

CARTOGRAFÍA GEOTÉCNICA

Edier V. Aristizábal G.

evaristizabalg@unal.edu.co

Version: August 6, 2020



Modelación

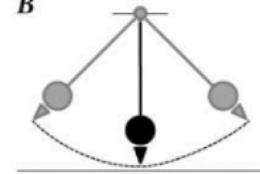
A



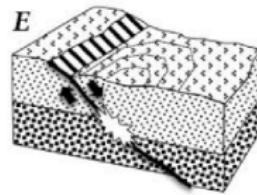
D



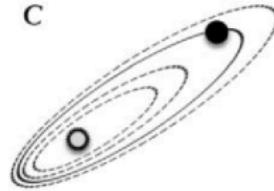
B



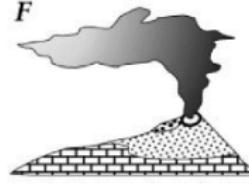
E



C



F



Fuente: Guzzetti (2015)

Edier Aristizábal (evaristizabal@unal.edu.co)

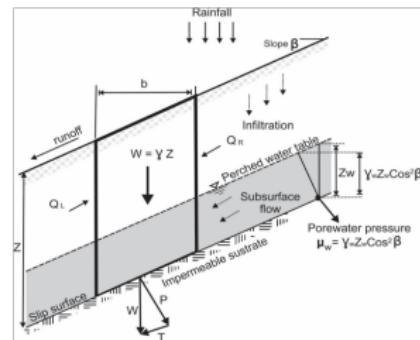
Principios de ocurrencia

Modelación

Realidad



Modelo



Modelación

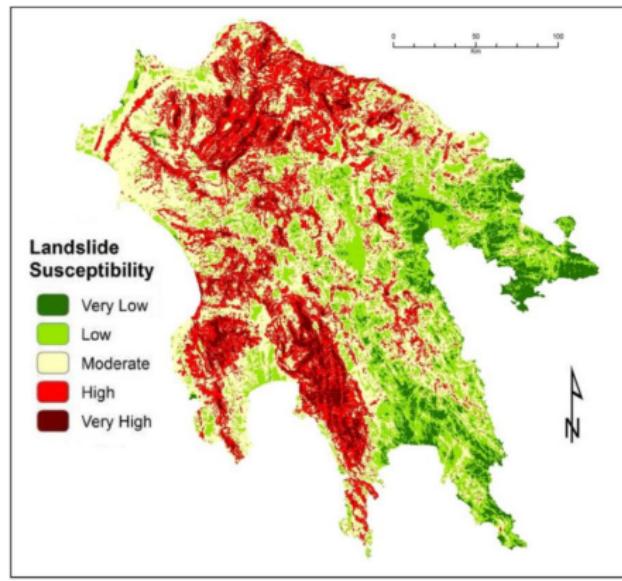


*“Essentially,
all models are wrong,
but some are useful.”*

George Box
Statistician
1919-2013

Zonificación

Zonificación: división del terreno en áreas homogéneas o dominios y su rango de acuerdo al grado actual o potencial de susceptibilidad, amenaza o riesgo por deslizamiento.



Susceptibilidad vs. Amenaza vs. Riesgo

- **Mapas de incidencia espacial**

Susceptibilidad: tendencia de un movimiento en masa a ser generado en el futuro en un área específica (Brad, 1984). Posibilidad de que un fenómeno ocurra en un área de acuerdo con las condiciones locales del terreno, y especifican que factores detonantes tales como precipitación o sismicidad no son considerados (Soeters y van Westen, 1996). Dónde: *Probabilidad espacial*.

- **Mapas de incidencia espacio-temporal y pronóstico**

Amenaza: probabilidad de ocurrencia de un potencial fenómeno destructivo dentro de un específico período de tiempo y en una determinada área (Varnes, 1984). Dónde (intensidad)? Cuándo (frecuencia), Magnitud (Volumen). *Probabilidad espacial y temporal*.

- **Mapas de evaluación de las consecuencias**

Riesgo: Evaluación de las potenciales consecuencias en términos de pérdidas humanas y pérdidas económicas. **Dónde?** (intensidad) **Cuándo?** (frecuencia) **Magnitud** (Volumen) **Cuánto?** (consecuencia)

$$\text{Amenaza} = \text{susceptibilidad} \times \text{factor detonante}$$

Donde? → probabilidad espacial

Cuando? → probabilidad temporal

Zonificación

Inventario de eventos →



Construcción de inventario de series de tiempo de amenazas

Análisis de susceptibilidad →



Dividir la región en clases sucesivas representando diferentes grados de estabilidad de laderas

Análisis de amenaza →



Calcular la probabilidad de nivel de amenaza en una región dada y un tiempo específico.

Análisis de riesgo →

Calcular la pérdida de vidas o infraestructura en una región dada y un tiempo específico.

Zonificación de la amenaza

Zonificación de amenaza: La subdivisión del terreno en zonas que son caracterizadas por la probabilidad temporal de la ocurrencia de deslizamientos de un particular tamaño y forma, dentro de un periodo de tiempo dado. Los mapas de amenaza por deslizamientos deben indicar tanto la zona donde el deslizamiento puede ocurrir como la zona de propagación. Una completa evaluación de la amenaza por deslizamientos cuantitativa incluye:

- **Probabilidad espacial:** la probabilidad que un área dada sea golpeada por un deslizamiento.
- **Probabilidad temporal:** la probabilidad que un evento detonante dado causará un deslizamiento.
- **Probabilidad de tamaño/volumen:** probabilidad que un deslizamiento tenga un determinado tamaño y volumen.
- **Probabilidad de propagación:** probabilidad que un deslizamiento alcanzará una cierta distancia ladera abajo.

Fuente: AGS (2007), Corominas et al. (2014)

Hipótesis

Varnes (1984) y Guzzetti (2006) definen algunos principios básicos o hipótesis para la zonificación:

- El pasado es la clave del presente, lo que implica que los deslizamientos en el futuro ocurrirán bajo las condiciones que se generaron en el pasado.
- Los deslizamientos dejan características identificables que pueden ser reconocidas, clasificadas y mapeadas en el campo o a través de sensores remotos. Por qué el movimiento en masa ocurrió, cuándo y dónde ocurrió, y los mecanismos?
- Los deslizamientos están controlados por leyes mecánicas que pueden ser determinadas empíricamente, estadísticamente o deterministicamente.
- Las condiciones que causan los deslizamientos, directa e indirectamente están relacionadas con los deslizamientos, pueden ser recolectadas y utilizadas para modelos de predicción de la ocurrencia de deslizamientos.
- La ocurrencia de deslizamientos, en tiempo y espacio, puede ser inferido desde investigación heurística utilizando el análisis de la información ambiental o inferida de modelos físicos. Por lo que un territorio puede ser zonificado entre zonas de susceptibilidad o amenaza graduadas de acuerdo con las diferentes probabilidades.

Escala

Scale Description	Indicative Range of Scales	Examples of zoning application	Typical Area of Zoning
Small	< 1:100,000	Landslide inventory and susceptibility to inform policy makers and the general public	>10,000 square kilometres
Medium	1:100,000 to 1:25,000	Landslide inventory and susceptibility zoning for regional and local development; or very large scale engineering projects. Preliminary level hazard mapping for local areas	1000 – 10,000 square kilometres
Large	1:25,000 to 1:5,000	Landslide inventory, susceptibility and hazard zoning for local areas Preliminary level risk zoning for local areas and the advanced stages of planning for large engineering structures, roads and railways	10-1000 square kilometres
Detailed	> 5,000	Intermediate and advanced level hazard and risk zoning for local and site specific areas and for the design phase of large engineering structures, roads and railways	Several hectares to tens of square kilometres

Fuente: Fell et al (2008) del JTC-1 Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes

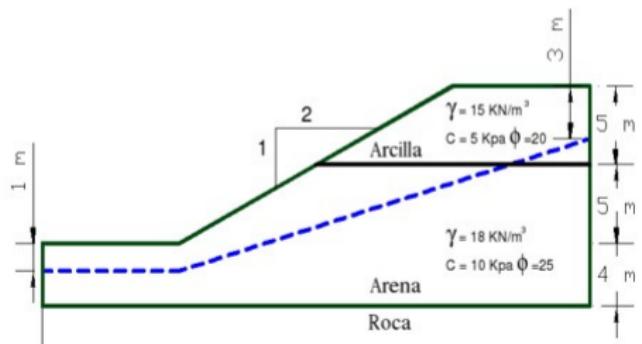
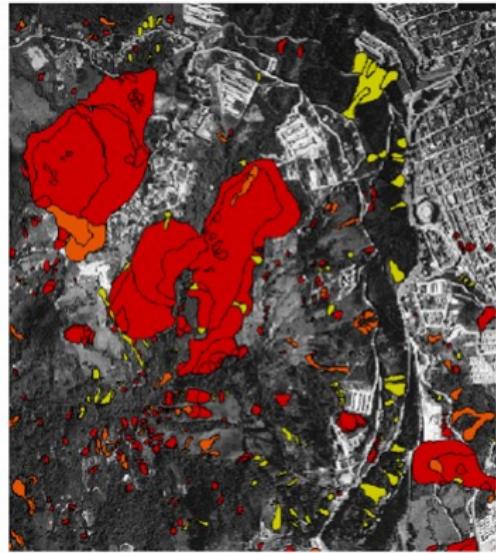


Escala y Fases

ETAPA DE PLANEACIÓN	NECESIDAD	INVENTARIO DE DESLIZAMIENTOS	ESCALA ADECUADA PARA ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA
Estudio preliminar	Identificar amenazas	Como este disponible	Como este disponible
Fase I- Diagnóstico y alternativas	Grado de amenaza de todos los tipos de MenM	Simple	1:250,000 a 1:62,500
Fase II – Plan de acción y formulación del proyecto	Grado de amenaza de todos los tipos de MenM complementado para cierto tipo específico	Intermedio	1:62,500 a 1:10,000
Implementación del proyecto	Modelo geotécnico basado en evaluación del amenaza del sitio específico	Detallado	1:12,500 a 1:500

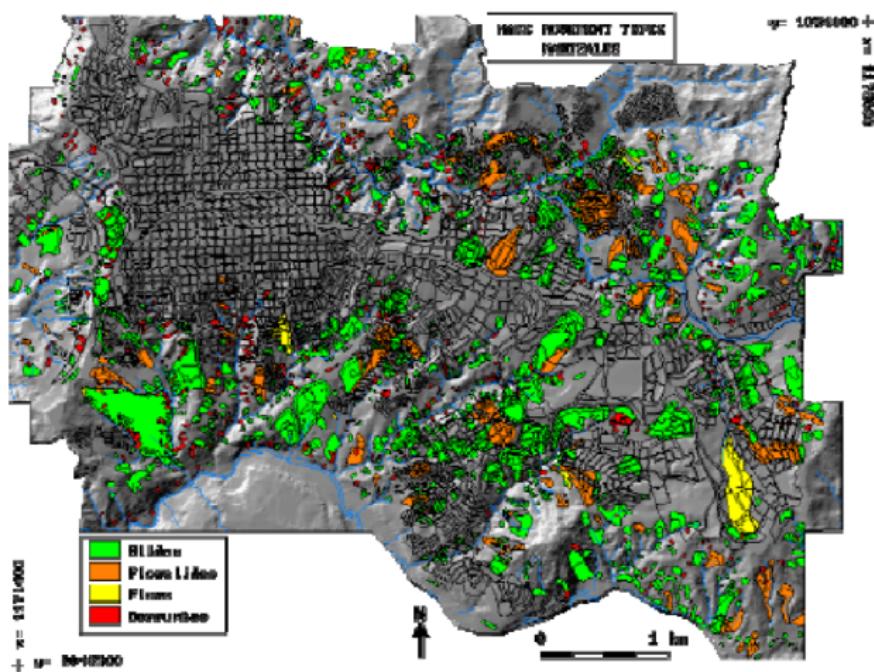
Escala de sitio: Geotecnia

Fase de diseño de obras de ingeniería



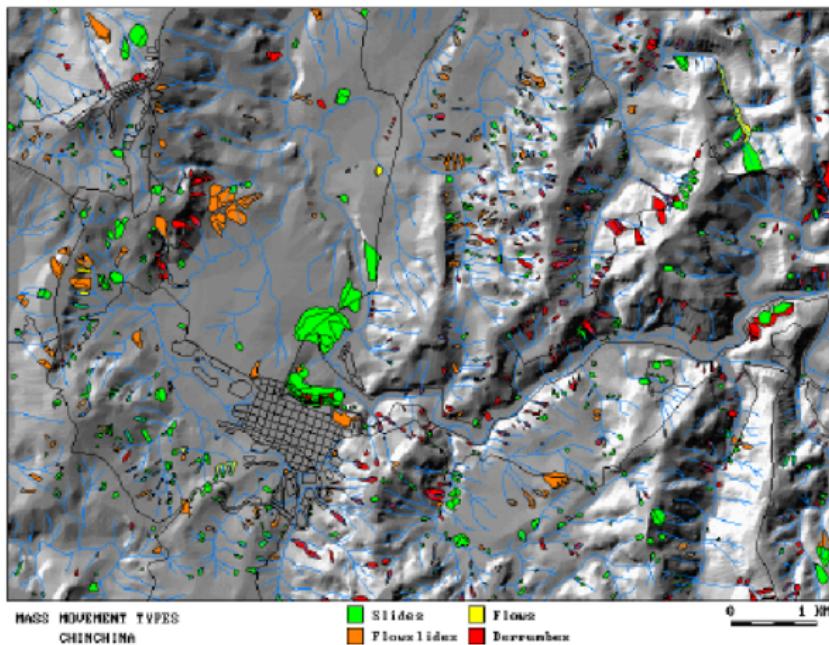
Zonificación: Cartografía Geotécnica

Ordenar el territorio



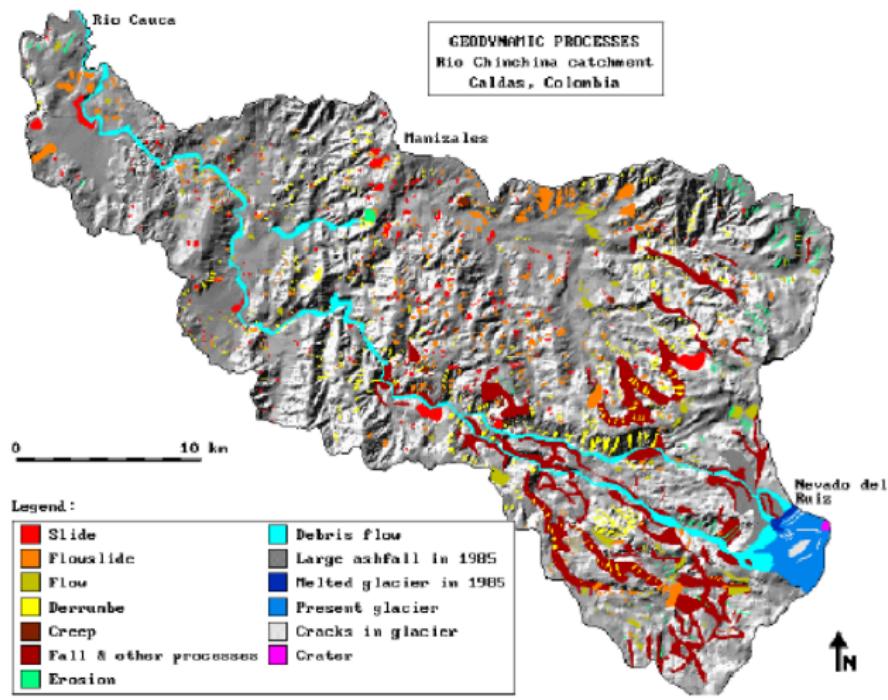
Zonificación: Cartografía Geotécnica

Regional



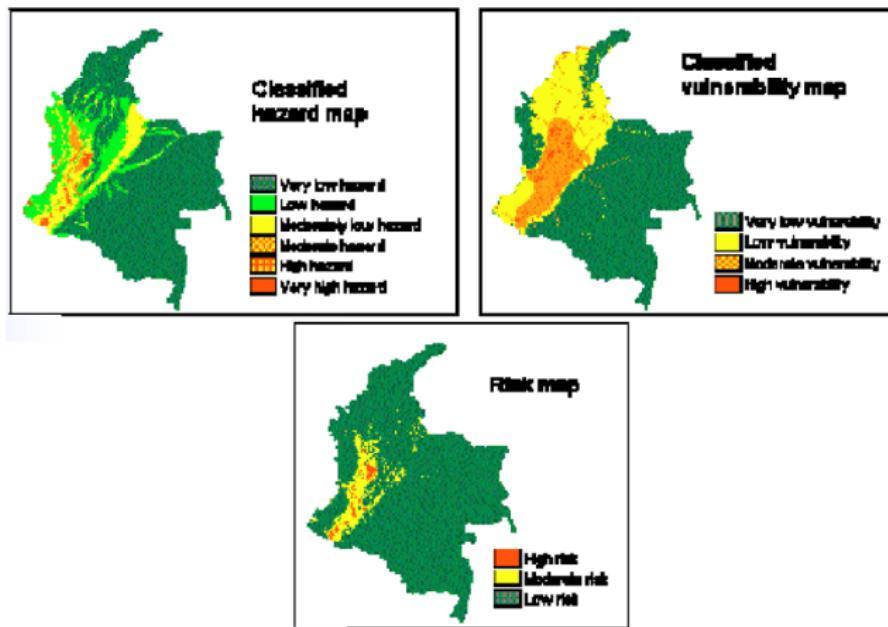
Zonificación: Cartografía Geotécnica

Regional - cuenca



Zonificación: Cartografía Geotécnica

Escala nacional



Metodología

- Formulación del problema y definición de alcances
- Levantamiento de datos:
- La identificación y mapeo de eventos en el área de estudio (variable dependiente),
- La identificación y mapeo de los factores físicos que están directa o indirectamente correlacionados con los factores de inestabilidad (variables predictoras e independientes),
- Análisis exploratorio de datos y selección de variables,
- Construcción del modelo,
- La clasificación del terreno en dominios de diferentes niveles de susceptibilidad,
- La evaluación del desempeño y capacidad de predicción del modelo,
- Validación y ajuste heurístico en campo.

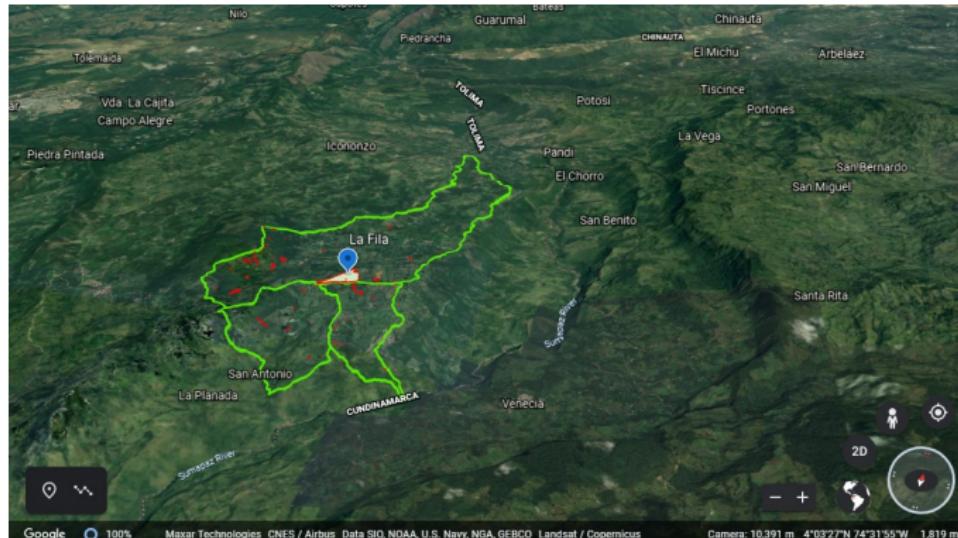
Fuente: Guzzetti (2006) Landslide susceptibility zoning

Herramientas

- **Vector GIS:** para mapear los deslizamientos y generar los mapas temáticos de salida, ArcGIS, SPRING, QGIS etc.,
- **Raster GIS:** para procesamiento de imágenes de satélite, y para el procesamiento de los factores condicionantes a partir del MDT: Erdas Imagine, ArcGIS.
- **Paquetes estadísticos:** para test estadísticos y análisis multivariados, como regresión logística o análisis discriminado: SPSS, R, etc.
- **Otros:** compiladores de programación para diseñar códigos específicos y procesar datos o análisis, tales como Python, JS, Matlab, etc.

Definición área de influencia

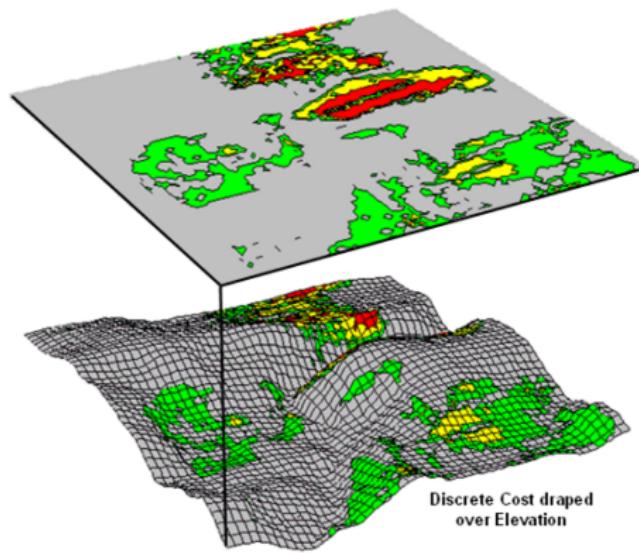
Unidades Morfodinámicas Independientes (UMI) son definidas como la unidad del territorio que enmarca la ladera de interés y que presenta un comportamiento independiente de las unidades adyacentes (Chica, 1989). Se considera que cualquier proceso morfodinámico que se presente en el exterior no afecta su interior e igualmente, cualquier proceso morfodinámico que se presente en el interior no afecta las unidades adyacentes (AMVA et al., 2012). Dicha unidad es delimitada por divisorias de agua, drenajes o expresiones geomorfológicas, combinadas con un análisis heurístico de la morfodinámica del paisaje.



Unidad de análisis

Terrain Mapping Unit -TMU-

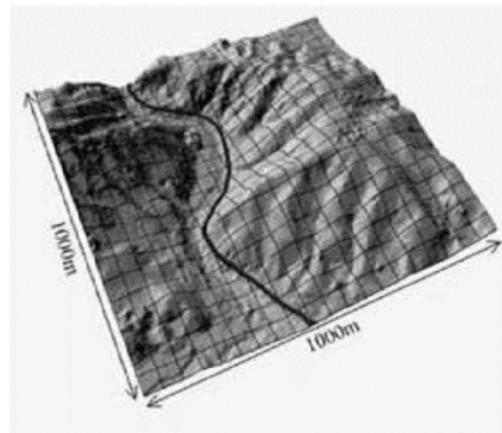
La unidad de mapeo representa el dominio que maximiza la homogeneidad interna y la heterogeneidad entre unidades. Se refiere a la porción del territorio que contiene un grupo de condiciones del terreno que difiere de la unidad adyacente a lo largo de límites definidos (Hansen, 1984).



Unidad de análisis

Malla de celdas(*Grid-cells*)

Dividen el territorio en rectángulos regulares, triangulares, hexagonales, etc, de tamaño predefinido. Son preferidos por usuarios GIS basados en raster. Cada celda es asignada con un valor para cada factor morfométrico, geológico, usos del suelo, etc.



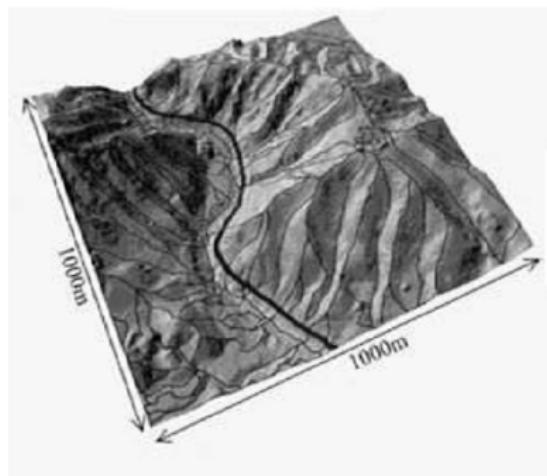
Desventajas: No representan un significado físico para el territorio.

Fuente: Guzzetti (2005)

Unidad de análisis

Unidad de ladera (*slope-units*)

Automáticamente derivado de DTM de alta calidad, partiendo el territorio en regiones hidrológicas entre drenajes y líneas de división de cuencas, es decir subcuentas de acuerdo a la escala de análisis.



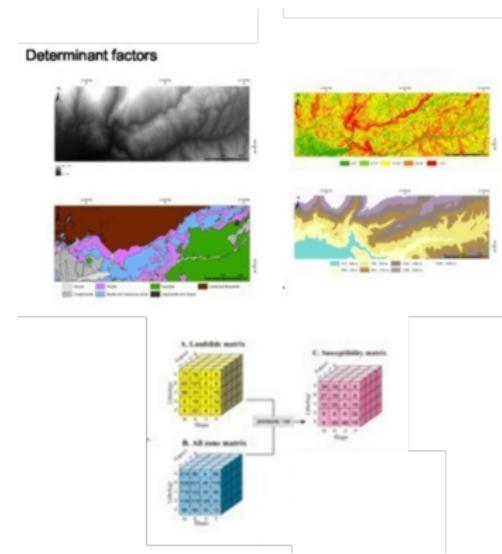
Desventajas: Dificultad en la preparación, y pueden no corresponder a subdivisiones importantes para determinar la susceptibilidad a deslizamientos.

Fuente: Guzzetti (2005)

Unidad de análisis

Unidad de Condiciones Únicas (UCU)

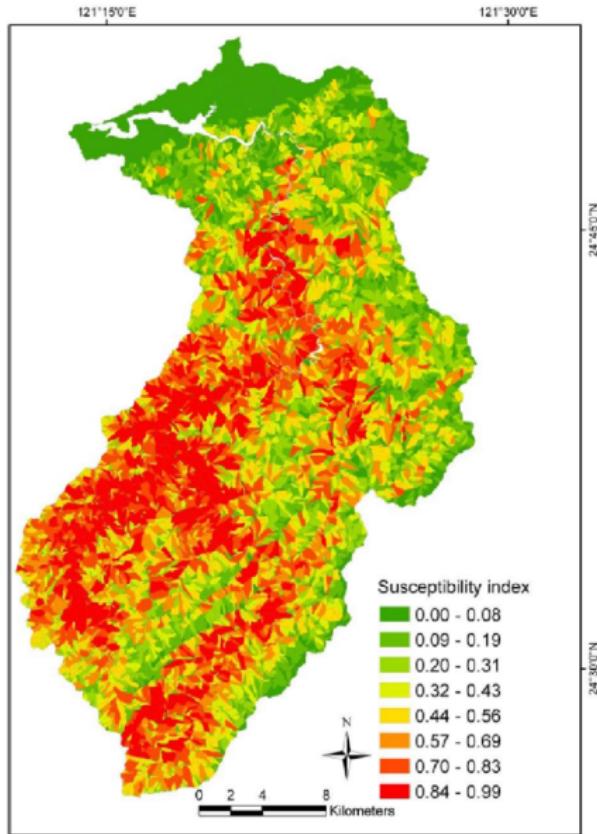
Son dominios homogéneos derivados desde una clasificación de muchos factores de estabilidad de laderas.



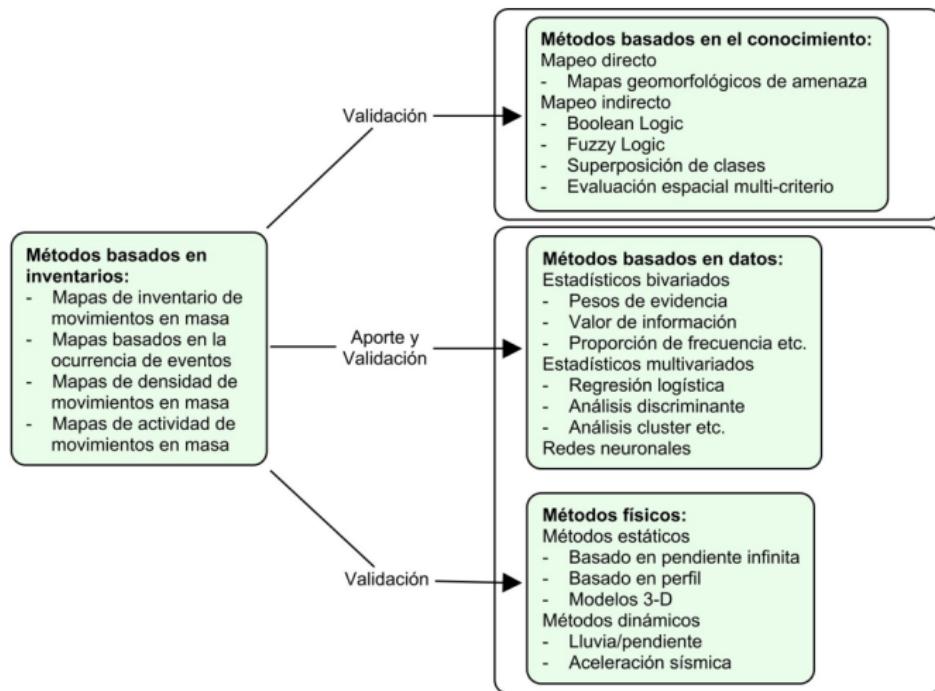
Desventajas: Pueden generarse muchos pequeños polígonos difíciles de interpretar o manejar.
Fuente: Guzzetti (2005)

	<i>DIRECT MAPPING</i>	<i>ANALYSIS OF INVENTORIES</i>	<i>INDEX BASED</i>	<i>STATISTICAL</i>	<i>PHYSICALLY BASED</i>
Grid cell		✓		✓	✓
Terrain unit	✓				
Unique condition unit			✓	✓	
Slope unit		✓		✓	
Geo-hydrological unit				✓	
Topographic unit					✓
Geographical unit		✓		✓	

Fuente: Guzzetti (2006) Landslide susceptibility zoning



Métodos de zonificación



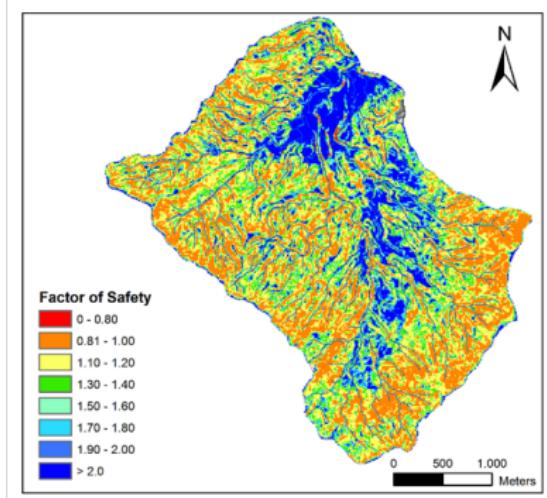
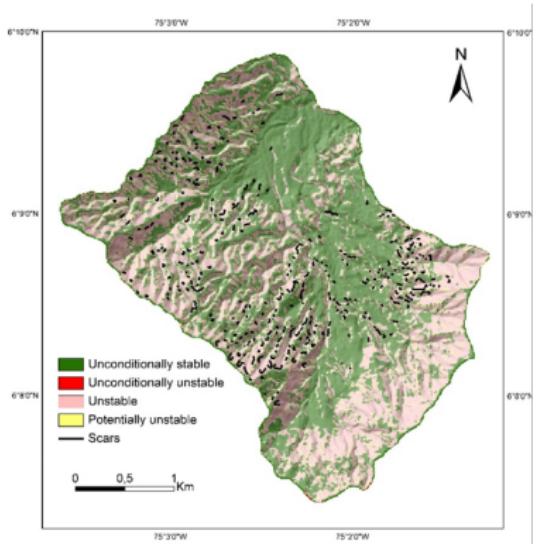
Métodos de zonificación

	DIRECT	INDIRECT	QUALITATIVE	QUANTITATIVE
<i>GEO MORPHOLOGICAL MAPPING</i>	✓		✓	
<i>HEURISTIC (INDEX-BASED)</i>		✓	✓	
<i>ANALYSIS OF INVENTORIES</i>		✓		✓
<i>STATISTICAL MODELLING</i>		✓		✓
<i>PROCESS BASED (CONCEPTUAL)</i>		✓		✓

Fuente: Guzzetti (2006) Landslide susceptibility zoning

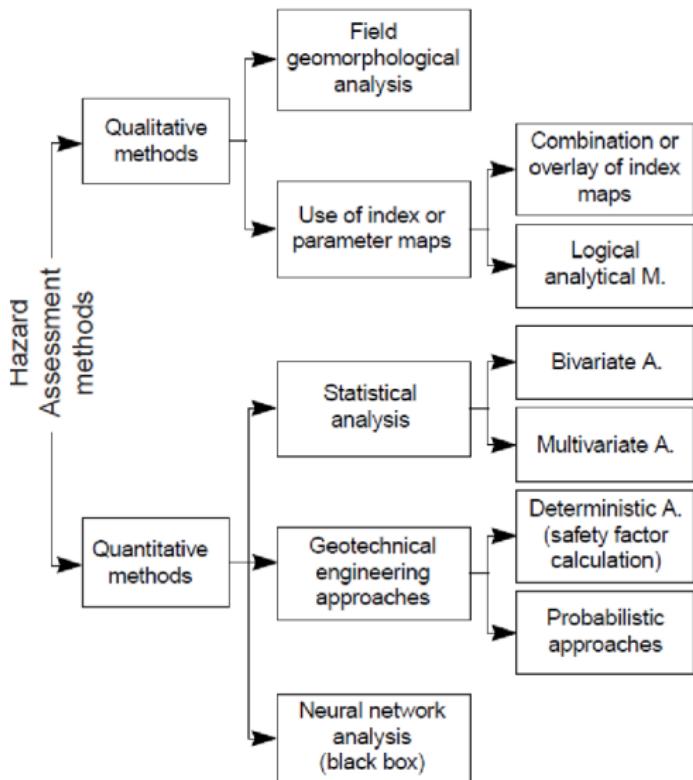
Métodos de zonificación

Amenaza Relativa vs Absoluta

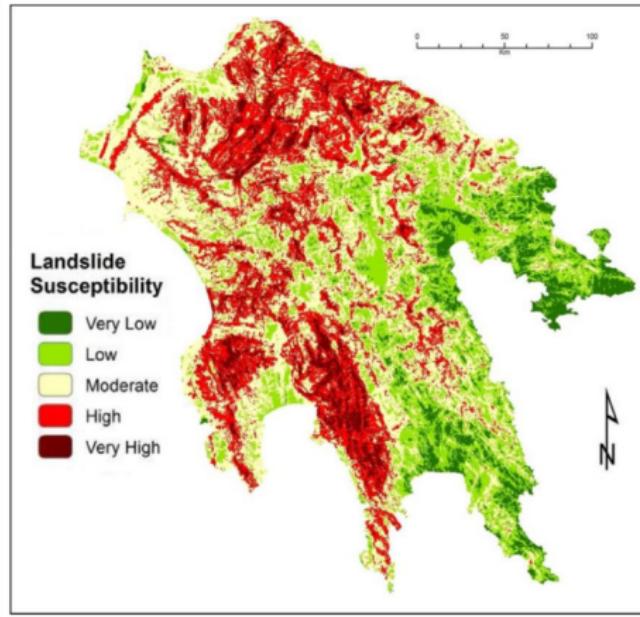
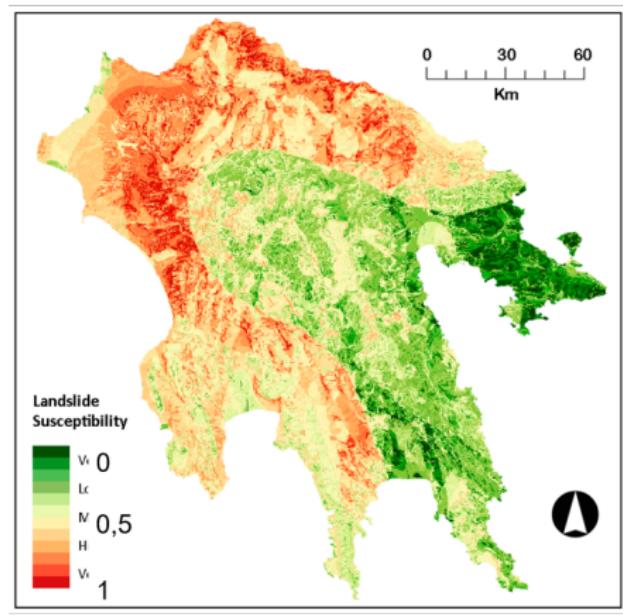


Fuente: Hartlen & Viberg (1988)

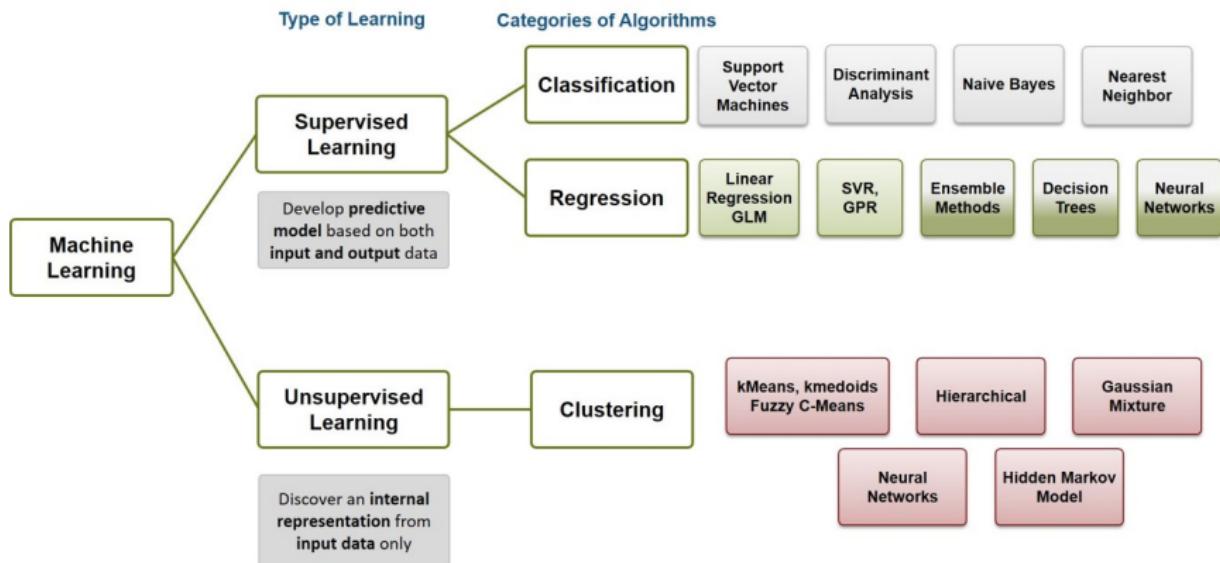
Métodos de zonificación



Zonificación



Métodos de zonificación



Métodos de zonificación

Type of analysis	Technique	Scale of use recommended			Advantages	Disadvantages
		Regional	Medium	Large		
Heuristic analysis	Qualitative map combination	Yes	Yes	No	The degree of hazard is determined rapidly after the fieldwork on the basis of a detailed geomorphological map taking into account a large number of factors as attribute database	The length of operations involved The problem of subjectivity in attributing weighted values
Statistical analysis	Bivariate statistical analysis	No	Yes	No	To map out in detail the occurrence of past landslides	Difficult to prepare data Under no consideration of trigger factor
	Multivariate statistical analysis	No	Yes	Restricted use	To collect sufficient information on the variables that are considered to be relevant to the occurrence of landslides	Just susceptibility assessment Not readily be extrapolated to the neighbouring areas
Deterministic analysis	Safety factor analysis	No	No	Yes	Objective in methodology To permit quantitative factors of safety to be calculated	Data requirements for deterministic models can be prohibitive, and frequently it is impossible to acquire the input data necessary to use the models effectively
	Probability of failure	No	No	Yes	External existing models can be used without losing time in programming the model algorithms in a GIS Encourage investigation and measurement of geotechnical parameters in detail	

Fuente: Huabin et al. (2005)