

# **SIMPOSIO SOBRE SUELOS DEL EJE CAFETERO PROYECTO UTP – GTZ**

**UTP Pereira**

**Noviembre 8 de 2000**

## **RIESGO EN LA ZONA ANDINA TROPICAL POR LADERAS INESTABLES**

**Gonzalo Duque Escobar \***

### **Palabras claves**

DESLIZAMIENTOS, AMENAZA, GEOTECNIA, MOVIMIENTOS MASALES.

### **Resumen**

Este trabajo se ocupa de una de las amenazas más importantes del medio tropical andino: los deslizamientos de tierra vistos desde la óptica de los desastres naturales. Se definen los movimientos de masas. Luego se discuten los parámetros de la inestabilidad, la evaluación de los peligros por estos fenómenos, sus causas y factores y la metodología para el análisis de la vulnerabilidad y el estudio del riesgo.

Finalmente se presentan los elementos básicos de la situación en Colombia, como escenario de laderas susceptibles a los movimientos de masas de suelo.

### **1- PRESENTACION**

Las presentes notas relacionadas con la definición de riesgo y amenaza, y la aplicación de estos conceptos para eventos como los relacionados con **la inestabilidad de las vertientes**, pueden tener importancia para las comunidades de la región andina.

**La zona tropical andina** se caracteriza por la inestabilidad de los suelos y por un ambiente de gran actividad tectónica. Estos aspectos se relacionan con la juventud de sus montañas sometidas a procesos orogénicos desde el paleozoico al reciente. El clima y la biodiversidad, configuran el medio ecosistémico de este escenario.

El presente trabajo estará centrado en una de las tres amenazas más relevantes de nuestro medio, **los deslizamientos al lado de terremotos y volcanes**, que son las amenazas naturales de mayor importancia en la zona montañosa andina.

En Colombia, **el 70% de la población habita la zona andina**. Nuestros suelos de montaña, por la condición tropical del país, son fundamentalmente suelos residuales y esa consideración los hace merecedores de un tratamiento singular, pues la mecánica de suelos que empleamos ha sido desarrollada para medios con las características de los suelos transportados, más típicos de las latitudes altas.

El desarrollo de metodologías para la evaluación del riesgo por deslizamientos, incorporando la complejidad de nuestros suelos, resulta de vital importancia en nuestro medio.

## 2- ESTUDIO DEL RIESGO

Se pueden definir riesgo, amenaza y vulnerabilidad, como conceptos probabilísticos a los que se pueden asociar funciones para facilitar su manejo en términos de pronósticos.

**-Riesgo:** Posibilidad de afectar significativamente las vidas o bienes a causa de un fenómeno dañino dentro de un período de tiempo y con una probabilidad determinada.

**-Amenaza:** Evento o fenómeno perjudicial con un cierto nivel de magnitud y alcance espacial, que tiene una probabilidad de ocurrencia significativa en un período de tiempo dado.

La probabilidad será **cualitativa** si decimos que es alta o baja, o será **cuantitativa** si le señalamos al evento su frecuencia temporal.

La relación entre amenaza y riesgo se establece por medio de la expresión:

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad}$$

Siendo la **vulnerabilidad** el factor de riesgo que tiene en cuenta la **resistencia** o **fragilidad** de las personas y de los bienes **expuestos**. Por lo tanto:

$$\text{Vulnerabilidad} = \text{Exposición/Resistencia}$$

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Exposición/Resistencia}$$

La vulnerabilidad puede ser física, cultural y socioeconómica. El riesgo puede ser directo indirecto o de otros ordenes, según la amenaza sea natural, antropogénica o tecnológica. La amenaza depende del evento **detonante**, y de su grado de **susceptibilidad**, como de la energía **potencial** que lo caracteriza, razón por la cual se puede escribir:

$$\text{Amenaza} = \text{Detonante} \times \text{Susceptibilidad} \times \text{Potencial}$$

$$\text{Riesgo} = \text{Detonante} \times \text{Susceptibilidad} \times \text{Potencial} \times \text{Exposición/Resistencia}$$

En el riesgo por deslizamientos podemos incidir sobre la amenaza, pero en el riesgo sísmico sólo queda la alternativa de intervenir la vulnerabilidad. En el riesgo volcánico podemos incidir sobre la **exposición** (evacuación temporal o definitiva) y en el riesgo sísmico normalmente intervenimos la **fragilidad** (parámetros de sismoresistencia y seguridad ignífuga).

## 2.1- Ordenes de las amenazas naturales

Una amenaza natural puede o no provenir de otra de mayor orden incluso puede ocasionar un evento posterior. Los deslizamientos pueden surgir a causa de un sismo o una lluvia y pueden ocasionar también aludes y avalanchas. De esta secuencia posible surge la necesidad de establecer la siguiente clasificación para las amenazas naturales:

- **Primer orden:** sismos, huracanes, volcanes y lluvias.

- **Segundo orden:** deslizamientos, maremotos, inundaciones.
- **Tercer orden:** aludes y avalanchas.

## 2.2- Clases de riesgos.

Se hace necesario diferenciar y calificar el riesgo asociado a una amenaza dada, para no generar expectativas ociosas.

- Riesgo **evitable** (por su origen o consecuencia)
- Riesgo **controlable** (evento predecible o efecto atenuable)
- Riesgo **incontrolable** (no predecible, evaluable o solucionable)
- Riesgo **aceptable** (diferencia entre el mayor nivel de riesgo y la máxima previsión).

Pero además existen el riesgo de **cúmulo** o total y el riesgo **específico** o local. El primero de interés para los individuos y agentes individualmente considerados y el segundo para la autoridad competente y para el sector de responsabilidad. Ambos, el riesgo de cúmulo y el específico, deben ser evaluados para facilitar el manejo de las contradicciones que surgen de la naturaleza del problema, dado que presentan valores diferentes entre sí y que los deslizamientos están asociados a amenazas de primer orden (lluvia y sismo).

## 3- DESLIZAMIENTOS EN ZONAS MONTAÑOSAS

Los movimientos de masas son las amenazas más importantes en las zonas andinas. Los daños a bienes y pérdida de vidas se relacionan aquí con la inestabilidad de las vertientes intervenidas: deslizamientos, derrumbes, flujos.

El movimiento de masas ocurre cuando el esfuerzo cortante supera la resistencia al corte del suelo, lo que se da cuando ocurre al menos una de estas situaciones:

- a) Al incrementarse el **esfuerzo cortante** (sismos). Aquí se incrementan las fuerzas actuantes.

b) Al caer la **resistencia al corte** del suelo (saturación). Esto reduce las fuerzas resistentes del suelo.

### 3.1- Clasificación de los movimientos masales y parámetros de inestabilidad.

Las diferentes clases de movimientos de masas, se describen en el cuadro No. 1 (M. Vargas, 1982).

**Cuadro No.1. Clasificación de los movimientos de suelos y rocas en regiones tropicales.**

FenómenoPRIVATE	CLASE	COMO OCURRE	CUANDO OCURRE	COMO EVITAR
Movimientos plásticos o viscosos	Reptación efectuada por las camadas superficiales	Movimientos lentos de rastreo, movilizandó sólo una parte de la resistencia al corte	Movimiento constante acelerado durante la época lluviosa	Impermeabilizaci de la superficie y drenaje superfici
	Deslizamientos de "talus"	Movimientos continuos de antiguos depósitos de laderas	Corte hecho al pie de un "talus" durante la época lluviosa	Lo anterior más subdrenaje con drenes horizontales o galerías filtrantes
Deslizamientos a lo largo de superficies con cohesión y fricción	Deslizamientos planos o traslacionales	Asentamientos del manto relativamente delgado sobre la superficie de la roca de fondo	Rotura durante o después de precipitaciones con más de 100 mm/día durante el invierno	Lo mismo con cambio de configuración del talud, canales colectores, berm en el pie y muros de contención pc gravedad o ancl
	Deslizamientos rotacionales	Deslizamiento de suelos residuales o masa saprolítica, eventualmente con bloques de roca		
Deslizamientos	Deslizamientos	Deslizamiento a lo	Rotura	Anclaje de rocas

FenómenoPRIVATE	CLASE	COMO OCURRE	CUANDO OCURRE	COMO EVITAR
estructurales de masas rocosas	de cuñas o placas de roca	largo de discontinuidades planas	repentina durante o después de tormentas con más de 100 mm/día, pero no necesariamente durante la época lluviosa	estructuras ancladas
	Deslizamientos de masas rocosas muy fracturadas	Similar a los deslizamientos planares y rotacionales		
	Caída de rocas	Desmoronamiento de bloques de roca (boulders)		
Flujos rápidos	Flujo de masa barrosa	Erosión o licuación de capas superficiales	Durante tormentas con precipitaciones de más de 50 mm/hora en épocas lluviosas de años secos	Si son moderadcs se construyen er la vaguada estructuras disipadoras para evitar la incorporación de material del fond del cauce
	Flujo de bloques de roca y "boulders"	Demolición de masas rocosas muy fracturadas		

Milton Vargas. Clasificación y mecanismos de deslizamiento de tierra y roca en zonas tropicales. I Congreso Suramericano de mecánica de rocas, Santafé de Bogotá, 1982.

Los parámetros que influyen en la inestabilidad del suelo se relacionan con el agua, el material, la geometría del terreno, y las situaciones del ambiente (fuerzas, procesos, etc). Los parámetros son:

- **Tipo de material:** roca, capa alterada y cobertura.

- **Pendiente:** gradiente, forma y longitud.
- **Condiciones hidrológicas:** infiltración, permeabilidad, NAF, cantidad de agua.
- **Procesos morfológicos:** erosión fluvial e hídrica, movimientos masales.
- **Parámetros externos:** distribución de la pluviosidad, es decir, relación (intensidad/período), sismicidad, vulcanismo.

Pero también es verdad que las laderas (cuestas naturales) han sido transformadas en taludes por los modelados de la actividad antrópica y que con la expansión de la frontera agrícola, por prácticas deficientes en el uso y manejo del suelo, se han producido el descontrol hídrico y pluviométrico, la erosión y la desertificación de los suelos andinos.

### 3.2- La Evaluación

#### - Preguntas y respuestas en la evaluación

La cultura de la información es escasa en nuestro medio. Sin información no se pueden hacer análisis y sin este se cae en la improvisación o en los sobrecostos. Para evaluar acertadamente un evento de movimiento de suelos, deben responderse las preguntas básicas.

¿Qué pasó?... Mecanismo

¿Qué lo causó?... Causa

¿Continuará?... Estabilidad actual

¿Qué hacer?... Prevención y corrección

¿Ocurrirá en otro lado?... Predicción espacial

¿Cuándo ocurrirá?... Predicción temporal

¿Es evitable?... Causa

#### - Etapas de la evaluación

Las siguientes son las etapas para lograr una evaluación exitosa, que conduzca a resultados concretos y útiles.

1º **Secuencia de eventos:** testigos, instrumentos, mecanismos, volumen, energía, causas, signos.

2º **Condiciones ambientales:** averiguar las causas y hacer estimaciones espacio-temporales sobre la ocurrencia y extensión de los eventos. Utilizar datos meteorológicos, sismológicos y registrar si se dieron cambios previos en áreas aledañas como construcciones, riegos, explosiones, deforestación, roturas de líneas con líquidos, sobre cargas, interrupción de drenajes o cultivos.

3º **Inspección detallada** de morfología y estado de áreas aledañas y del deslizamiento: grietas, flujos de agua, obras, edificaciones, cultivos.

4º **Análisis adicional.**

5º **Plan** de instrumentación, manejo y control, según obras decididas.

6º Abandono del sitio y evaluación de las **consecuencias.**

### **3.3- Causas de los movimientos y medidas a tomar.**

La causa real de un movimiento de masas es casi un problema forense. Los factores contribuyentes pueden ser más visibles que la causa real o que el detonante del problema.

- **Causas intrínsecas:** suelen ser naturales y se relacionan con el agua subterránea, material, tectónica, topografía abrupta, etc.

- **Causas detonantes:** pueden ser naturales como la lluvia, el sismo, la erosión, o artificiales como cortes, deforestación, etc.

- **Causas contribuyentes:** similares a las causas detonantes pero que simplemente anticipan el evento.

- **Las medidas** pueden ser preventivas o correctivas, según prevengan la ocurrencia del evento o corrijan los efectos por el ocasionados.

### **3.4- Los factores de amenaza y de riesgo**

Los factores de **amenaza** en caso de deslizamiento son:

- Son la susceptibilidad debida a factores internos

- Los eventos detonantes como lluvias, sismos, erosión, sobrecargas.

- El potencial de energía, tanto la destructiva interna como la potencial.



Los factores de **riesgo** por deslizamiento son:

- El nivel de la amenaza de deslizamiento.
- El grado de exposición de elementos que puedan sufrir daños posibles, como los elementos sobre la ladera o al alcance o por generación de aludes u obstrucción de corrientes.
- La resistencia al fenómeno, no sólo desde el punto de vista físico sino también funcional. Se asume que la resistencia es un concepto opuesto al de la fragilidad.

La amenaza se puede representar en un **mapa de susceptibilidad al deslizamiento**, donde cada color involucra el grado de susceptibilidad del territorio a la ocurrencia de deslizamientos y cuyos niveles en forma decreciente son rojo, naranja y amarillo, o verde para las zonas no susceptibles.

Si se ha de **valorar** el peligro o amenaza debemos reconocer su existencia, evaluar la capacidad de manejarlo, estimar su probabilidad de ocurrencia, evaluar eventuales efectos y tomar la decisión de aceptarlo o no.

Si se trata del **manejo** del peligro o amenaza, las posibilidades son evitarlo, removerlo, controlarlo (reducirlo), minimizar sus efectos o recurrir a sistemas de alarmas.

### **3.5- Metodología para el Análisis de vulnerabilidad a la ocurrencia de deslizamientos.**

Las siguientes son las etapas para proceder a los análisis de vulnerabilidad, en caso de amenaza de deslizamiento, para evaluar una situación de riesgo dada.

- Seleccionar una **amenaza potencial** y asignarle características. Se alude a un tipo de movimiento de masas dado, con un volumen, intensidad y extensión dados.
- Identificar **vidas y bienes** amenazados y otros componentes físicos o servicios comprometidos.
- Determinar los **efectos** del evento sobre las personas y bienes señalados y sobre los sistemas de servicios. Además de los daños estructurales están los daños funcionales de los sistemas.
- En el caso de empresas de servicios comprometidas, debe estimarse **la demanda** de servicios básicos para el público y la reducción del servicio a causa de un evento desastroso.

- Determinar los **componentes críticos** y vulnerables a la amenaza para estimar la reducción de la oferta de servicios de una empresa o de un sistema.
- Ampliar **otros efectos** indirectos derivados del evento, por ejemplo por la ocurrencia de amenazas de tercer orden o por daños a terceros.
- Consolidar la **información** en una evaluación final, susceptible de ser revisada y actualizada en forma periódica y extraordinaria.

### 3.6- Metodología para el estudio del riesgo en caso de deslizamiento.

- Identificación de la **amenaza**: recopilar y analizar información, identificación preliminar del riesgo y de las medidas urgentes.
- Evaluación de la **susceptibilidad**. Estudios cartográficos, hidrológicos, geológicos, agrológicos, de erosión, uso y manejo del suelo, zonificación de susceptibilidad, caracterización geotécnica de materiales, evaluación de estabilidad y susceptibilidad.
- Estudio de eventos **detonantes** de la amenaza: climatológicos, hidrológicos, sismológicos, de erosión o sobrecargas naturales, y efectos antrópicos. Se puede dar deslizamiento con lluvia y con sismo, deslizamiento sin ellos o con uno de ellos. La probabilidad final será la suma las probabilidades de cuatro situaciones diferentes.

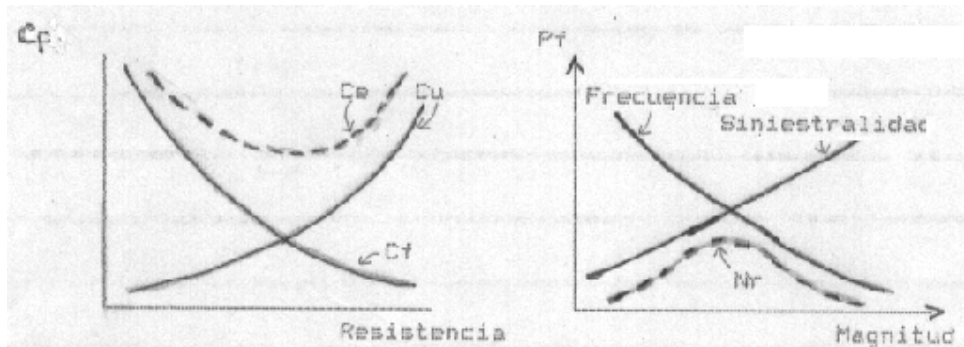


Fig. 1: Izquierda, Costo Probable de falla  $C_p$ . Derecha, nivel de riesgo  $N_r$

- Estudio del **riesgo**: evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y del riesgo. En la figura 1 derecha, la función que relaciona la probabilidad de falla con la magnitud de un evento, alude a su grado de siniestralidad, y la que relaciona la probabilidad de ocurrencia con la magnitud de un evento, alude a la frecuencia probable del fenómeno.

La primera función (siniestralidad) expresa la curva de daños cuya pendiente es positiva, y la segunda función (frecuencia), la curva de ocurrencia cuya pendiente es negativa. El producto de ambas da el **nivel de riesgo** del evento que gráficamente se representa por una campana ( $N_r$ ), cuyo máximo coincide con la intersección de las dos curvas anteriores.

- **Medidas**: sistemas de observación y alarmas, reducción de la exposición, reducción de la amenaza, incremento de la resistencia, y jerarquización de prioridades y estudios.

- Estudios **económicos** (ver figura 1 izquierda): análisis de las funciones de **costo esperado**, que es la suma del costo usual (curva  $C_u$ ) y el costo de falla (curva  $C_f$ ). El costo de falla involucra pérdidas, reposición, interrupción, lucro cesante y efectos sociales, el costo usual involucra estudios, control, construcción y mantenimiento. La suma de ambas funciones es una parábola ( $C_p$ ) cuyo mínimo coincide con la intersección de ambas funciones.

#### 4- LA SITUACION EN COLOMBIA

En Colombia predominan **rocas blandas**, es decir, materiales intermedios entre suelos y rocas. Por ejemplo, las rocas de bajo o medio metamorfismo como esquistos, filitas, algunas serpentinitas y anfibolitas, e incluso algunos gneises y rocas mal consolidadas y mal cementadas, como margas, lodolitas, limolitas y areniscas blandas.

Las rocas blandas son susceptibles a los cambios de humedad típicos del ambiente tropical. Para la **zona andina** en el oriente de Colombia predominan espesos **coluviones** y en el occidente **suelos residuales y volcánicos**. El occidente está afectado por **tectonismo y sismos**.

Es importante para el ambiente andino tropical considerar los **suelos residuales** con sus **estructuras relictas** o heredadas, que a diferencia de los suelos transportados, donde las discontinuidades son horizontales (predecibles), estas resultan con orientación aleatoria y buzamiento impredecible.

Los espesores de las **alteritas** son mayores en las zonas tropicales (vegetación y clima), como la cordillera Oriental de naturaleza sedimentaria. Los **saprolitos** son típicos de la zona andina (roca cristalina), como las zonas de batolitos a lo largo de la cordillera Central y Antioquia. Los **andosoles** se desarrollan en lugares con cenizas volcánicas donde se desarrollan haloisitas y

alófanos (Cauca, Nariño y zona cafetera). Las **lateritas** son suelos típicos del Cauca y los Llanos Orientales.

Además de un **clima** con contrastes de temperatura y precipitación, existen **factores tectónicos**.

La **precipitación** es alta en Chocó y el margen llanero, moderada en la zona cafetera y baja en las zonas desérticas de Colombia (Guajira, Alto Magdalena, Villa de Leiva).

Colombia en su zona andina, tiene fallas, muchas activas, mostrándose en sus laderas inestables zonas con **intenso fracturamiento** donde los materiales presentan trituración y brechamiento. El occidente está afectado por las fallas de Romeral y Palestina (rumbo) y el oriente por el sistema de las fallas frontales de los Llanos (inversa). Ambas son de alto riesgo sísmico.

La falla geológica condiciona el **drenaje interno** y tras todo ello se presenta una cronoestratigrafía en repetidas ocasiones desfavorable puesto que en los estratos de diferentes edades se presentan contrastes de permeabilidad, zonas débiles, etc.

## 5- ZONIFICACIÓN.

Si se integran en una zona cualquiera de Colombia, aunque sea a **nivel regional**, un mapa geológico, un mapa tectónico y un cuadro de movimientos masales clasificados, se pueden inferir algunos factores de inestabilidad (inherentes, detonantes, etc.). Si superponemos **relieve y sobrefracturamiento** obtenemos zonas más o menos propensas a deslizamientos. En Colombia las áreas de influencia del sistema Romeral y de las fallas del margen llanero se pondrían en evidencia como zonas altamente inestables.

J. Montero (1990) señala en Colombia varias provincias con amenaza alta a deslizamiento así:

- **Entre la falla Romeral y el Cauca.** Con rocas metamórficas, rocas con cataclasis y arcillas alófanos remoldeadas.
- **La cordillera Oriental.** Con suelos espesos (alteritas) sobre lutitas que son químicamente alterables.
- **El margen llanero.** Muy afectado por el ambiente tectónico y la naturaleza sedimentaria de los suelos.

- **Zonas con potentes flujos alterados.** Como la Estampilla (Manizales), donde se encuentran depósitos fluviotorrenciales alterados y en procesos de movimientos masales.

- **Zonas de coluviones.** Como los de Quebrada Blanca en la vía al Llano.

- **Saprolitos.** En zonas de debilidad tectónica.

En resumen la juventud de las cordilleras, el ambiente tectónico intenso y la naturaleza del clima, son factores que se conjugan para explicar la inestabilidad de nuestras laderas.

## 6- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las comunidades primitivas de América que por siglos padecieron sin comprender las agresiones del medio, dejaron **un legado** hoy inutilizado, para bien de las colectividades humanas de nuestros medios andinos más transformados, que paradójicamente habitando un medio paranatural, no hemos hecho de los fenómenos naturales propios del trópico andino, huéspedes condicionantes de acciones y beneficios.

Esa **fragilidad del medio construido**, explicada por falencias dialécticas entre nuestra cultura y el medio ecosistémico que habitamos, nos lleva a admitir que en el medio tropical andino apenas iniciamos la fase de recolección de información, cuando imaginábamos que ya la procesábamos. Simplemente hacemos uso de tecnologías basadas en procesos desarrollados para medios exógenos y evidentemente no adaptadas a nuestros suelos.

Se recomienda avanzar en el **desarrollo** de la geotecnia en Colombia, **articulando** a los trabajos los aportes de otras disciplinas como la agrología, la geología, la antropología, la biología, la ecología y la climatología, para dar respuesta a multitud de problemas entre ellos los **desastres** naturales.

## 7- BIBLIOGRAFIA

**CARDONA**, Omar Darío. Evaluación de la Amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. Taller regional de capacitación para la administración de desastres. ONAD, PNUD, OPS, UNDRO. Bogotá, 1991.

**DUQUE ESCOBAR**, Gonzalo. Manual de Geología para Ingenieros. Universidad Nacional, Manizales. 1998.

----- Notas del Curso de Mecánica de Suelos. Universidad Nacional de Colombia, Manizales. 1999. (inédito).

----- Desarrollo Sostenido en la Prospectiva de la Problemática Ambiental y la Supervivencia. Agosto 1990.

----- Notas sobre la Prevención y el riesgo por Amenaza Volcánica. Primer Simposio Internacional sobre Aspectos Vulcanológicos, Sismológicos y Geológicos. 1986.

**GONZALEZ**, Alvaro Jaime. Notas del Curso Estabilidad de Taludes, del Postgrado de Geotecnia de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, 1994

**GRISALES GARCIA, Alfonso**. Suelos de la zona cafetera. Fondo Cultural Cafetero, Volumen 4. Editorial Bedout S. A. Colombia, 1977.

**HERMELIN**, Michael. Bases de Geología Ambiental. Universidad Nacional. Medellín. 1987.

**MONTERO, Juan**. Curso de Estabilidad de Taludes, Procesos, Factores y Causas de Inestabilidad de Taludes y Laderas. Santafé de Bogotá. 1990.

**SCHUSTER-KRIZEK**. Landslides. Academia Nacional de Ciencias. U. S. A. 1978.

**SPETERS**, Robert. Notas de la Charla "Tecnologías para el Estudio de Amenazas Naturales en el Medio Andino". ITC y DTU de Holanda. Jueves 30 de marzo de 1991, Universidad Nacional, Manizales.

**VARGAS, Milton**. Estabilidad de Taludes. I Congreso Suramericano de Mecánica de Rocas. Sociedad Colombiana de Geotecnia. Santafé de Bogotá. 1982.

---

\*Gonzalo Duque Escobar: [http://en.scientificcommons.org/gonzalo\\_duque-escobar](http://en.scientificcommons.org/gonzalo_duque-escobar)