Modelado de la erosión de cárcavas en las planicies de una cuenca

Javier Homero Flores Cervantes

MIT/Universidad de Washington

Bosquejo

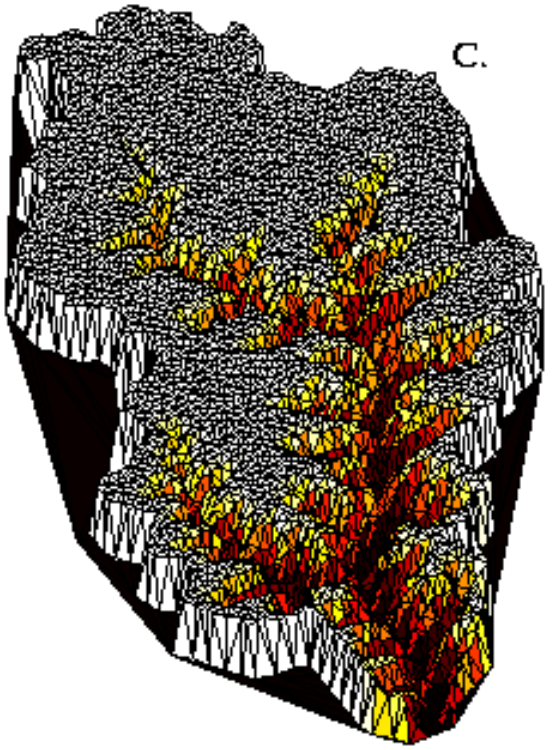
1. Modelado de procesos físicos: mi experiencia y CHILD- modelo de evolución de paisajes
2. Erosión de cárcavas – relevancia
3. Erosión de cárcavas 1: Inestabilidad de taludes
4. Erosión de cárcavas 2: Erosión por caída de agua
5. Conclusiones generales

Modelando procesos físicos

- Que es?
  - Una forma de representar procesos físicos pertenecientes a un sistema (natural en mi caso)
- Como?
  - Con un grupo de reglas:
    - ecuaciones diferenciales,
    - elementos finitos, y
    - relaciones entre los diferentes componentes del sistema

Como empecé

- Del flujo de agua en un acuífero confinado al modelo de evolución de paisajes CHILD (Channel-Hillslope Integrated Landscape Development)



El proceso

- Escoger la pregunta
- Escoger el sistema a representar
- Escoger las herramientas:
  - ecuaciones (diferenciales)
  - discretización del sistema
  - relaciones entre elementos
  - parametrización
  - simplificaciones
- Ponerlo a prueba/sensibilidad/verificación

Otros aspectos importantes

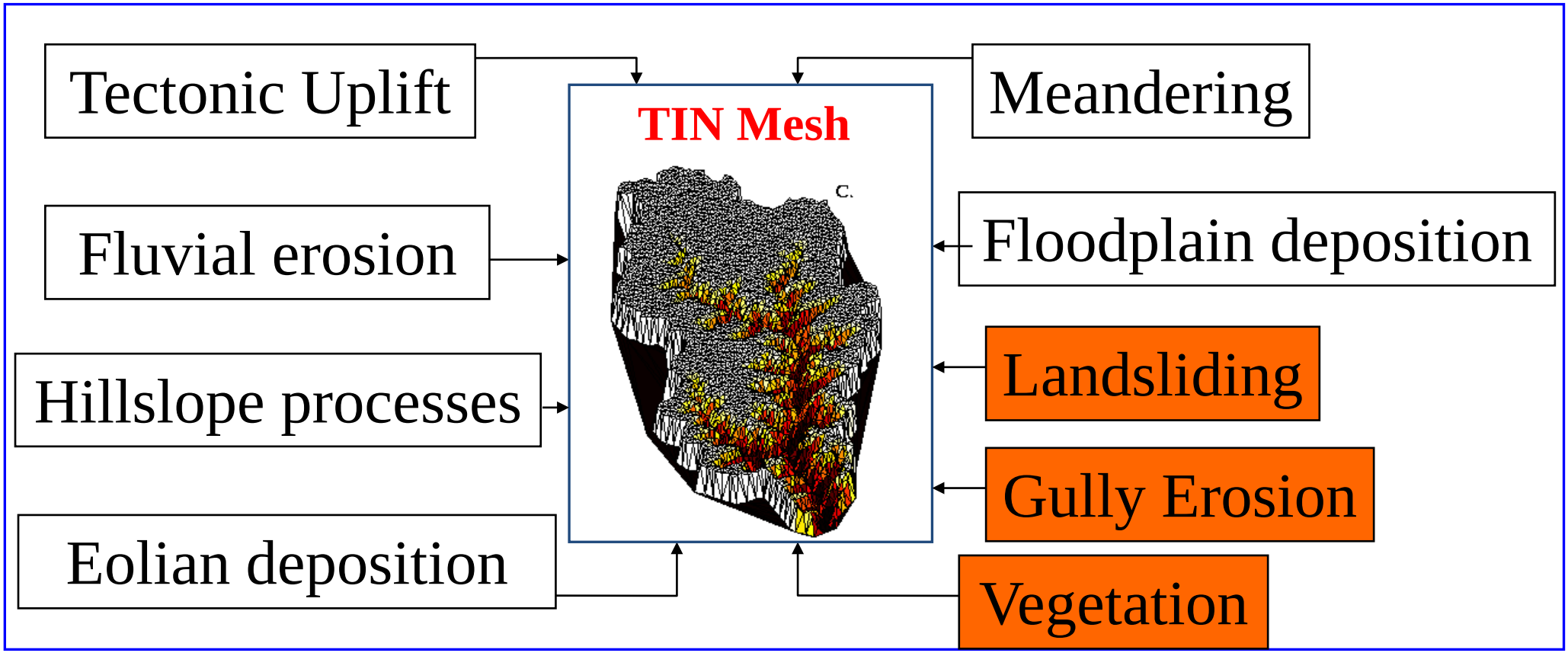
- Condiciones iniciales y de frontera
- Límites:
  - Simplificaciones
- Fuerzas motoras/fuerzas actuantes; *Forcing*

Que involucra?

- Entender e investigar el sistema/problema
- Conocer el lenguaje de programación
- Tener un método de visualización de resultados

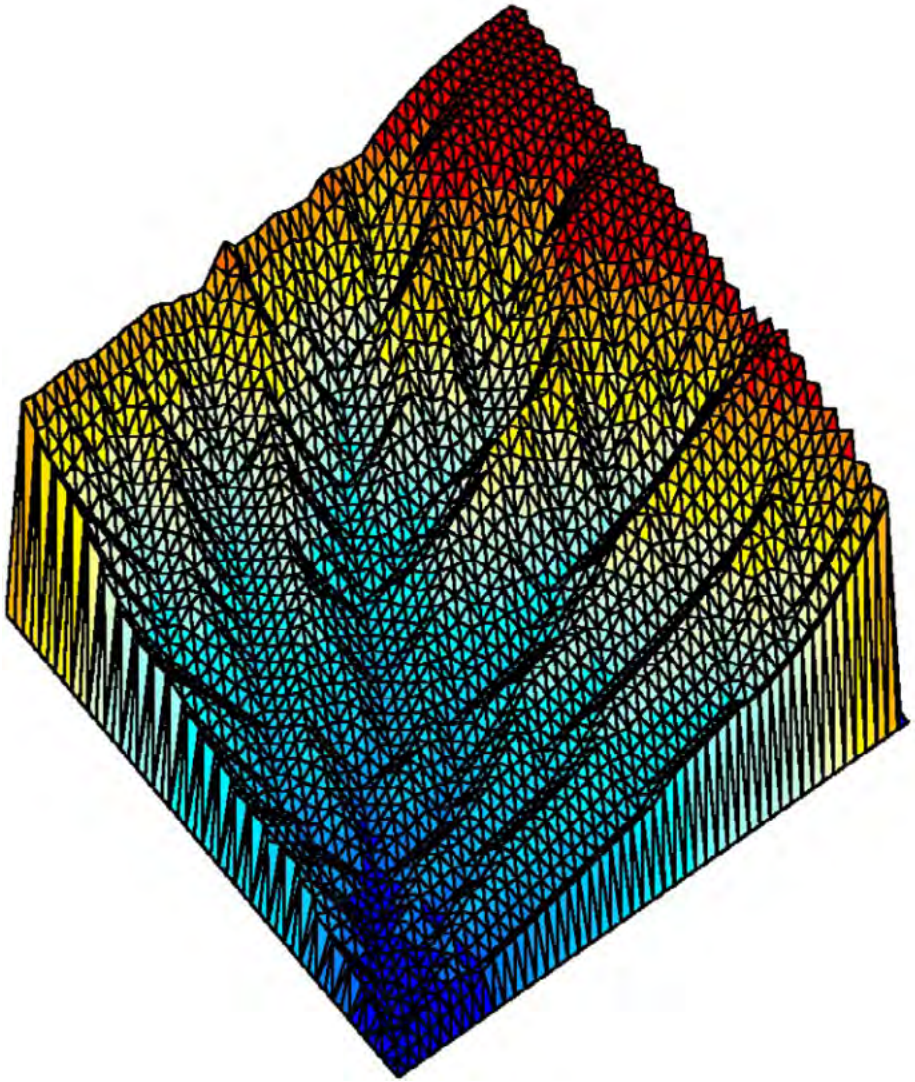
CHILD

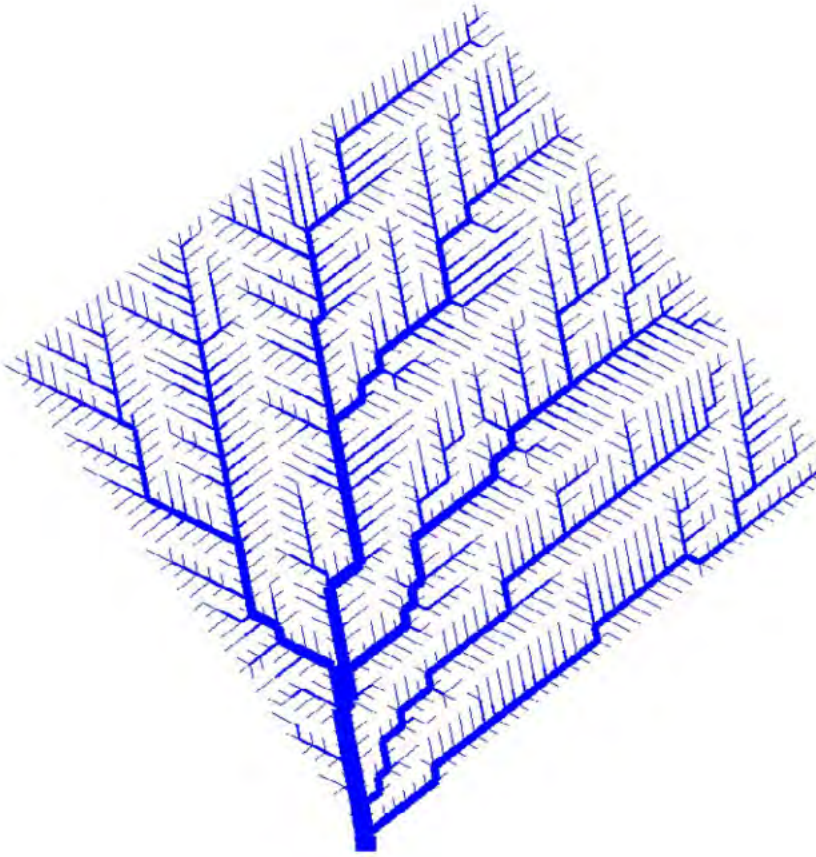
Modelo basado en procesos físicos (Physically based model)



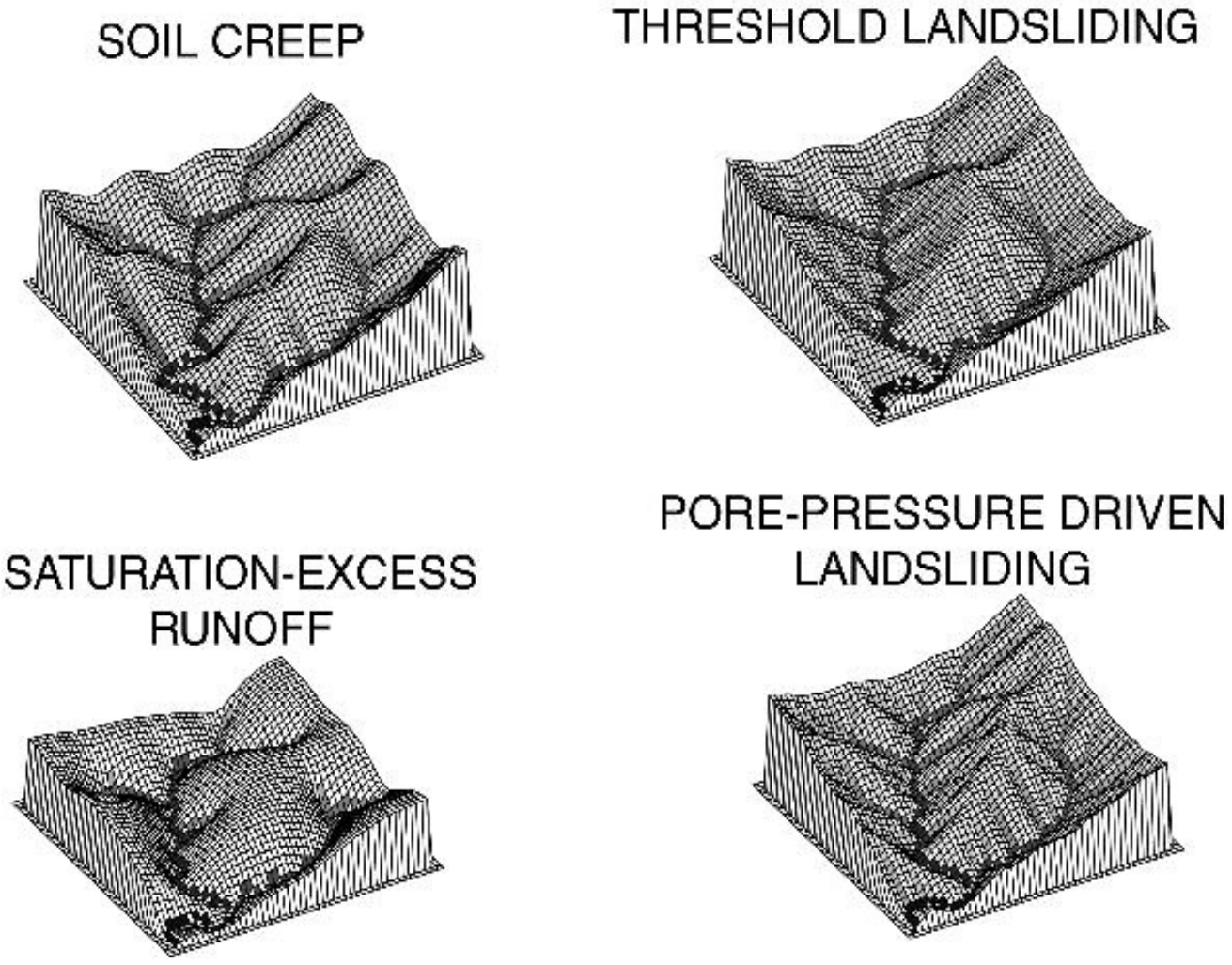
Tucker et al., 2001, *Computers and Geosciences, 27(8), pp. 959-973.*

Tucker et al., 2001, *in Landscape Erosion and Evolution Modelling, eds Harmon and Doe, Kluwer Academic/Plenum Publishers.*





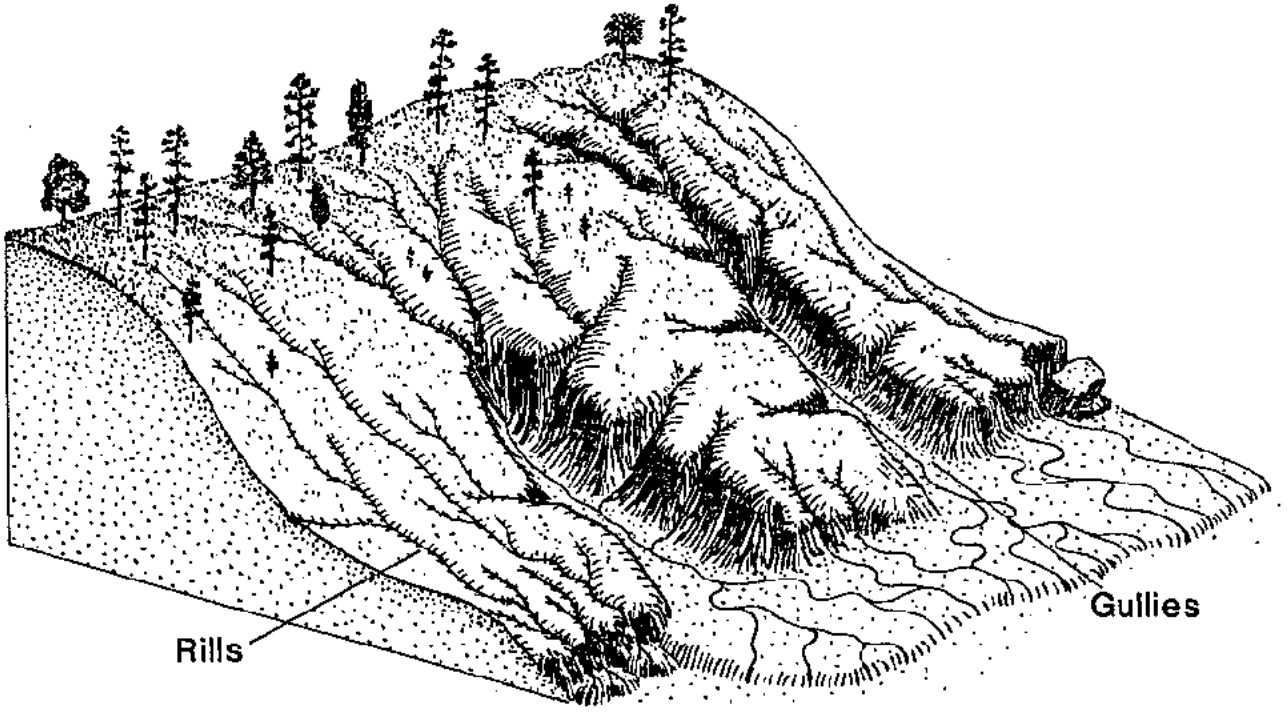
Resultados de modelaje: La forma del paisaje depende en los procesos de erosión dominantes



(De Tucker and Bras, 1998)

Erosión de cárcavas

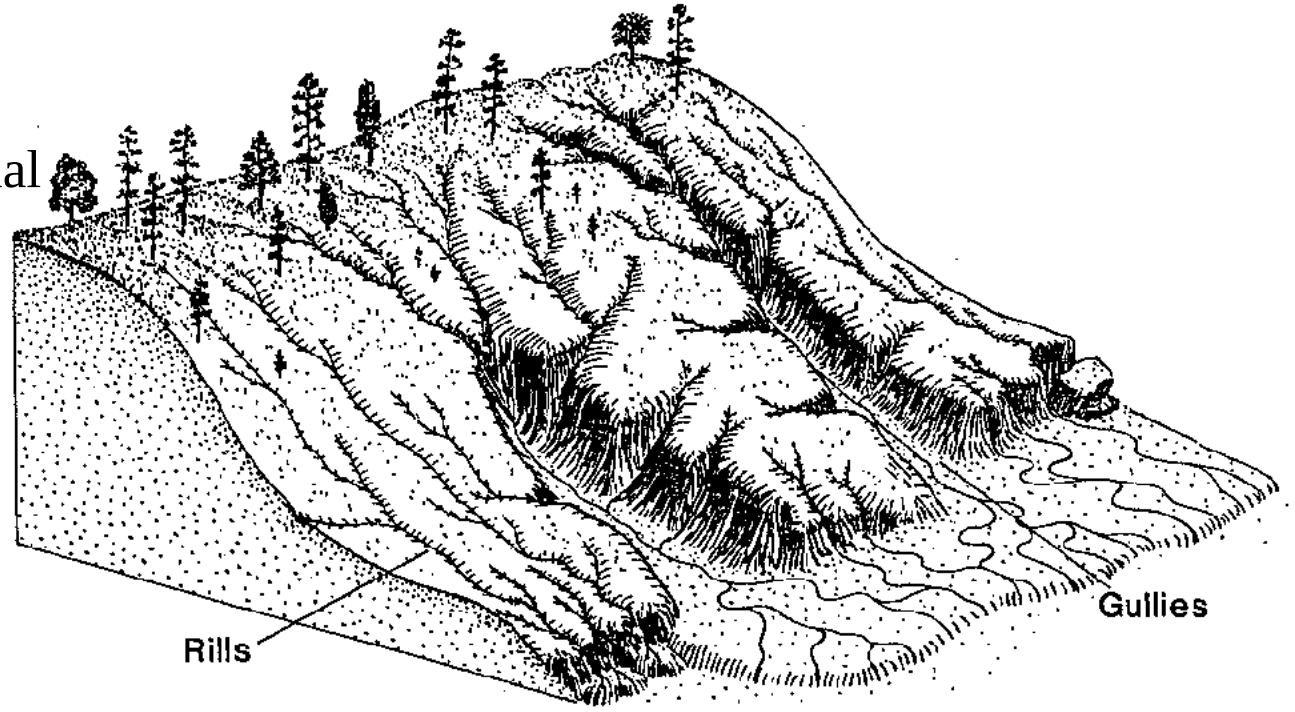
“Una cárcava es un canal incisivo con paredes verticales, una cabecera que se está erosionando y cuyas paredes laterales se extienden por fallas de talud [*Schumm and Harvey*, 1984]”



(De Stow and Hughes, 1980)

Procesos de erosión de cárcavas

- Sapping
- Caída de agua
- Inestabilidad de taludes
- Piping
- Erosión fluvial



(De Stow and Hughes, 1980)

Importancia ambiental

- Pérdida de suelos
- Sedimentación de cuerpos de agua
- Daños a infraestructura
- Peligro al tránsito

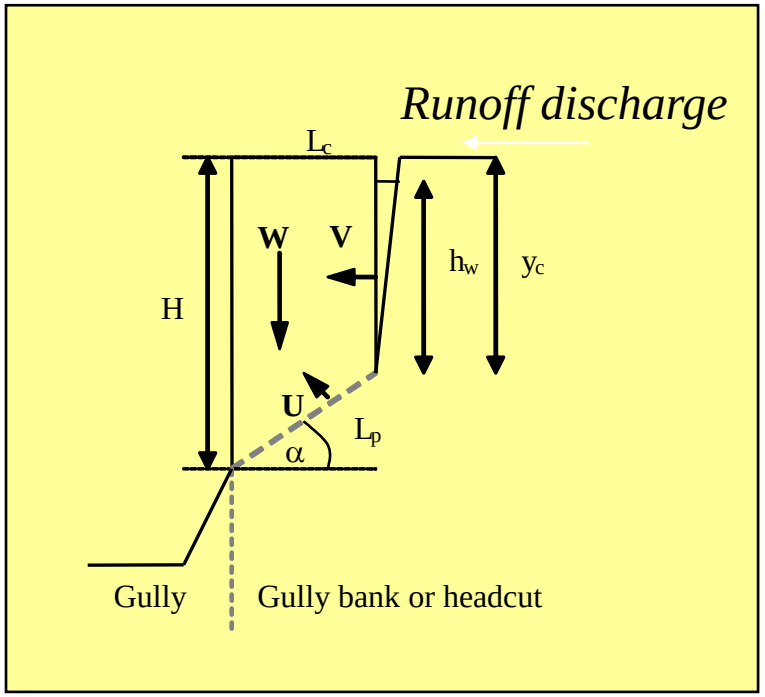
(1999 USGS aerial photograph)

Importancia ambiental

- Pérdida de suelos: problema global
- Medio ambiente
  - Pérdida de ecosistemas
  - Inundaciones
  - Recarga de acuíferos
- Industria agrícola

(1999 USGS aerial photograph)

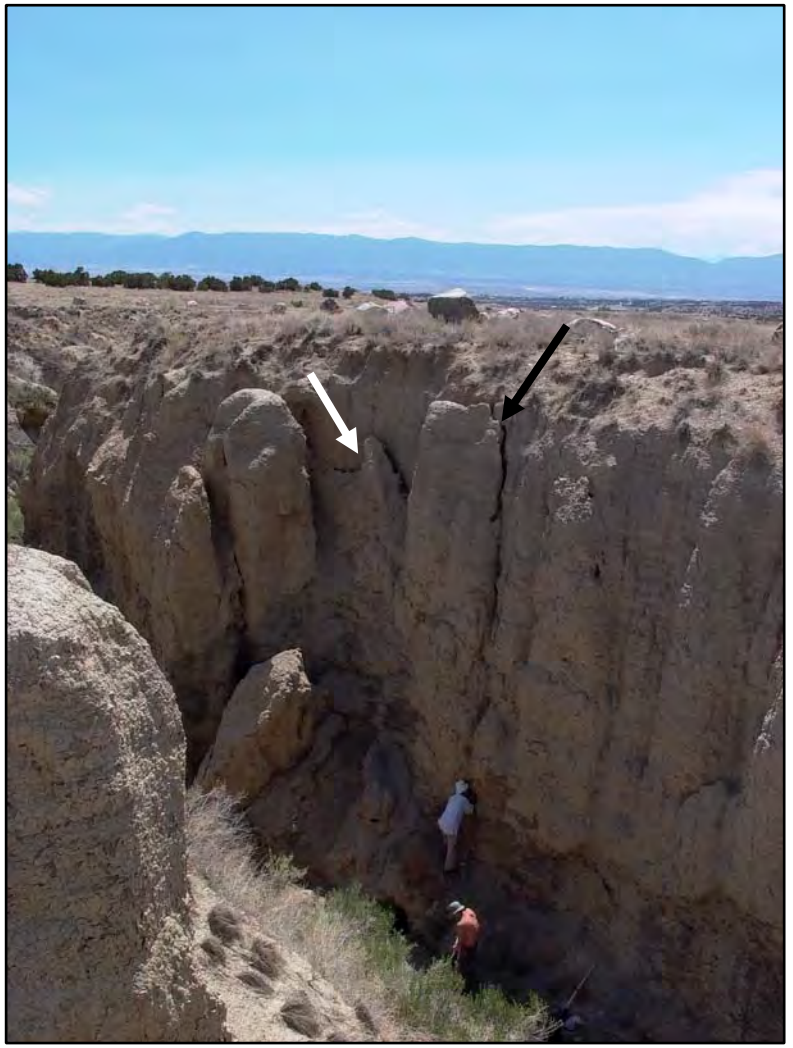
Erosión de cárcavas 1: Inestabilidad de taludes



$$FS = \frac{driving}{resisting}$$

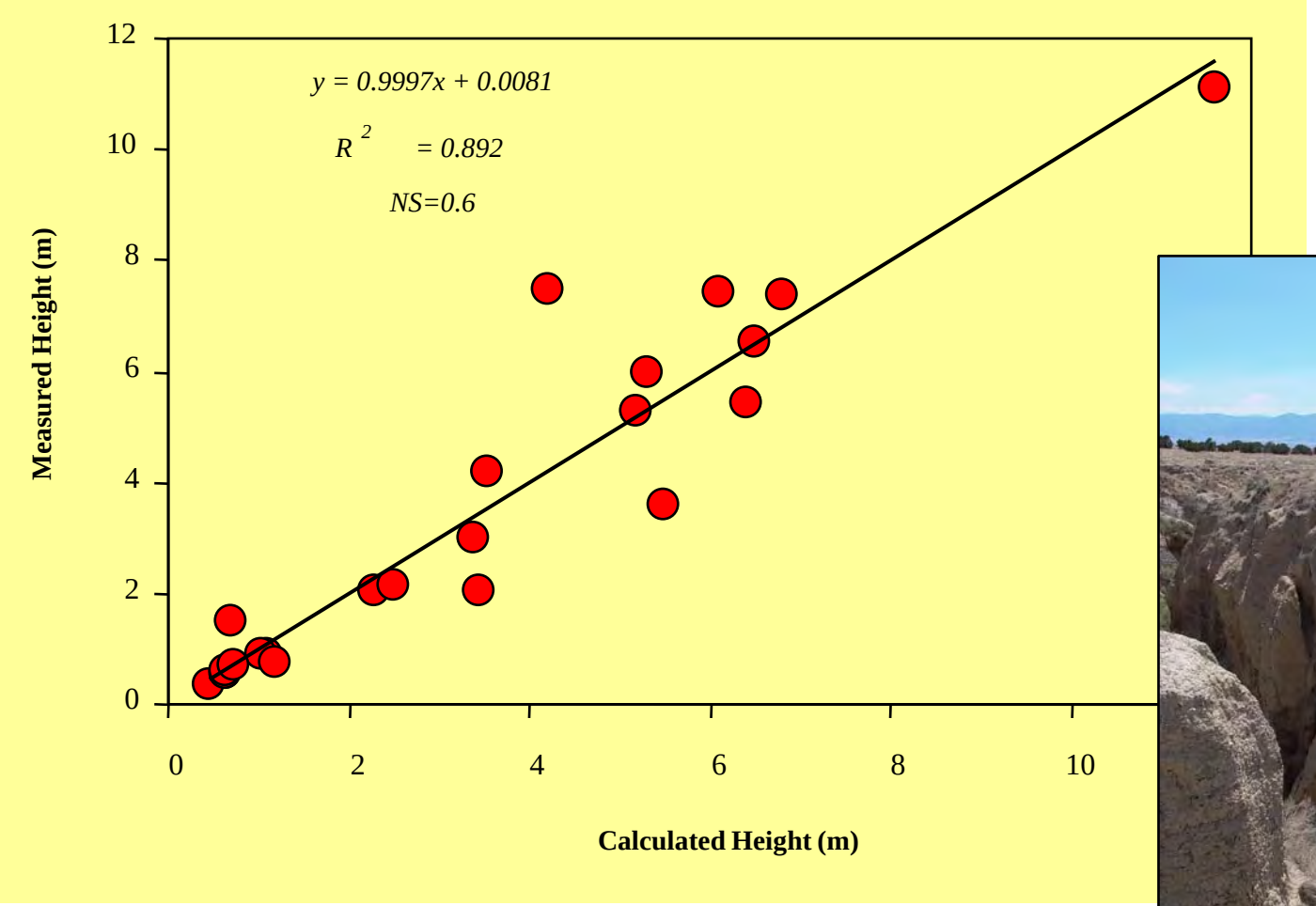
$$\xi = Y_c / H$$

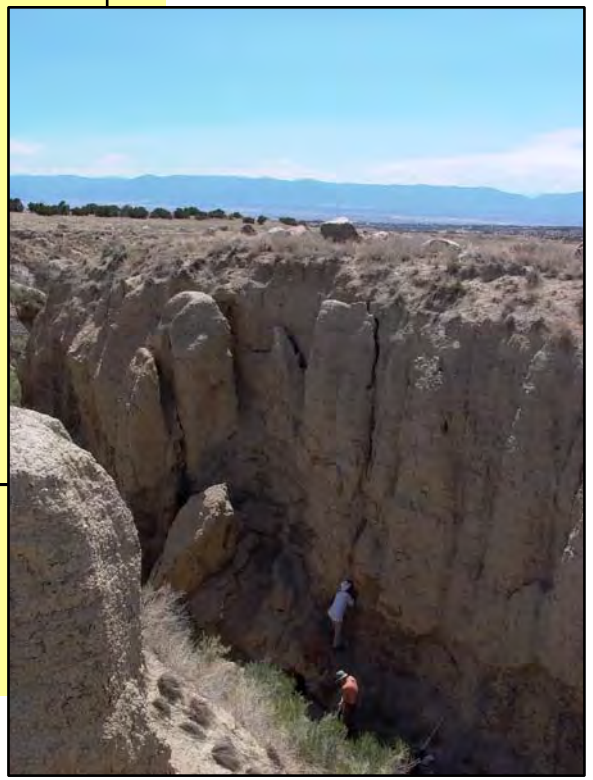
$$\Omega = R / I_c$$



(De Istanbulluoglu et al., 2005)

Comparando con datos de campo

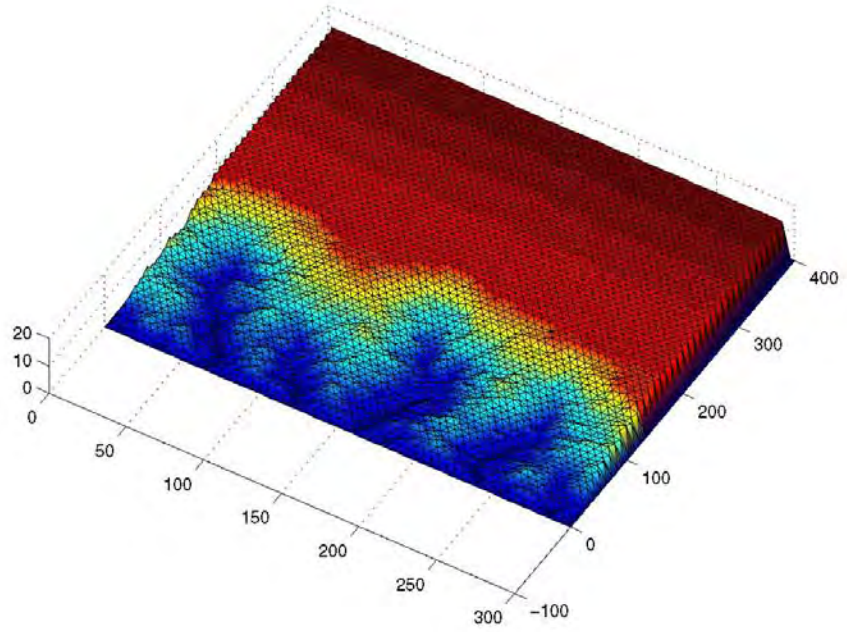




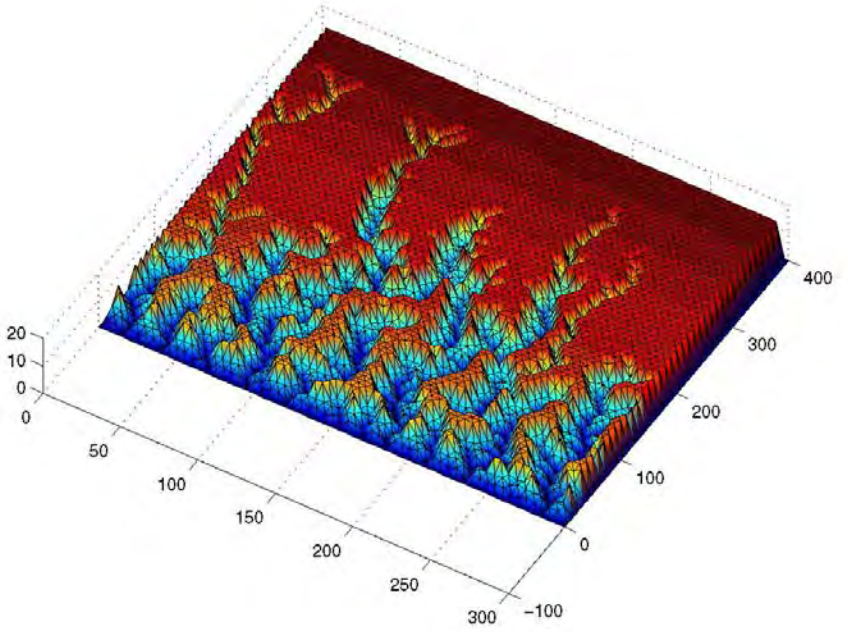
Simulaciones en CHILD

- Cohesión
- Intensidad de lluvia
- Resistencia del suelo al esfuerzo cortante

Cohesión

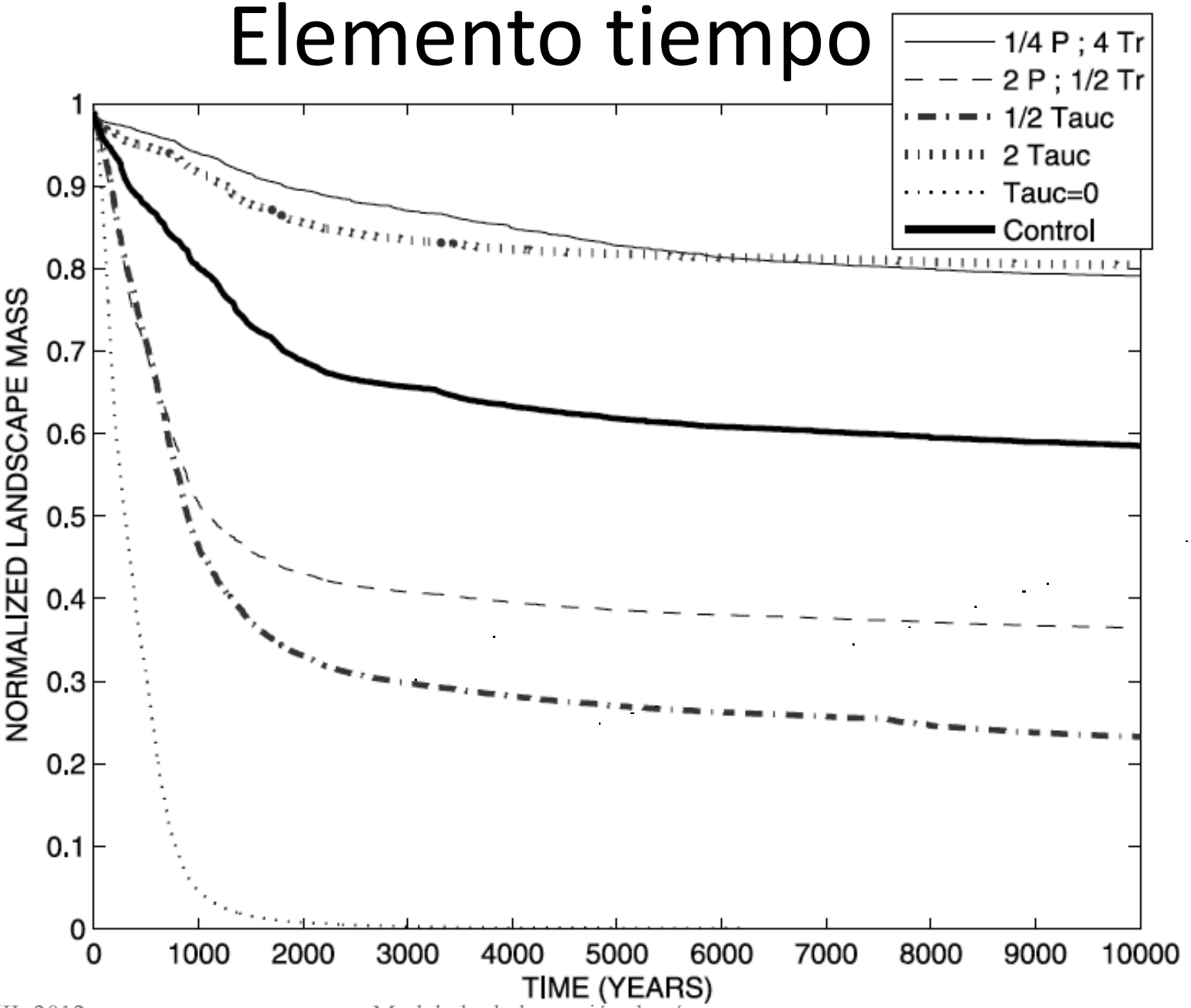


5 kPa,100 años,
80% masa inicial

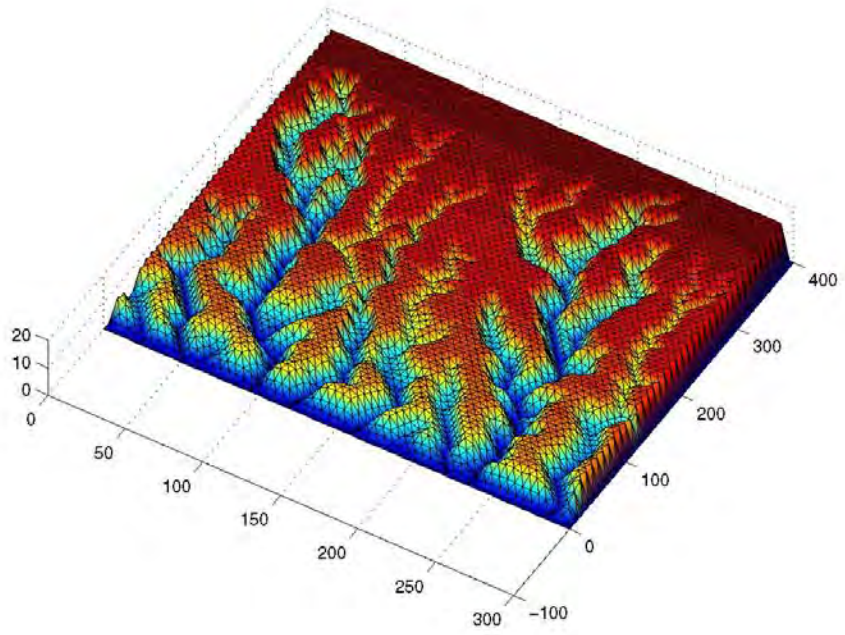


20 kPa,1100 años,
80% masa inicial

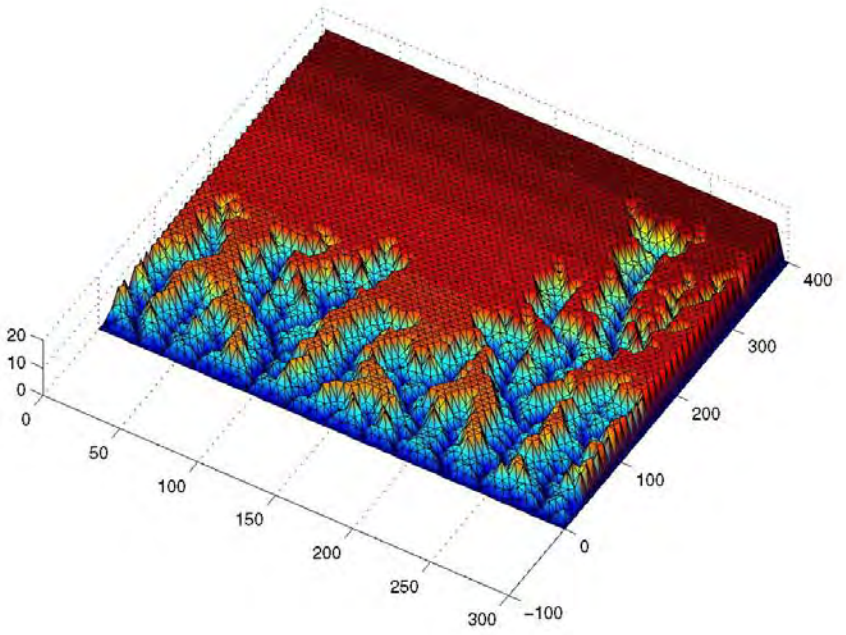
Elemento tiempo



Intensidad de lluvia

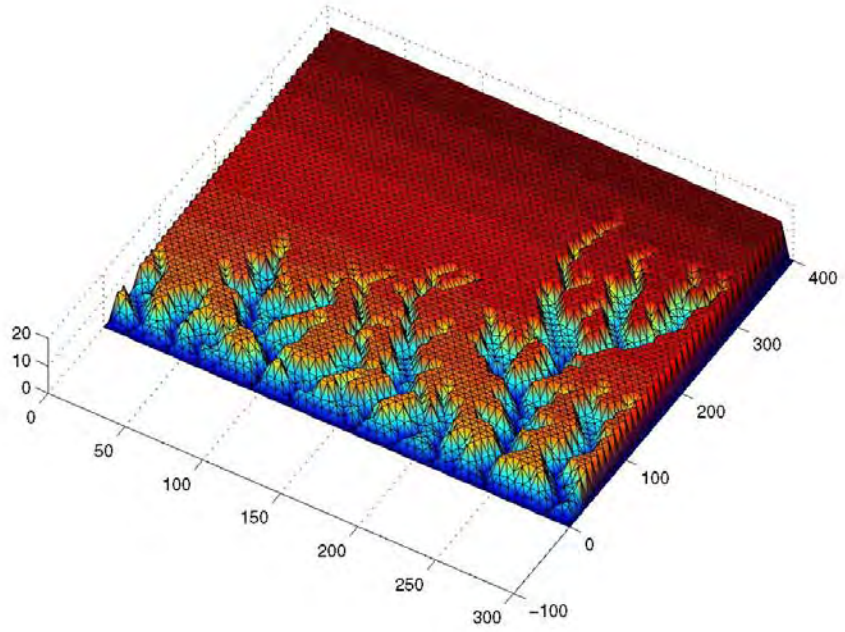


¼ i_o, 7980 años,
80% masa inicial

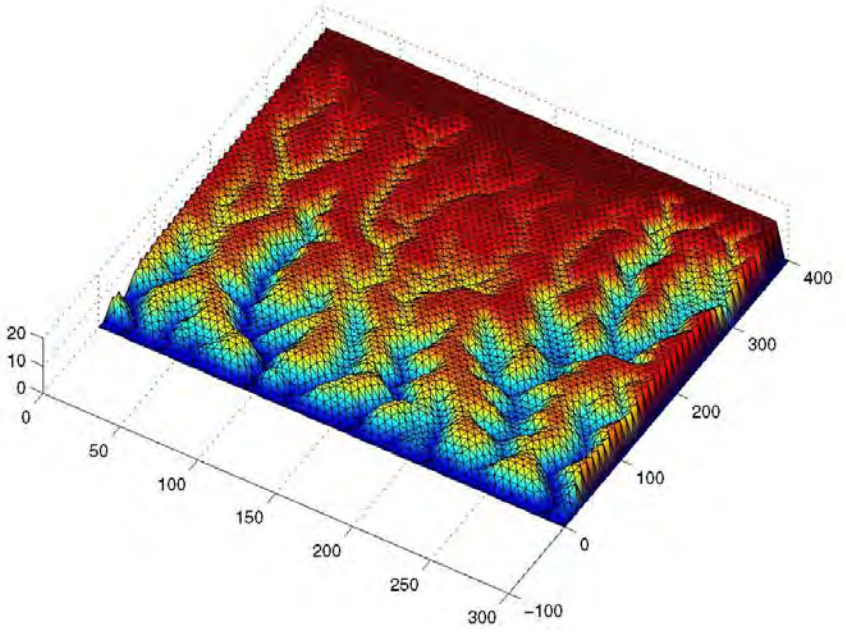


2 i_o, 307 años,
80% masa inicial

Resistencia del suelo al esfuerzo cortante

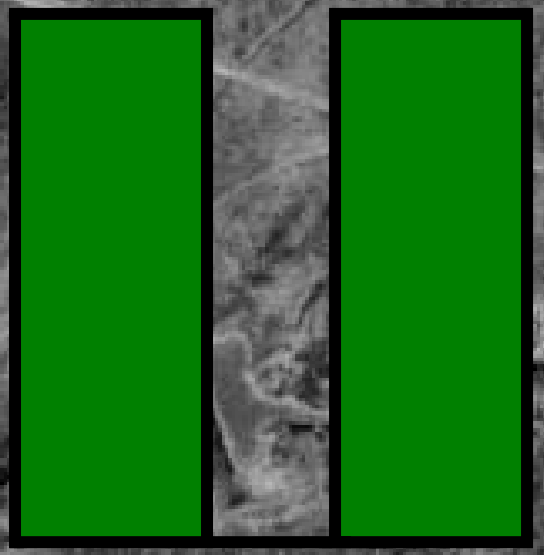


$2\tau_{cr}$, 2000 años,88% masa inicial

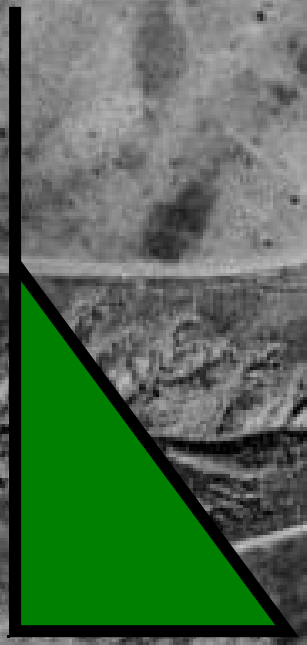


$2\tau_{cr}$, 10000 años,80% masa inicial

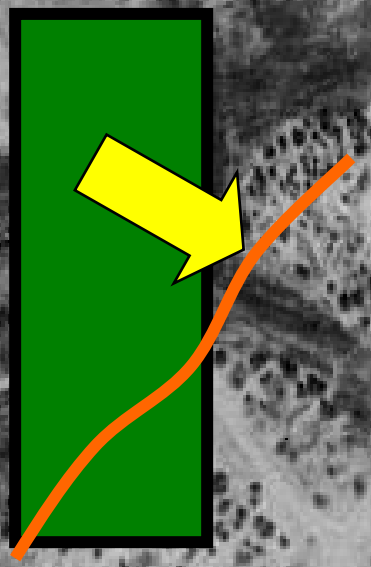
Tres aspectos que influyen el el avance de cárcavas



Cohesión



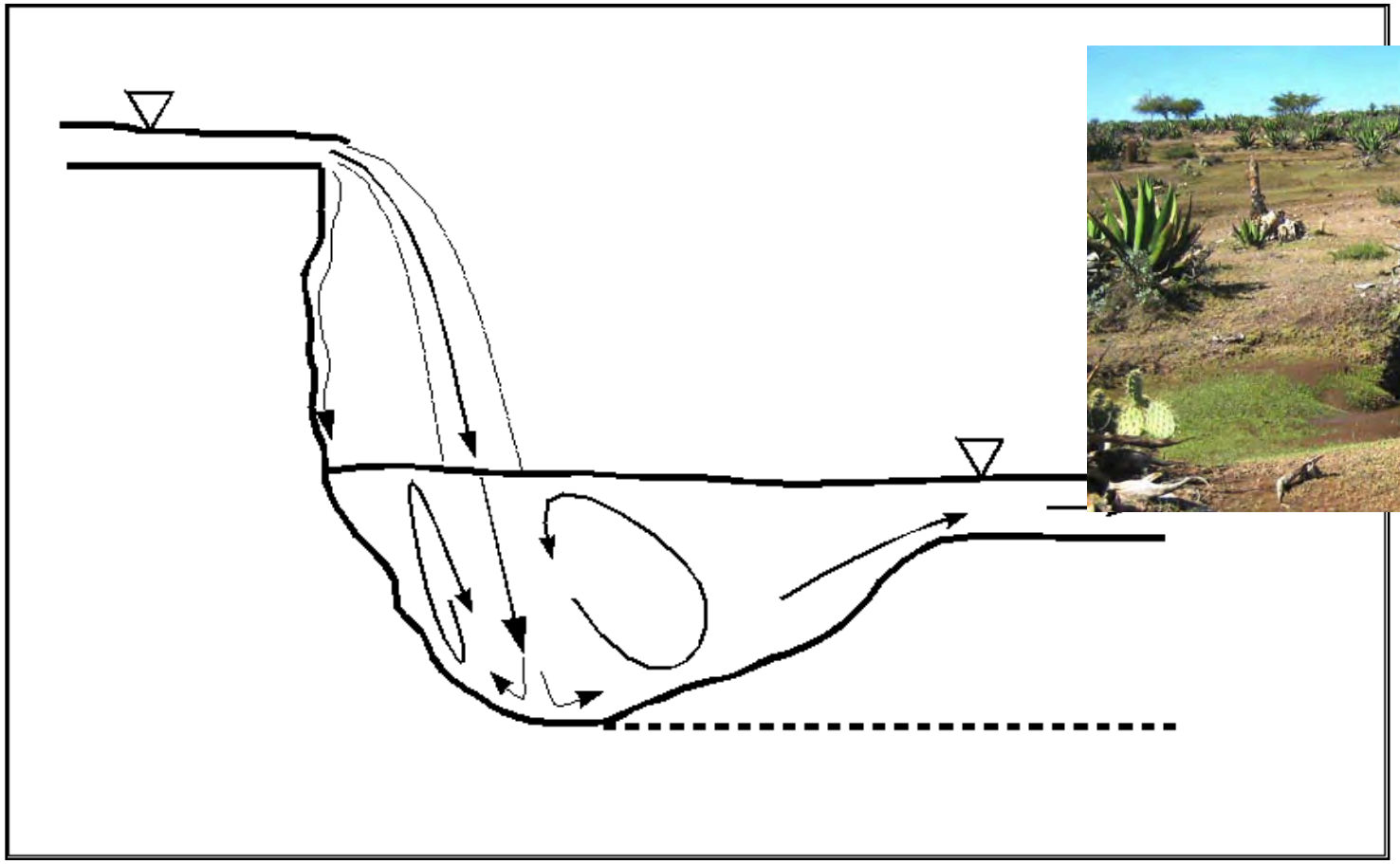
Material en pie de talud



Ciclo de la cárcava

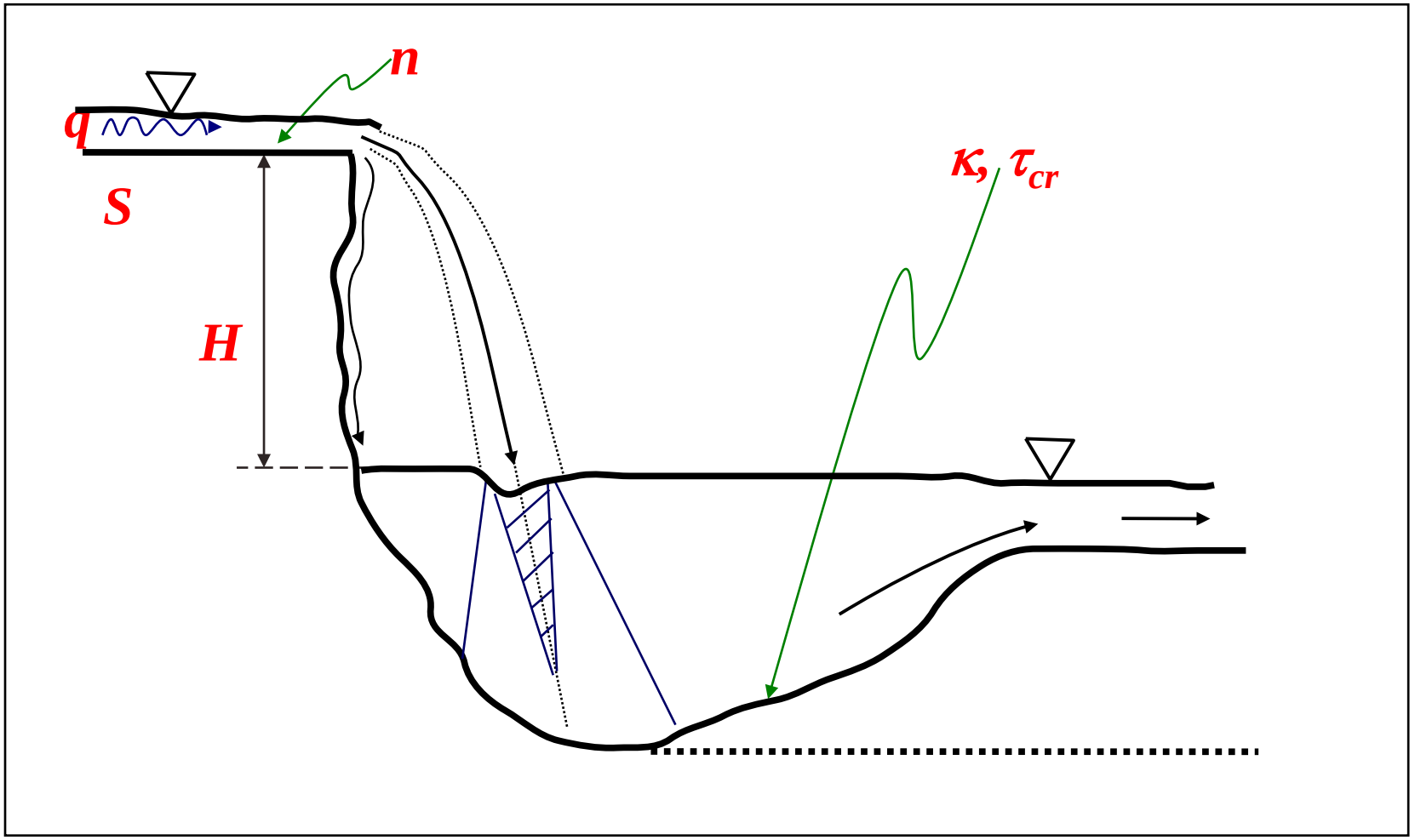
USGS

Erosión de cárcavas 2: Erosión de “caída de agua”



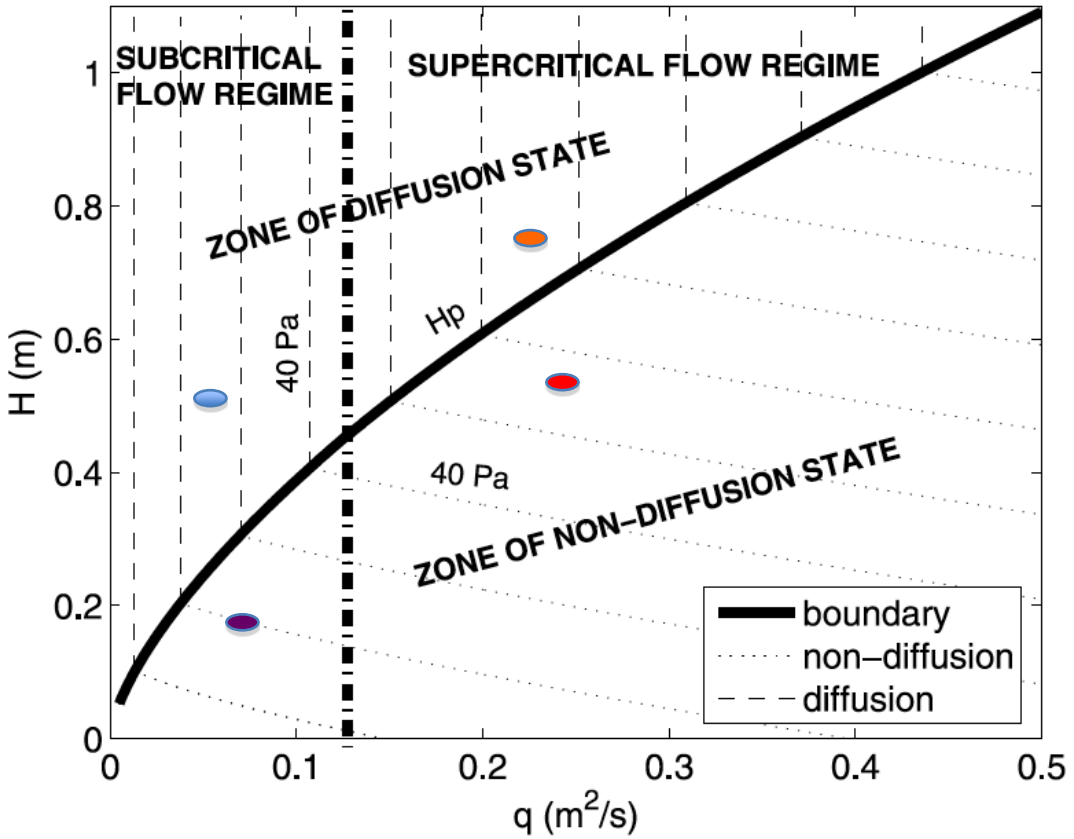
(De Flores-Cervantes et al., 2006)

Erosión de caída de agua

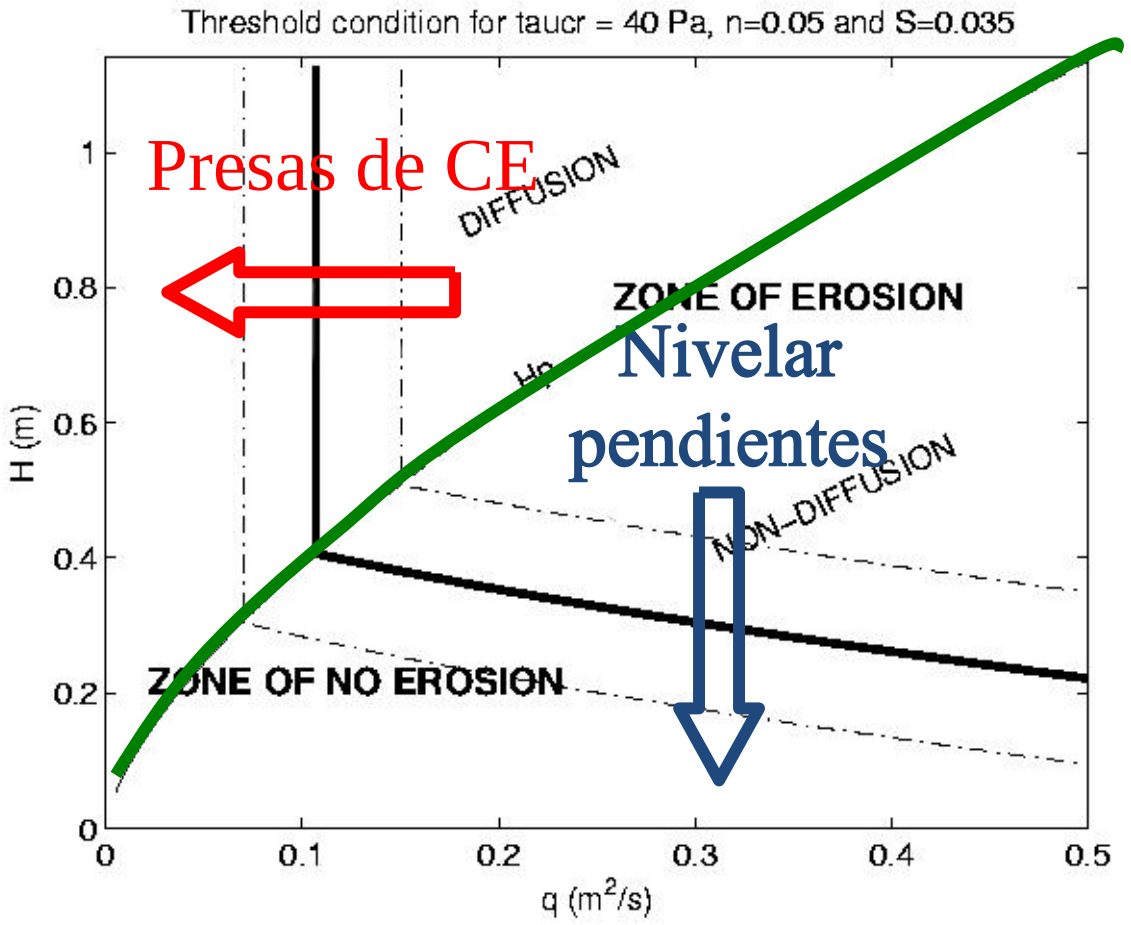


Cuatro modos de erosión

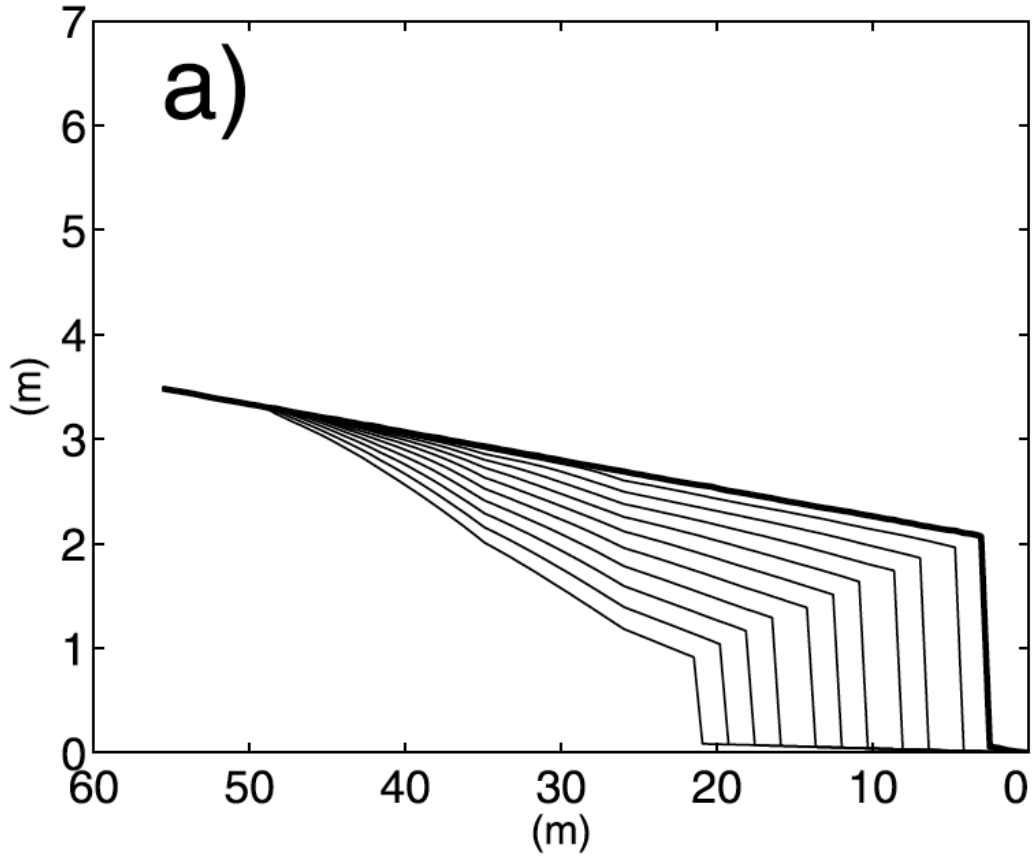
Upstream Flow Regime	Diffusion	Nondiffusion
Subcritical	$\tau \propto (q^{2/3})$	$\tau \propto (q^{2/3}, H)$
Supercritical	$\tau \propto (q^{0.6}, n^{0.6}, S^{-0.3})$	$\tau \propto (q^{0.8}, n^{-1.2}, S^{0.6}, H)$

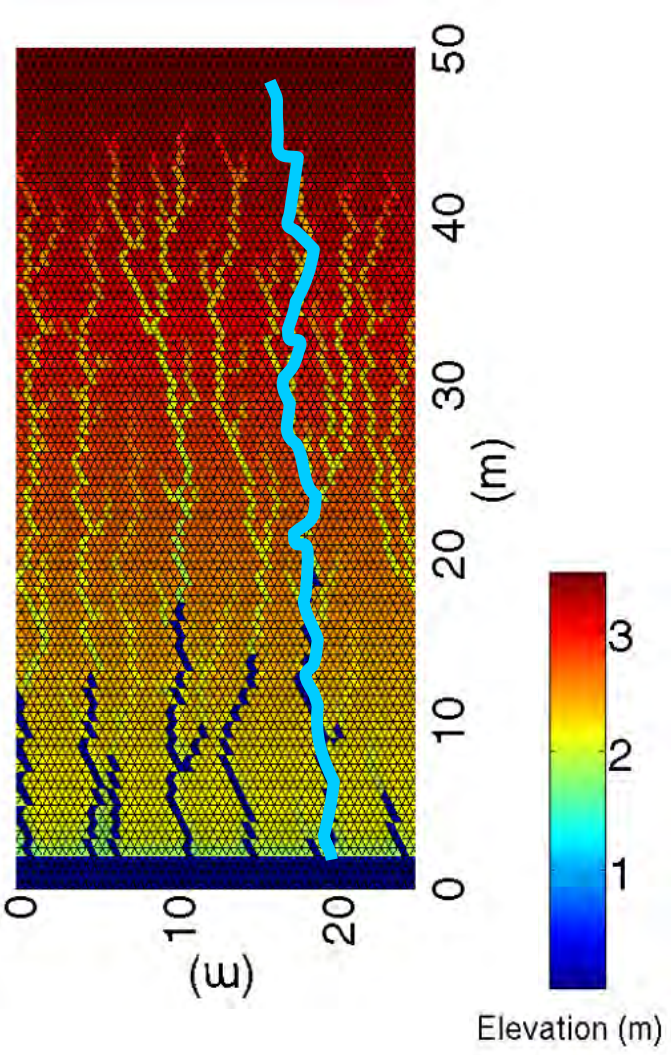


Control de erosión

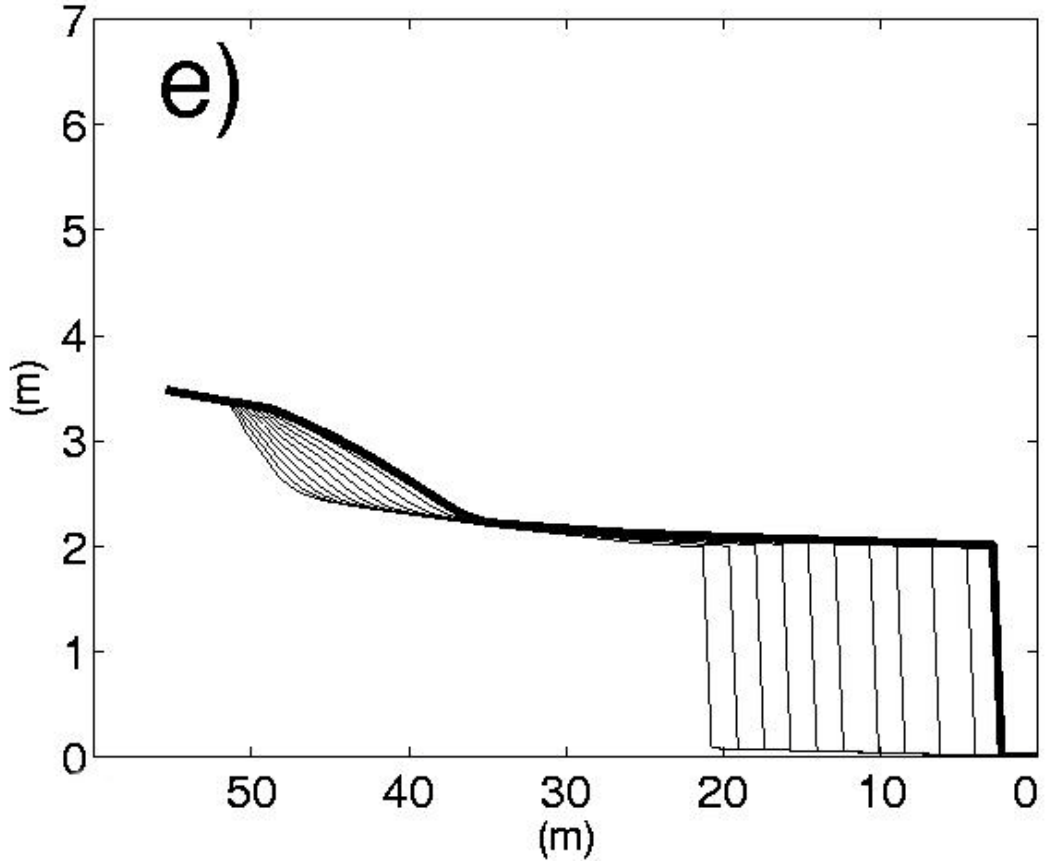


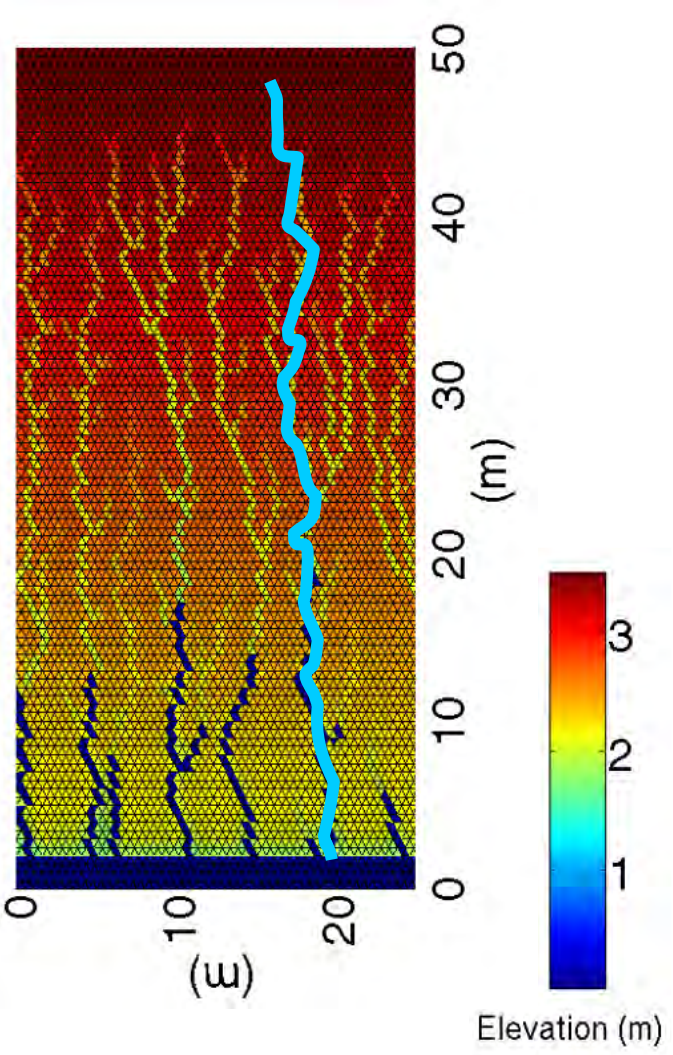
Erosión de caída de agua en CHILD





Erosión de caída de agua en CHILD





Interacción constante entre erosión fluvial y de caída de agua

- Ambos procesos modifican constantemente la topografía y por ende: las pendientes, altura de cabeceras, y la convergencia de la escorrentía.
- Esto resulta en una interacción con retroalimentación entre los dos tipos de erosión.
- La erosión del avance de cabecera compite con la erosión fluvial
- Identificamos las circunstancias topográficas que favorecen al avance de cabeceras

Condiciones favorables al avance de cabeceras

- Cabeceras altas
- Pendientes pequeñas aguas arriba
- Resistencia del suelo a erosion fluvial (por ejemplo, por covertura vegetal)
- Concentración de escorrentía (el avance es más sensible a la escorrentía que la erosion fluvial, en especial en “difusión”)

Conclusiones generales

- La erosión de cárcavas puede afectar a infraestructura y causar problemas ambientales
- Los dos modelos presentados permiten entender mejor este tipo de erosión
- Presente algunas implicaciones de estos estudios en acciones de control de erosión.
- Esta información debe ser aplicada en programas de prevención y control de erosión.

Reconocimientos

•Colaboradores: Erkan Istanbulluoglu, Rafael Bras, Gregory Tucker, Nicole Gasparini, Daniel Collins, Vanessa Teles

• El trabajo fue financiado en parte por la oficina de investigación de la armada de los EEUU

Bibliografía

Stow, S. H. and T. H. Huges, *Geology and the urban environment, Cottondale Quadrangle, Tuscaloosa County, Alabama*, Geological Survey of Alabama Atlas Series 9, 78 p., 1980.

Bennett, S., Effect of slope on the growth and migration of headcuts in rills. *Geomorphology*, 30, 273-290, 1999.

Bennett, S. and J. Casalí, Effect of initial step height on headcut development in upland concentrated flows, *Water Res. Res.*, 41(7), 1911-1922, 2000.

Nyssen, J., J. Poesen, J. Moeyerson, E. Luyten, M. Veyeret-Picot, J. Deckers, M. Haile, and G. Govers, Impact of road buliding on gully erosion risk, A case study from the northern Ethiopian high-lands, *Earth Surf. Processes Landforms*, 27, 1267-1283, 2002.

Tucker, G. and R. L. Bras, Hillslope processes, drainage density, and landscape morphology, *Water Res. Res.*, 34(10), 2751-2764, 1998.

Bibliografía

Flores-Cervantes**,**H., E. Istanbulluoglu and R .L Bras, Development of gullies on the landscape: a model of headcut retreat resulting from plunge pool erosion, *J. Geoph. Res.–Surf. Process.* 111, 2006.

Istanbulluoglu E., R. L. Bras, H. Flores-Cervantes and G. E. Tucker, Implications of bank failures and fluvial erosion for gully development: field observations and modeling, *J. Geoph. Res.–Surf. Process*. 110, 2005.