

Trabajo Práctico N° 3

Análisis Geomorfométrico: elaboración y análisis de mapas de pendientes; análisis hipsométrico.

Leyenda

pend_grad_1

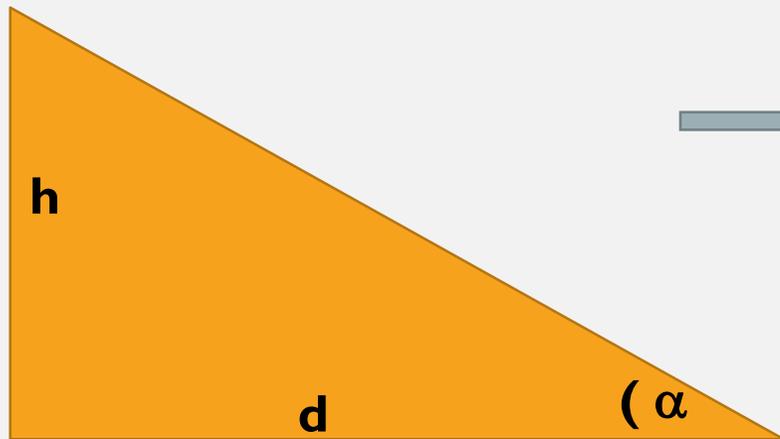


PENDIENTES

Análisis, cálculos, clasificaciones, interpretaciones y elaboración de mapas

Definición: la **Pendiente** de un terreno es la **inclinación** que tiene el mismo. Se interpreta como el **ángulo que forma el terreno con un plano horizontal**.

En Geomorfología se refiere a la inclinación de una superficie medida entre dos puntos, misma que resulta de la altura vertical dividida entre la distancia horizontal correspondiente (triángulo rectángulo). El valor resultante es el de la tangente del ángulo y al multiplicarlo por 100 se obtiene el valor en tanto por ciento.



P = Pendiente

h = equidistancia o diferencia de cota

d = longitud real proyectada sobre un plano horizontal

α = ángulo de pendiente

$$P(\%) = \frac{h}{d} * 100 \quad \text{o} \quad P(^{\circ}) = \text{tag} = \left(\frac{h}{d}\right)$$

Pendiente expresada en porcentaje

Pendiente expresada en grados

Ojo!! Para calcular la pendiente en grados hay que despejar α

- * En general se considera que: → pendientes en porcentajes → van del 0 al 100 %
→ pendientes en grados → van de 0 a 90°
→ pero, una pendiente del 100% representa una pendiente de 45°

ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN DE LAS PENDIENTES

Para su estudio se debe considerar:

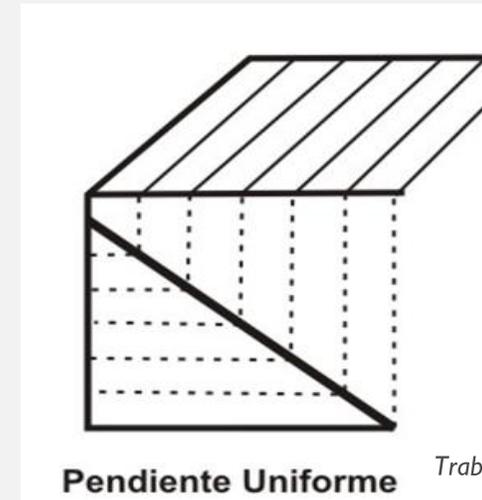
- La forma de la pendiente, en base a la interpretación morfológica y distribución de las curvas de nivel
- Expresión cuantitativa de la pendiente

Clasificación según su Forma → Forma de las Laderas

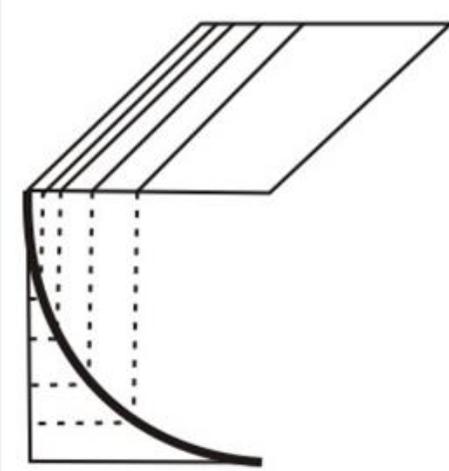
Se basa en el análisis cualitativo de la separación existente entre las curvas de nivel y la regularidad de esta separación.

I) Declives

a) Pendiente Uniforme o recta: terreno con inclinación constante en toda su extensión, que se reconoce en cartas topográficas por la separación uniforme de las curvas de nivel.

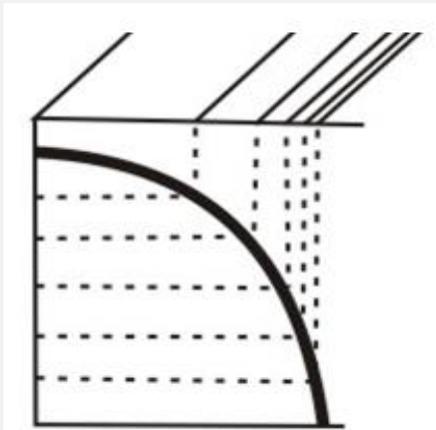


b) Pendiente cóncava: presentan un perfil cóncavo. Se reconocen en las cartas porque las curvas de mayor valor son las que están mas próximas entre si y las curvas de menor valor se van separando cada vez más.

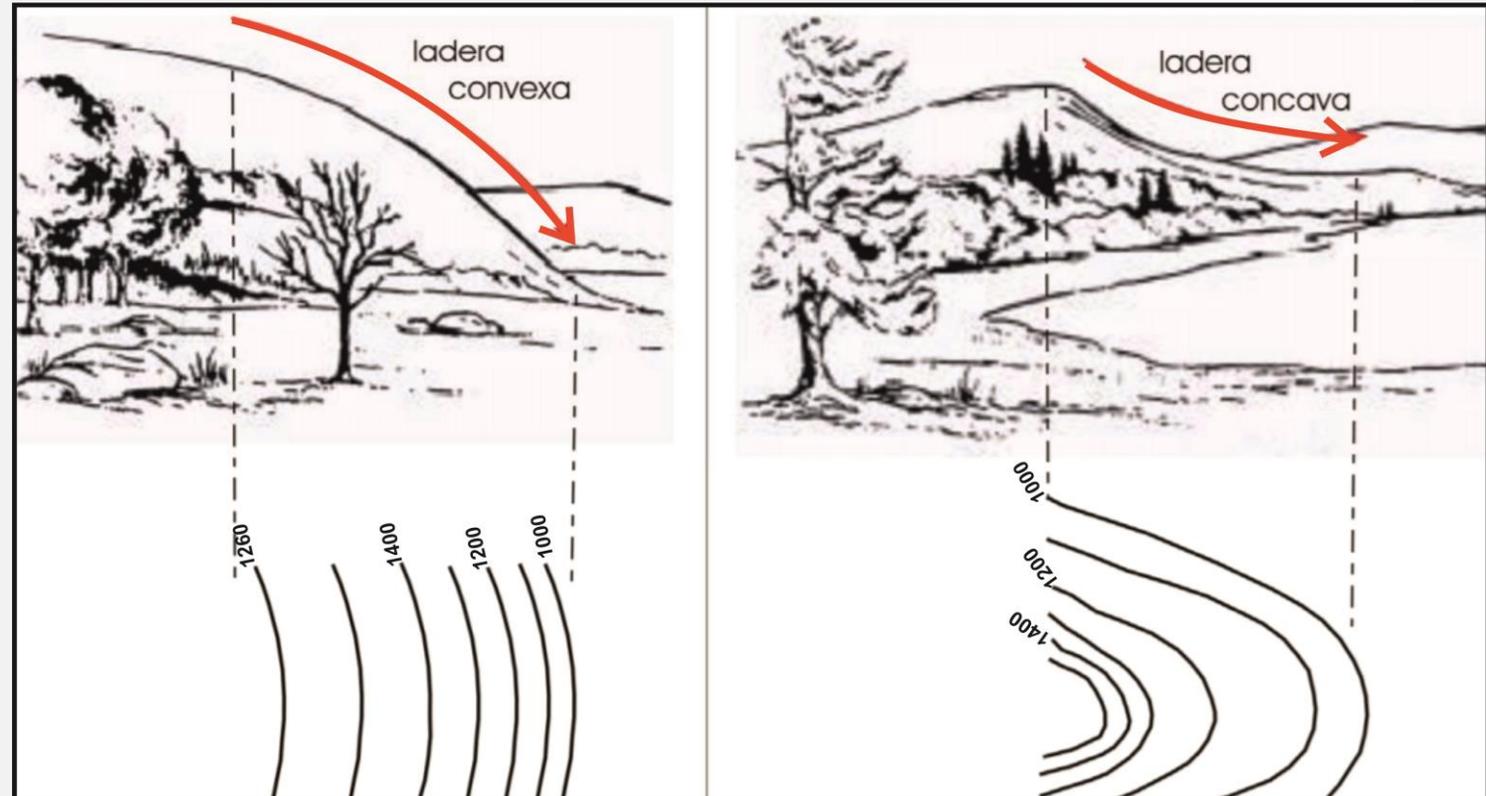


Pendiente Cóncava

c) Pendiente convexa: el relieve presenta un perfil convexo. Se reconocen en la carta porque las curvas de menor valor son las que están más juntas, separándose cada vez más las curvas de mayor valor.



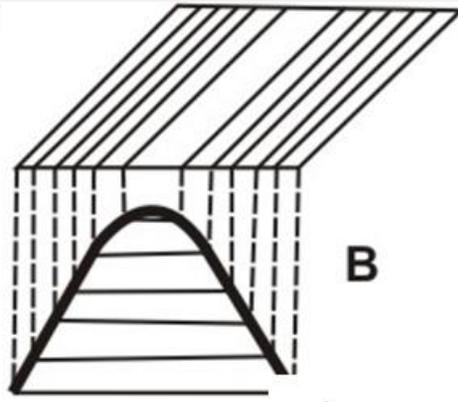
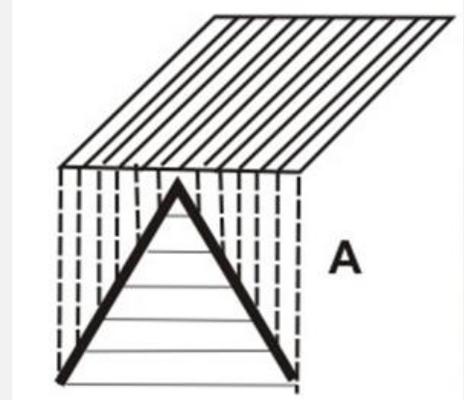
Pendiente Convexa



2) Cimas:

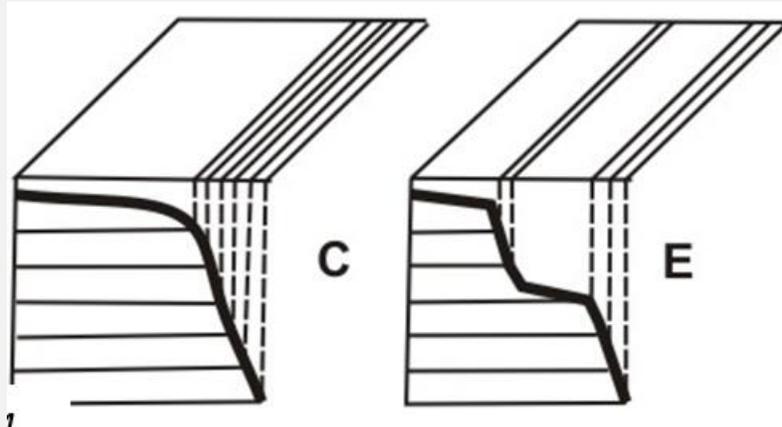
Las laderas según la forma de su dorsal y talweg se clasifican en:

a) Agudas: el terreno presenta una elevación constante en toda su extensión, reconociéndose en la carta por la separación uniforme de las curvas de nivel. Las curvas de menor valor encierran a las de mayor valor; suele presentar laderas con pendiente abrupta.



b) Redondeadas: el terreno presenta una inclinación constante en las laderas y forma redondeada en la cumbre. Sus vértices o laderas son medias a suaves.

c) Rectas: en las laderas el terreno presenta una mayor inclinación (curvas de nivel más próximas) que en la cumbre, (curvas de nivel más distanciadas)



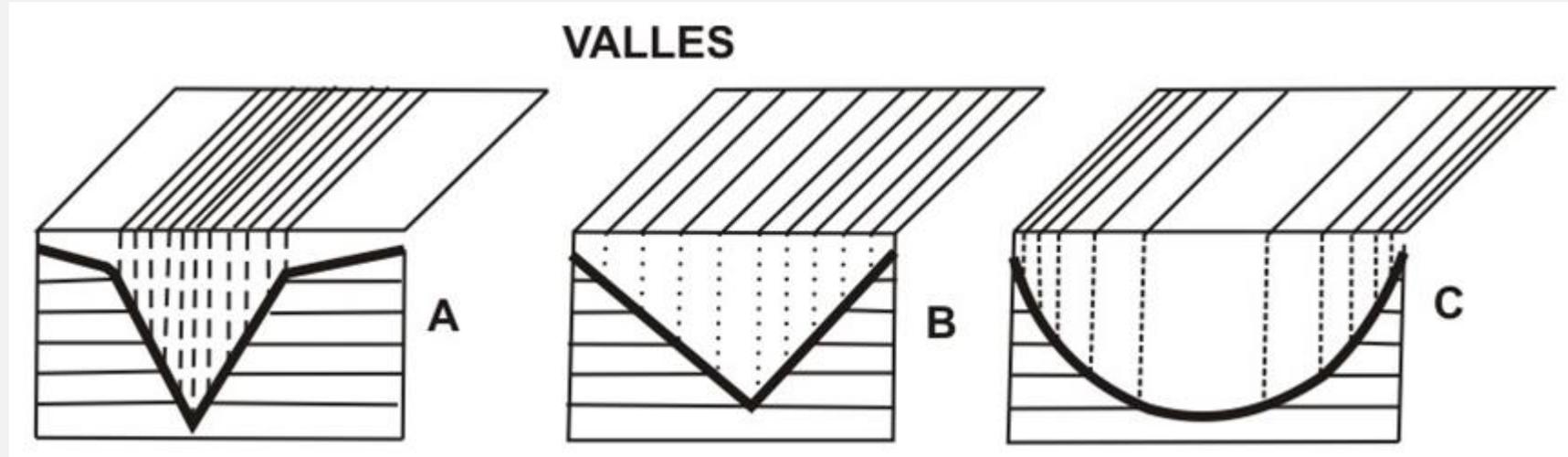
d) Escalonadas: en las zonas donde el terreno se asemeja a escalones toma la denominación de "terrazas", estas se reconocen por que las curvas de nivel se agrupan de a dos, ya que las pendientes en dichos tramos es 'casi nula.'

3) Valles:

a) En cañón o desfiladero: las laderas son muy abruptas. Las curvas de nivel en el valle están muy próximas entre sí.

b) Abierto: la abertura de ángulo de la “V” depende de la etapa o grado de erosión en que se encuentre el valle. Entre este caso es un valle joven y relativamente profundo.

c) Arquado: valles que se han alcanzado la madurez, que son más anchos y se van ensanchando progresivamente, siendo cada vez menos profundos.



Clasificación Cuantitativa (basada en Scholz, 1972 y FAO, 2009)

Pendiente Grados	Pendiente %	Morfología más común	Procesos básicos	Observaciones
0 – 30' Plano	0 - 0,5 %	Llanura aluvial, llanura proglaciar, superficies de erosión y terrazas	Ausencia total de lavado y deslizamientos	Adecuado para cultivos, urbanización, infraestructura viaria, etc.
30' – 2° Casi Plano	0,5 - 1 %	Similar al anterior; sandur*, planicies onduladas, pedimentos y relieves tabulares	Gelifluxión, regueros poco incisivos, solifluxión incipiente	Ídem anterior
2° - 5° Débilmente inclinado	1 - 5 %	Ondulado en zonas de tills (morrenas) basales, drumlis**, fondos de valle y relieves tabulares	Movimiento en masa, solifluxión, procesos fluviales, inicio de erosión en reguero y lavado	Riesgo de erosión del suelo en zonas de cultivo. Aceptable para asentamientos urbanos
5° - 15° Muy inclinado	5 – 15 %	Valles en montañas medias, morrenas terminales y relieves estructurales monoclinales tipo cuesta	Movimientos en masa, erosión en manto y reguero, fenómenos de creep, inicio de deslizamientos	Transporte difícil con vehículo, poco apto para infraestructuras. Difícil cultivo mecanizado (imposible si la Pendiente > 7°)

* planicie suavemente inclinada dispuesta hacia la margen exterior de las morrenas frontales.

** loma alargada compuesta de material morrénico (till), de 1 a 15 km de longitud, hasta 2-3 km de anchura, y hasta 25 m de altura.

Clasificación Cuantitativa (basada en Scholz, 1972 y FAO, 2009; continuación)

Pendiente Grados	Pendiente %	Morfología más común	Procesos básicos	Observaciones
15° - 25° Débilmente Escarpado	15 - 30 %	Laderas en montañas medias, escarpes de falla, terrazas, etc. Relieves estructurales monoclinales tipo cuesta	Erosión lineal incisiva, peligro de destrucción del suelo, conos de deyección, deslizamientos y caídas de detritos	25° es el límite de geliflujión. Terreno adecuado para bosque y pastoreo. No apto para infraestructuras
25° - 35° Escarpado	30 – 45 %	Relieves estructurales tipo hogbacks*, crestas y acantilados costeros en areniscas, calizas, o similares	Erosión lineal muy incisiva, riesgo extremo de erosión del suelo, deslizamientos, caídas, avalanchas, etc.	Límite de vehículos especiales, no apto agricultura ni construcción. Adecuado para bosque
35° - 55° Precipicio	45 – 60 %	Escarpes en gargantas, crestas y acantilados en areniscas, calizas, o similares.	Caídas en masa, deslizamientos y colapsos	Terreno límite para uso forestal y paso caminando
> 55° Vertical	> 60 %	Cornisas y acantilados en calizas, areniscas o similares	Caídas, colapsos, deslizamientos y desagregación granular	De difícil utilización, terreno muy escarpado.

* Cresta con laderas aproximadamente simétricas, de roca resistente, con una inclinación mayor a 15°, que se corresponde con la de los estratos, en la mayoría de los casos, en estructura monoclinial. También conocido como “lomo de cerdo”.

Articulación entre segmentos de pendiente a lo largo de un perfil topográfico

Se trata de analizar las variaciones en la inclinación según su tendencia altimétrica. Para ello se definen los siguientes parámetros:

- **Variaciones en la pendiente:** toda modificación en el valor de la inclinación del terreno. Estas pueden ser: **progresivas**, cuando no se detecta ninguna inflexión; **cambios**, si hay inflexiones suaves; y **rupturas**, si hay inflexiones netas.

- **Segmento:** cada porción comprendida entre dos cambios o rupturas de pendiente sucesivas. Pueden ser: **horizontal o sub-horizontal**, terreno poco inclinado con pendiente constante, menor de $3-5^\circ$; **rectilíneo**, terreno inclinado, con pendiente constante, superior a $3-5^\circ$; **cóncavo**, terreno inclinado, de pendiente variable progresivamente creciente con la altura; **convexo**, terreno inclinado, de pendiente variable progresivamente decreciente con la altura. Cóncavo y convexo se determinan tomando como referencia la situación del observador y no el concepto matemático (valor relativo de la función, respecto a la tangente en un punto).

Variaciones en la pendiente: decaimiento progresivo formando un *glacis* de vertiente, disectado por la red hidrográfica.



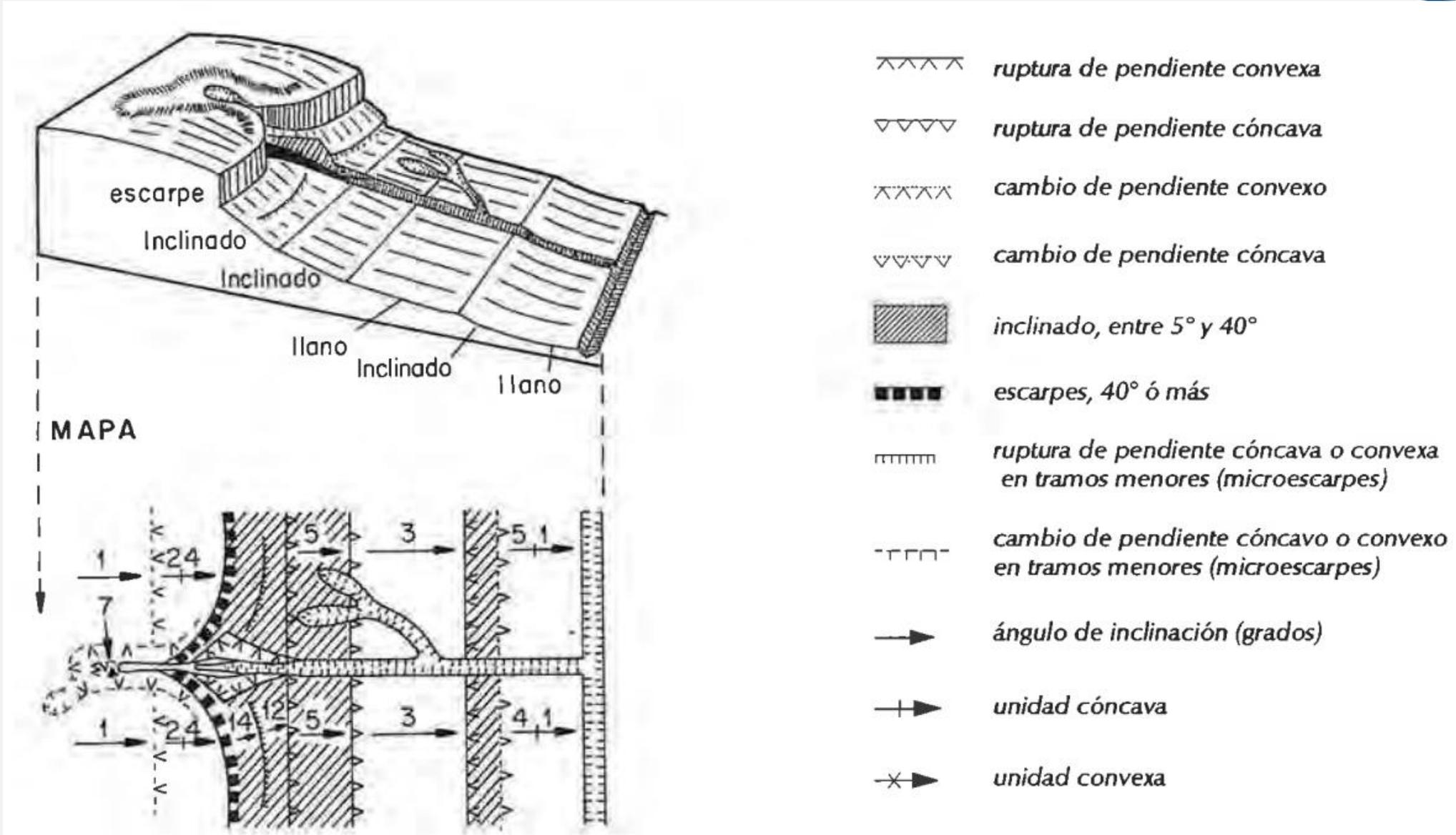
Variaciones en la pendiente: ruptura entre un acantilado o cornisa calcárea y su talud de derrubios (relieve estructural)

INDIVIDUALES: tipos de superficies

Tipo	Plana			Cóncava			Convexa		
	+	(Inclinación)	-	horizontal (disposición del eje de curvatura)	vertical	horizontal (disposición del eje de curvatura)	vertical	horizontal (disposición del eje de curvatura)	vertical
Trazado									
° de pend.	Vertical subvertical	Rectilínea	Horizontal subhorizontal	Vertical subvertical	Rectilínea	Horizontal subhorizontal	Vertical subvertical	Rectilínea	Horizontal subhorizontal
ángulo (α)	α ≈ 90°	90° > α > 0°	α ≈ 0°	α → creciente	α < 90°	α ≈ 90°	α → decreciente	α < 90°	α ≈ 90°
Expresión más común en isohipsas									

ASOCIACIONES (topología)

Del mismo tipo	Diédricas			Bicóncavas		Biconvexas	
	Elementos base			Cilíndricas (teja)	Cónicas-troncocónicas	Cilíndricas (teja)	Cónicas-troncocónicas
Articulación en serie							
Fisonomía	Valle en V, artesa plana, arista, pirámide, cuesta, hombrera, terraza, depresión, mesa, etc.			Teja, canal, artesa, valle en U, tubo, cráter, circo, dolina, hoyo, caldera, pozo, depresión, etc.		Loma o lomo, domo, yelmo, columna, campana, pico, cerro, aguja, etc.	
Mixtas	Dan las formas del relieve según la articulación de geometrías de todo tipo (planas, cóncavas, convexas, bicóncavas, biconvexas, cilíndricas, etc.) y con inclinaciones múltiples.						



Simbologías utilizadas en la cartografía morfométrica (según Savigear, 1965, en de Pedraza Gilsanz, 1996).

Análisis de Pendientes aplicado a una cuenca hidrográfica

La importancia del gradiente de pendiente de una cuenca radica en la influencia, indirecta, que éste posee sobre el tiempo de concentración, por medio de la velocidad de escurrimiento. Diferentes autores han concluido que cuencas de pendientes elevadas poseen una esorrentía más veloz y, por lo tanto, sus hidrogramas tienden a responder más rápidamente a la precipitación, incrementando los caudales punta (González de Matuco, 2004). Por ello, se suele caracterizar al relieve de una cuenca a través de un índice denominado **pendiente media de la cuenca**.

Heras (1972) define a la **pendiente media de la cuenca** como la *media ponderada de todas las pendientes correspondientes a áreas elementales, en las cuales es posible considerar constante la máxima pendiente*. Si bien existen variadas expresiones y metodologías que permiten su determinación. El método comúnmente empleado está basado en el área entre curvas de nivel con el empleo de la siguiente fórmula: $Pend = \frac{D * L}{A}$; donde: D = intervalo entre curvas de nivel; L = longitud total de las curvas de nivel dentro de la cuenca; A = área de la cuenca.

Tanto Guilarte (1978) como diversos autores llegaron a la conclusión de que la pendiente media si bien puede resultar útil para comparar cuencas, implica representar la totalidad de la cuenca mediante un único valor de pendiente, apartándose así de la realidad. Por ejemplo, es posible que dos cuencas posean el mismo valor de pendiente media, pero diferentes *perfiles hipsométricos*. Por este motivo, y en virtud de los beneficios que otorgan los SIG, hoy en día es más frecuente trabajar con modelos de elevación digitales del terreno, con los cuales es posible obtener campos de pendientes, siendo clave para ello la resolución del MDE empleado.

Clasificación de pendientes aplicada al análisis de cuencas

A lo largo del amplio abanico de trabajos y bibliografía disponibles se observaron numerosas clasificaciones de pendientes. **La regla general es aplicar una clasificación que se ajuste correctamente a las condiciones propias de cada terreno que se estudia y que se ajuste mejor a cada caso particular.**

Clases e intervalos de pendientes, → basados en FAO (1994) y en Van Zuidam (1986).

CLASE	PENDIENTES (%)	PENDIENTES (°)	DESCRIPCIÓN (FAO)	PROCESOS EROSIVOS
1	0 - 11,27	0 - 5,68	Ligeramente inclinado	Planicies o pendientes muy bajas. Escaso o nulo peligro de erosión.
2	11,27 - 22,53	5,68 - 11,35	Moderadamente inclinado	Pendientes muy bajas a bajas, con leves peligros de erosión.
3	22,53 - 33,80	11,35 - 17,03	Fuertemente inclinado	Pendientes bajas, con peligro medio de erosión.
4	33,80 - 45,07	17,03 - 22,71	Algo escarpado	Pendientes moderadas, con deslizamientos ocasionales y elevado peligro de erosión.
5	45,07 - 56,04	22,71 - 28,38	Escarpado	Pendientes fuertes, con considerables procesos denudacionales. Severo peligro de erosión.
6	> 56,04	> 28,38	Muy escarpado	Pendientes muy fuertes. Afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos, caída de rocas.

ANÁLISIS HIPSOMÉTRICO – CURVA HIPSOMÉTRICA

El **análisis hipsométrico** es el estudio de la distribución de las áreas de la superficie topográfica con respecto a la *altitud*. La relación área-altitud se describe mediante la **curva hipsométrica** (o **curva hipsográfica**). Esta curva se obtiene al dibujar las alturas y profundidades en el eje de las ordenadas, desde la cuenca alta o zona de cabecera (el punto más alto) hasta la profundidad máxima de fosas o depresiones, y en el eje de las abscisas se dibujan los valores de las superficies o áreas topográficas.

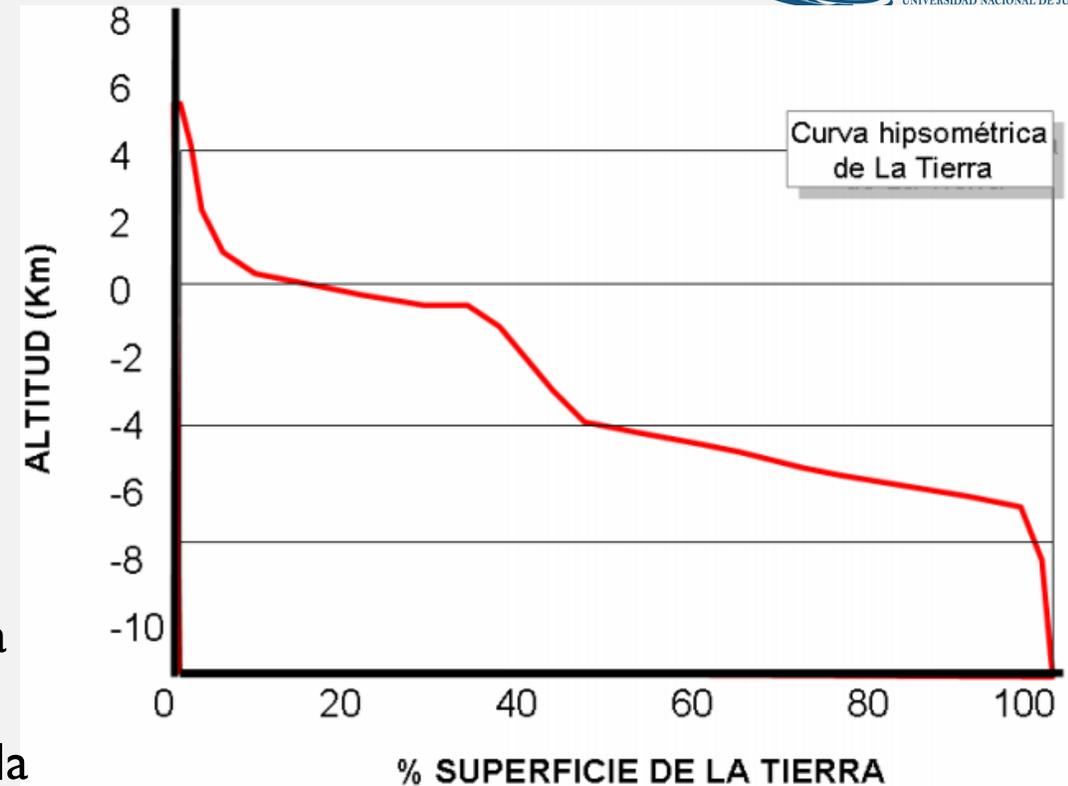
Es una curva acumulativa: cualquier punto de la abscisa expresa el área total que yace por encima de la elevación correspondiente a la ordenada de dicho punto.

La **curva hipsométrica absoluta** puede construirse para cualquier área de tierra, desde una pequeña porción hasta todo el planeta. Sin embargo, su uso no es satisfactorio cuando es necesario comparar zonas de diferente tamaño y relieve. Para superar esta dificultad, se puede utilizar el análisis hipsométrico porcentual, ya que ofrece un método para expresar las relaciones área-altitud en una forma adimensional (Langbein 1947).

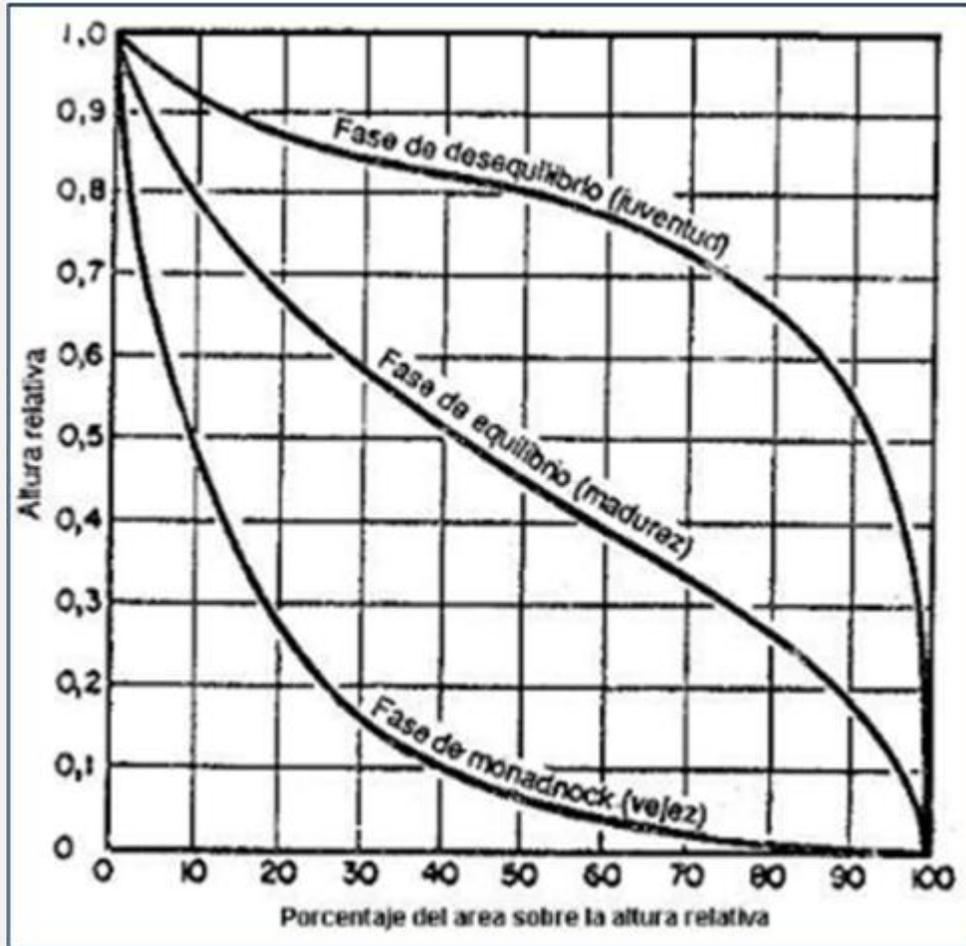
La **curva hipsométrica porcentual** fue utilizada por Strahler (1952) para analizar la topografía erosiva de las cuencas de drenaje que constituyen la unidad geomórfica básica y permite establecer cómo se distribuye, desde arriba hacia abajo, la masa de una cuenca. Esta curva está representada por la función $y = f(x)$, pero x e y son parámetros adimensionales: x es la relación entre el área a por encima de una determinada curva de nivel y el área total de la cuenca (A); y es la relación entre la altura h entre la salida de la cuenca y el contorno que define el límite inferior del área a y el rango total de altura en la cuenca (H). Obviamente, x e y varían entre 0 y 1.

Estas curvas pueden compararse independientemente de la escala real ya que sólo expresan la forma en que se distribuye la masa terrestre distribuida desde la base hasta la cima. En general poseen forma sigmoïdal: en su parte superior es cóncava hacia arriba, mientras que en la sección inferior es convexa; tanto su sinuosidad como la pendiente en su puntos de inflexión son variables.

Dado que esta curva se ve modificada en función de la altura relativa, y considerando la hipótesis de que una cuenca sufre denudación cuando la relación altura/área cambia con el tiempo, la gráfica permite la estimación del estado de equilibrio dinámico potencial. Así, el valor del área relativa que se halla por debajo de la integral hipsométrica, **es indicativo del estado de desarrollo en el que se encuentra la cuenca:**



- *Fase de desequilibrio*, valores superiores al 60%. *Etapa de juventud*, en el sentido davisiano. Es decir, la cuenca presenta un gran potencial erosivo.
- *Fase de equilibrio*, valores cercanos al 47% *Etapa de madurez*.
- *Fase de monadnock*, valores inferiores al 30%. *Etapa de senectud*, lo cual implica mayor sedimentación respecto a la erosión.



Curvas hipsométricas características del ciclo de erosión, según Strahler (1952). Imagen tomada de Guerra et al., (2002)

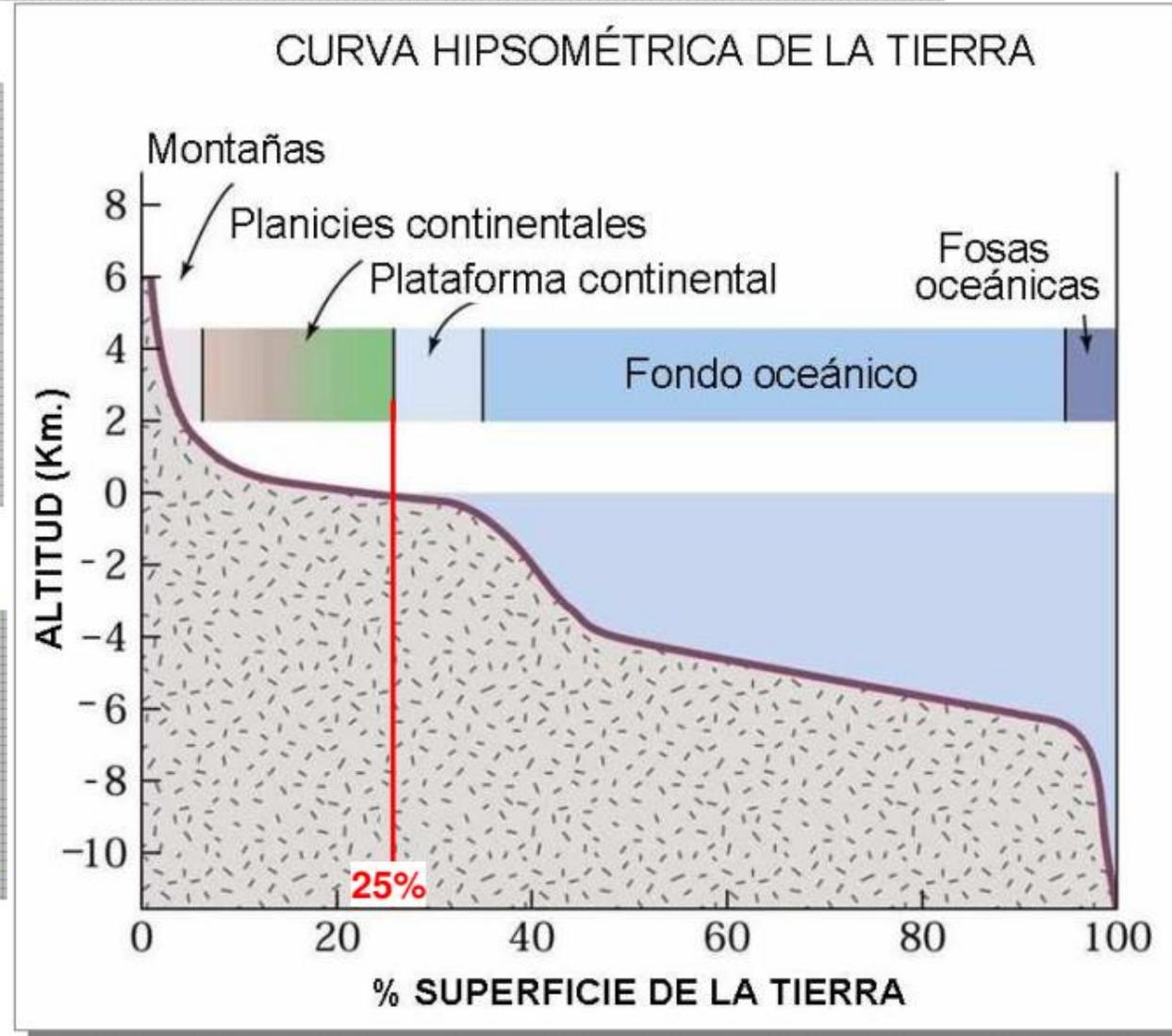
En general, se ha observado que las variaciones de las curvas hipsométricas, tanto respecto de las teóricas como por la presencia de más de un punto de inflexión, se relacionan con cuencas con fuertes controles tectónicos o litológicos, no necesariamente vinculados a la edad de las mismas.

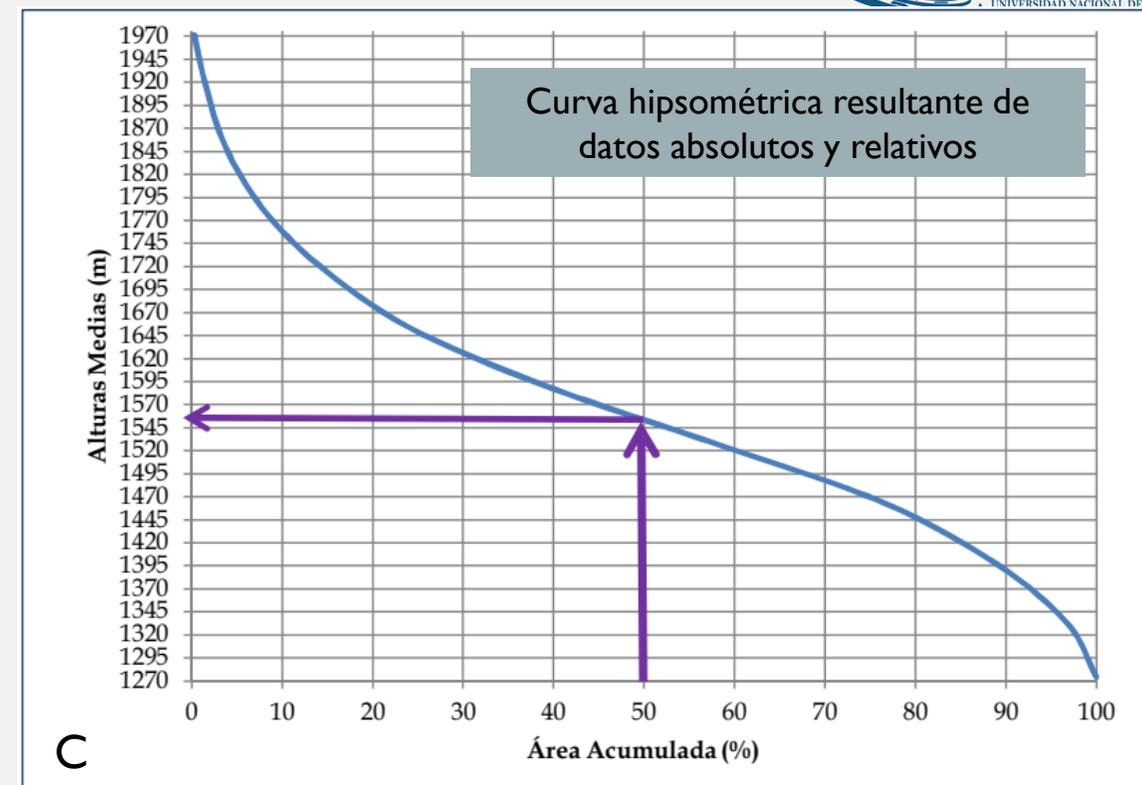
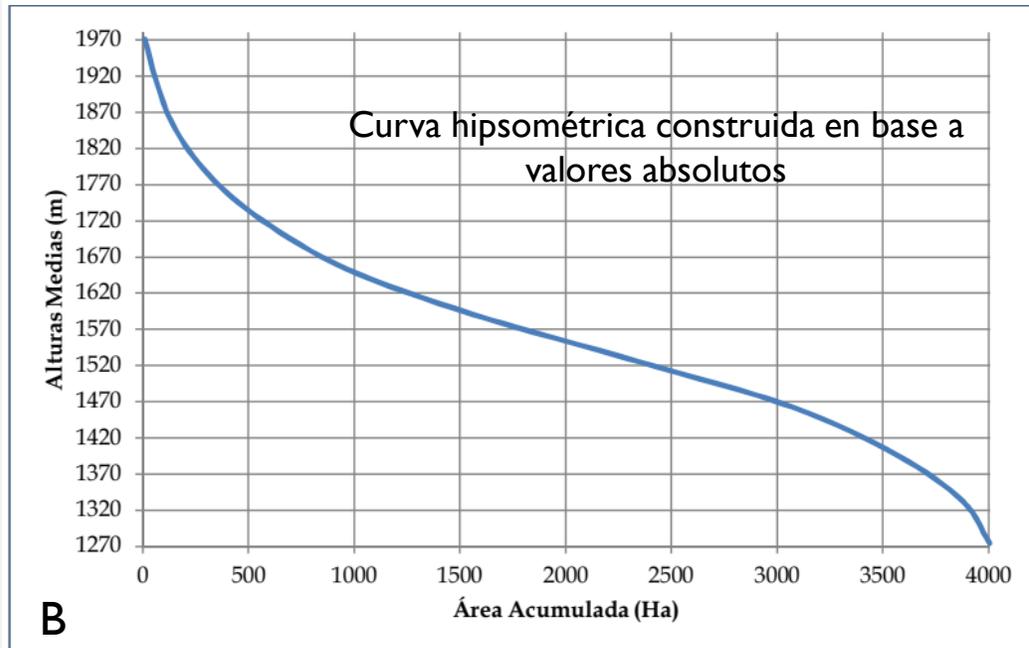
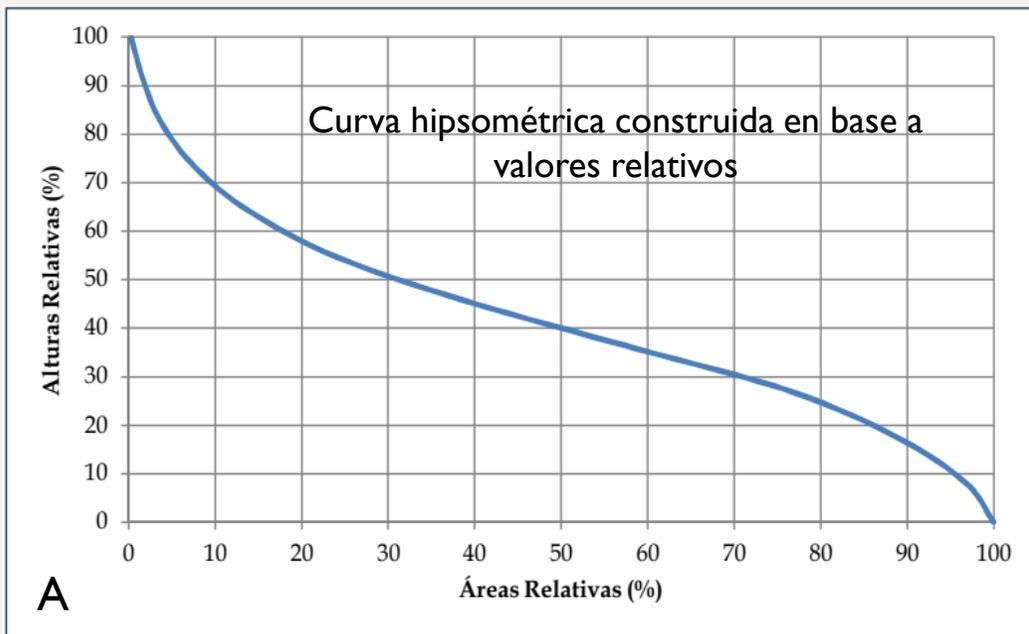
Esta representación gráfica del relieve medio de una cuenca también puede construirse al llevar al eje horizontal las longitudes proporcionales a las superficies proyectadas en la cuenca (ya sea en km^2 o ha), comprendidas entre curvas de nivel consecutivas hasta completar la superficie total; y en las ordenadas las alturas de las curvas de nivel consideradas. *Esta metodología de representación permite hallar la elevación media de la cuenca, considerando a la curva hipsométrica como si se dividiera el volumen total del relieve de la cuenca sobre su superficie proyectada, ingresando por el eje que representa el área con el valor correspondiente al 50% y leyendo el valor de cota correspondiente.*

Una curva hipsométrica del planeta describiría como está distribuida la superficie de la corteza terrestre, desde la Fosa de Las Marianas (-10994 m) hasta el Everest (8848 msnm)!!!

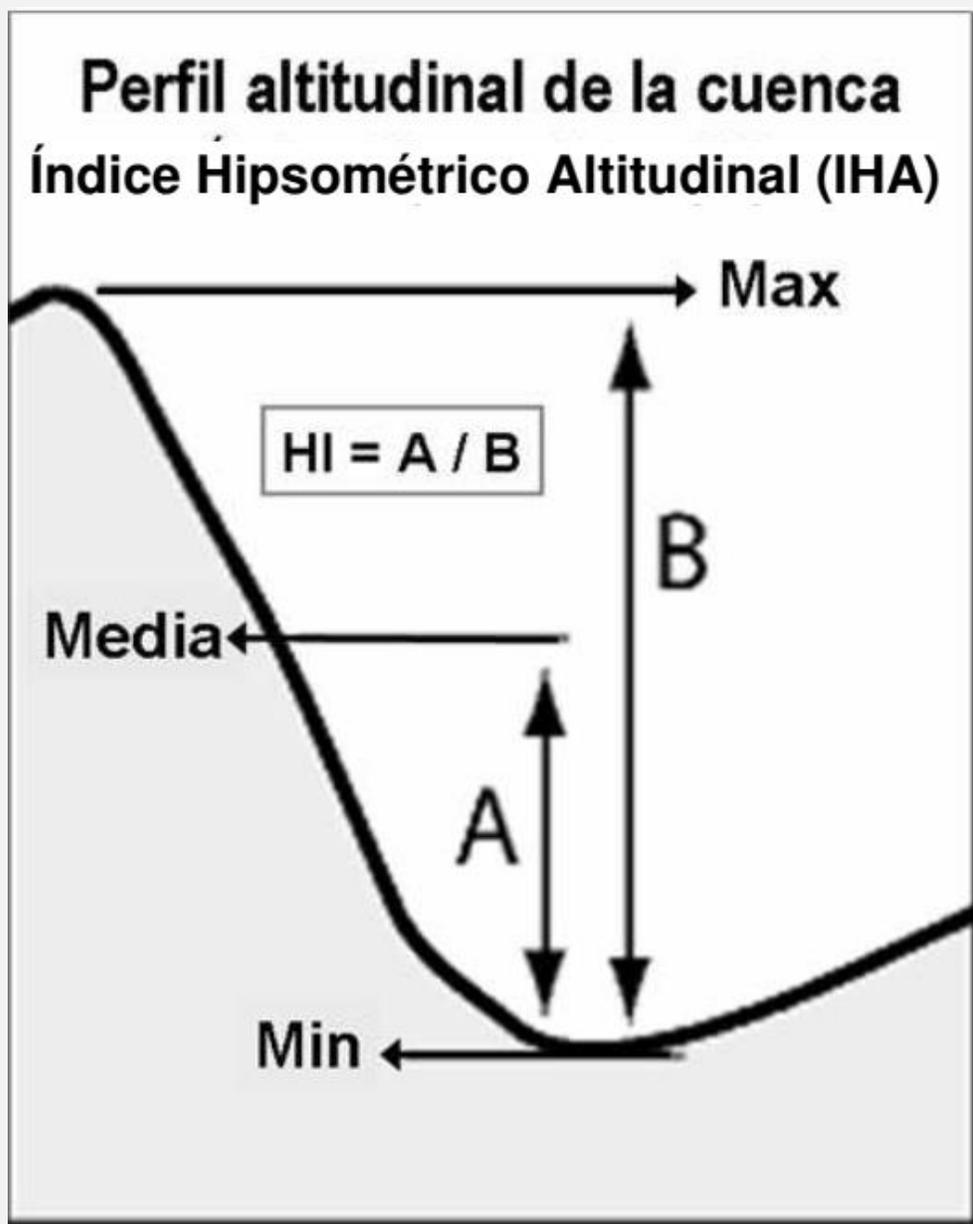
En esta figura se describe como 25% de la superficie de la litosfera está emergida por sobre el nivel del mar, y el 75% restante está cubierto por los océanos.

La curva hipsométrica en este caso nos ilustra la magnitud de la extensión de la corteza continental y la corteza oceánica.





Con cualquiera de las tres maneras de obtener la curva, el resultado es prácticamente el mismo. Sin embargo, la curva de la Figura A permite la comparación de la misma con las curvas teóricas propuestas por Strahler y, a su vez, la comparación con curvas de otras cuencas hidrográficas. La curva de la Figura C permite hallar gráficamente el valor de la elevación media de la cuenca.



INDICE HIPSONOMETRICO ALTITUDINAL (IHA)

- El índice hipsométrico (IHA), llamado también tasa de elevación / relieve, puede ser calculado para cualquier cuenca.
- El IHA, resume a grosso modo el relieve de una cuenca, puede usarse como un índice general del proceso erosivo.
- El IHA es útil al comparar diferentes cuencas, determinando cuencas anómalas en una misma vertiente. Este índice se reporta con dos decimales.

$$IHA = \frac{(Alt.med - Alt.min)}{(Alt.max - Alt.min)}$$

IHA = Índice Hipsométrico Altitudinal
Alt.med = Altitud media de la cuenca
Alt.min = Altitud mínima de la cuenca
Alt.max = Altitud máxima de la cuenca

CURVA HIPSOMÉTRICA. FORMA DE LA CURVA	PAISAJE PREDOMINANTE EN LA CUENCA	FORMAS y PROCESOS EROSIVOS	EJEMPLOS
CONVEXA	Gran parte del área de la cuenca está en las altitudes medias y altas. Cuenca con altiplanos, lomas de suave pendiente, valles extensos y cumbres escarpadas.	Predominan procesos erosivos activos, deslizamientos, cárcavas, reptación, formas periglaciares. Cauces de ríos jóvenes.	Páramos andinos, áreas de montaña alta, altiplanicies.
CONCAVA	El área de la cuenca se concentra en las partes bajas. Valles profundos encajonados, amplios abanicos aluviales, piedemontes y sabanas.	Predominan procesos sedimentarios fluviales y aluviales activos, canalización y entallamiento de los cauces, gran parte del material ha sido erosionado y depositado en las partes mas bajas de la cuenca. Cauces de ríos viejos.	Áreas de montaña baja, valles del piedemonte andino.
APLANADA	Cuencas o secciones de cuencas de sistemas montañosos en equilibrio, abanicos aluviales, valles de piedemonte.	Procesos agradativos y degradativos en equilibrio. Cauces de ríos maduros.	Valles de montaña baja y clima seco.

Índices Hipsométricos (IHA) (IHa)	0 - 0,35	0,35 – 0,60	0,60 – 1
Forma de la curva hipsométrica	Cóncava	Aplanada	Convexa
Tipo de cuenca	Sedimentaria, envejecida	Equilibrada, madura	Erosiva, joven
Tipo de río / cauce	Río / cauce viejo	Río / cauce maduro	Río / cauce joven
Procesos geomorfológicos generales	Fluviales y aluvionales	Procesos agradativos y degradativos balanceados	Erosión de vertientes, cárcavas y deslizamientos
Dinámica fluvial general	Drenaje concentrado, erosión basal, baja capacidad de carga	Drenaje concentrado, erosión basal, alta capacidad de carga	Drenaje difusivo, alta capacidad de carga mayor pendiente
Patrones de drenaje predominantes	Paralelo, meándrico, distributivo y anastomosado, sumideros	Rectilíneos, dendrítico, paralelo, distributivo	Dendrítico, radial, angular, rectangular