

Geomorfología aplicada a la tectónica activa en la cuenca del río Nangaritza

Geomorphology applied to tectonics active in the Nangaritza river basin

Fernanda Guarderas¹, Arturo Egüez Delgado²

¹ *Docente de la carrera de Geología, Minería y Metalurgia, Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador.
mfguarderas@utpl.edu.ec*

² *Docente de la Facultad de Geología y Petróleos, Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador.
art_eguez@hotmail.com*

ISSN: 2661-6998

Fecha de recepción: 23-10-2018

Fecha de aceptación: 28-03-2019

Resumen

El río Nangaritza se localiza en la zona subandina del Suroccidente ecuatoriano. A lo largo del río que drena de Sur a Norte se observa que el valle se encuentra segmentado formando subcuencas abiertas (Guayzimi y Centro Shaime) y estrangulamientos del río en cañones profundos. La cuenca está modelada por un sistema de fallas transpresivas/transensivas configurado con fallas inversas N-S y transcurrentes sinestrales NW-SE que controlan el desarrollo morfológico del valle.

El estudio de los índices morfológicos de la Integral Hipsométrica y Factor de Asimetría confirman la actividad tectónica joven de la zona, ya que una asimetría mayor al 56% se considera como alta, con una tendencia hacia el Este, relacionada estrechamente con un basculamiento de la cuenca hacia el este, donde los drenajes se bloquean contra la falla inversa principal que provoca el levantamiento de la Cordillera de Cóndor. La integral hipsométrica indica diferencias en la madurez de las cuencas analizadas con valores mayores a 0.5 reflejadas en la curva modelo y del análisis se obtuvo que 256 cuencas tienen una tendencia a la convexidad, interpretadas como inestables.

Una evidencia puntual en el sector de Centro Shaime con hipsometrías negativas y con asimetrías elevadas, indican fuerte inestabilidad con control estructural en la cuenca hídrica, modificando el sistema fluvial ya que parece que los ríos Numpatakaime y Nangaritza (curso superior) drenaban hacia el río Achuime al Perú, pero que el levantamiento de unos 70 m de desnivel de la cordillera por efecto de la falla, redirigió el curso del río hacia el Norte.

Palabras clave: Factor de Asimetría FA, Integral Hipsométrica IH, tectónica activa, zona subandina, Nangaritza, Ecuador.

Abstract

The Nangaritza River is located in the subandine zone of the Southeastern Ecuador. Along the river draining from South to North, the valley appears segmented into open sub-basins (Guaysimi and Centro Shaime) and river bottlenecks in deep canyons. A transpressive fault system configured by dominant N-S reverse faults and NW-SE left-hand strike-slip faults controls the development of valley morphology.

The morphological indexes of the Integral Hypsometric and Factor of Asymmetry confirm the young tectonic activity of the zone. An asymmetry greater than 56% considered high, seems closely related to the tilting of the basin towards the East, where the drains are blocked against the main reverse fault that causes the uplift of Cordillera del Cóndor. The hypsometric integral indicates differences in the maturity of sub-basins analyzed that shows values greater than 0.5, reflected in the model curve, but also from the analysis it was obtained that 256 basins have a tendency to convexity, interpreted as unstable.

Significant evidence in the Centro Shaime sector with negative hypsometries and with high asymmetries indicate strong instability with structural control in the water basin, modifying the river system as it seems that the rivers Numpatakaime and Nangaritza (upper course) drained into the Achuime River to Peru, but that the rise of some 70 m of unevenness of the mountain range by effect of the fault, redirected the course of the river towards the North.

Keywords: Factor of Asymmetry FA, Integral Hypsometric IH, active tectonics, subandine zone, Nangaritza, Ecuador.

1. INTRODUCCIÓN

El río Nangaritza se ubica en la zona subandina del Suroriente del Ecuador, cerca de la frontera con Perú (Fig. 1). El río drena en sentido Sur-Norte a lo largo del valle, limitado al este por la Cordillera del Cóndor y al Oeste por la Cordillera de Nanguipa – Tzunantza.

La zona subandina en el Suroriente consiste de varios ramales cordilleranos de baja altura (hasta 2800 msnm) que constituyen la expresión tectónica del levantamiento de los Andes que opera durante todo el Cenozoico, especialmente desde el Mio-Plioceno [1].

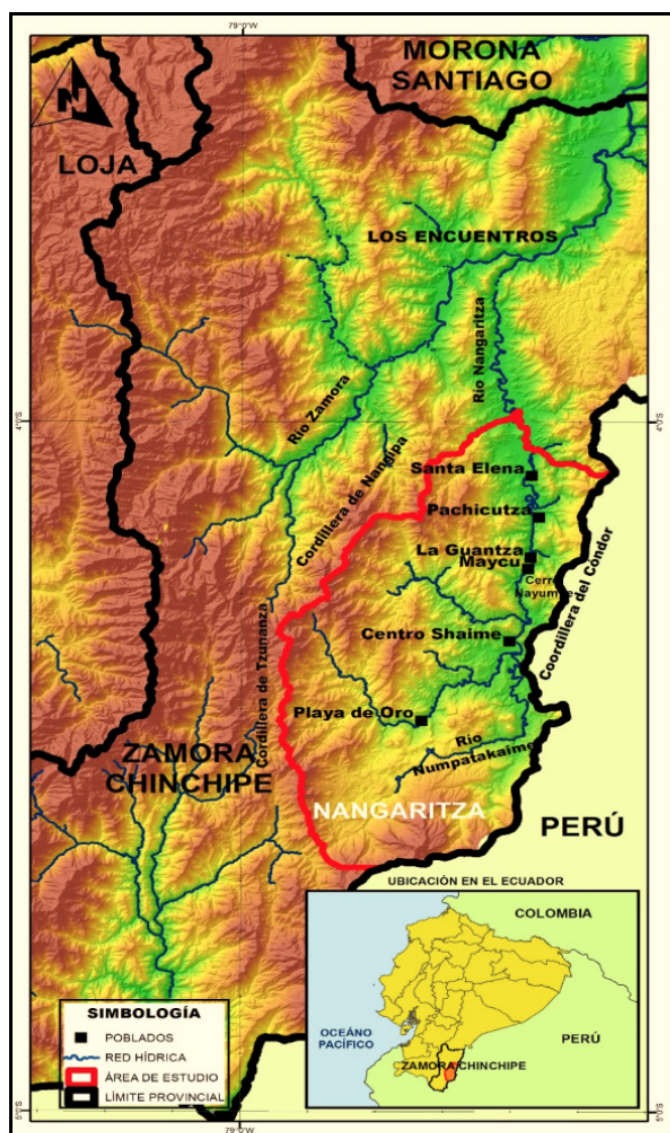


Figura 1: Ubicación del área de estudio, en la provincia de Zamora, cantón Nangaritza en el Suroriente ecuatoriano.

En el presente estudio se analiza la actividad tectónica de una parte de la cuenca del río, utilizando criterios e índices geomorfológicos. Estudios previos son limitados en la zona, donde tan solo se ha descrito de manera general a la falla Nangaritza en el mapa de fallas activas del Ecuador [2].

MARCO GEOLÓGICO

En la zona subandina del Sur del Ecuador confluyen los cinturones de rocas triásicas y jurásicas que se extienden desde el Perú. La estratigrafía en la zona es todavía poco conocida y se presentan varias incertidumbres en las rocas del basamento en la zona. La cartografía geológica realizada por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INIGEMM) [3], muestra un basamento de rocas volcánicas y magmáticas de edad jurásica que forman parte del arco volcánico continental Misahuallí. Discordantes sobre las rocas jurásicas aparecen formaciones cretácicas marinas equivalentes a las formaciones sedimentarias petrolíferas de la cuenca Oriente.

La Formación Shaime del Aptiano incluye de base a tope, lutitas negras, calizas grises fosilíferas y areniscas grises. Las capas de esta formación se encuentran subhorizontales y en el sector de Centro Shaime aparecen en el lecho de los ríos Nangaritza y Numpatakaimo, así como en las colinas circundantes. Discordante sobre la Fm. Shaime se observa una espesa formación de areniscas cuarzosas que anteriormente fue cartografiada equivocadamente como la Fm. Hollín de la cuenca Oriente. Estas areniscas son ciertamente más jóvenes que la Fm. Hollín y probablemente son equivalentes de las areniscas M-1 de la Fm. Napo o a las areniscas de la Fm. Tena basal [4]. Esta nueva unidad estratigráfica tiene expresiones morfológicas remarcables en la cuenca del río, formando mesas y cuevas estructurales que muestran un plegamiento abierto regional.

Las formaciones más jóvenes son depósitos aluviales plio-cuaternarios que aparecen atrapados tectónicamente en pequeñas subcuencas a lo largo del valle del río Nangaritza, formando terrazas aluviales y flujos de lodo de varias generaciones. Las terrazas y un marcado sistema meándrico parcialmente abandonado, presentan indicios de actividad tectónica reciente.

2. MATERIALES Y MÉTODOS.

En imágenes de diferentes tipos y escalas se puede apreciar que a lo largo del río ocurren anomalías morfológicas que sugieren una actividad tectónica compleja y reciente en la cuenca. El estudio morfológico detallado en la zona fue realizado por Guarderas [5].

Para el estudio se utilizó el MDT (Modelo Digital de Terreno) con un píxel 30*30m adquirido del Programa SIGTIERRAS y proporcionado al INIGEMM. A través de las herramientas SIG y el módulo de “hydrology” se generó modelo de dirección de flujo y otro de acumulación por el método de Strahler para luego clasificar la red de drenaje. El análisis evaluó 710 subcuencas de segundo orden y 167 subcuencas de tercer orden y luego se cotejaron los resultados para observar la coherencia entre los dos niveles de cuencas.

La morfología del terreno fue analizada a través de indicadores geomorfológicos de la integral hipsométrica IH y la simetría o “Factor T” como proponen Keller y Pinter [6] como indicadores que permiten evaluar la morfometría de la red de drenaje y el relieve. Estos indicadores se analizan a través de modelos numéricos como los MDT.

La integral hipsométrica permite conocer la distribución del volumen de la cuenca considerando las diferencias de altura entre las cotas más baja y más alta, calculando su masa, cuya relación de las variables calculadas h/H y la proporción del área total de la cuenca a/A . Se realiza el cálculo para cada una de las cuencas y luego se procede hacer un análisis estadístico, además los resultados son graficados de tal forma que la curva resultante es comparada con el patrón denominado “curva hipsométrica tipo”.

Los datos obtenidos van en un rango entre 0 y -1. Los valores superiores a 0.5 se interpretan como valores de cuencas con relieves juveniles, los valores próximos a 0.5 o intermedios se interpretan como cuencas maduras y valores inferiores a 0.5 son relacionados con paisajes seniles en erosión o próximos al nivel de base de la cuenca. Estos valores se representan de forma gráfica, a través de una curva comparativa teórica, que cuando presenta variaciones en su tendencia o se aparta de la curva teórica, estos cambios se pueden relacionar con controles tectónicos o litológicos y son considerados como cuencas en desequilibrio.

El Factor T o factor de simetría topográfica transversal de las cuencas de drenaje, se fundamenta en la relación entre la distancia que separa el curso principal de su divisoria de aguas más cercana con el eje central de la cuenca según una dirección constante (Cox [7]). La relación de estas medidas permite establecer la desviación del curso principal de la cuenca con respecto al eje central y con ello definir el grado de desviación de la cuenca. Esto es importante puesto que la red de drenaje es sensible a los cambios, sean naturales o antrópicos y es precisamente debido a esa sensibilidad que los índices morfométricos se aplican en las cuencas hidrográficas. Los resultados obtenidos para este índice son valores que se representan a través de vectores de magnitud y dirección distribuidos espacialmente y relacionados con la migración lateral de los cauces, lo que redundará en un basculamiento de las cuencas. Los datos obtenidos son analizados, valorados y clasificados según la metodología de Cox [7]. La distribución de los datos permite determinar las zonas con direcciones similares. En este sentido el índice de simetría topográfica transversal desarrollado por Cox [7] se ha

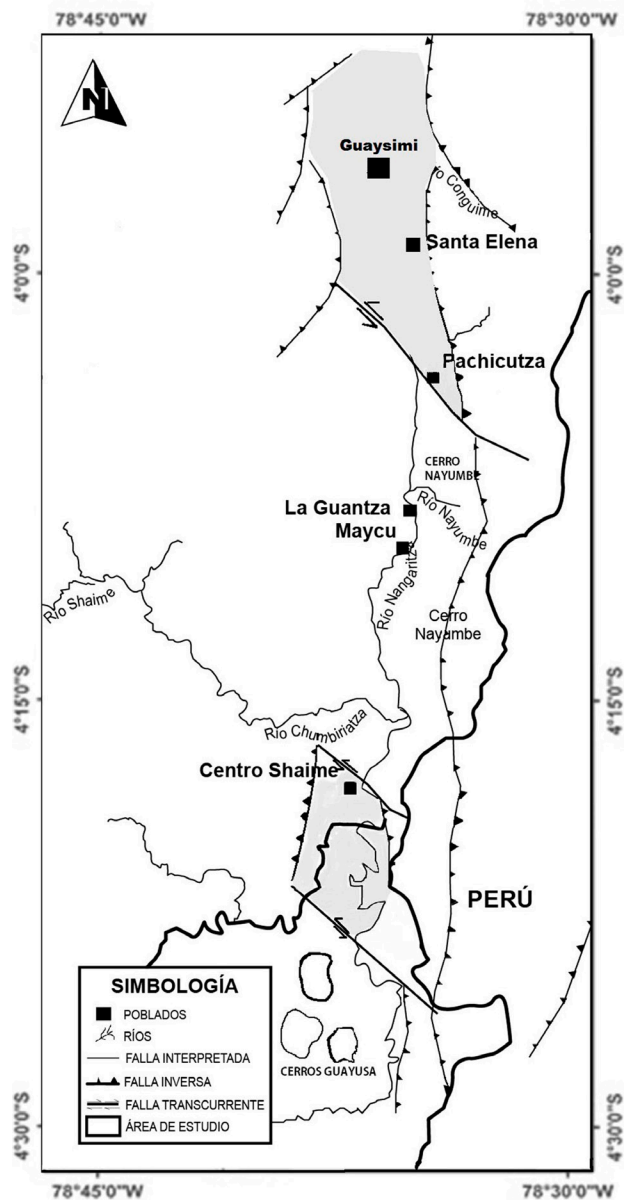


Figura 2: Esquema estructural de la cuenca del Río Nangaritza en el suroriente ecuatoriano.

considerado de gran eficacia para delimitar bloques basculados en áreas afectadas por neotectonismo.

Además, para desarrollar esta metodología se utilizó la modificación semi-automatizada propuesta por Garrote [8] a través de una rutina de Matlab, que favorece el proceso de análisis estadístico especialmente en áreas de gran tamaño o con un número considerable de cuencas como es el caso en estudio.

Para la determinación de las fallas se utilizaron imágenes RADAR y LANDSAT TM, fotos aéreas escala 60.000 y la cartografía topográfica base IGM escala 1:50.000. Se realizó un control de campo limitado ya que las vías de acceso son escasas y la vegetación es selvática. De hecho, la cobertura vegetal enmascara los rasgos morfométricos a pequeña escala. Sin embargo, las fallas activas han sido interpretadas con criterios morfodinámicos que consideran a las geoformas como la expresión de la naturaleza de las rocas involucradas y de la actividad tectónica.

CONSIDERACIONES TECTÓNICAS

En la zona subandina del Ecuador opera el empuje de la placa continental Sudamericana para el levantamiento andino. El régimen tectónico general es compresivo con un esfuerzo principal en dirección E-W que desarrolla fallas regionales de dirección N-S a NNE-SSW. Contrario a lo que ocurre en la parte norte del Ecuador, en la zona subandina sur, los ríos son captados y controlados a lo largo de valles que siguen el rumbo andino y que separan cordilleras de baja altura con un evidente control estructural. Uno de los mejores ejemplos es el valle del río Nangaritzta cuyo esquema estructural se muestra en la figura 2.

Al sur de la confluencia del río Nangaritzta con el río Zamora se localiza la subcuenca de Guayzimi que se encuentra limitada por fallas transpresivas N-S, bloqueada al norte por un segmento de falla NE-SW, a partir de la cual el río se estrangula entre los relieves bajos de la Cordillera del Cóndor. Esta subcuenca se cierra al sur con una falla sinistral de dirección NW-SE a lo largo de la Qda. Curintza, cruzando a la Qda. Napintza al NE del cerro Nayumbe, que en sí mismo es un flujo de lodo elevado de unos 400 metros sobre el nivel actual del río. Al interior de la cuenca se observan terrazas aluviales levantadas de más de 200 m sobre el lecho actual del río y se nota un basculamiento del río hacia el este dejando meandros abandonados inmediatamente al oriente del poblado de Guayzimi.

Al sur de Pachicutza, el río se estrangula nuevamente a lo largo de una falla compresiva, hasta el sector de Miazi, donde se abre la subcuenca de Shaime. Una falla inversa de rumbo N-S, produce el levantamiento de bloque oriental del valle en la latitud de la confluencia de los ríos Nangaritzta y Numpatakaime que antes del levantamiento tectónico de la Cordillera del Cóndor en este sector, probablemente drenaban sus aguas hacia el este a la cuenca del río Achuime en el lado peruano.

El levantamiento tectónico habría obligado al drenaje de tendencia Oeste – Este, a dirigirse al Norte hacia el río Zamora dejando huellas de relieves negativos en la divisoria de aguas, los cuales se pueden observar en el límite de las hojas topográficas IGM de Centro Shaime y Nuevo Paraíso (coordenadas UTM 761000/9520500) (Fig. 3).

Hacia el Sur de Nuevo Paraíso, la cuenca está limitada por una falla inversa N-S que levanta la Cordillera del Cóndor, pero la cuenca en sí misma se encuentra perturbada por domos o cuellos volcánicos cenozoicos en el área entre la confluencia de los ríos Nangaritzta y Numpatakaime.

El conjunto de fallas define un sistema transpresivo/transtensivo complejo que ocasionalmente genera una morfología alterna de valles abiertos, sierras levantadas, cuevas y mesas y cañones profundos.

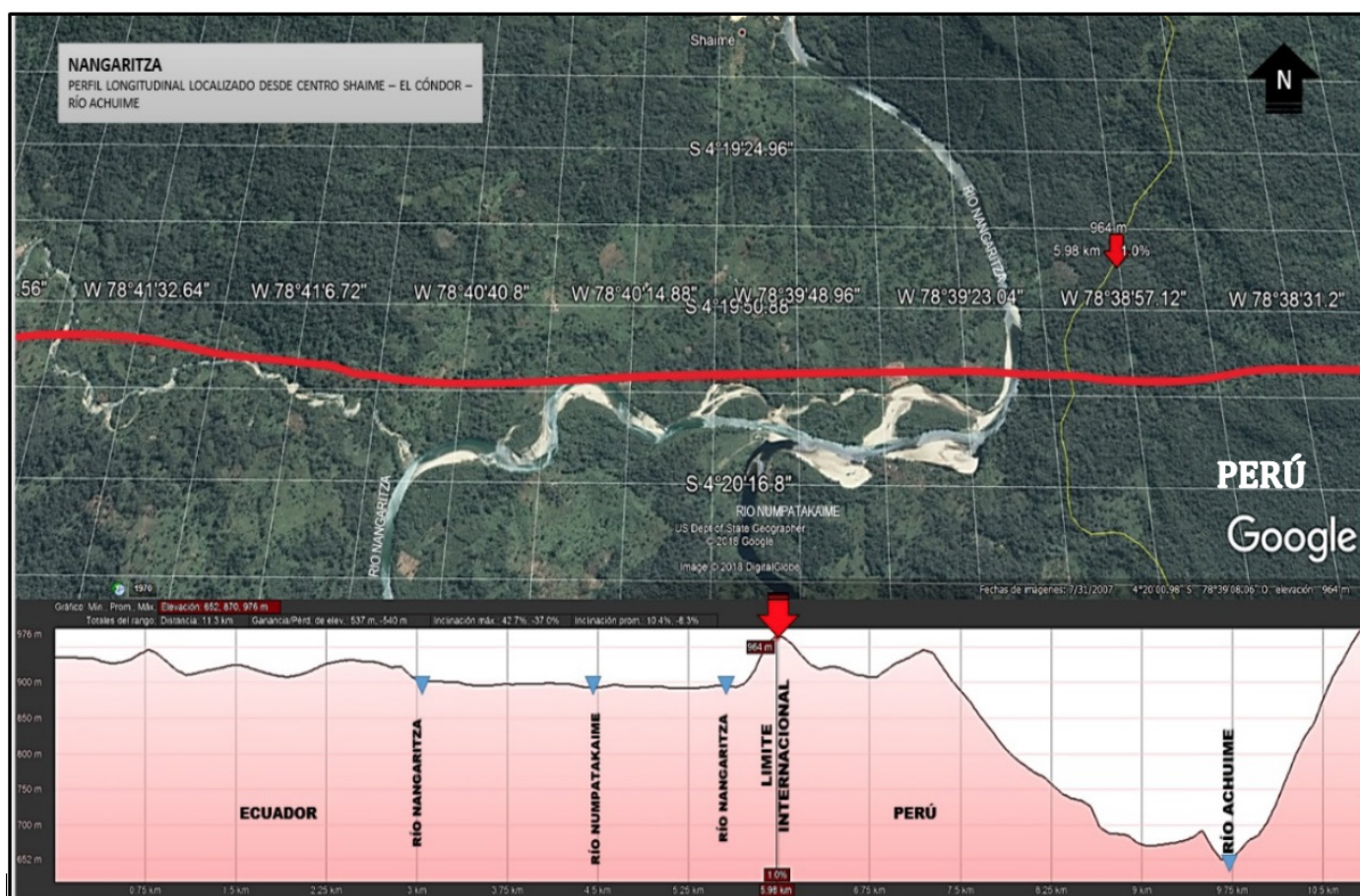


Figura 3: Perfil esquemático del sector de Shaime – El Cóndor – Río Achuime. Elaborado en Google Earth, Elaborado por autor, 2018.

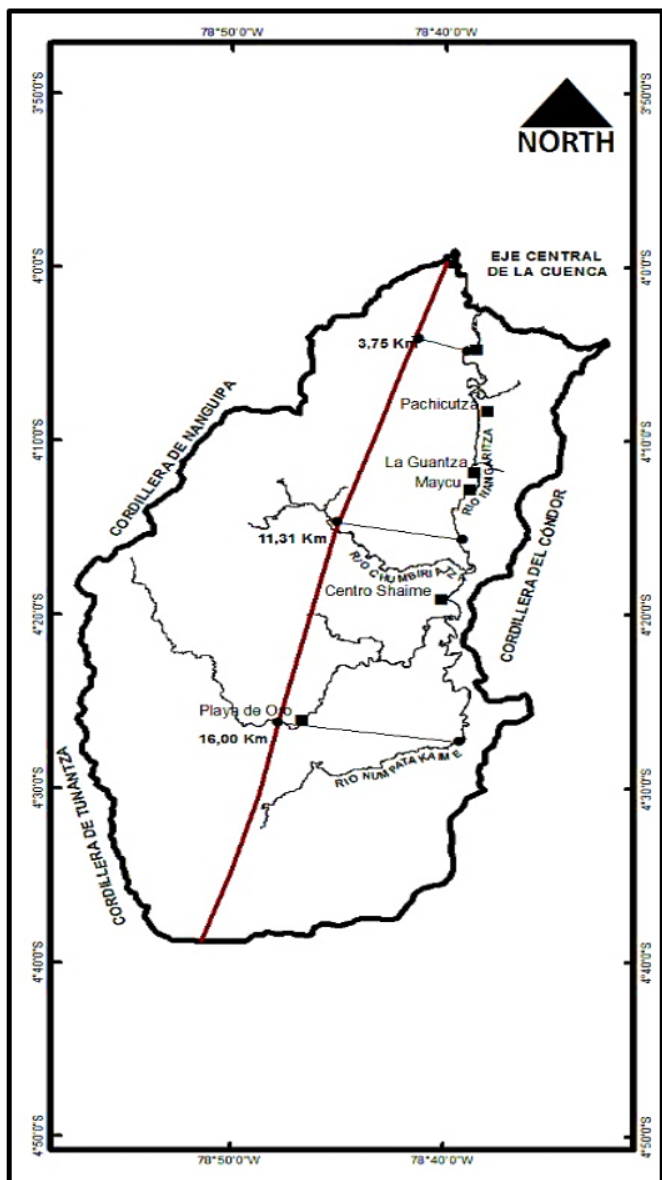


Figura 5: Asimetría de la Cuenca del Río Nangaritza Tomado de [Guarderas, 2014].

3. RESULTADOS DE ÍNDICES GEOMORFOLÓGICOS

Los modelos de análisis de índices morfométricos permitieron evaluar la deformación del relieve y los cambios de la red de drenaje asociado con los procesos tectónicos que afectan la zona.

La cuenca del Nangaritza presenta una clara desviación o asimetría del drenaje con una tendencia marcada hacia el Este.

La tendencia general de la cuenca mayor es al basculamiento, que está distribuido y es reflejado en todos los niveles de cuencas estudiadas, esto evidencia el fenómeno fragmentación que se repite a diversas escalas, evidenciando la deformación, además del basculamiento de las cuencas. Se observa que la

tendencia a bascularse es hacia el Este y gracias al análisis en conjunto de las cuencas se puede definir zonas con tendencias claras NE, SE y netamente al E. Sin embargo, existen singularidades o zonas de anomalías que no encajan con la tendencia y que han sido interpretadas como bloques de relajación o acomodación del sistema con tendencias no relacionables con el sistema identificado.

El Factor T arrojó valores anómalos, que según la clasificación se determina que la tendencia o el predominio son valores entre de 0.5 a 0.95 lo cual las describe claramente como cuencas asimétricas (Fig. 5).

Con respecto a las curvas hipsométricas obtenidas de cada sub-cuenca y analizadas estadísticamente, se observa una estrecha relación con las zonas identificadas en primera instancia con el factor T como zonas en basculamiento.

Se nota que la tendencia de las curvas hipsométricas según la curva tipo comparativa o estándar, marcan una tendencia positiva con valores superiores a 0.5. Es así que en zonas con tendencia isométrica hacia el Este, como la observada claramente en los ríos Ztenganga y Numpatakaime, los valores hipsométricos en promedio son >0.56 es decir un relieve joven con respecto al ciclo erosivo, sin embargo, el promedio de toda la cuenca respecto a la Integral Hipsométrica IH es de 0.47, lo que indica una hipsometría con tendencia a rejuvenecimiento.

Adicionalmente, con los datos obtenidos se interpreta que los patrones de drenaje, así como la amplificación de la pendiente demuestran que la zona tiene sectores en fuerte comprensión y otros en relajamiento, como es el caso del sector entre Centro Shaime y Nuevo Paraíso que marca una IH totalmente negativa con valores bajos y con curvas teóricas tendiente a concavidad.

Esto no se interpretaría como una tendencia a la erosión o seccionamiento del relieve, sino más bien como una zona tectónicamente compleja en donde la falla principal N-S con vergencia Este, y las fallas transversales NE-SW formarían un bloque tectónico de acomodación dentro de un sistema transpresivo. (Fig. 6)

De las 710 cuencas analizadas, 256 muestran una hipsometría mayor que 0.5, lo cual reflejaría que éstas se encuentran en zonas de rejuvenecimiento o son cuencas inmaduras e inestables.

De acuerdo a lo analizado se proponen dos modelos evolutivos relacionados; el primero y quizá más joven sería el levantamiento de la Cordillera del Cóndor relacionado con la falla inversa del río Achuime. Este levantamiento habría originado un nuevo drenaje controlado e implantado, que captura a los ríos Numpatakaime, Ztenganga, Nangaritza y Chumbiriatza y se dirige al Norte hacia el río Zamora. De esta manera los indicados ríos habrían perdido su conexión al este con el río Achuime.

Es posible que este proceso sea responsable del desarrollo de la morfología kárstica que se observa en el denominado sector

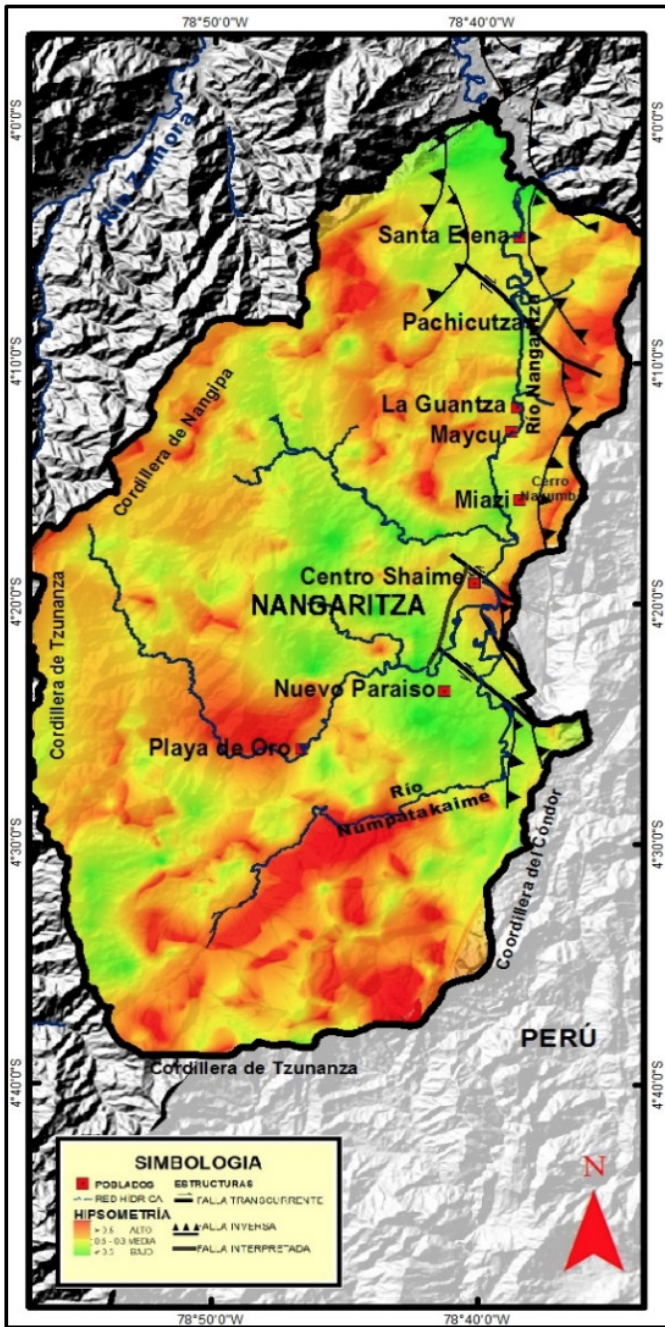


Figura 6: Hipsometría de la Cuenca del Río Nangaritzta, Tomado de [Guarderas, 2014].

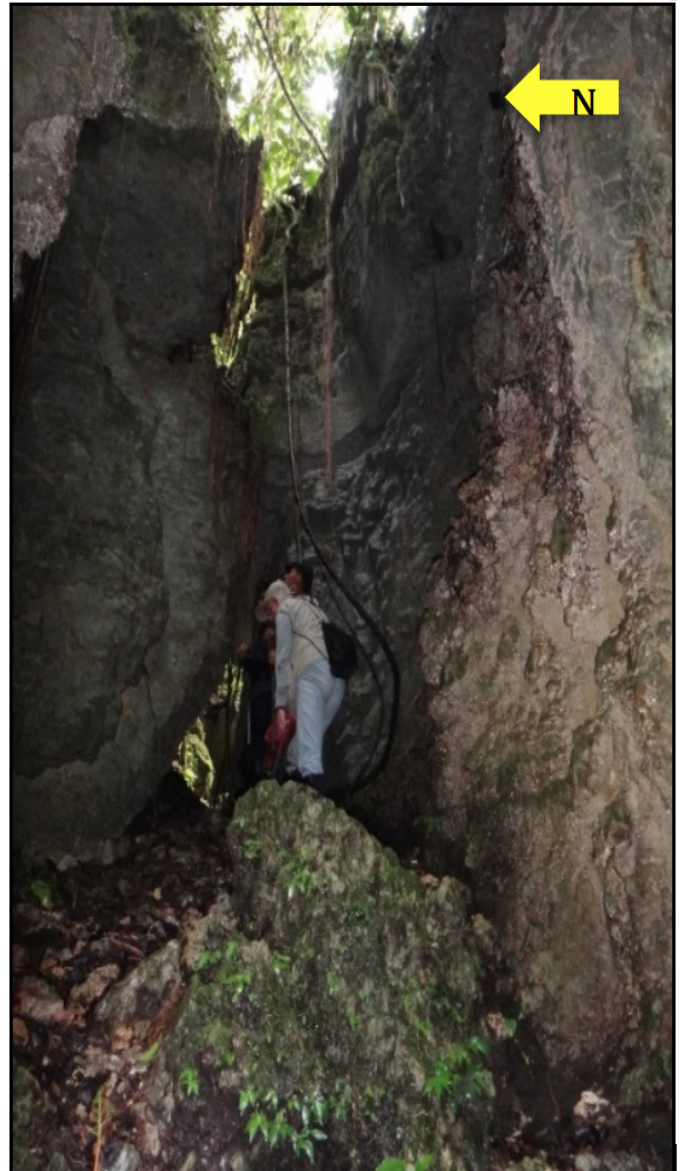


Imagen 1: Erosión y cárcavamiento fluvial en El Laberinto, UTM (761.174 – 9°520.517)

4. CONCLUSIONES

La cuenca estudiada responde estructuralmente a una zona transpresiva/transensiva en un marco tectónico de acortamiento E–W, que desarrolla un sistema de fallas inversas con rumbo preferencial N–S, que controlan el desarrollo de los valles y los principales cursos de agua. La interacción de este sistema con las fallas transcurrentes han permitido el desarrollo de las subcuencas de Guayzimi y Centro Shaima, intercaladas con tramos donde el río principal se estrangula formando complejas morfologías dominadas por encañonamientos. Este régimen tectónico también habría permitido el levantamiento de unos 70 metros de la Cordillera del Cóndor, provocando el abandono del sistema de drenaje Nangaritzta/Numpatakaime hacia el Este al río Achuime y la desviación de los ríos hacia el Norte.

“El Laberinto” (Imagen 1) cuyas rocas calcarenáceas conservan la evidencia de haber sido canales por donde algún día fluyó el sistema fluvial hacia el Este y actualmente están colgados y abandonados quedando solo las cárcavas esculpidas por el agua cuando fluía hacia el río Achuime.

Un segundo proceso quizás mucho más antiguo sería producto del continuo acortamiento E–W que provoca la deformación y levantamiento de la zona subandina, lo cual influye positivamente en el relieve, permitiendo el basculamiento de las cuencas hacia el Este del flanco occidental concordando con la tendencia de la hipsométricas y las anomalías del Factor T.

En esta parte baja de la cordillera se ha desarrollado un relieve kárstico con cárcavas en rocas calco arenáceas de la Fm. Shaime, conocido como el sector “El Laberinto”. El nombre está claramente relacionado con la confluencia y entrecruzamiento de canales de difícil tránsito y que probablemente se habrían formado por el paso antiguo del sistema fluvial hacia el río Achuime.

El estudio analizó dos niveles de cuencas (segundo y tercer orden) lo que evidenció la relación entre ellos, reflejando total coherencia entre los valores arrojados de hipsometría y el factor T, relacionado con cambios en las cuencas de drenaje.

Los índices geomorfológicos aplicados se han mostrado como buenas herramientas para interpretar la tectónica activa en esta zona de difícil y limitado acceso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. Steinmann et al., “Neogene tectonic evolution and exhumation of the southern Ecuadorian Andes: a combined stratigraphy and fission-track approach”, *Tectonophysics*, 307, pp. 255-276, 1999.
- [2] A. Egüez et al., “Mapa de fallas y pliegues cuaternarios de Ecuador y regiones oceánicas adyacentes”, escala 1: 1 250 000. Proyecto ILP –EPN, USGS, 2003.
- [3] INIGEMM, “Memoria técnica de la hoja geológica Centro Shaime”, Instituto Nacional de Investigación Geológica, Minería, Metalúrgico, Quito, 2012.
- [4] H.R. Balkwill et al., “Northern part of Oriente basin, Ecuador: reflection seismic expression of structures” in A. J. Tankard, R. Suárez S., and H. J. Welsink, *Petroleum basins of South America: AAPG Memoir* 62, pp. 559-571, 1995.
- [5] M.F. Guarderas, “Análisis de la influencia Tectónica a través de Índices Geomorfológicos para la Cuenca Fluviales, Cuenca del Río Nangaritzza” (Ecuador Suroriental), Doc. Tesis, MSc, Univ. Complutense de Madrid, España, 2014.
- [6] E.A. Keller, & N. Pinter, “Active Tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscape”, Prentice Hall, pp. 121.1986.
- [7] R.T. Cox, “Analysis of drainage-basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible Quaternary tilt-block tectonics: An example from the Mississippi embayment”, *Geological Society of America Bulletin*, 104, pp. 571-581, 1994.
- [8] J. Garrote, “La asimetría de la cuenca fluvial y otros índices morfométricos, implicaciones para la cuenca de Madrid”. Doc. Tesis Univ. Complutense de Madrid, 2012.