

VII CURSO INTERNACIONAL SOBRE MICROZONIFICACION Y SU APLICACION AL  
PLANEAMIENTO URBANO PARA LA MITIGACION DE DESASTRES- CISMID

Lima, 16 de octubre al 10 de noviembre de 1995

**RIESGO EN ZONAS DE MONTAÑA POR LADERAS INESTABLES  
Y AMENAZA VOLCANICA**

Gonzalo Duque Escobar

## **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 y el vulcanismo, pueden tener importancia para las comunidades de la región andina y en especial para los asistentes al Curso Internacional sobre Microzonificación y Planeamiento Urbano.

La zona andina se caracteriza, desde el punto de vista geológico, por la inestabilidad de los suelos y un ambiente de gran actividad volcano-tectónica. Estos aspectos se relacionan con la juventud de sus montañas sometidas a procesos orogénicos desde el paleozoico al reciente. El presente trabajo estará centrado en dos de las tres amenazas involucradas (volcanes y deslizamientos), que son amenazas naturales de primero y segundo orden respectivamente.

En Colombia, el 70% de la población habita la zona andina y el 20% está sometida al riesgo por amenaza volcánica. Nuestros suelos de montaña, por la condición tropical del país, son fundamentalmente suelos residuales y esa consideración los hace merecedores de un tratamiento singular.

Por la limitación del espacio, he recurrido a esquemas simplificados economizando el desarrollo de textos y comentarios y las notas explicativas a los cuadros y esquemas presentados.

## ALGUNAS DEFINICIONES

Es mucho más barato prevenir que curar. Veamos **en costos** la máxima: de la prevención al desastre hay un orden de diferencia y del desastre a su recuperación hay otro orden; por lo tanto de la prevención a la recuperación del desastre la diferencia es de dos ordenes:

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:

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

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

La vulnerabilidad puede ser física, cultural y socioeconómica. El riesgo puede ser directo o 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).

### **Ordenes de las amenazas naturales**

- Primer orden: sismos, huracanes, volcanes y lluvias.
- Segundo orden: deslizamientos, maremotos, inundaciones.
- Tercer orden: aludes y avalanchas.

### **Administración de emergencias por desastres**

Los desastres de **magnitud**, crean áreas de gran densidad poblacional. Campamentos para damnificados y centros de socorro, donde los servicios vitales adecuados pueden faltar, dada la ruptura de líneas vitales de agua, energía, alcantarillado, comunicaciones y transportes.

Falta de agua potable y carencia de instalaciones sanitarias básicas pueden disminuir el nivel de higiene existente. A ello debe sumarse la posible contaminación del agua, el suelo, el aire y los alimentos por los efectos directos o indirectos del desastre.

El ambiente también se altera por interrupción de servicios, aumento de criaderos de insectos, anulación de áreas afectadas, migraciones y hacinamiento.

### **Métodos para atenuar los efectos adversos del desastre**

A Medidas de prevención: Como mejoras físicas o estructurales, organización eficiente del sistema de su operación y de mantenimiento.

B Medidas de preparación: Como planificación de acciones rápidas y eficaces para restaurar los servicios y controlar o mitigar los daños al sistema y los efectos al ambiente.

### **Dos niveles del Plan Operativo de Emergencias**

A Plan Estratégico: A nivel nacional o regional. Debe diseñarse en función del riesgo de cúmulo.

B Plan Operativo: A nivel local. debe diseñarse en función del riesgo específico, coordinado con el anterior.

### **Comité de Emergencia (responsabilidad)**

- Análisis de vulnerabilidad del sistema.
- Coordinación y comunicación con otras entidades de emergencia.
- Contactos con proveedores de equipos, suministros, productos, insumos y servicios.
- Desarrollo de tareas de prevención y de preparación (obras, simulacros).
- Hacer inventario y registro de recursos.
- Entrenar al personal y actualizar el plan.

### **Análisis de vulnerabilidad (etapas)**

- Seleccionar una amenaza potencial y asignarle características.
- Identificar componentes físicos y servicios auxiliares del sistema.

- Determinar los efectos del evento sobre el sistema.
- Estimar la demanda de servicios básicos para el público.
- Determinar los componentes críticos y vulnerables a la amenaza.
- Ampliar otros efectos indirectos derivados del evento.
- Consolidar la información en una evaluación final.

## DESLIZAMIENTOS EN ZONAS MONTAÑOSAS

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

El movimiento de masas ocurre cuando el esfuerzo cortante supera la resistencia al corte del suelo.

- a) Al incrementarse el esfuerzo cortante (sismos).
- b) Al caer la resistencia al corte del suelo (saturación).

Los parámetros que influyen en la inestabilidad 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 el descontrol hídrico y pluviométrico, la erosión y la desertificación, pueden explicarse por el mal uso y manejo del suelo y que las comunidades primitivas padecieron sin comprensión las agresiones del medio, mientras las colectividades humanas de medios más transformados o menos naturales han hecho de los fenómenos naturales huéspedes condicionantes de acciones y beneficios.

Observando así esa relación existente entre cultura y medio ambiente para aplicarlo a la zona andina, debemos admitir que si algunas comunidades de medios fundamentalmente naturales están en la fase de recolección de información, las de otras regiones

más intervenidas la procesan o simplemente hacen uso de procesos desarrollados para medios exógenos.

### **Preguntas y respuestas en la evaluación**

¿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**

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

2° Condiciones ambientales: averiguar las causas y hacer estimativos espacio-temporales. Utilizar datos meteorológicos, sismológicos y registrar si se dieron cambios previos en áreas aledañas como construcciones, riego, explosiones, deforestación, roturas de líneas con líquidos, sobre cargas, interrupción de drenajes o cultivos.

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

4° Análisis adicional.

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

6° Abandono del sitio y evaluación de las consecuencias.



## **Causas y medidas**

- 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.

## **Clases de riesgo**

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

## **Los factores de amenaza**

- 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**

- El nivel de amenaza
- 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 fragilidad.

## **¿Qué hacer con el peligro?**

La amenaza se puede representar en un mapa donde cada color involucra el grado de susceptibilidad del territorio, que en forma decreciente son rojo, naranja y amarillo, o verde para las zonas no susceptibles.

Si se alude al 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.

## **Metodología para el estudio del riesgo**

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.

Estudio del riesgo: evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y del riesgo. 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 expresa la curva de daños, cuya pendiente es positiva, y la segunda función, 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, 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: análisis de las funciones de costo esperado, que es la suma del costo usual y el costo de falla. También de la probabilidad de falla. El costo de falla involucra pérdidas, reposición, interrupción, lucro cesante y efectos sociales, el costo usual involucra estudios, control, construcción y mantenimiento.

## **RIESGO Y AMENAZA VOLCANICA**

### **Principales riesgos volcánicos en zonas de montaña**

En zonas de montaña, de ambiente andino, los principales riesgos volcánicos se relacionan con lahares, flujos piroclásticos y caída de cenizas.

**Lahares:** Las máximas alturas son de 50 metros sobre los cauces, antes de llegar los ríos a los valles de salida. No obstante por la frecuencia, las alturas a considerar con riesgo son de 10 y 30 metros, según el mejor o el peor de los casos. posibles y probables.

**Blast y flujos piroclásticos en general:** estos eventos menos probables pero igualmente contundentes, exigirían a largo plazo reestudiar y de manera integral alternativas de ruta, y a corto o mediano plazo prever la seguridad de operadores. Se recuerda que, conexos podrían aparecer lahares y sismos los cuales tienen riesgo específico alto y cúmulo bajo.

**Ceniza y gases:** La exposición prolongada al efecto de la ceniza, es tan importante como la exposición intensa al mismo fenómeno, cuando se trata de la salud de personas con bronquitis crónica, asma y enfermedades cardiopulmonares.

La ceniza en abundancia, puede generar trastornos a la producción agropecuaria en la zona de páramo y la lluvia ácida, por aportes de  $SO_2$  venido de la columna de vapor, puede acelerar la corrosión al incrementar el Ph de la biosfera en un área igualmente extensa.

La ceniza y el gas generan efectos meteorológicos nocivos como tormentas eléctricas y precipitaciones intensas, dos fenómenos importantes por el riesgo para los sistemas de comunicación, transportes, etc.

#### Ordenes de siniestralidad y frecuencia de eventos naturales

PRIVATE	EVENTO	SINIESTRALIDAD	FRECUENCIA
	Meteorito	1 = alta	4 = baja
	Erupción	2	3
	Sismos	3	2
	Otros A y B	4	1
A = Movimiento masal en Zona montañosa. B = Inundación por creciente en valles.			

**Factores de amenaza volcánica:** Probabilidad, tipo, intensidad y extensión del evento, condiciones geológicas y de entorno.

**Factores de riesgo volcánico:** Nivel de amenaza, medidas de protección, grado de vulnerabilidad, vida y bienes expuestos.

#### Factores que definen el estilo eruptivo de un volcán

Características de la cámara y del magma.

Contactos magmático-hidrotermales.

Estructura y morfología del volcán.

Intensidad de procesos exógenos y endógenos.

#### Desastres por eventos volcánicos

PRIVATE	FENOMENO →	VOLCAN →	MUERTES
	Lava 3/4 de Km <sup>3</sup> ,	Etna (1609)	20.000

Flujo piroclástico 1 Km <sup>3</sup>	Monte Pelado (1902)	30.000
Lahar 1/10 Km <sup>3</sup>	Ruíz (1985)	23.000
Ceniza y gas (efecto posterior p. e. hambre)	Grieta Laki (1783)	10.000

## **Consideraciones para el riesgo volcánico**

A Previsión a corto plazo (proceso magmático).

Monitoreo volcánico.

Modelo eruptivo.

B Previsión general (mapas de riesgo).

Historia y prehistoria eruptivas.

Evolución e historia estructural.

**Tipo de controles:** (No incluye efectos atmosféricos ni de largo plazo).

Erupción: drenar el cráter (Kelud de Java).

Ceniza: Remoción (techos y vías)

filtros (respiración, motores).

Lava: Bombardeo (Etna)

Barreras (Hawaii)

Refrigeración (Vestmannaeyjar).

Flujo piroclástico: Evacuación (Taal, Filipinas, 1745).

Flujo de lodo primario (deshielo): Evacuación.

Flujo de lodo secundario (precipitación): Barreras (Sakurajima).

## **Utilidad de la previsión general**

Períodos de calma: planes de ocupación del suelo y de exposición al riesgo.

Períodos de crisis: planes de defensa civil y de administración de recursos.

## **Instrumentos de prevención**

Cartas de riesgo y educación básica.

Monitoreo volcánico y planes de emergencia.

Medidas de Defensa Civil y Organización comunitaria.

### **Categorías de métodos defensivos**

Barreras y construcciones resistentes.

Sistemas de alarma y control.

Refugios para evento sorpresivo.

Zonas de evacuación (pronóstico anticipado).

### **Construcción y planificación en zona de riesgo**

Uso restrictivo y del suelo y movilidad de bienes.

Seguridad ignífuga e inclinación de techos.

Resistencia mecánica y disipación de energía.

### **Seguro de riesgo por erupción**

#### **A. Criterios de Asegurabilidad**

Cálculo de prima (riesgo local).

Sector de responsabilidad (riesgo de cúmulo o total).

#### **B. Alcance de la cobertura**

Tipo de cobertura.

Participación del asegurado.

Límite de indemnización.

Exclusión de riesgos específicos.

#### **C. Tasación del riesgo**

Prima de recargo de incertidumbre.

Zonificación según la probabilidad distribución y nivel de amenazas.

Se puede calcular el Factor de Prima Técnica FPT anual, mediante la siguiente expresión, a partir de la capacidad destructiva del evento, de su cubrimiento espacial y de su período e recurrencia expresado en años, así:

$$F.P.T./_{anual} = (\% \text{ daño} \times \% \text{ área})/\text{período años}$$

### Clasificación del riesgo (i) volcánico

PRIVATE FENOMENO VOLCANICO	POSIBLE CONTROL	RIESGO LOCAL	RIESGO DE CUMULO
Lahares	Duda	2	4
Flujo piroclástico	No	4	3
Blast	No	6	1
Cenizas	No	5	2
Gas	Duda	4	5
Lava	Si	1	5

1 = agravado    2 = mediano    3 = moderado

4 = reducido    5 = bajo    6 = muy bajo

### Clasificación del riesgo (ii) volcánico

PRIVATE FENOMENO	FRECUENCIA POR SIGLO (#)	AREA	SINIESTRALIDAD ESPERADA (%)
------------------	--------------------------	------	-----------------------------



VOLCANICO	casos)	AFFECTADA (en Km <sup>2</sup> )	
Lahares	1 - 10	10 - 100	50 - 100
Flujo piroclástico	1 - 5	1 - 10	70 - 100
Blast	1 - 3	< de 15.000	70 - 100
Cenizas	1 - 5	< de 1 millón	< de 10
Gas	1 - 5	1.000	1
Lava	10 - 100	1 - 10	20 - 100

**Riesgo local** ® se relaciona con la frecuencia y siniestralidad, es de interés para fijar la prima de un seguro y para los particulares.

**Riesgo de cúmulo** ® se relaciona con la extensión y siniestralidad del evento, es de interés para el valor del reaseguro (sector de responsabilidad), y para las autoridades de los Comités de emergencia.

## 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. Notas del Curso de Geología para Ingeniería Civil. Universidad Nacional, Manizales. 1991. (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.

----- Conceptos Básicos de Vulcanismo. Boletín de Vías N° 53, 1985.

----- Riesgo Volcánico del Ruiz, Realidades e Hipótesis, Boletín de Vías N° 56. Universidad Nacional, 1986.

----- Mapa Preliminar de Amenazas Potenciales del Volcán Nevado del Ruiz. El Espectador, 14 de nov. 1986.

**FOURNIER, E. M., TOMBLIN, J. F.** Manejo de Emergencias. UNDRO. 1987.

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

**BOOTH-FITCH.** La inestable Tierra. Biblioteca Científica Salvat. España. 1986.

**CLARK, Sydney.** La estructura de la Tierra. Editorial Orbis. España, 1986.

**DON-LEET.** Earthquake. Editorial Dell Publishing. U.S.A. 1964.

**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.

**RAMIREZ**, Jesús Emilio. Historia de los Terremotos en Colombia. Instituto Agustín Codazzi. Editorial Andes. 1975.

**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.

**Salud ambiental con posterioridad a los desastres ambientales**. Publicación Científica N° 430 de la Organización Panamericana de la Salud, OPS, 1982.