

**GOBIERNO DE  
MÉXICO**



# FENÓMENOS GEOLÓGICOS: VOLCANES Y DESLIZAMIENTO DE LADERAS

## Tema 4 Estimación de la Susceptibilidad a la Inestabilidad de Laderas y Medidas de Mitigación

---

Ing. Alberto Enrique González Huesca

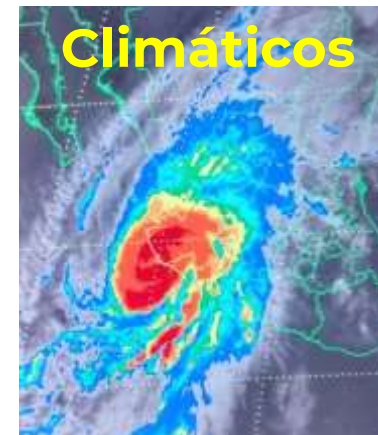
CIUDAD DE MÉXICO A 15 DE OCTUBRE DE 2020



# OCURRENCIA INESTABILIDAD DE LADERAS



Agente  
perturbador  
producido por la  
actividad humana.



**Combinación  
de factores**





# DEFINICIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD

## INTRODUCCIÓN

“Es una **propiedad del terreno** que indica que tan favorables o desfavorables son las condiciones de éste para que pueda ocurrir inestabilidad”. Se refiere **solamente a factores intrínsecos a los materiales naturales de la ladera**, sin considerar factores desencadenantes, como la precipitación o la sismicidad (Suárez, 1998).

**Suárez J., 1998, “Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales”, Instituto de Investigaciones sobre erosión y deslizamientos, Bucaramanga, Colombia, 548 p.**





# ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD





# DEFINICIÓN DE PELIGRO

## INTRODUCCIÓN

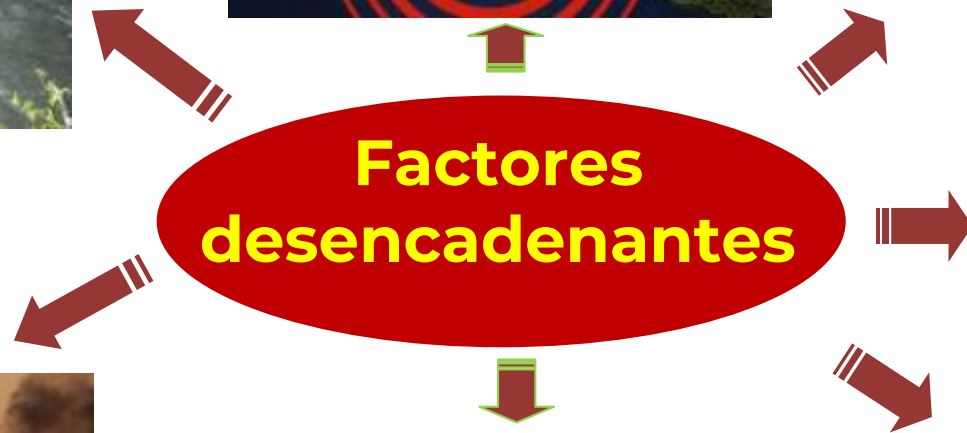
Se define como: “La **probabilidad o frecuencia de ocurrencia** de un proceso de un nivel de intensidad o severidad determinado, dentro de un periodo de tiempo dado y dentro de un área específica” (González de Vallejo, 2002).

**González de Vallejo., 2002, “Ingeniería Geológica”,  
Prentice Hall**



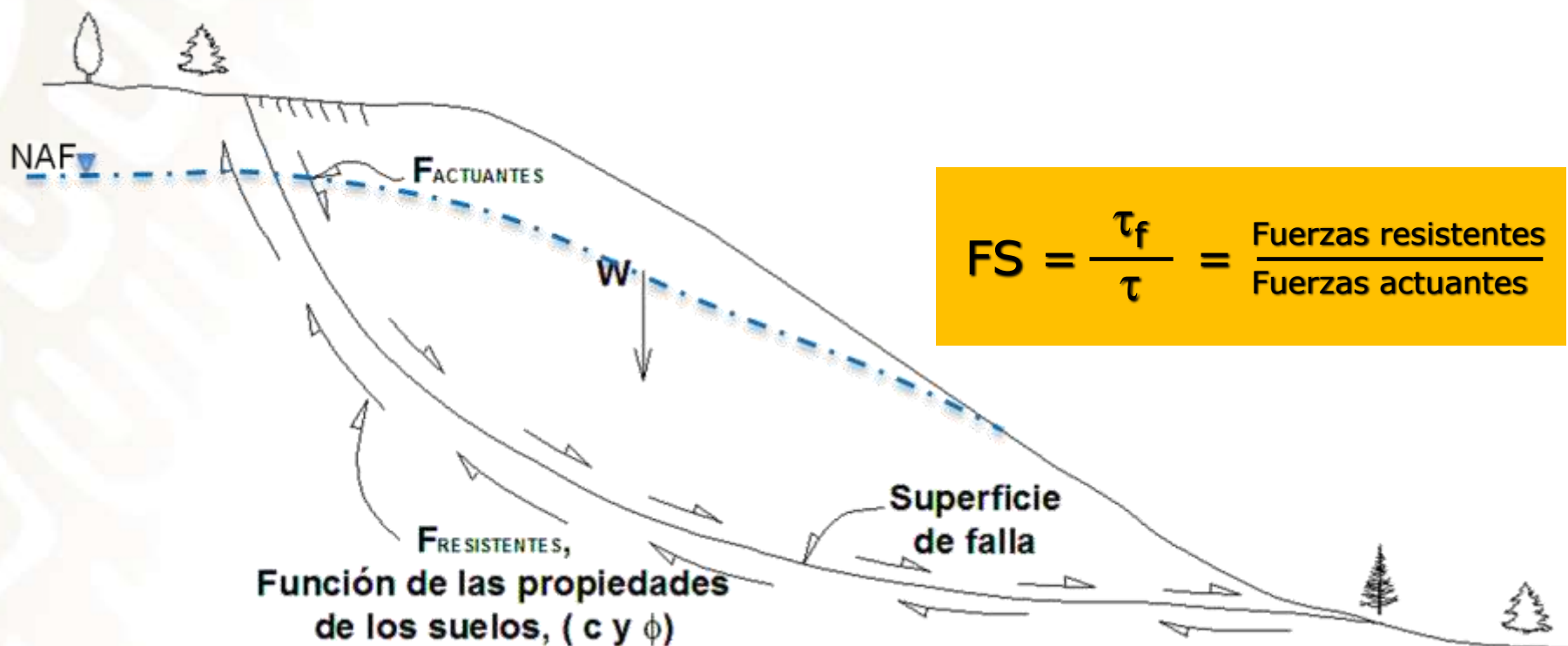


# ANÁLISIS DE PELIGROSIDAD



## MARCO TEÓRICO GENERAL

Terzagui (1950) postula que la estabilidad general de una ladera depende de los factores internos y externos y su análisis se realiza a partir de la definición de las fuerzas actuantes y de las fuerzas resistentes.



$$FS = \frac{\tau_f}{\tau} = \frac{\text{Fuerzas resistentes}}{\text{Fuerzas actuantes}}$$





## FACTOR DE SEGURIDAD

Las fuerzas resistentes y las actuantes establecen una relación denominada **Factor de Seguridad**.

$$\text{FS} = \frac{\text{FUERZAS RESISTENTES}}{\text{FUERZAS ACTUANTES}}$$

Si las **fuerzas resistentes son mayores que las fuerzas actuantes**, se tendrán valores de **FS mayores a 1**. Por lo tanto si:

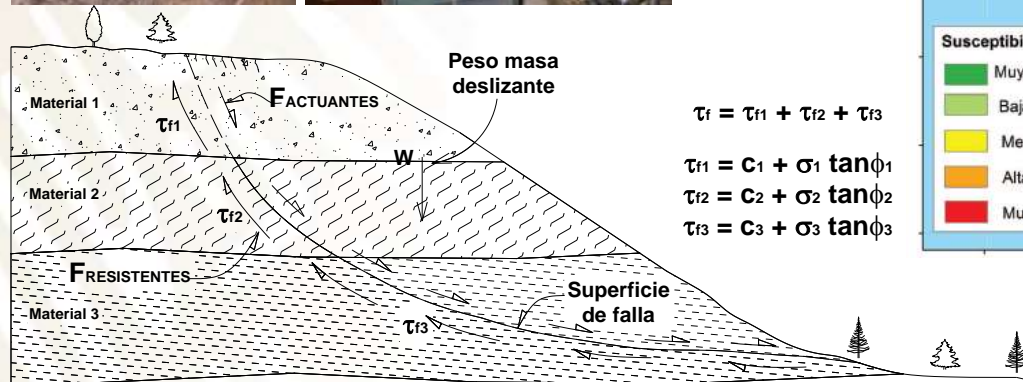
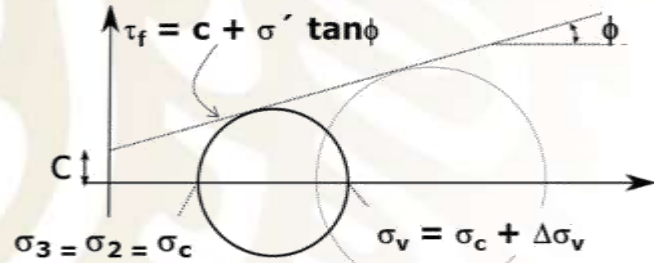
$$\text{FS} > 1$$

**Existen condiciones de seguridad**



# MÉTODOS DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LADERAS

## Determinísticos



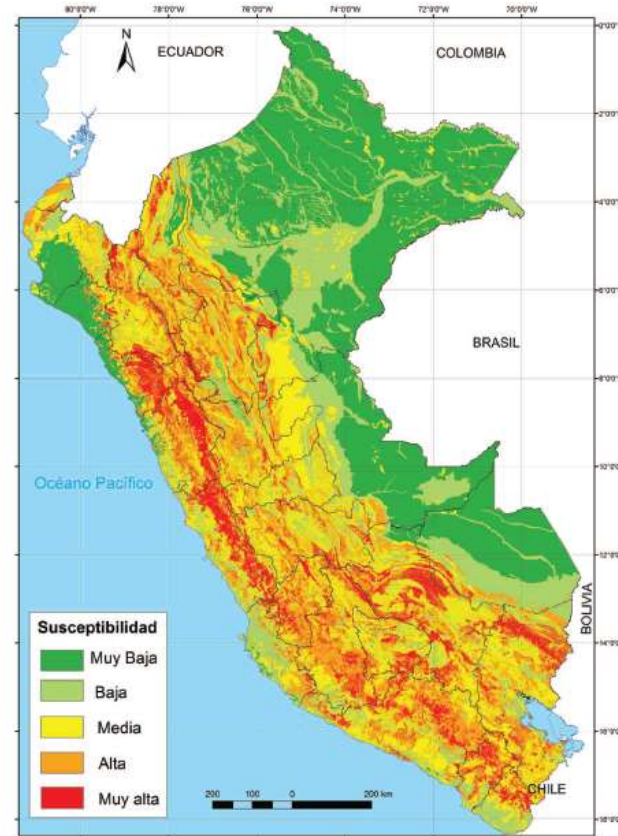
$$\tau_f = \tau_{f1} + \tau_{f2} + \tau_{f3}$$

$$\tau_{f1} = c_1 + \sigma_1 \tan \phi_1$$

$$\tau_{f2} = c_2 + \sigma_2 \tan \phi_2$$

$$\tau_{f3} = c_3 + \sigma_3 \tan \phi_3$$

## Heurísticos

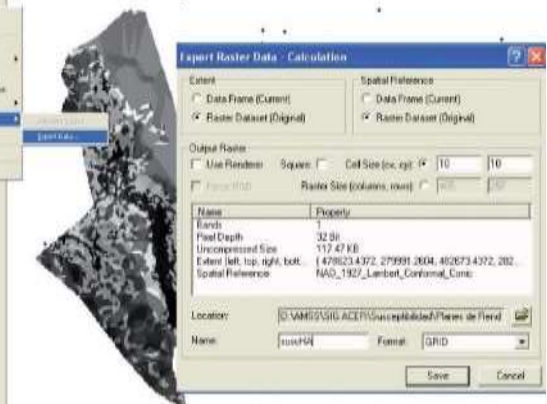
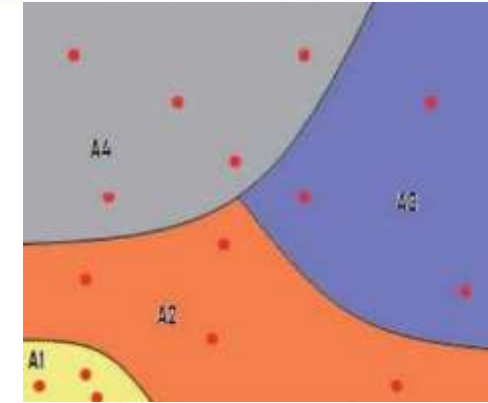


## Estadísticos

Selected Attributes of movimientos

OBJECTID	SHAPE	X	Y	
130	Point	489336.862192	288309.577582	<Null>
131	Point	471831.986944	286927.813615	Comdat
137	Point	472324.355940	289430.045169	<Null>
138	Point	472114.610144	288354.946209	<Null>
142	Point	474352.850658	293868.940533	<Null>
146	Point	473039.057249	290030.518258	<Null>
150	Point	469674.506946	291227.923187	<Null>

Record: 1 | Show: All | Selected: 167 out of 295 Selected | Dplus





GOBIERNO DE  
MÉXICO

SEGURIDAD  
SECRETARÍA DE SEGURIDAD  
Y PROTECCIÓN CIUDADANA

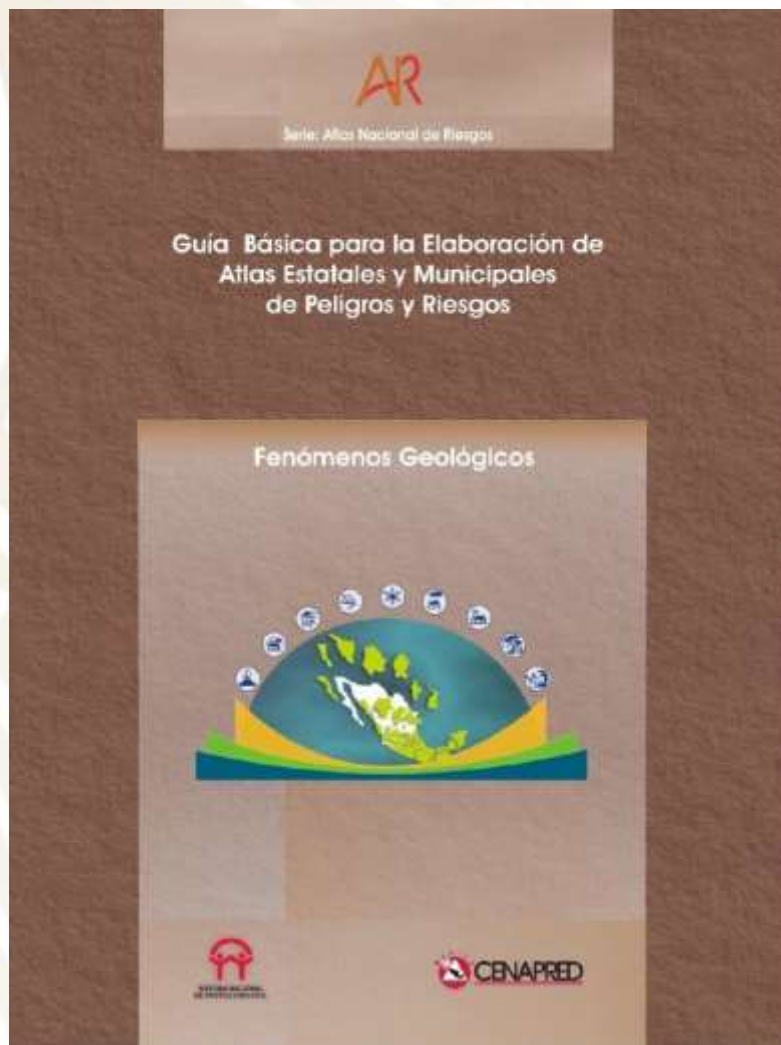


CNPC  
COORDINACIÓN NACIONAL  
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED  
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN  
DE DESASTRES

## GUÍA BÁSICA CENAPRED (2006)



En la “**Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, Fenómenos Geológicos**”, en la sección de inestabilidad de laderas, se incluye un formato para la **evaluación de la susceptibilidad** a la inestabilidad de laderas





# FORMATO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD

FACTORES TOPOGRÁFICOS E HISTÓRICOS						
Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación		
				A	B	C
Inclinación de los taludes	Más de 45°	2.0	Estimar el valor medio. Úsese clinómetro.			
	35° a 45°	1.8				
	25° a 35°	1.4				
	15° a 25°	1.0				
	Menos de 15°	0.5				
Altura	Menos de 50 m	0.6	Desnivel entre la corona y el valle o fondo de la cañada. Úsense nivelaciones, planos o cartas topográficas. Niveles dudosos con GPS			
	50 a 100 m	1.2				
	100 a 200 m	1.6				
	Más de 200 m	2.0				
Antecedentes de deslizamientos en el sitio, área o región	No se sabe	0.3	Reseñas verosímiles de lugareños.			
	Algunos someros	0.4				
	Sí, incluso con fechas	0.6				



# HERRAMIENTAS DE MEDICIÓN



**Distanciómetro**



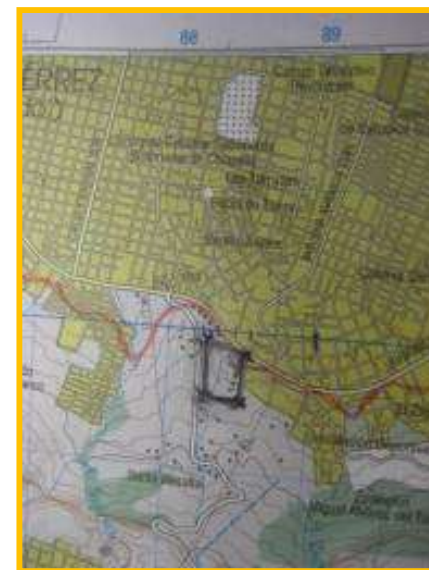
**Clinómetro**



**GPS**



**Brújula**



**Carta topográfica**



# FORMATO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD

FACTORES GEOLÓGICOS Y GEOTÉCNICOS				Calificación		
				A	B	C
Tipo de suelos o rocas	Suelos granulares medianamente compactos a sueltos. Suelos que se reblandecen con la absorción de agua. Formaciones poco consolidadas.	1.5 a 2.5	Vulnerables a la erosión; o suelos de consistencia blanda.			
	Rocas metamórficas (pizarras y esquistos) de poco a muy intemperizadas.	1.2 a 2.0				
	Suelos arcillosos consistentes o areno-limosos compactos.	0.5 a 1.0	Multiplicar por 1.3 si está agrietado.			
	Rocas sedimentarias (lutitas, calizas, areniscas, conglomerados, etc.) y tobas competentes	0.3 a 0.6	Multiplicar por 1.2 a 1.5, según el grado de meteorización.			
	Rocas ígneas sanas (granito, basalto, riolita, tobas, etc.).	0.2 a 0.4	Multiplicar por 2 a 4 según el grado de meteorización.			
	Espesor de la capa de suelo.	Menos de 5 m	0.5			
5 a 10 m		1.0				
10 a 15 m		1.4				
15 a 20 m		1.8				





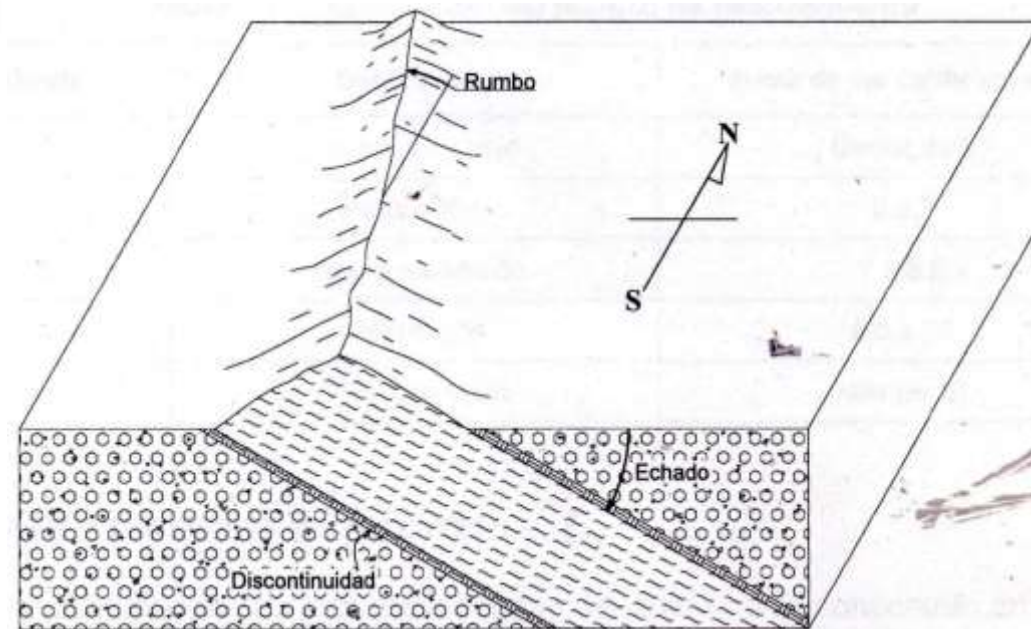
# FORMATO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD

CONTINUACIÓN FACTORES GEOLÓGICOS Y GEOTECNICOS					Calificación		
					A	B	C
Aspectos estructurales en formaciones rocosas	Echado de la discontinuidad.	Menos de 15°	0.3	Considérense planos de contacto entre formaciones, grietas, juntas y planos de debilidad. Ver figura 5.8.			
		25 a 35°	0.6				
		Más de 45°	0.9				
	Ángulo entre el echado de las discontinuidades y la inclinación del talud.	Más de 10°	0.3	Ángulo diferencial positivo si el echado es mayor que la inclinación del talud. Ver figura 5.9.			
		0° a 10°	0.5				
		0°	0.7				
		0° a -10°	0.8				
		Más de -10°	1.0				
	Ángulo entre el rumbo de las discontinuidades y el rumbo de la dirección del talud.	Más de 30°	0.2	Considerar la dirección de las discontinuidades más representativas.			
		10° a 20°	0.3				
		Menos de 5°	0.5				

## CONCEPTOS DE RUMBO Y ECHADO

**Rumbo:** “Angulo horizontal entre una línea y una dirección de coordenadas específica, por lo general el norte o el sur real”

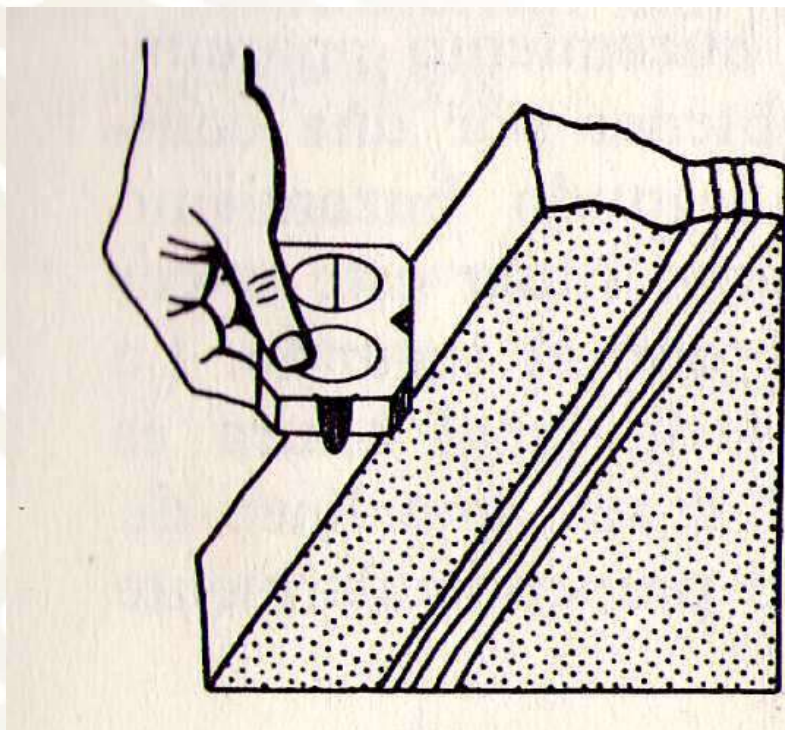
**Echado:** “Inclinación de la línea de máxima pendiente de un plano inclinado. Se mide perpendicularmente al rumbo”.



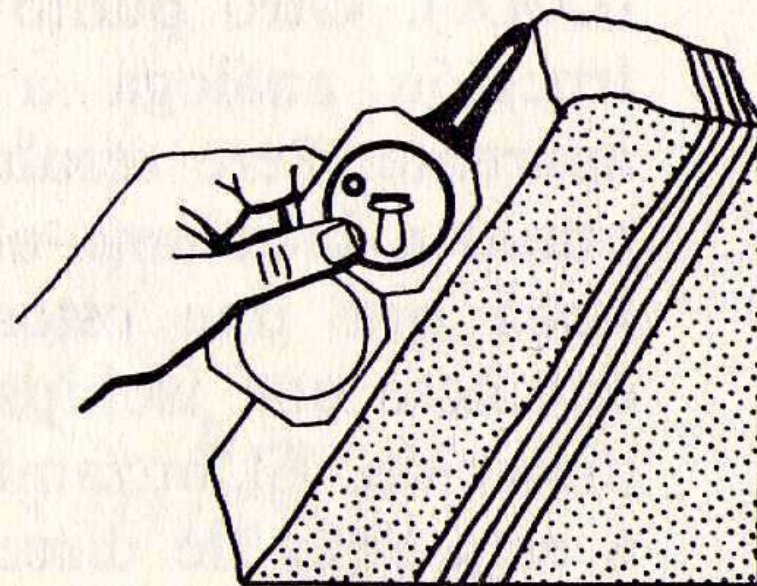
Donal M. Ragan (1980), “Geología Estructural”



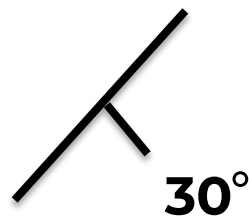
# USO DE LA BRÚJULA



**Rumbo**



**Echado**

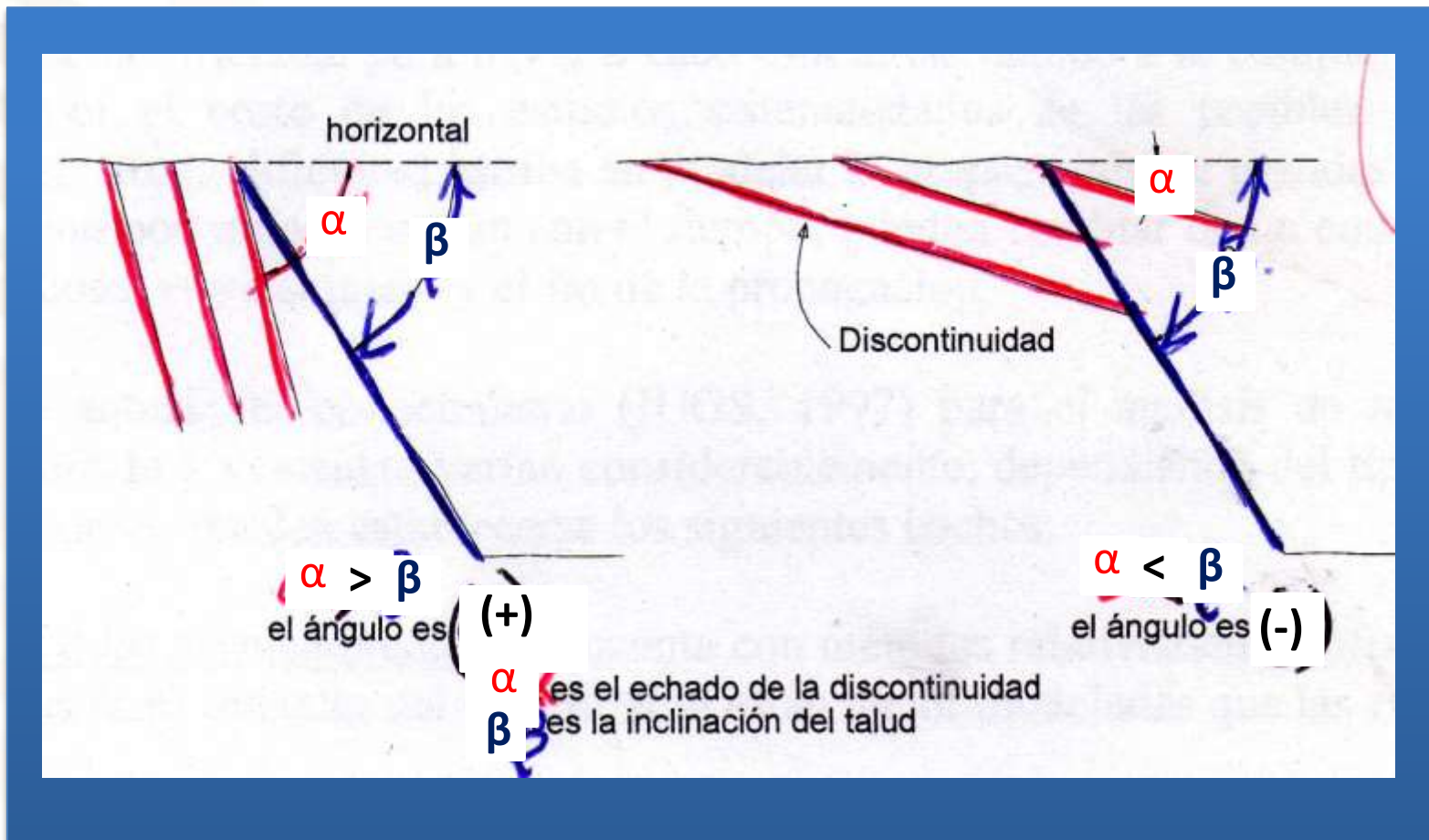


**SE 25°/30°**



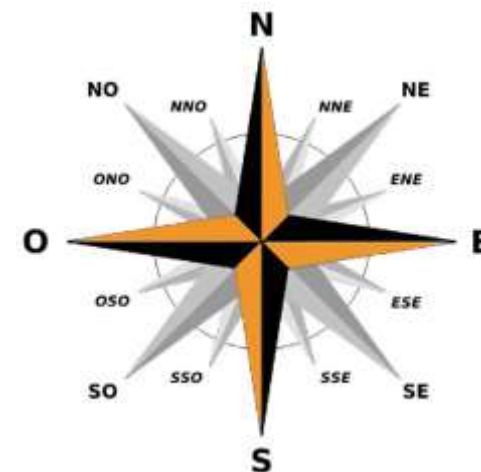


# ÁNGULO DE LA LADERA O TALUD Y ÁNGULO DE LA DISCONTINUIDAD





# ASPECTOS ESTRUCTURALES







# ASPECTOS ESTRUCTURALES







# ASPECTOS ESTRUCTURALES





# ASPECTOS ESTRUCTURALES





# FORMATO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD

FACTORES GEOMORFOLÓGICOS Y AMBIENTALES						
Factor	Intervalos o categorías	Atributo relativo	Observaciones	Calificación		
				A	B	C
Evidencias geomorfológicas de “huecos” en laderas contiguas	Inexistentes	0.0	Formas de conchas o de embudo (flujos).			
	Volúmenes moderados	0.5				
	Grandes volúmenes faltantes	1.0				
Vegetación y uso de la tierra	Zona urbana	2.0	Considérese no sólo la ladera, sino también la plataforma en la cima.			
	Cultivos anuales	1.5				
	Vegetación intensa	0.0				
	Vegetación moderada	0.8				
	Rocas con raíces en sus fracturas	2.0				
	Área deforestada	2.0				
Régimen del agua en la ladera	Nivel freático superficial	1.0	Detectar posibles emanaciones de agua en el talud.			
	Nivel freático inexistente	0.0				
	Zanjas o depresiones donde se acumule agua en la ladera o la plataforma	1.0				
<b>SUMATORIA</b>						





# ESTIMACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD

Grado	Descripción	Suma de las calificaciones
1	Susceptibilidad muy alta	Más de 10
2	Susceptibilidad alta	8.5 a 10
3	Susceptibilidad moderada	7 a 8.5
4	Susceptibilidad baja	5 a 7
5	Susceptibilidad muy baja	Menos de 5

## SÍNTOMAS DE INESTABILIDAD EN LADERAS Y TALUDES

- En términos de inestabilidad de laderas, el concepto permite nombrar a la **señal, indicio o rasgo** que se puede **observar**, o incluso **medir**, de algo que está sucediendo o que va a suceder en el futuro. Deben ser puntos de alertamiento, las manifestaciones de deformación tales como:

- **Agrietamientos**
- **Depresiones o hundimientos**
- **expansiones**
- **rotura de pavimentos**
- **inclinación de árboles y cercas**
- **rotura de las protecciones de talud, etc**
- **Movimientos abruptos (como pequeños temblores)**





# OBJETIVO DE LOS MÉTODOS DE MITIGACIÓN

## ¿Aumento o reducción de fuerzas?



**Fuerzas  
resistentes**



**Fuerzas actuantes**

**Métodos estructurales  
No estructurales**

**Métodos  
indirectos**





# AUMENTO DE FUERZAS RESISTENTES Y DISMINUCIÓN DE F. ACTUANTES

## Métodos estructurales

Muros de contención

Pilotes

Anclas

Inclusiones o  
inyecciones

La combinación de  
ellos

## Métodos no estructurales

Drenaje externo

Drenaje  
interno

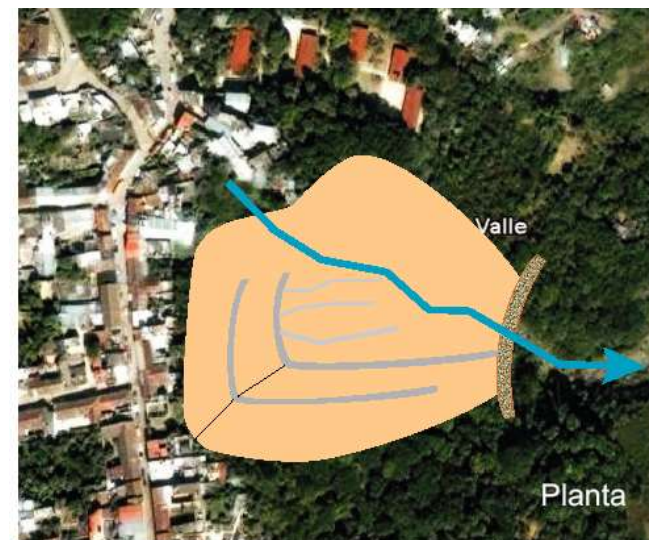
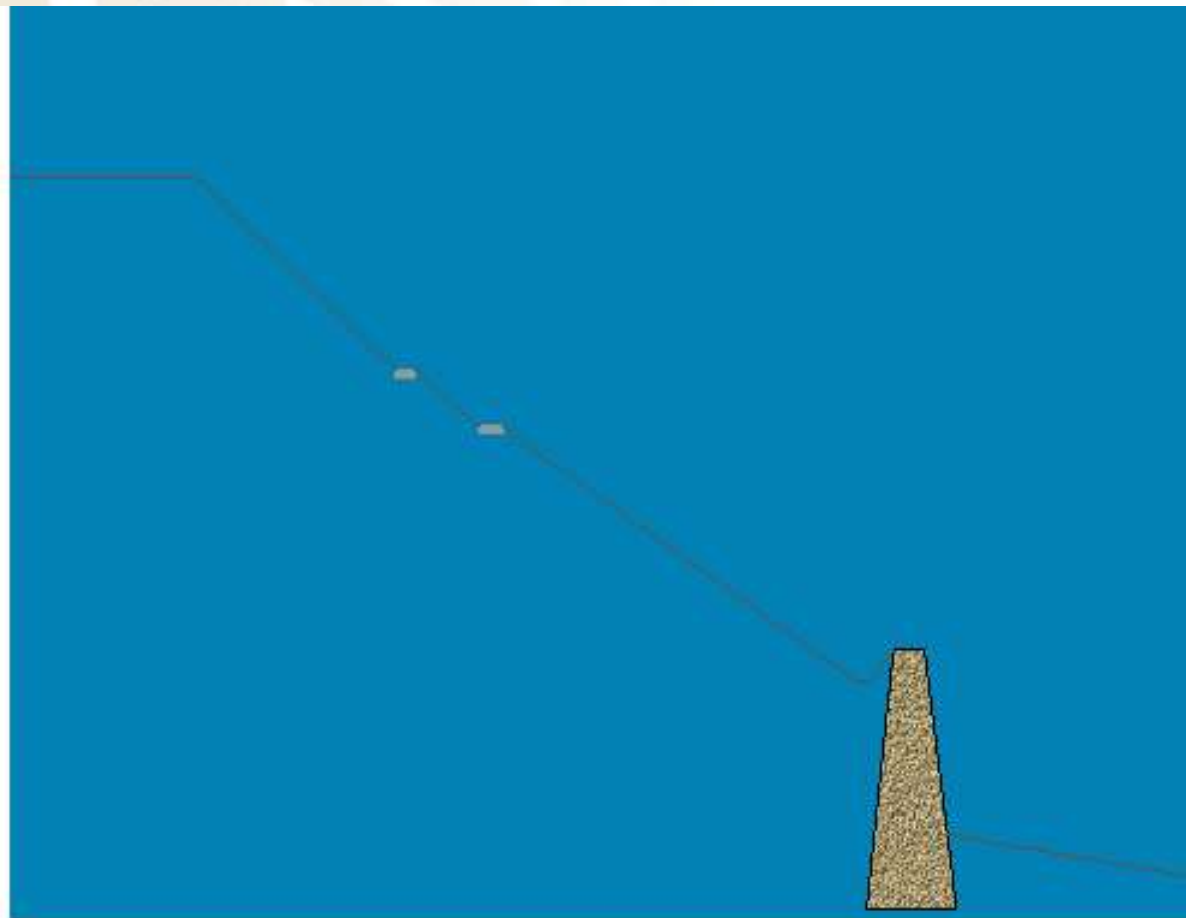
Reforestación

Cambio de  
pendientes

Construcción  
de bermas y  
terrazas

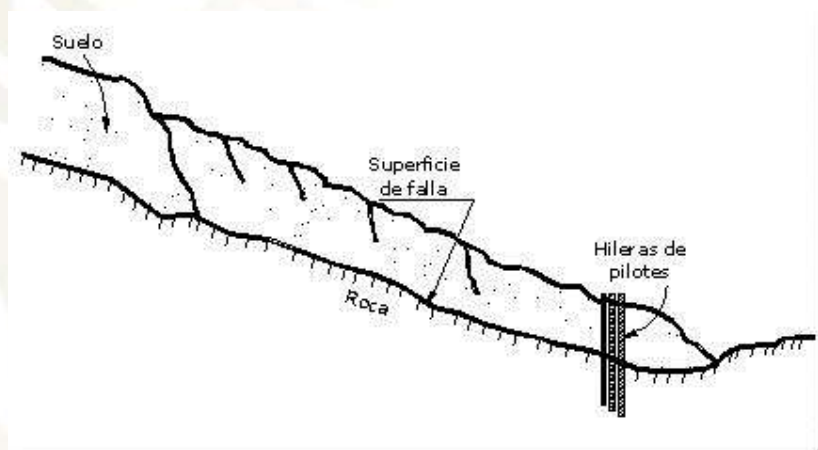


# MUROS DE CONTENCIÓN



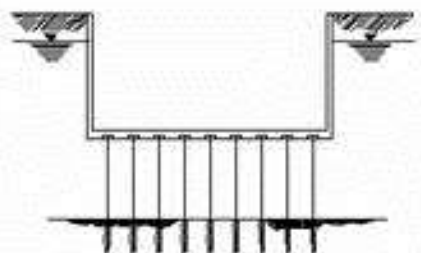


# PILOTES





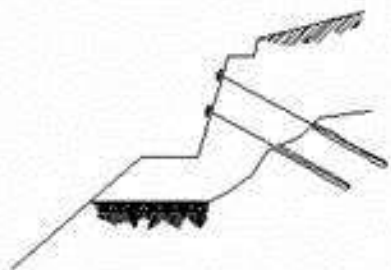
# ANCLAJES EN TALUDES



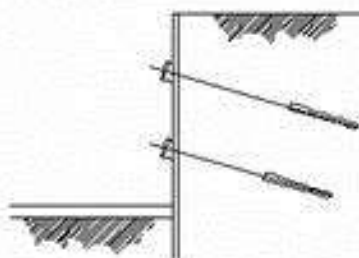
a) Para resistir subpresiones



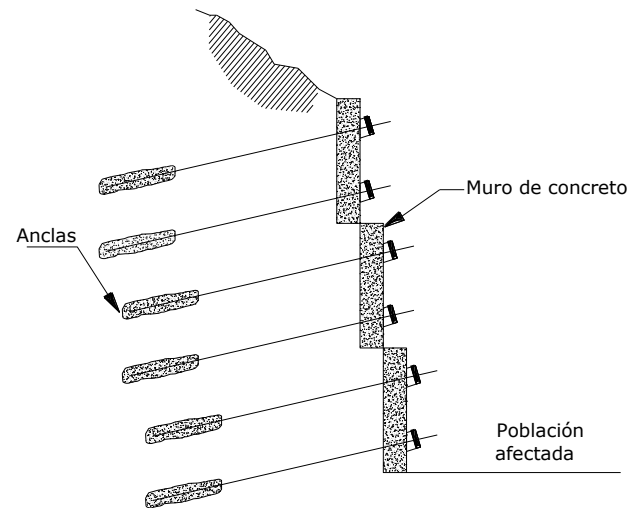
b) Estabilización de una presa de concreto



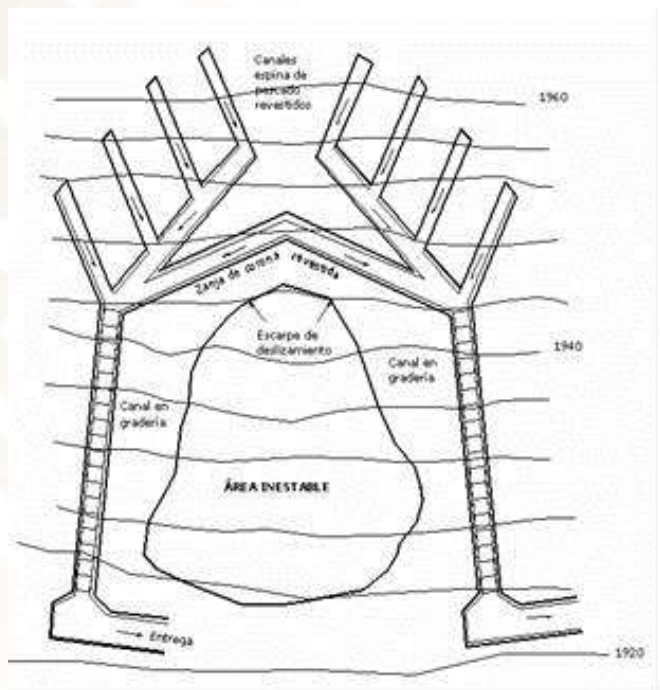
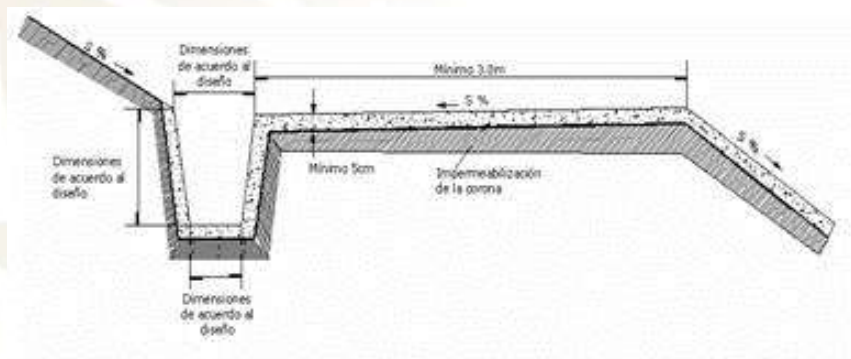
c) Estabilización de taludes



d) Muro de contención en una carretera



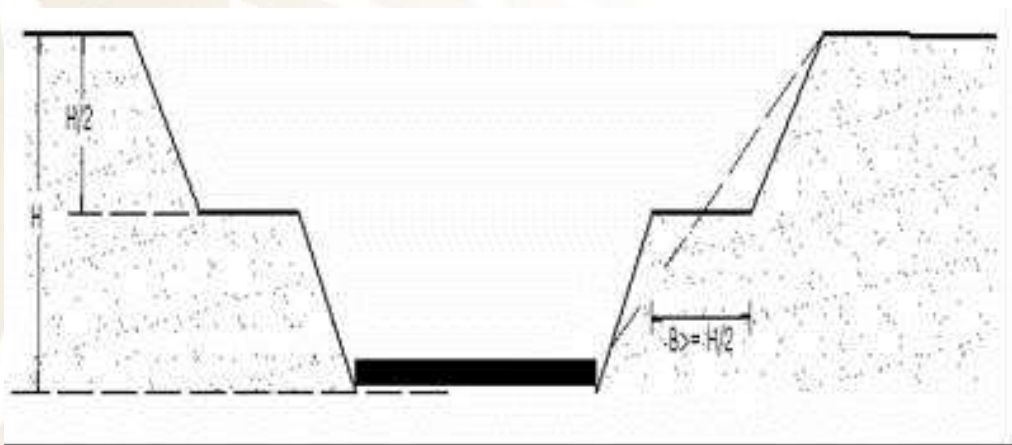
# DRENAJE EXTERNO E INTERNO







# CONSTRUCCIÓN DE BERMAS Y TERRAZAS







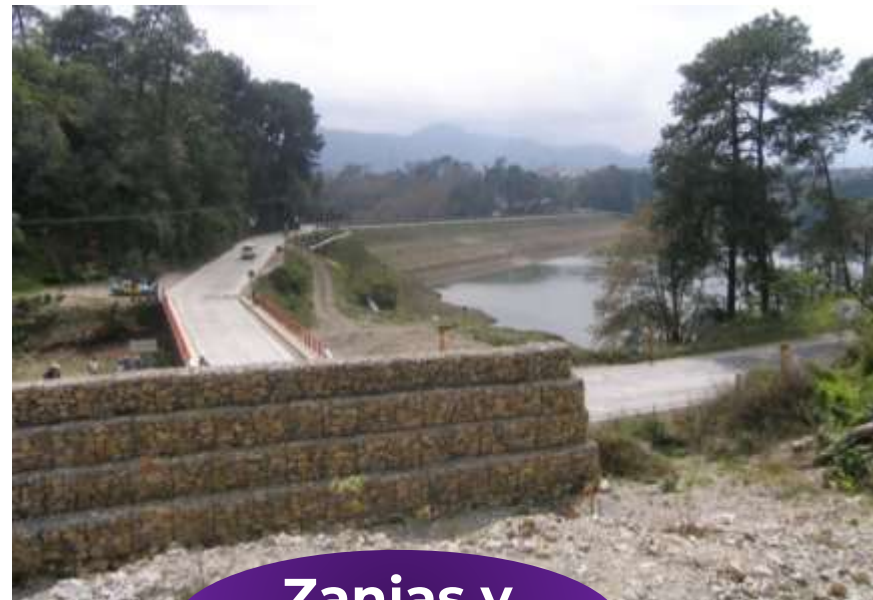
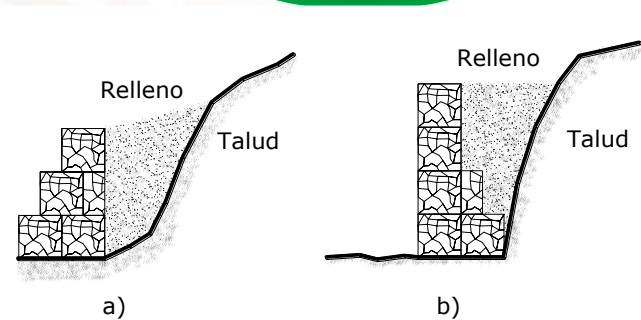
# REFORESTACIÓN





# MÉTODOS INDIRECTOS

## Muros de gaviones



## Zanjas y depresiones





# MÉTODOS INDIRECTOS

## Concreto lanzado







## CONCLUSIONES

- La susceptibilidad a la inestabilidad de laderas es una propiedad del terreno que indica que tan favorables o desfavorables son las condiciones de éste para que pueda ocurrir inestabilidad, e implica la evaluación de una combinación de factores intrínsecos a la naturaleza de la ladera o talud.
- A partir de hoy, observar las laderas y los taludes desde un enfoque distinto al acostumbrado.
- Cuando se rompe el equilibrio dinámico de una ladera, se manifiestan síntomas que nos ayudan a detectarlo.
- Las medidas de mitigación a implementarse tienen que ir enfocadas a incrementar el Factor de Seguridad (FS) de una ladera o talud, aumentando las fuerzas resistentes y disminuyendo las fuerzas actuantes.

# CENAPRED

CENTRO NACIONAL DE  
PREVENCIÓN DE DESASTRES



---

MAYOR INFORMACIÓN:

Ing. Alberto Enrique González Huesca

[ahuesca@cenapred.unam.mx](mailto:ahuesca@cenapred.unam.mx)

Subdirección de Dinámica de Suelos y  
Procesos Gravitacionales



@LaderasBusters



Laderas Busters