como las obras de estabilización de laderas adelantadas desde el año de 1974 primero por CRAMSA y hoy por CORPOCALDAS.



# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 5

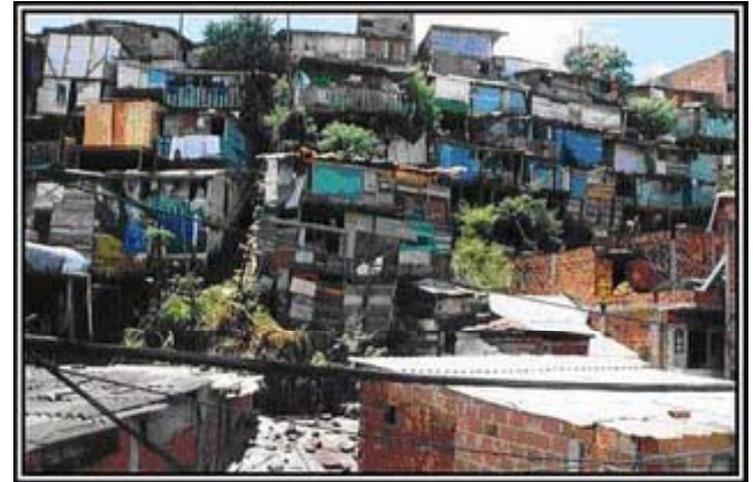
- Desde el punto de vista estructural, es evidente que los **factores de migración** del campo a la ciudad y de **empobrecimiento de la población**, además de las fuerzas del mercado del suelo urbano, se traducen en presiones sobre el **medio ambiente periurbano**, donde las **áreas con aptitud para la conservación** resultan vulnerables a dichas amenazas.
- Gracias a la imprevisión de los planificadores y deficiente gestión de los actores gubernamentales, las **prácticas urbanísticas** no planificadas **que desconocen** fundamentos y características geotécnicas o **condicionantes geológicas del territorio**, se traducen en conflictos que incrementan la presión sobre las laderas de la ciudad y el mayor **riesgo para la población pobre**, que es la más vulnerable.
- La investigación de esta problemática requiere avanzar en un **diálogo de saberes** que trascienda para integrar las ciencias sociales a las soluciones técnicas.



# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 6

- Antes que dejar los usos y manejos del suelo a **las fuerzas del mercado**, debe fortalecerse la presencia del Estado: sin su ingerencia, en el nuevo modelo económico **las empresas se apropian de los beneficios y se desentienden de los costos** asociados a la explotación del suelo urbano. Y cuando costos y beneficios se separan, es la sociedad la que asume los primeros.

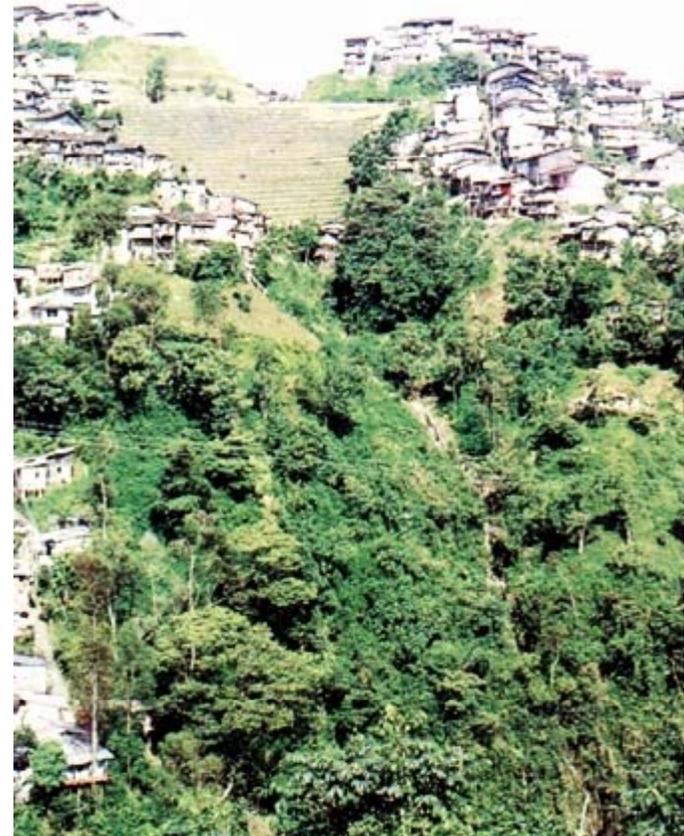
• La socialización e los costos ambientales, empieza por asumirla el Estado, por la vía de las corporaciones regionales, secretarías de obras y oficinas de atención de desastres, pero finalmente termina asumiéndola la sociedad por la vía del **deterioro de su calidad** de vida, y en especial **los sectores más pobres** de los medios periurbanos y zonas degradadas, ya que ellos no pueden acceder a los mejores predios que oferta el mercado del suelo urbano.



Fuente: <http://www.iammyownreporter.com>

# Por un nuevo modelo para mitigar la vulnerabilidad

- Las laderas de Manizales se muestran vulnerables a las actividades antrópicas intensas que se dan en las actuales condiciones de desarrollo urbano, lo que invita a reorientar los modelos de planificación para **no expandir el área de la ciudad**, y a definir normas más adecuadas, a fortalecer el Estado y a reconocer e incorporar en el POT las zonas rururbanas a un sistema de áreas de interés ambiental que **reconozca la vulnerabilidad de las laderas y su vocación de protección**, definiéndolas como franja de amortiguamiento entre las transformaciones rurales y urbanas, necesarias para asegurar su sostenibilidad y funciones, para un medio ambiente urbano ecológicamente más sólido y socialmente más viable.



Fuente: [cidbimena.desastres.hn](http://cidbimena.desastres.hn)

# BIBLIOGRAFÍA 1

- Anne Catherine Chardón. Un enfoque geográfico de la vulnerabilidad en zonas urbanas expuestas a amenazas naturales. El ejemplo andino de Manizales, Colombia. 2.002.
- Andrés Eduardo Rubio y Juan Pablo Trujillo. Caracterización geotécnica por estabilidad de la ladera comprendida por las laderas inmediatas sin urbanizar de la quebrada Palermo. Universidad Nacional de Colombia. Manizales 2004.
- Aquaterra Ingenieros Consultores SA. Estudio Geológico, Geotécnico e Hidráulico de la Ladera Sur del Barrio La Sultana, Manizales. Manizales 2004.
- Aguas de Manizales. Base topográfica digitalizada y Lineamientos estructurales en el área de Manizales, e Imágenes digitales de la Ciudad. 2006.
- Aerofotografías del área de Manizales.  
Línea de vuelo C378 fotos N° 311 a 318. IGAC 1944.  
Línea de vuelo C-2275 fotos N° 66 y 67. IGAC 1993.  
Línea de vuelo C-2277 fotos N° 37 a 42. IGAC 1987.  
línea de vuelo C-2515 fotos N° 198 a la 215 IGAC 1993.  
Línea de vuelo C-2515 fotos N° 281 a la 284 IGAC 1993.  
Línea de vuelo C-2277 fotos N° 40, 41, y 42. IGAC 1987.
- Andrew Mascrey. El manejo popular de los desastres naturales: estudios de vulnerabilidad y mitigación. ITDG. Lima 1989.
- Anuario meteorológico cafetero. 1976, 1996. CENICAFÉ. Chinchiná 1977, 1997.
- CRQ- DNPAD- Universidad del Quindío et al. III Conferencia colombiana de geología ambiental. Armenia 1994.

# BIBLIOGRAFÍA 2

- Basil Booth, Frank Fitch. La Inestable Tierra. Salvat Ed. Barcelona. 1986.
- Barry R. G., Chorley R. J. Atmósfera, tiempo y clima. Omega. Barcelona 1978.
- Centre International d'Etude des Risques Naturels en <http://www.risques-naturels.org>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Ideam, Colombia, en <http://www.ideam.gov.co/index4.asp#>
- Jean Francois Toussaint. La neotectónica regional del territorio colombiano y su relación con algunas amenazas geológicas. III conferencia colombiana de geología ambiental. Armenia 1994.
- Carlos Enrique Escobar Potes. Estudio para la evaluación de riesgo por crecientes en la cuenca alta del Río Chinchiná y sus afluentes. CIFOR LTDA. Manizales, 1998.
- Fabio Luís Cachón Torres y Jorge Iván Orozco Betancurth. Aportes al conocimiento de los factores geológicos que inciden en los deslizamientos de Manizales. Universidad de Caldas. Facultad de Geología y Minas. 1.989.
- Fernando A. González Lozano. Análisis de la información pluviométrica histórica para la prevención de amenazas hídricas sobre la ciudad de Manizales. CORPOCALDA. Manizales, 1999.
- Fernando Sánchez Zapata. Estabilidad de la secuencia piroclástica en la quebrada San Luis, Manizales, Viejo Caldas. Universidad Nacional de Colombia. Manizales 1997.
- Francisco José Cruz Prada. Relaciones Lluvias Deslizamientos en la Ciudad de Manizales- Revista SCIA 48 años. Manizales 2004.

# BIBLIOGRAFÍA 3

- Fundación Profesional para el Manejo Integral del Agua – PROAGUA. Caracterización climatológica, hidrológica e hidráulica de la cuenca del río Chinchiná. TOMO II. Convenio C087 – 2004 - CÔRPOCALDAS–PROAGUA. Manizales, Diciembre 2005.
- Germán Chicangana, Arturo Barrientos, Carlos A. Vargas-Jiménez. Determinación de esfuerzos a partir de los análisis de microtectónica en algunos sectores de los sistemas de fallas que cruzan el Eje Cafetero, Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá 2002.
- Gonzalo Duque E y Eugenio Duque E. Estudio de cinco conducciones subterráneas para el trasvase de aguas residuales, entre varias subcuencas del Olivares y el Río Chinchiná, en el sector urbano de Manizales-Villamaría y otras microcuencas vecinas. INGESAM & Aguas de Manizales. Manizales, 2006.
- Gonzalo Duque Escobar. Manual de geología para ingenieros. Universidad Nacional de Colombia 1998. [www.geocities.com/manualgeo](http://www.geocities.com/manualgeo)
- Gonzalo Duque Escobar y Carlos Enrique Escobar Potes. Mecánica de los suelos. Universidad Nacional de Colombia. 2002. [www.geocities.com/geotecniaysuelos](http://www.geocities.com/geotecniaysuelos)
- Gonzalo Duque Escobar. Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica. Memorias VII curso internacional sobre microzonificación y su aplicación al planeamiento urbano para la mitigación de desastres. CISMID – JICA. Lima 1995.
- Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Manizales, CIMOC -Alcaldía de Manizales, 2002.

# BIBLIOGRAFÍA 4

- Gonzalo Duque Escobar y Eugenio Duque Escobar. Túneles Excavados en Rocas Blandas -Aplicaciones en Manizales- Aguas de Manizales & INGESAM Ltda. Manizales, 20 de julio de 2006. <http://www.galeon.com/tuneles/>
- Jaime Alberto Llano García y Jhon Belisario Restrepo Rivera. Relación entre la cantidad de lluvia y la ocurrencia de deslizamientos en la carretera Manizales - Chinchiná". Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. 2.000.
- José Luís Naranjo. Modelo de evolución morfotectónica del Sistema de Fallas de Romeral a nivel regional. Universidad de Caldas. Manizales 2005.
- José Luís Naranjo y Pedro Antonio Ríos. Geología de Manizales y sus alrededores y su influencia en los riesgos geológicos. Universidad de Caldas, Manizales 1989.
- Juan David Arango Gartner. Relaciones lluvias – deslizamientos y zonificación geotécnica en la comuna dos de la ciudad de Manizales. Universidad Nacional de Colombia. Facultad Nacional de Minas. 2.000.
- Juan Fernando Pareja. Estimación de caudales máximo, medio promedio y mínimo, y de la altura de la lámina de agua del río Chinchiná, en el sector de Sancancio. Información incorporada en este trabajo. Manizales 2006.
- Kenji Ishihara. Dinámica aplicada a la estabilidad de taludes. SCG- Universidad Nacional de Colombia. Bogotá 1989.
- Kagoshima Internacional Conference on Volcanoes. Japan. 1988.
- Manuel García, Lisandro Beltrán y Álvaro González. Curso de estabilidad de taludes. Posgrado en geotecnia. Universidad Nacional de Colombia. Manizales 1993.

# BIBLIOGRAFÍA 5

- Michel Hermelín y Andrés Velásquez. Prediagnóstico de aspectos geológicos. Inédito. Plan Integral de Desarrollo Urbano de Manizales. Medellín 1985.
- Oscar Correa Calle. Modelo dinámico para calificación de la amenaza pluvial y evaluación de la posibilidad de erosión en la sectorización geotécnica de oleoductos y su aplicación en la planeación y toma de decisiones. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 2005.
- OPS- Disaster Management Center. University of Wisconsin. Organización de los servicios de salud para situaciones de desastre. Washington, 1975.
- OPS. Vulnerability of Water Supply Systems to Landslides. Mitigación de Desastres en Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario. [www.disaster-info.net/watermitigation/e/publicaciones/EstudioVEN/INDEX.HTML](http://www.disaster-info.net/watermitigation/e/publicaciones/EstudioVEN/INDEX.HTML) PAHO, 1997.
- Pablo Andrés García Arango y María Cecilia Echeverri Ramírez. Relación entre la cantidad de lluvia y la ocurrencia de deslizamientos en la carretera Manizales - La Pintada. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. 2.000.
- PNUD- Universidad EAFIT. Programa de prevención sísmica para Medellín: estudio de la amenaza, zonificación, análisis y vulnerabilidad sísmica para Medellín, Medellín, 1994.
- Red sismológica regional del Eje Cafetero (Viejo Caldas) y Tolima, ISSN 0123-9074, vol. 6, Número 1, año 2001.
- Simkiin T., Siebert L., McClelland L., Bridge D., Newhall D., Latter J.H.. Volcanoes of the world. Smithsonian Institution, USA. 1968.

# BIBLIOGRAFÍA 5

- Universidad Javeriana- OPS- ACODAL- Ministerio de salud de Colombia. Seminario Internacional de Manejo Sanitario en Situaciones de Desastre. Melgar 1991.
- V. Aguilar, D. Mendoza, A. Velásquez. Modelo de susceptibilidad a movimientos de masa en el Eje Cafetero. Observatorio Sismológico del Sur-Occidente Colombiano- OSSO IX Congreso Colombiano de Geología. Medellín 2003.
- Valentina Tchemodanova. Metodología de evaluación de susceptibilidad y amenaza por fenómenos de deslizamiento, derrumbe, caída de bloques, flujo de tierra y erosión. Sociedad Colombiana de Geotecnia. Bogotá. 2000.
- Vulnerabilidad de conducciones en laderas de la cuenca media del río Chinchiná. Gonzalo Duque Escobar, Eugenio Duque Escobar, David Saldaña Marulanda, Julián Duque Bernal y Cristina Murillo López, AGUAS DE MANIZALES & INGESAM LTDA, Manizales, 2006.  
<http://www.galeon.com/conducciones/>

**Fuente de este documento:**

- Geomecánica de las Laderas de Manizales, Gonzalo Duque Escobar\* & Eugenio Duque Escobar\*. INGESAM-Aguas Manizales. Manizales, Mayo 25 de 2007. Ver en:
- <http://www.digital.unal.edu.co/dspace/bitstream/10245/1063/1/Geomecanica%20laderas%20Manizales.pdf>

**Muchas gracias**

- \* **Gonzalo Duque Escobar y Eugenio Duque Escobar;  
Profesores Universidad Nacional de Colombia sede  
Manizales.**