

# Análisis hipsométrico para la estimación de la evolución geomorfológica de la subcuenca del río Yurma, Mariscal Luzuriaga y Yungay (Áncash, Perú)

## Resumen



**Toribio Reyes Rodríguez**   
treyesr@unasam.edu.pe

Se analizó el comportamiento hipsométrico de la subcuenca del río Yurma, ubicada en las provincias de Mariscal Luzuriaga y Yungay (Áncash), con el objetivo de estimar su evolución geomorfológica. Se aplicó un diseño de investigación no experimental, corte transversal y de nivel descriptivo, empleando datos geoespaciales procesados con el software ArcGIS 10.8.2. Los resultados muestran que la integral hipsométrica es 0,427 y la desviación hipsométrica máxima es 0,184, lo cual indica que la subcuenca se encuentra en una etapa geomorfológica madura, con un relieve parcialmente erosionado y todavía funcional hidrológicamente. Estos indicadores reflejan un potencial erosivo moderado y una dinámica tectónica relativamente estable. Se concluye que el análisis hipsométrico constituye un método de evaluación para estimar el grado de evolución geomorfológica de las cuencas, así como para la planificación territorial y ambiental.

**Palabras clave:** Curva hipsométrica adimensional, Integral hipsométrica, Desviación máxima, Evolución geomorfológica.

“**Cómo citar este artículo:** Análisis hipsométrico para la estimación de la evolución geomorfológica de la subcuenca del río Yurma, Mariscal Luzuriaga y Yungay (Áncash, Perú). (2025). *Aporte Santiaguino*, 18(2), pp. <https://doi.org/10.32911/as.2025.v18.n2.1297>”



Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo - Huaraz - Perú.

Recibido: 2025-09-29 | Aceptado: 2025-08-12

## Hypsometric analysis for estimating the geomorphological evolution of the Yurma, Mariscal Luzuriaga and Yungay river sub-basin (Áncash, Peru)

The hypsometric behavior of the Yurma River sub-basin, located in the provinces of Mariscal Luzuriaga and Yungay (Áncash), was analyzed with the aim of estimating its geomorphological evolution. A non-experimental, cross-sectional, descriptive research design was applied, using geospatial data processed with ArcGIS 10.8.2 software. The results show that the hypsometric integral is 0,427 and the maximum hypsometric deviation is 0,184, indicating that the sub-basin is in a mature geomorphological stage, with partially eroded relief that is still hydrologically functional. These indicators reflect moderate erosion potential and relatively stable tectonic dynamics. It is concluded that hypsometric analysis constitutes an evaluation method to estimate the degree of geomorphological evolution of basins, as well as for territorial and environmental planning.

**Keywords:** Dimensionless hypsometric curve, Hypsometric integral, Maximum deviation, Geomorphological evolution number.

### Introducción

La subcuenca del río Yurma está ubicada en las provincias de Yungay y Mariscal Luzuriaga, específicamente se encuentra en los distritos de Llumpa y Yanama.

La curva hipsométrica se utiliza comúnmente para determinar las áreas situadas por encima o por debajo de una determinada cota topográfica de una cuenca. No obstante, también puede emplearse para la estimación de la evolución geomorfológica de una cuenca. Tanto la integral hipsométrica como la desviación hipsométrica son indicadores importantes del análisis hipsométrico, porque facilitan la

estimación de la evolución geomorfológica de una cuenca.

El objetivo general que orientó el trabajo de investigación fue: Realizar un análisis hipsométrico para estimar la evolución geomorfológica de la subcuenca del río Yurma, ubicada en las provincias de Mariscal Luzuriaga y Yungay (Áncash, Perú).

Vivoni et al. (2008) destacan que la forma hipsométrica de una cuenca influye significativamente en su comportamiento hidrológico. Las cuencas con curvas convexas, propias de terrenos poco erosionados, tienden a generar escurrimientos más rápidas e intensas. En cambio, las cuencas con curvas cóncavas, relacionadas a un mayor grado de erosión, generan escurrimientos más lentos y atenuados, debido a su topografía más llana.

El análisis hipsométrico de las cuencas del Valle del Rift Jordano evidencia que la mayoría de ellas se encuentran en una etapa juvenil de evolución geomorfológica, con valores de integral hipsométrica (HI) elevados, entre 0,63 y 0,88, y curvas convexas que indican procesos activos de erosión (Farhan, Anbarci, Al-Awadhi, 2016).

Bubú (2014) subraya que el análisis hipsométrico es importante para la estimación de la evolución geomorfológica de las cuencas, la forma de la curva hipsométrica está relacionada con la etapa geomorfológica de desarrollo de la cuenca, la curva hipsométrica de una cuenca es afectada por los factores geológicos y climáticos.

La forma de la curva hipsométrica proporciona información importante sobre de erosión de la cuenca y de los factores tectónicos que la controlan (Kim, 2022).

Bras (1990) destaca que en el estudio de la topografía de una cuenca de drenaje se emplea la curva hipsométrica, las diversas formas

de las curvas hipsométricas son causadas por los procesos de levantamiento tectónico y la degradación por erosión.

Bajracharya y Jain (2022) destacan que la curva hipsométrica representa la distribución del área en función de la altitud dentro de una cuenca, siendo una curva importante para la evaluación de su madurez geomorfológica y su evolución erosiva. La forma de la curva, ya sea cóncava o convexa, permite realizar inferencias de procesos hidrológicos relacionados con la escorrentía.

El análisis hipsométrico consiste en el empleo de la curva e integral hipsométrica para estimar el estado evolutivo de la cuenca.

Bras (1990) para transformar la curva hipsométrica a curva hipsométrica adimensional, las áreas acumuladas por encima de una determinada elevación se relativizan o normalizan, también las elevaciones.

Área acumulada relativa por encima de una elevación

$$A_r = \frac{a}{A}$$

Elevación normalizada

$$Z_r = \frac{Z - Z_{\min}}{Z_{\max} - Z_{\min}}$$

La curva hipsométrica adimensional se emplea para la realización del análisis de similitud altimétrica entre dos o más cuencas.

Strahler (1952) propuso una función de dos parámetros para la modelación de las curvas hipsométricas adimensionales:

$$Z_r = \left[1 - (A_r)^a\right]^b$$

Donde  $Z_r$  representa la altitud adimensional y  $A_r$  el área acumulada relativa. Los parámetros  $a$  y  $b$  describen la forma de la curva hipsométrica. Estos parámetros reflejan el estado morfológico de la cuenca y, de manera conjunta, permiten inferir el grado de erosión presente en la misma.

La integral hipsométrica es el área debajo de la curva hipsométrica adimensional, que representa el volumen de una cuenca que aún no ha sido erosionada. La altitud media adimensional de la curva hipsométrica es igual a su integral hipsométrica (Strahler, 1952).

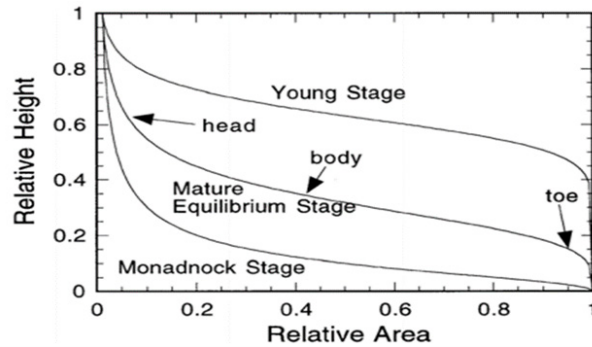
Ranjita (2015) afirma que la forma del relieve influye directamente en la dinámica del escurrimiento en la cuenca. Las cuencas con HI altas generan mayor escorrentía superficial, debido a la velocidad del flujo sobre pendientes fuertes y a la baja capacidad de retención.

La curva hipsométrica adimensional se clasifica según el valor de la integral hipsométrica (HI). Valores de HI mayores a 0.6 indican cuencas jóvenes con poca erosión (curva convexa). Valores entre 0.35 y 0.6 corresponden a cuencas en etapa madura. Valores menores a 0.35 reflejan cuencas antiguas y muy erosionadas (curva cóncava). Esta clasificación permite evaluar el grado de evolución geomorfológica de una cuenca (Duan et al., 2022).

Harsha (2020) presenta las formas de las curvas hipsométricas que se indica en la Figura 1.

## Figura 1

Formas de las curvas hipsométricas adimensionales y estado geomorfológico



Nota. Harsha et al. (2020), basado en Willgoose y Hancock (1998).

## Materiales y métodos

La investigación es de tipo aplicado porque busca emplear el análisis hipsométrico para estimar la evolución geomorfológica de la subcuenca Yurma. Este conocimiento es fundamental para la planificación territorial, la gestión del riesgo por erosión y sedimentación, y el diseño de estrategias de manejo sostenible de cuencas.

La investigación es de nivel descriptivo porque se enfoca en la caracterización hipsométrica de la subcuenca Yurma, con el propósito de determinar su evolución geomorfológica mediante los criterios establecidos por Strahler (1952), quien propuso este método.

El diseño de la investigación es no experimental y transversal. No experimental porque no se manipulan las variables ni se interviene directamente sobre el objeto de estudio. Es transversal porque el análisis se realiza en un momento específico, utilizando

datos geoespaciales para la caracterización de la subcuenca del río Yurma.

La muestra fue seleccionada de manera intencional con el fin de caracterizar hipsométricamente la subcuenca Yurma.

Las cartas nacionales 18h, 18i, 19h y 19i fueron descargadas del portal electrónico del Ministerio de Educación (MINEDU) y procesadas posteriormente con el software ArcGIS 10.8.2, con el objetivo de delimitar la cuenca, obtener los mapas geológico y ecológico, y para construir la curva hipsométrica dimensional y adimensional.

A partir de las áreas parciales adimensionales y las altitudes normalizadas, se ajustó la curva hipsométrica a la ecuación que se indica

$$Z_r = \left[1 - (A_r)^a\right]^b$$

Donde  $Z_r$  es la altitud normalizada y  $A_r$  es el área relativa acumulada de la cuenca del río Yurma.

La integral hipsométrica (HI) de la subcuenca del río Yurma se estimó con la fórmula que se indica

$$HI = \int_0^1 \left[1 - (A_r)^a\right]^b dA_r = \frac{1}{a} B\left(\frac{1}{a}, b+1\right)$$

También se dedujo la expresión que permite calcular la distancia desde un punto de la curva hipsométrica adimensional hasta dicha línea de equilibrio, la cual está dada por la siguiente ecuación

$$d = \frac{Z_r + A_r - 1}{\sqrt{2}}$$

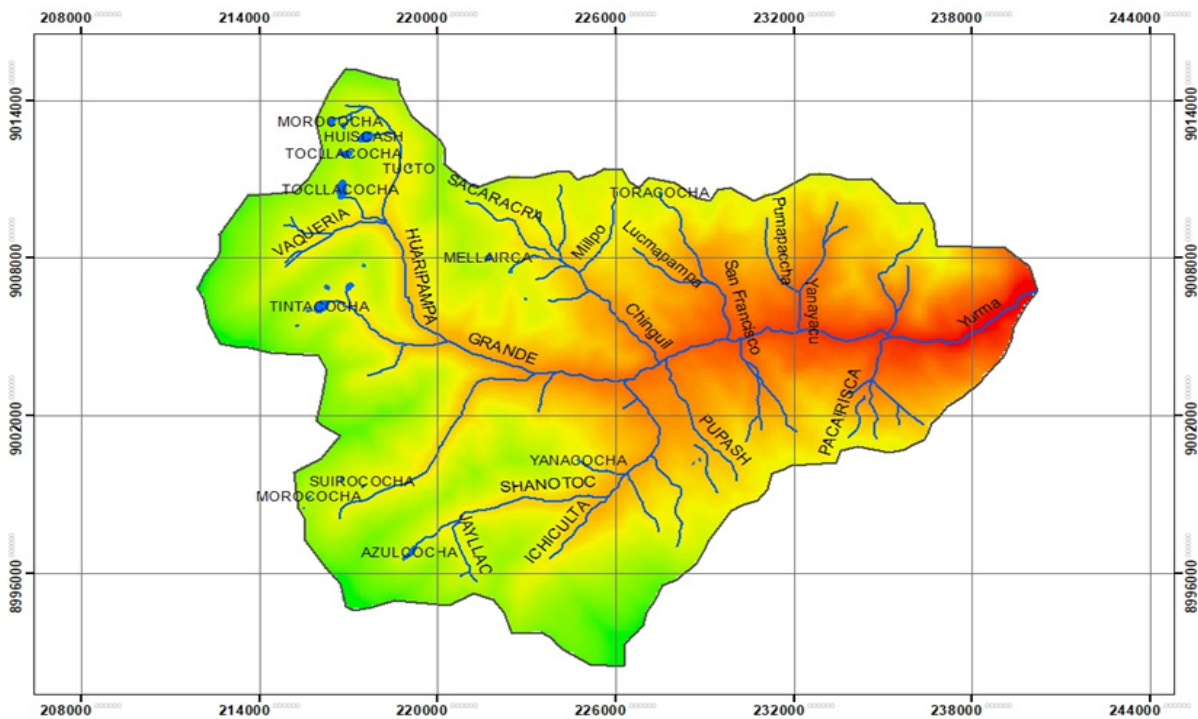
## Resultados

La subcuenca del río Yurma tiene un área de 350 km<sup>2</sup> y un perímetro de 91 km, coeficiente de Gravelius 1,362. La coordenada UTM – WGS84 del centroide de la subcuenca Yurma

es (224910 m, 9004083 m), la elevación en la cuenca varía de 2399.92 m s. n. m. hasta 6196.79 m s. n. m. En la Figura 2 se indica el mapa de la subcuenca Yurma.

### Figura 2

Mapa de la subcuenca del río Yurma

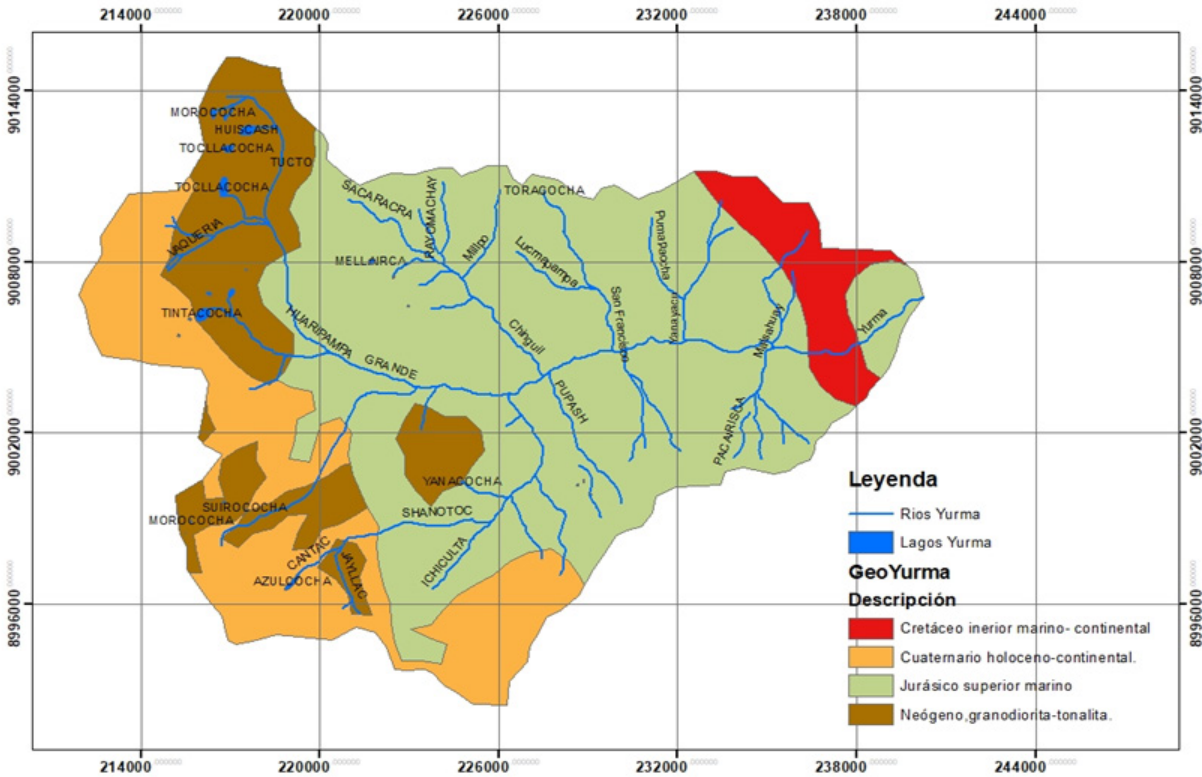


La subcuenca del río Yurma presenta una diversidad litológica acorde con una compleja evolución geodinámica. Predominan unidades sedimentarias marinas del Jurásico Superior (59,41 %) y del Cretáceo Inferior (19,73 %), constituidas principalmente por lutitas, calizas y areniscas, que son litologías de resistencia intermedia a baja, susceptibles a la erosión. También se reconocen rocas ígneas intrusivas del Neógeno (15,97 %) de mayor resistencia,

y depósitos cuaternarios aluviales recientes (4,89 %), fácilmente erosionables. Tiene un relieve moderadamente erosionado, lo cual es consistente con la presencia dominante de rocas sedimentarias mesozoicas, parcialmente erosionadas, y con la dinámica geomorfológica activa evidenciada por los depósitos recientes y la incisión fluvial. En la Figura 3 se indica el mapa de las unidades geológicas en la subcuenca Yurma.

Figura 3

Mapa de unidades geológicas en la subcuenca Yurma

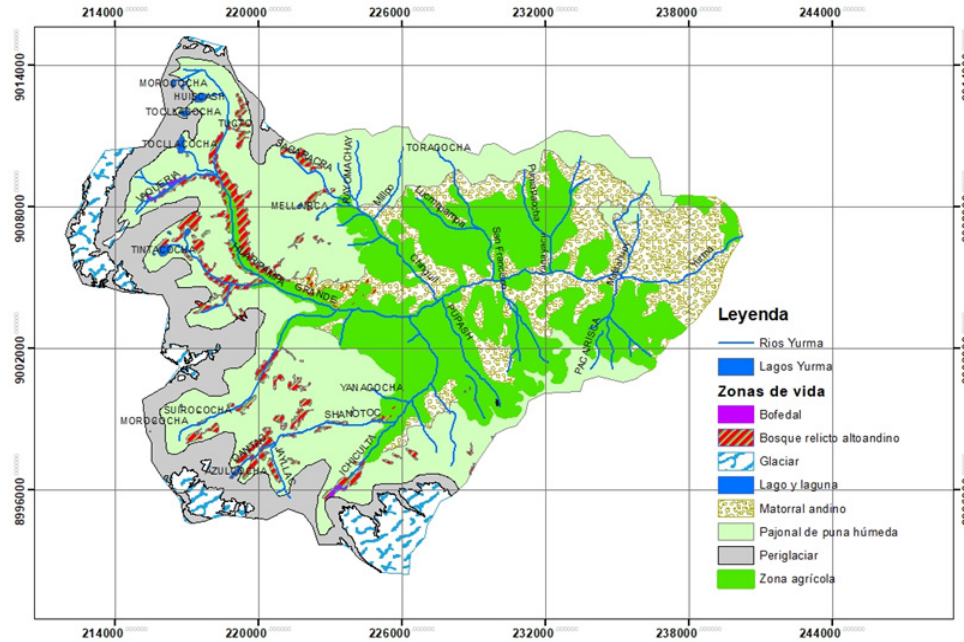


En la Figura 4, se indica el mapa de las zonas de vida de la subcuenca del río Yurma. La subcuenca del río Yurma presenta una variedad de zonas de vida distribuidas según la altitud y forma del relieve. Predominan los pajonales de puna húmeda y el matorral andino en sectores altos,

mientras que las superficies agrícolas se ubican en zonas intermedias con pendientes moderadas. Las coberturas glaciaria y periglaciaria ocupan las partes más elevadas, y otras coberturas, como bosque relicto y cuerpos lacustres, son escasas y localizadas.

### Figura 4

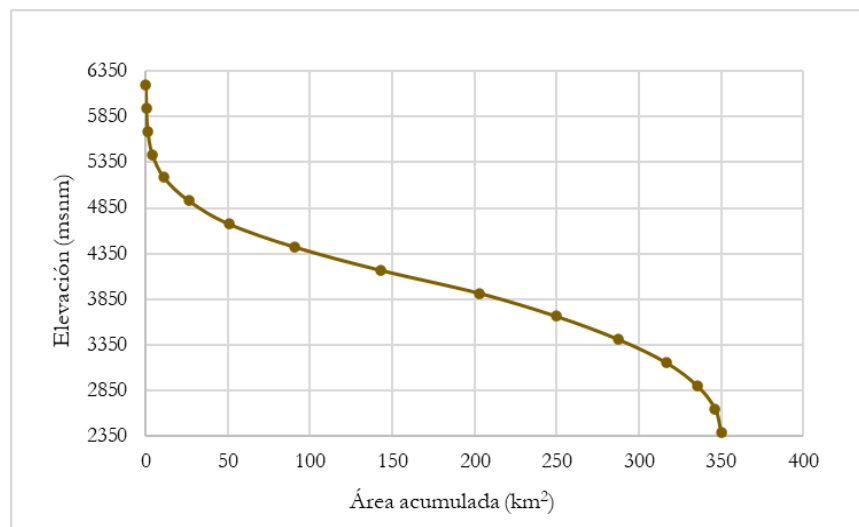
Zonas vida de la cuenca del río Yurma



En la Figura 5 se indica la curva hipsométrica de la subcuenca Yurma.

### Figura 5

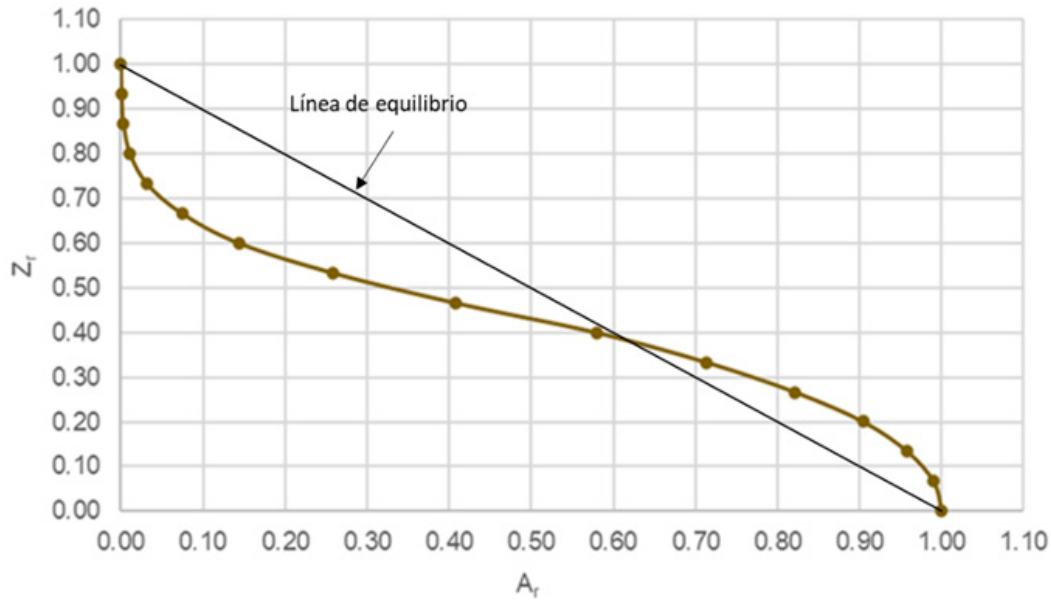
Curva hipsométrica de la subcuenca Yurma



En la Figura 6 se indica la curva hipsométrica adimensional y la línea de equilibrio de la subcuenca Yurma.

### Figura 6

Curva hipsométrica adimensional y línea de equilibrio de la subcuenca Yurma



La curva hipsométrica de la subcuenca Yurma que se obtuvo se indica:

$$Z_r = \left[ 1 - (A_r)^{0.196} \right]^{0.415}$$

$$R^2 = 0.998$$

La integral hipsométrica de la subcuenca Yurma es igual a 0,427 que se obtuvo desarrollando la integral que se indica mediante la función beta (B)

$$HI = \int_0^1 \left[ 1 - (A_r)^{0.196} \right]^{0.415} dA_r = 0,427$$

Considerando que la integral hipsométrica es igual a la altitud media adimensional de la cuenca se obtuvo la altitud media de la cuenca

$$Z_m = (1 - HI)Z_{min} + (HI)Z_{max}$$

$$Z_m = 4021.18m.s.n.m.$$

Las desviaciones hipsométricas, entendidas como las distancias entre la curva hipsométrica y la línea de equilibrio, se calcularon mediante la siguiente ecuación:

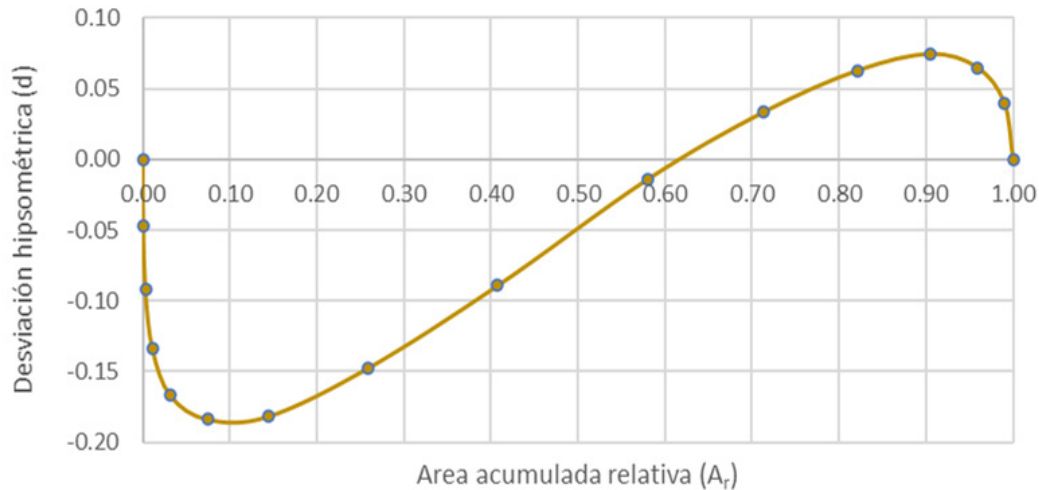
$$d = \frac{\left( \left[ 1 - (A_r)^{0.196} \right]^{0.145} + Ar - 1 \right)}{\sqrt{2}}$$

La desviación hipsométrica máxima es 0,184 en punto (0,075 y 0,667)

En la Figura 7, se indica el gráfico de las desviaciones hipsométricas versus el área acumulada relativa.

## Figura 7

### Desviaciones hipsométricas de la subcuenca Yurma



## Discusión

El valor de la integral hipsométrica (HI) de 0,427 indica que la subcuenca del río Yurma se encuentra en una etapa geomorfológica madura, según la clasificación de Duan et al. (2022). Este valor indica que el relieve ha sido sometido a una evolución erosiva intermedia. La subcuenca Yurma conserva una topografía activa desde el punto de vista hidrológico, con pendientes capaces de generar escorrentía, pero también evidencia procesos erosivos sostenidos en el tiempo.

Desde el punto de vista geológico, la predominancia de rocas sedimentarias del Jurásico Superior (lutitas, calizas y areniscas), que representan el 59,41 % del área, confirma la vulnerabilidad a procesos de erosión hídrica. Esta susceptibilidad explica, en parte, la geomorfología actual de la cuenca. La presencia de rocas ígneas intrusivas neógenas (15,97 %), más resistentes a la erosión, condiciona localmente el relieve y actúa como barrera natural frente al avance erosivo. Los depósitos cuaternarios aluviales

(4,89 %) sugieren una dinámica geomorfológica reciente activa.

La zonificación de vida de la subcuenca Yurma refuerza el diagnóstico geomorfológico. Las coberturas de pajonal de puna húmeda, matorrales andinos y agricultura en terrazas, distribuidas según altitud y pendiente, reflejan un equilibrio dinámico entre la geomorfología y el uso del suelo. Las zonas agrícolas en pendientes intermedias evidencian la adaptación humana al relieve moderadamente erosionado, mientras que la cobertura glacial y periglacial en las zonas más altas sugiere una influencia climática importante en la dinámica geomorfológica, especialmente relacionada con el deshielo y la escorrentía.

La desviación hipsométrica máxima de 0,184, obtenida en el análisis comparativo entre la curva hipsométrica observada y la línea de equilibrio, respalda la hipótesis de una cuenca morfológicamente estabilizada, con baja actividad tectónica reciente. La subcuenca tiene una variabilidad litológica y ecológica.

## Conclusiones

Del trabajo de investigación desarrollado se llegaron a las siguientes conclusiones:

El análisis hipsométrico aplicado a la subcuenca del río Yurma permitió estimar su grado de evolución geomorfológica, cumpliendo así el objetivo general de la investigación. El valor obtenido de la integral hipsométrica (HI = 0,427) confirma que la cuenca se encuentra en una etapa geomorfológica madura, lo que concuerda con los rangos propuestos por Duan et al. (2022).

La desviación hipsométrica máxima (0,184), indica que la forma de la cuenca difiere poco de la línea de equilibrio, lo cual es característico de cuencas estabilizadas con escasa actividad tectónica reciente (Kim et al., 2022; Mehar et al., 2018). Este resultado fortalece la validez del análisis matemático y geomorfológico aplicado en la investigación.

Desde la perspectiva geológica, la presencia predominante de rocas sedimentarias del Jurásico Superior y Cretácico Inferior de resistencia intermedia a baja, combinadas con rocas ígneas intrusivas del Neógeno y depósitos cuaternarios recientes, sustenta el patrón erosivo observado. Esta composición geológica condiciona la evolución del relieve y explica la madurez geomorfológica alcanzada.

En el aspecto ecológico, la zonificación altitudinal que incluye pajonales de puna húmeda, matorrales andinos, zonas agrícolas, y coberturas glaciares en las partes altas, revela una interacción estrecha entre la morfología, la altitud y el uso del suelo. Esta estructura ecológica funcional refuerza la interpretación de una cuenca activa desde el punto de vista hidrológico, pero sin procesos erosivos extremos.

En conjunto, se concluye que la subcuenca del río Yurma presenta una dinámica geomorfológica madura, con potencial erosivo moderado, tectónica reciente poco activa, y una configuración geológica y ecológica coherente con los indicadores hipsométricos. Por tanto, el análisis hipsométrico se valida como un método eficaz para la evaluación geomorfológica integral de cuencas altoandinas y su aplicación en la planificación territorial y ambiental sostenible.

## Referencias

- Bajracharya, P., Jain, S. (2022). Hydrologic similarity based on width function and hypsometry: An unsupervised learning approach. *Computers & Geosciences*, 162, 105097. <https://acortar.link/IyKd1H>
- Bras, R.(1990). *Hydrology: an introduction to hydrologic science*. USA: Addison – Wesley Publishing Company, Inc.
- Duan, Y., Pei,X., Zhang, X. (2022). The hypsometric integral based on digital elevation model for the area west of Lvliang mountains in loess Plateau, Shanxi, China. *Frontiers in Earth Science: 10*. <https://acortar.link/nL3z1i>
- Farhan, Y., Anbarci, M., Al-Awadhi, J. (2016). Regional hypsometric analysis of the Jordan Rift drainage basins (Jordan). *Open Journal of Geology*, 6(10), 1229–1250. <https://acortar.link/vQEnKn>
- Harsha, J., Ravikumar, A., Shivakumar, B. (2020). Evaluation of morphometric parameters and hypsometric curve of Arkavathy river basin using RS and GIS techniques. *Applied Water Science*, 10(86). <https://acortar.link/rzxWLa>

- Kim, D., Kim, J., Wang, W., Lee, H., Kim, H. (2022). On hypsometric curve and morphological analysis of the collapsed irrigation reservoirs. *Water*, 14(6), 907. <https://acortar.link/ZG0eGw>
- Ranjita, R., Kushwaha, R. (2015). Hipsometric analysis of a part of Ijai River, Manipur. *American International Journal of Research in Science, Technology, Engineering & Mathematics*: 346 – 349. <https://acortar.link/aIRg8L>
- Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, 63(11), 1117–1142. <https://acortar.link/fd1JV5>
- Vivoni, E., Di Benedetto, F., Grimaldi, S., Eltahir, E. (2008). *Hypsometric control on surface and subsurface runoff*. *Water Resources Research*, 44(12), W12502. <https://acortar.link/0v0UsB>

