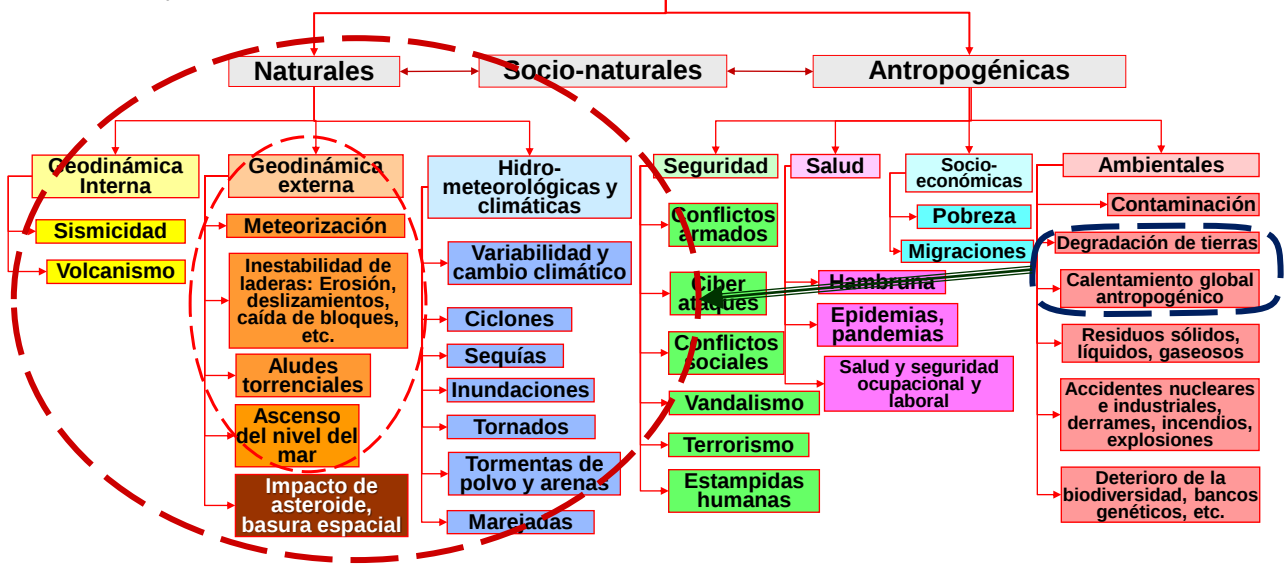


Gestión del riesgo: Debe considerar todas las amenazas y vulnerabilidades, asociadas y respectivas...
...todas tienen que ver con todas, de una forma u otra.

AMENAZAS



SMora

3

3

MACCAFERRI

Clasificación de los procesos de la inestabilidad de laderas:

Basado en Varnes (1954, 1978); Varnes y Cruden (1996); Hungr, Leroueil & Picarelli (2013); Mora (2021)

Origen, procesos coadyuvantes, factores, tipos de movimiento	Roca y fragmentos grandes de roca	Mezcla de detritos rocosos, suelos, biomasa, hielo y nieve	Suelos finos y gruesos
Meteorización, alteración hidrotermal y antropogénica	X	X	X
Erosión eólica, química, bioturbación, laminar hidráulica	X	X	X
Erosión concentrada (surcos, cárcavas, cañadas, tierras malas)	X	X	X
Caída libre, fragmentación, propagación; socavación, acantilados	X	X	X
Inclinación, basculación, fragmentación, propagación	X	X	X
Deslizamientos: planares, rotacionales, prismáticos, irregulares	X	X	X
Separación y desplazamiento lateral; lento, rápido	X	X	X
Complejos, compuestos; mega-deslizamientos; glaciares	X	X	X
Represamiento de cauces fluviales y sus efectos consecuentes	X	X	X
Flujo-aludes (detritos) torrenciales, avalancha (hielo y nieve)	X	X	X
Deposición derivada de la inestabilidad de laderas y del flujo	X	X	X
Inestabilidad de taludes en cortes, depósitos y apilamientos antropogénicos	Rellenos y cortes en carreteras, basura urbana, represas, colas mineras, "botaderos"...		

4

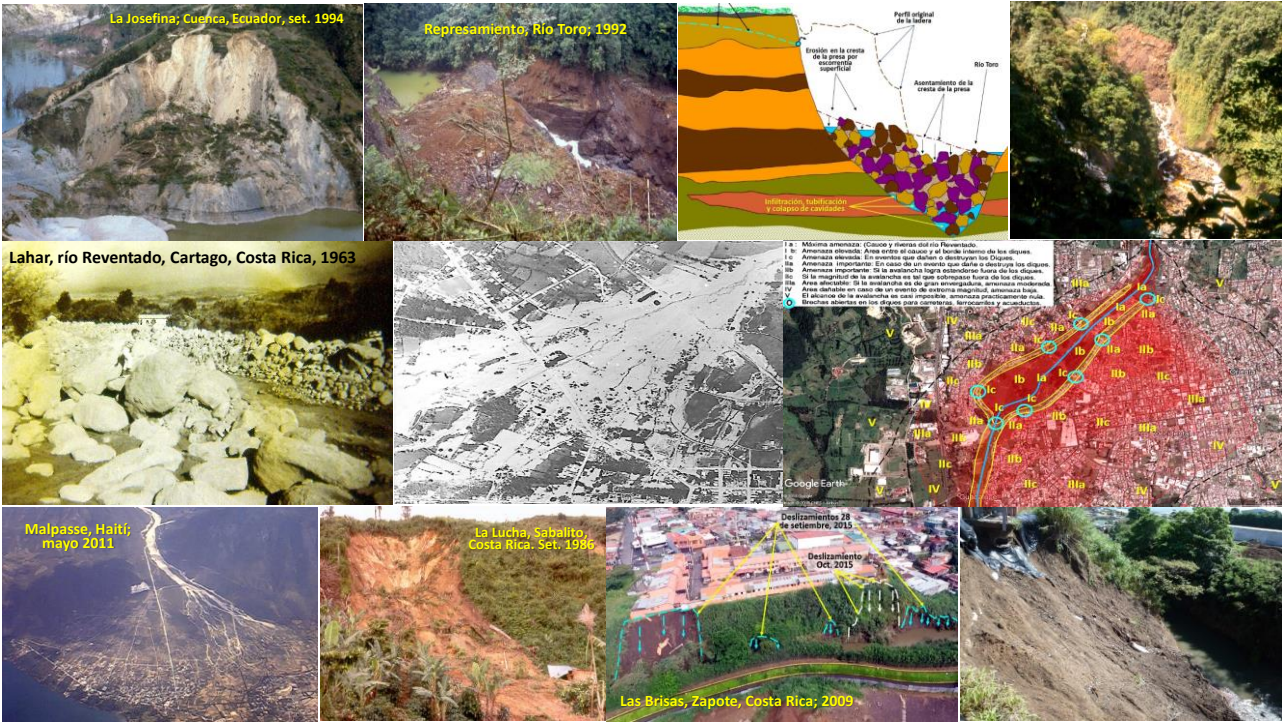
4



5

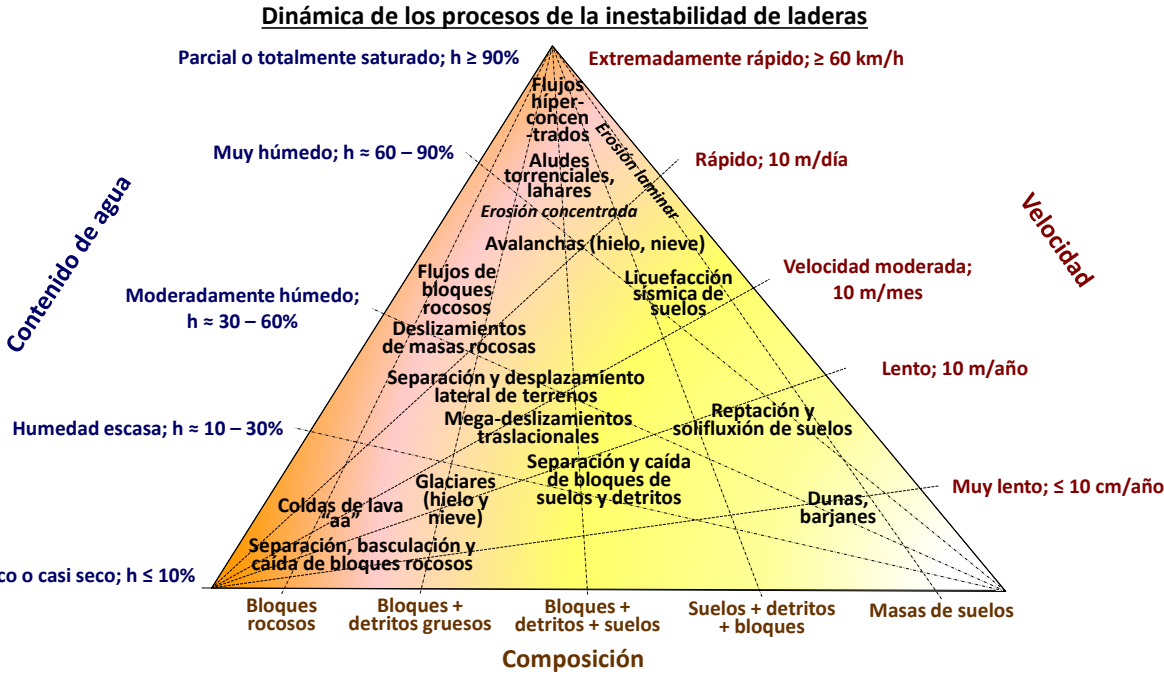


6

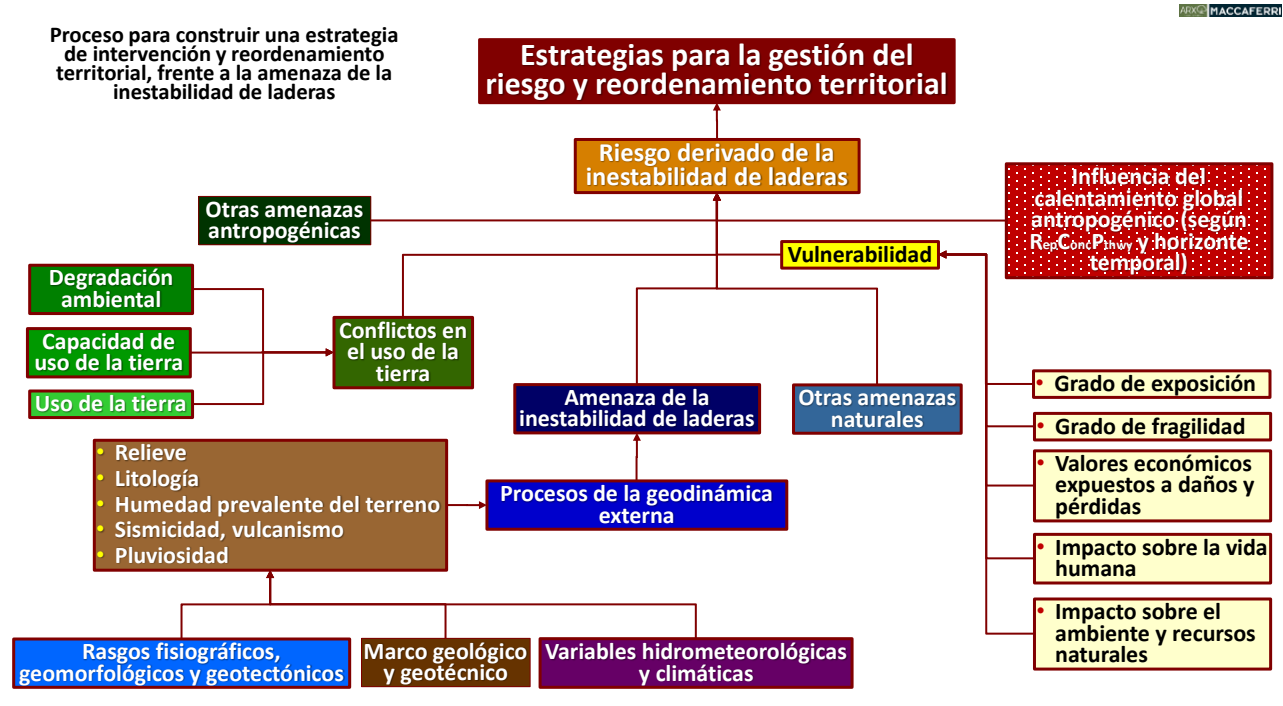
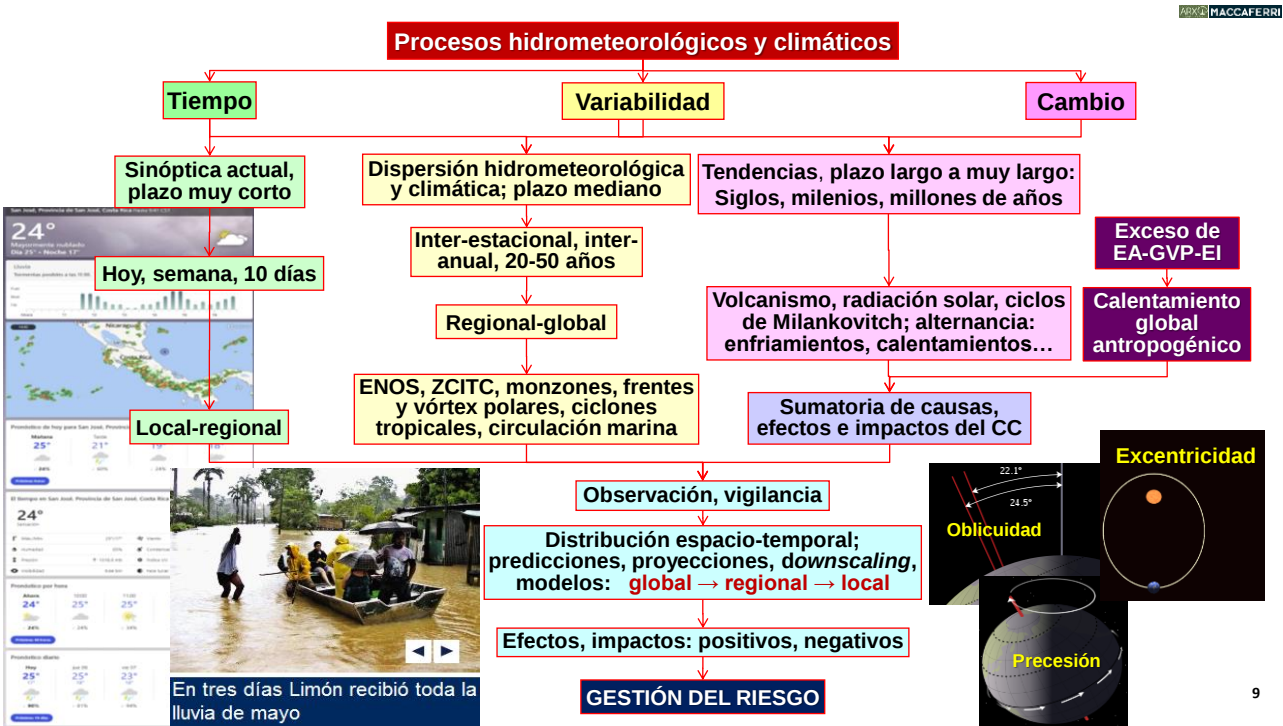


7

WACCAFFERI



8



Riesgo:

- Descrito mediante la *función de excedencia de pérdidas (FEP)*
- Número de veces por año, con que sucederían eventos que igualen/exceden un valor específico de pérdidas
- Frecuencia anual de excedencia: *Tasa de excedencia*, calculada mediante el teorema de la probabilidad total (<http://www.redalyc.org/pdf/1210/121035720001.pdf> ; http://www.iitk.ac.in/niceelwcee/article/WCEE2012_0726.pdf)

$$v(p) = \sum_{i=1}^{\text{Eventos}} Pr(P > p | \text{Evento } i) \cdot FA(\text{Evento } i)$$

- $v(p)$: Tasa de excedencia de la pérdida p
- $FA(\text{Evento } i)$: Frecuencia anual de materialización del evento i
- $Pr(P > p | \text{Evento } i)$: Probabilidad de que la pérdida P supere p (materialización del i -ésimo evento).
- Tr : Período de recurrencia de la pérdida p , i.e. inverso de la tasa de excedencia $v(p)$
- P : Pérdidas de los elementos expuestos, en los eventos del conjunto de escenarios estocásticos.

Deslizamientos causados por el terremoto (Mw 7,6) de Limón, Costa Rica, abril de 1991

11

Riesgo e inestabilidad de laderas

$$R = FEP = \sum_{v,e=1}^{V,E} N_{v,e} \cdot P\left(\frac{x,y,z}{A,V}\right) \cdot \left(\frac{S}{V}\right)_v \cdot \left(\frac{EI}{S}\right)_{v,e} \cdot V_{v,e} \cdot DP_e$$

R = Riesgo = FEP = Función de excedencia de daños y pérdidas: Durante determinado período, un número de veces N que, en una localidad específica, la masa desprendida de la ladera, de volumen " v ", puede causar daños y pérdidas a los elementos expuestos " e ", localizados a distancias " s " del origen de la masa.

$N_{a,ve}$ = Frecuencia-recurrencia (i.e. 1, 5, 10, 50 años...) con área a y volumen v del evento e

$P(x,y,z/A,V)$ = Probabilidad de extensión de la inestabilidad (x,y,z) y área A en la corona del terreno inestable (grietas, deslizamiento...), y que alcance un volumen V .

$P(S/V)_v$ = Probabilidad de que un volumen de la masa v , desplazada ladera-abajo, alcance la distancia " s " en donde se encuentra un elemento expuesto e .

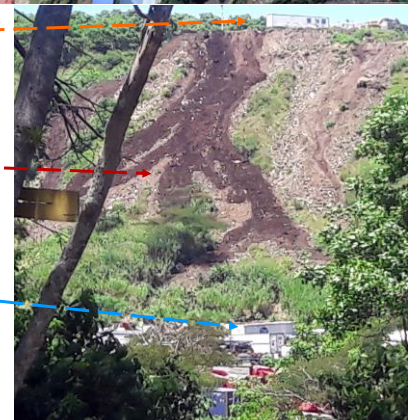
$P(EI/S)_{ve}$ = Probabilidad de que un elemento expuesto " e " sea afectado (efecto-impacto, EI) por la ruptura del terreno en la corona o por la masa en desplazamiento v , a una distancia s .

$V_{i,e}$ = Fragilidad de los elementos expuestos a los daños y pérdidas ante el área, volumen y distancia con la que se manifiesta la inestabilidad de la ladera

DP_e = Valor de los elementos expuestos a los daños y pérdidas



SMora



12



13

Evolución del riesgo e influencia del CGA

- **Actualmente:** La mayor cantidad de daños y pérdidas son causados por la vulnerabilidad humana y la geodinámica natural, **más que por el CC/CGA.**
- **Evolución del riesgo en horizonte temporal:** Debe analizar la incidencia del CGA sobre amenazas y vulnerabilidad.
- **Cambios:** No serán súbitos, sino progresivos:

Delta Riesgo = Delta Amenaza * Delta Vulnerabilidad:

$$\frac{\partial R}{\partial a, d, t} = \frac{\partial A}{\partial a, t} * \frac{\partial V}{\partial d, t}$$

R: riesgo

A: amenaza derivada de la inestabilidad de laderas

∂a: cambio de A, a lo largo del plazo ∂t

V: vulnerabilidad

∂d: cambio del potencial de daños y pérdidas durante ∂t .

- **Tres escenarios posibles:**

- El riesgo no cambia: $\frac{\partial R}{\partial a, d, t} = 0$
- El riesgo disminuye: $\frac{\partial R}{\partial a, d, t} < 0$
- El riesgo aumenta: $\frac{\partial R}{\partial a, d, t} > 0$

- **Riesgo "nuevo":** Debe identificarse separadamente y agregado al que ya se deriva de la VC...

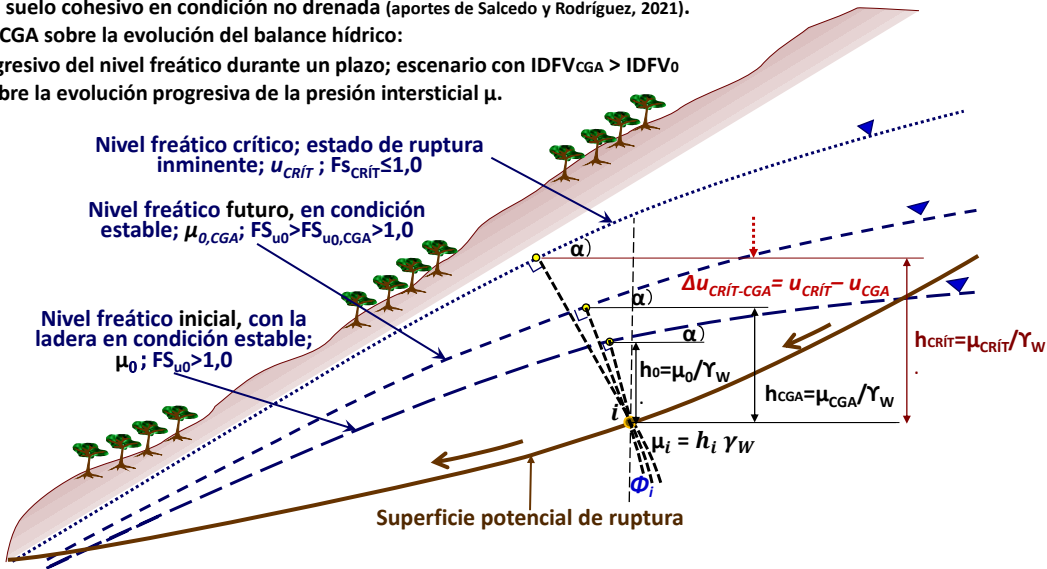


14

MACCAFERRI

Y ... ¿en el interior del terreno en una ladera?:

- ... caso de un suelo cohesivo en condición no drenada (aportes de Salcedo y Rodríguez, 2021).
- Influencia el CGA sobre la evolución del balance hídrico:
 - Ascenso progresivo del nivel freático durante un plazo; escenario con $IDFV_{CGA} > IDFV_0$
 - Influencia sobre la evolución progresiva de la presión intersticial μ .



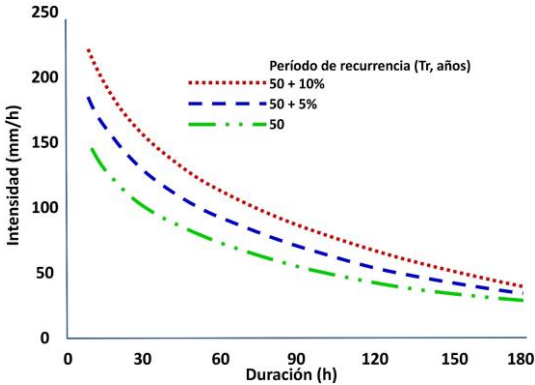
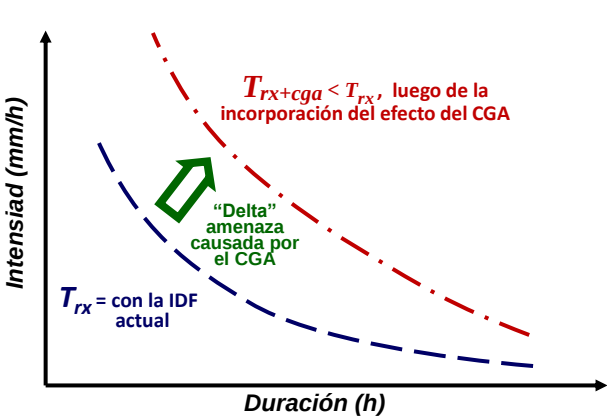
SMora

15

15

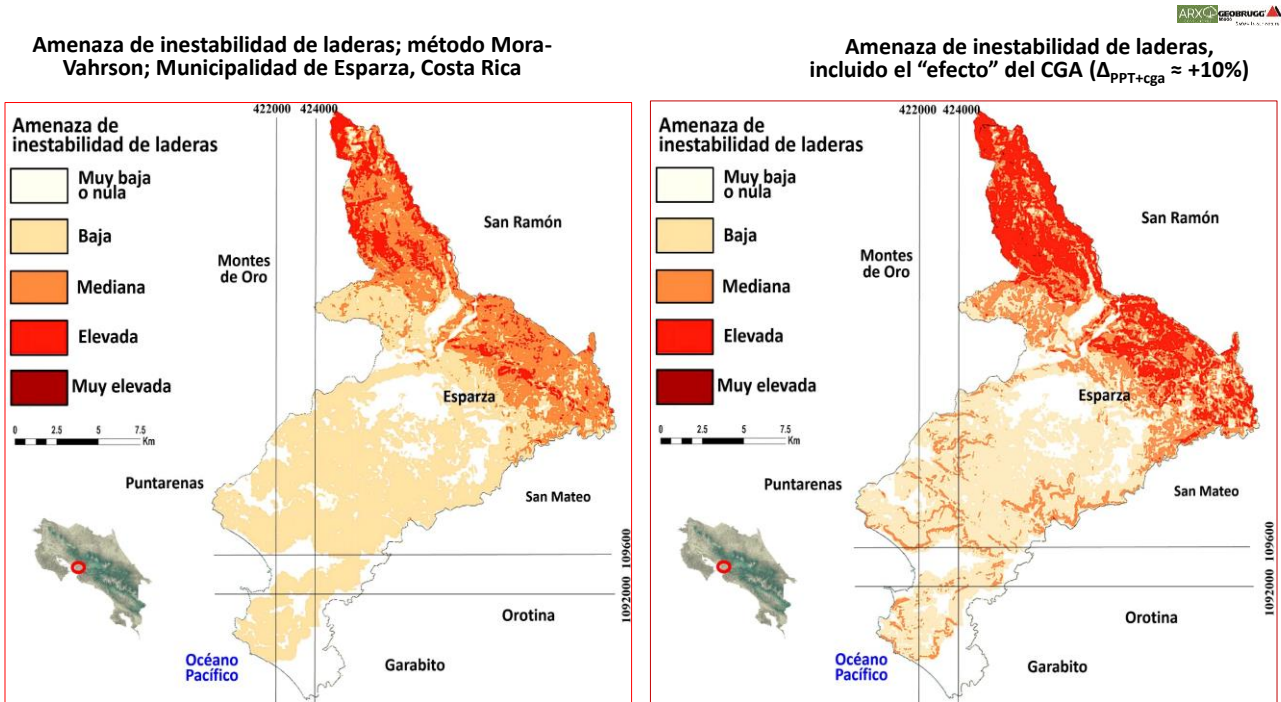
Hipótesis: El CGA puede inducir un “delta amenaza” a través del incremento de la intensidad, duración de la lluvia y reducción del período de recurrencia T_r (Saborío et al, 2018)

Simulación: Incremento del 5% y 10% en los factores multidimensionales de la relación ID; aumento inducido por el CGA en los patrones de lluvia, Puntarenas, Costa Rica; $T_r = 50$ años (Saborío et al; 2018)

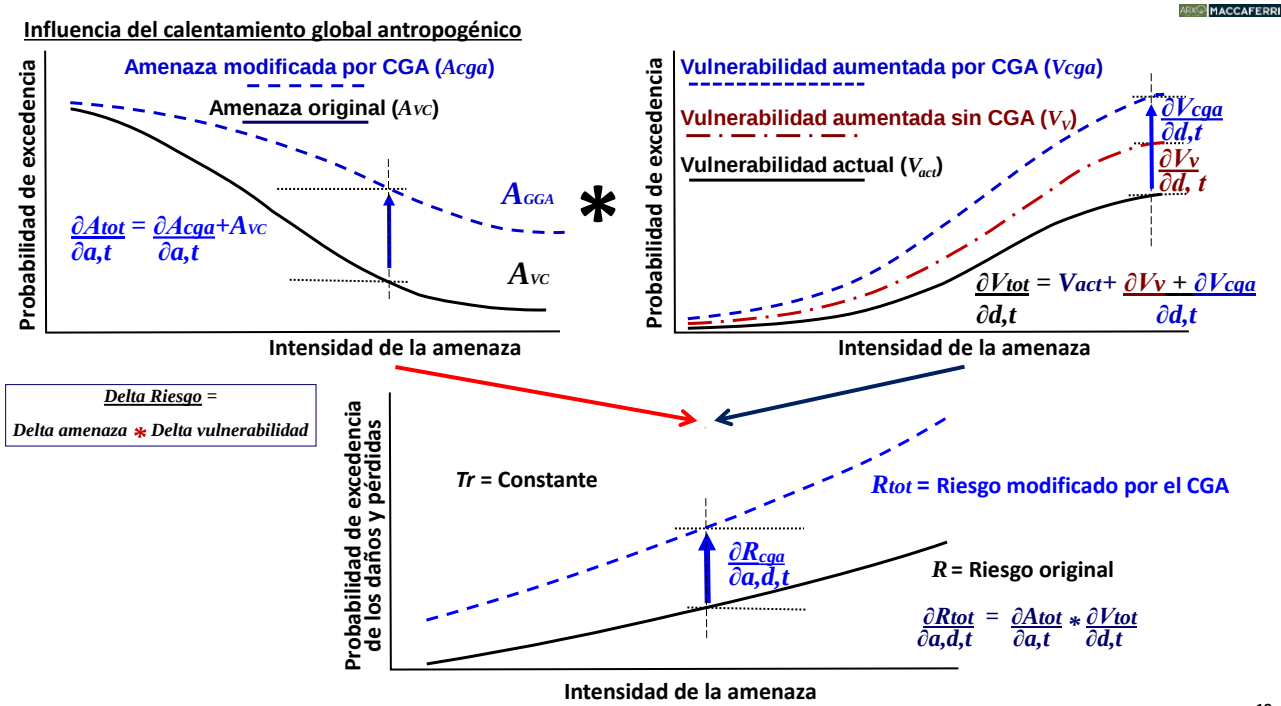


16

16



17



18



19

CONCLUSIONES Y RECOMMENDACIONES: Influencia del CGA sobre la inestabilidad de laderas

- **Compleja:** Multivariable; relación entre factores todavía no está completamente documentada ni resuelta.
- **Comenzar por comprender y separar:** Influencia del CGA del CC natural, frecuencia, extremos y no-extremos de la VC y su relación con los aspectos geológicos, hidrogeológicos, geotécnicos, sísmicos y antropogénicos.
- **Inaccesibilidad a los datos e información en nuestros países:** Impide realizar análisis, cálculos, modelos, escenarios probabilísticos robustos y con incertidumbres tolerables.
- **Avanzar en la prognosis** y escenarios, fundamentados en el mejor juicio ingenieril; terminar de comprender la VC, los balances hídricos locales y su influencia sobre la inestabilidad de laderas.
- **Modelos globales, RCPs y reducción de escala (downscaling):** No ofrecen resolución espacial suficiente; deben reforzarse y recalibrarse con datos locales para refinar escenarios y horizontes temporales (e.g. 30, 50, 100 años).
- **Análisis de las variaciones y evolución de la vulnerabilidad humana y ambiental:** Esencial, para anticipar la cobertura de efectos, impactos, daños y pérdidas socioeconómicas y ambientales futuras.
- **Ingeniería financiera:** Debe aliarse a la geotecnia para asistir el proceso de toma de decisiones mediante escenarios comparativos: "acciones preventivas vs. acciones limitadas vs. inacción"; beneficio/costo, valores agregados netos y otras métricas y parámetros económicos, sociales y ambientales...
- **Gestión del riesgo:** Dinámica y adaptable para enfrentar, por lo menos, las situaciones previsibles.
- **No es admisible:** En América Latina y el Caribe no se ha establecido, todavía, un sistema de vigilancia, observación, alerta, advertencia, alarma y respuesta, en carreteras y ciudades, ante la amenaza de la inestabilidad de laderas.

Basculación de columnas de ignimbrita y deslizamiento de coluvios, Tubería de presión, central hidroeléctrica Ventanas-Garita; 1989

20



¡ MUCHAS GRACIAS !

smoracastro@consultarx.com

- Amazon.com (Spanish Edition; eBook; Tienda Kindle y otros formatos): https://www.amazon.com/gp/product/B0B728KLNN/ref=as_li_tf?ie=UTF8&creativeASIN=B0B728KLNN&linkCode=as2
- En Apple Books: <https://books.apple.com/us/book/id6443185056>
- Libros en Google Play: <https://play.google.com/store/books/details?id=xYV8EAAQBAJ&PAffiliateID=11001cQHW&g=us>