

Correspondence:

Descripción Hidrogeomorfológica de la Cuenca Alta del Río Macul, Ecuador.**Hydrogeomorphological description of the Upper Macul River Watershed, Ecuador.****Nieto Cañarte Carlos Alberto**

Master of Science in Geographical Information Science and Systems
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Quevedo, Ecuador; cnieto@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-1817-9742>

Guerrero Chuez Norma María

Magister en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Quevedo, Ecuador; nguerrero@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-3192-5981>

Díaz Ponce Mariela Alexi

Magister en Administración Ambiental
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Quevedo, Ecuador; mdiaz@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-8944-5994>

Burgos Carpio Byron Andres

Licenciado en Gestión ambiental
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Quevedo, Ecuador; byron.burgos2015@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-2840-9997>

Resumen

El agua dulce es un recurso natural vital para el desarrollo, existiendo una fuerte relación entre la distribución del agua y la productividad económica. Por lo tanto, es necesario conservar, preservar y restaurar la funcionalidad de los sistemas fluviales. De ahí se destaca la importancia de las cuencas porque estas recolectan y almacenan agua. Por ende, es indispensable asegurar un caudal ecológico para la permanencia de los hábitats. La biodiversidad de ecosistemas que presenta Ecuador se ha convertido en una de las principales problemáticas en el manejo de recursos hídricos, ya que es necesario realizar diversos estudios individualizados por cuenca hidrográfica. La caracterización hidrológica de la cuenca alta del Río Macul permite mejorar el manejo del agua y suelo. Su superficie aproximada es de 18,000 hectáreas, siendo sus límites naturales los cantones: El Empalme (provincia del Guayas), Buena Fe, Quevedo y Mocache (provincia de Los Ríos). A través de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se analizó las coberturas y usos en la cuenca para conocer los cambios progresivos con ERDAS; establecer las características geomorfológicas y estado hidrogeomorfológico de la cuenca con IDRISI; y para entender la dinámica del sistema fluvial a través del balance hídrico con el modelo hidrológico SWAT. Los resultados indican que hay cambios significativos en las coberturas y usos de la cuenca; el estado hipsométrico y la calidad hidrogeomorfológica es estable y el sistema fluvial recibe buen aporte por parte de las precipitaciones, aunque su uso consuntivo es alto debido a la actividad antrópica. La principal contribución del estudio es el análisis hidrológico de la cuenca alta del río Macul desarrollados con modelos hídrico que integran SIG. Además, los datos obtenidos forman parte de una base de información para la propuesta de un plan de gestión integral y sostenible de los recursos hídricos.

Palabras clave Geomática, Cuenca, Hidrografía, Gestión, Sostenibilidad

Abstract

Fresh water is a vital natural resource for development, and there is a strong relationship between water distribution and economic productivity. Therefore, it is necessary to conserve, preserve and restore the functionality of river systems. Hence, the importance of basins stands out because they collect and store water. Therefore, it is essential to ensure an ecological flow for the permanence of habitats. The biodiversity of ecosystems that Ecuador presents has become one of the main problems in the management of water resources, since it is necessary to carry out various individualized studies by hydrographic basin. The hydrological characterization of the upper basin of the Macul River allows improving water and soil management. Its approximate surface is 18,000 hectares, being its natural limits the cantons: El Empalme (province of Guayas), Buena Fe, Quevedo and Mocache (province of Los Ríos). Through the Geographic Information Systems (SIG) the coverage and uses in the basin were analyzed to know the progressive changes with ERDAS; establish the geomorphological characteristics and hydrogeomorphological status of the basin with IDRISI; and to understand the dynamics of the river system through the water balance with the SWAT hydrological model. The results indicate that there are significant changes in the coverage and uses of the basin; the hypsometric state and the hydrogeomorphological quality is stable and the fluvial system receives a good contribution from rainfall, although its consumptive use is high due to anthropic activity. The main contribution of the study is the hydrological analysis of the upper basin of the Macul River developed with hydrological models that integrate GIS. In addition, the data obtained form part of an information base for the proposal of a comprehensive and sustainable management plan for water resources.

Keywords Geomatics, Watershed, Hydrography, Management, Sustainability.

Introducción

La Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) de las cuencas está implícita en la planificación territorial, ya que, en ésta, se plantea un manejo completo del territorio, buscando un desarrollo sostenible (Bernex, 2009). Donde las cuencas hidrográficas constituyen una unidad territorial para planificar u ordenar, existiendo sinergia entre la naturaleza y el hombre (Aguirre, 2007). Por lo tanto, es necesario asegurar un caudal ecológico, ya que el agua dulce es indispensable para la existencia y permanencia de todos los ecosistemas en la tierra (Lozano, 1997). La demanda de agua dulce del planeta Tierra va en aumento a medida que la población mundial crece, siendo imperante una GIRH por su gran dinámica y complejidad, con ajuste permanente en el espacio - tiempo (Muñoz, Arumí y Rivera, 2013). La relación entre la distribución del agua y la productividad económica es un aspecto importante a considerar, puesto que las actividades humanas son el caso más crítico, evidenciando un conflicto en torno al uso y aprovechamiento del recurso (Schardong y Simonovic, 2011). Global Water Partnership indica que la conservación y preservación de los recursos naturales, y específicamente la GIRH es un desafío a nivel mundial, puesto que es un recurso vital limitado para la vida en el planeta tierra; y estratégico desde una perspectiva social, económica y ambiental (GWP, 2009).

Ecuador posee escasos estudios que no tienen la importancia requerida para la GIRH con potencial desarrollo de sostenible para cuencas (Castro, 2012). Por ende, la caracterización hidrológica se encauza en el estudio a la cuenca alta del río Macul (superficie aproximada de

18,000 hectáreas), donde los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permitieron analizar las coberturas y usos en la cuenca para conocer los cambios progresivos con ERDAS; establecer las características hidrológicas y estado hidrogeomorfológico de la cuenca con IDRISI; y para entender la dinámica del sistema fluvial a través del balance hídrico con el modelo hidrológico SWAT.

Materiales y métodos

La investigación se enfocó en la cuenca hidrográfica alta del río Macul de aproximadamente 18,000 hectáreas, ubicada al noroeste del Ecuador entre las coordenadas proyectadas UTM (X/Y): 652400 / 9901070 y 671650 / 9878450; o coordenadas geográficas (Lon/Lat): 79°37'49.39"W / 0°53'41.25"S y 79°27'26.39"W / 1°5'57.47"S. Está conformada por cuatro cantones (4): Buena Fe (1) al Norte, Mocache (2) al Sur, y Quevedo (3) al Este (provincia de Los Ríos); y El Empalme (4) al Oeste (provincia del Guayas). El río Macul nace al sur de Buena Fe, recorriendo aguas abajo como límite natural entre las provincias de Guayas y Los Ríos para luego introducirse en Guayas con el nombre de río Pula, y, finalmente, desembocar en el río Daule (ver Figura 1). Cuyos datos climáticos promedios de cinco estaciones del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), indican que el sector posee una precipitación de 2,294.20 mm/año (178.20 días lluviosos/años), temperatura media de 24.80°C, humedad relativa de 84.58%, radiación solar de 12.43 MJ/m²/día, velocidad del viento de 1.20 m/s, evapotranspiración de 2.91 mm/día.

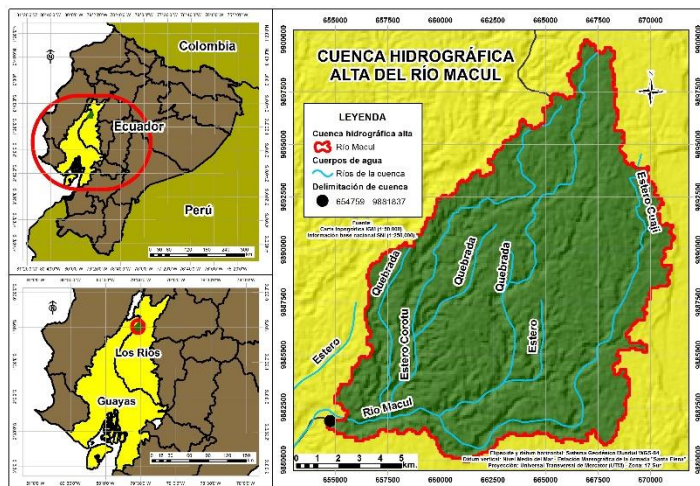


Figura 1. Zona de estudio.

A) Determinación de las coberturas y usos de la tierra: se realizó un análisis multitemporal con el software ERDAS para determinar las coberturas y usos de la tierra, y sus cambios progresivos en la cuenca alta del río Macul, apoyado de imágenes Landsat 5-8 (1990-2015), el cual consintió en equiparar bandas iguales de ambos periodos con similar resolución espacial

y espectral, para posterior ejecutar una interpretación visual a través de una clasificación supervisada con regiones de interés (ROI), y finalmente recortar y cuantificar dichas áreas. Cabe mencionar que el área de influencia directa se obtuvo con ArcSWAT, el cual delimitó la cuenca (ver Figura 2).

B) Hidrogeomorfología de la cuenca: para conocer el estado del sistema fluvial, fue necesario calcular los parámetros geomorfológico de la cuenca alta del río Macul con el software IDRISI y complementado con la evaluación del sistema fluvial cuya matriz del Índice Hidrogeomorfológico (IHG) fue descrita por Ollero et al. (2007). Cabe mencionar que el ráster de elevación utilizado fue el generado por la misión Shuttle Radar Topography Mission “SRTM”. Para la delimitación de la cuenca, se consideró aguas arriba de la desembocadura del río Macul, igual ubicación considerada en ArcSWAT (ver Figura 2).

C) Balance hídrico de la cuenca: en la simulación del balance hídrico se utilizó el modelo hidrológico de SWAT (posee ecuación propia), vinculado como extensión ArcSWAT. Con el programa se realizó la delimitación de la cuenca alta del río Macul (considerado en la coordenada “X:654759.43, Y:9881837.00” debido a que el INAMHI posee una estación hidrométrica de la cual se obtuvieron datos de caudal); para consecutivamente correr con los datos (clima, elevación, suelo, cobertura y uso de la tierra) y posteriormente calibrar y validar la información, cuyo resultado es la determinación del balance hídrico para entender el funcionamiento del sistema fluvial (ver Figura 2).

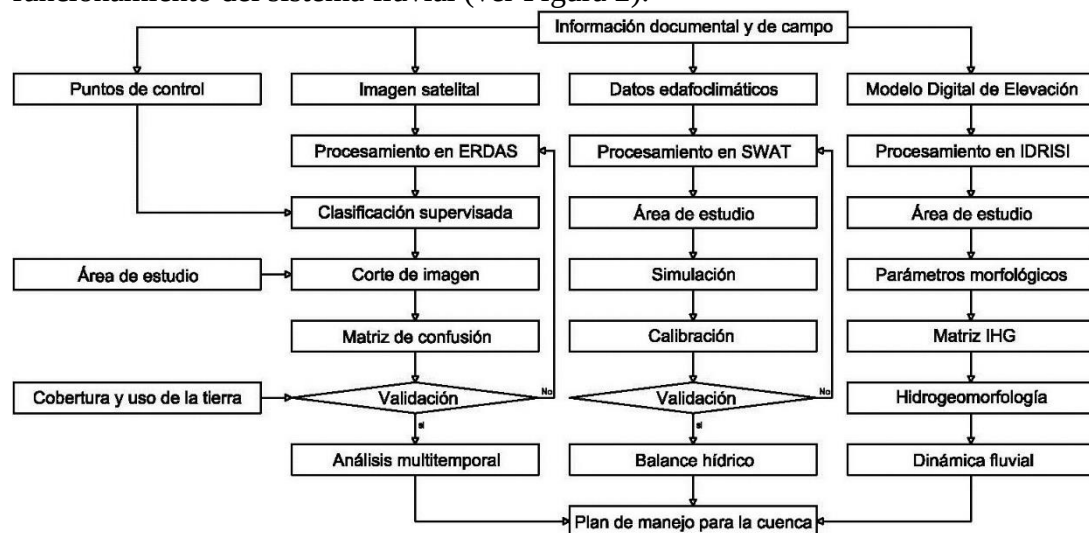


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso metodológico

Resultados

A) Determinación de las coberturas y usos de la tierra: según el resultado obtenido a través del uso de ERDAS, se determinó las coberturas y usos de la tierra en dos periodos “1990 - 2015” y sus cambios progresivos en 25 años, el cual permite concluir que si ha tenido cambios significativos en el área de estudio: la zona antrópica ha crecido 507.55 hectáreas, casi la misma cantidad ha perdido el área agropecuaria (-213.93 hectáreas) juntos con los forestales (-293.62 hectáreas.), Siendo la afectación mayor para el área forestal, habiendo perdido el 52.23% (ver Figura 3).

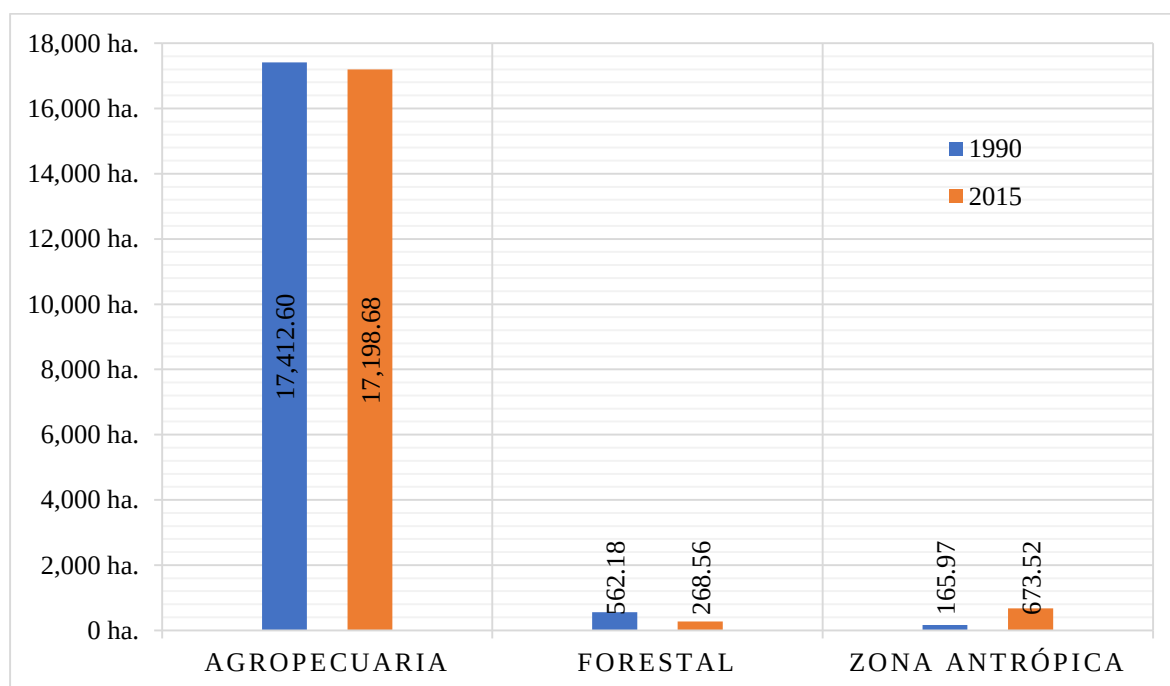


Figura 3. Cambio de cobertura y uso de la tierra (1990 - 2015)

B) Hidrogeomorfología de la cuenca: la morfología de la cuenca hidrográfica alta del río Macul (ver Tabla 1) indica un área de 18,140.76 hectáreas agrupándose como subcuenca según INEFAN (1995), con un perímetro de 99.36 kilómetros, una elevación media de 77.81 metros y una longitud del cauce principal de 21,310 metros, cuya pendiente es suave según Strahler (1957) ya que su valor es 2.52%, el coeficiente de compacidad es de 2.08 ubicando su forma como rectangular oblonga por Gravelius (1914), la relación de circularidad es de 0.23 situando

su forma como alargada por Miller (1953), la relación hipsométrica es 1 lo cual indica que la cuenca está en equilibrio según Strahler (1952), el coeficiente de sinuosidad hidráulico es de 1.51 indicando que el canal es regula pudiendo encontrarse meandros en su curso según Schumm (1956) y Mueller (1968).

Tabla 1. Parámetros hidrogeomorfológicos con software IDRISI

Parámetros	Datos	
Área de la cuenca (A)	181.41	km ²
Perímetro de la cuenca (P)	99.36	km
Elevación media de la cuenca (H)	77.81	msnm
Gradiente media de la cuenca (Sc)	2.52	°
Pendiente media de la cuenca (Sc)	4.4	%
Índice de Compacidad (Kc) por gravelius	2.08	
Relación de circularidad (Cc) por Miller	0.23	
Relación hipsométrica (RH)	1	
Longitud del eje del cauce principal (Lm)	32.19	km
Longitud directa del cauce principal (Lc)	21.31	km
Coeficiente de sinuosidad hidráulico (Sh)	1.51	
Elevación máxima (Hmax)	94	msnm
Elevación mínima (Hmin)	42	msnm
Pendiente del cauce principal (S)	2.52	%
Tiempo concentración (Tc) por Kirpich	11.36	horas
Tiempo concentración (Tc) por Chow	11.42	horas

C) Balance hídrico de la cuenca: según el modelo hidrológico SWAT, usado para establecer el balance hídrico cuyo periodo considerado fue 1990 - 2015 (25 años), indica que estadísticamente que existe disponibilidad de agua entre los meses de diciembre a junio, siendo el mes de marzo con mayor disponibilidad y septiembre el mes con menor disponibilidad (ver Tabla 2). Y específicamente para el año 2015 se registró un ingreso del agua (precipitación) de 14,199,900 mm/año en la cuenca (7,827.62 m³/ha/año).

Tabla 2. Balance hídrico con modelo hidrológico SWAT

MES	PRECIP	SWO	ET	SWT	PERC	SURQ	GWQ
1	2,806,650	67,000	275,900	165,600	6,250	2,425,050	850
2	3,433,200	160,450	308,600	196,500	6,050	3,080,400	2,100
3	3,633,650	200,900	338,100	169,950	1,550	3,322,200	2,750
4	1,941,150	171,500	298,900	135,550	200	1,675,850	2,150
5	1,801,950	142,650	272,550	101,050	2,200	1,566,800	2,000
6	136,350	102,500	155,150	47,050	100	34,950	1,600
7	8,000	48,350	37,650	17,350	0	150	1,200
8	5,850	18,250	18,300	4,950	0	0	850
9	4,000	5,700	5,800	3,300	0	0	600
10	27,100	3,750	27,200	2,900	0	300	450
11	69,500	3,250	39,850	15,550	0	17,050	300
12	332,500	11,500	137,700	50,200	0	155,850	250
Σ	14,199,900	935,800	1,915,700	909,950	16,350	12,278,600	15,100

Discusion

El análisis obtenido concuerda con lo manifestado por Foody (2002) y Rogan, Franklin y Roberts (2002) quienes indican que la obtención de mapas con cobertura y uso terrestre es una de las principales y más avanzadas aplicaciones de la teledetección. También, reafirmando Seyler et al. (2002) quienes muestra que el uso de imágenes satelitales es la alternativa más útil y eficiente para la elaboración de cartografía de ocupación de la tierra a diferentes escalas.

Con los resultados obtenidos y en función de la interpretación, estos coinciden con Klohms y Stanescu (1970) quienes afirman que la fisiografía de una cuenca hidrográfica permite inferir preliminarmente en el comportamiento hidrológico y sus estimaciones. Y complementándolo Aguirre (2007) quien expone que la morfometría permite conocer las características físicas de una cuenca, es decir, precisar su situación actual a partir de la descripción geométrica de las formas superficiales, y se obtiene mediante estimaciones hidrológicas de superficie, relieve e hidrografía.

La información obtenida coincide con Jiménez Otárola (1994) quien testifica que el balance hídrico es la representación teórica de los intercambios de agua entre las plantas, suelo y atmósfera, permitiendo establecer las ganancias y pérdidas hídricas que se registran en un área estudiada. Y aseverando Eischeid et al. (2000) que la evaluación de los recursos hídricos de una cuenca hidrográfica demanda comprender el ciclo hidrológico en sus múltiples fases. Profundizándolo Espinoza (2012) quien sostiene que la exactitud del balance hídrico en una cuenca hidrográfica está condicionada por el tamaño de la cuenca.

Conclusiones

En el análisis multitemporal con el software ERDAS y la metodología utilizada, se obtuvo las coberturas y usos de la tierra de 1990 y 2015, lo cual permitió determinar los cambios progresivos en la cuenca alta del Río Macul; cuyo resultado indica un acelerado crecimiento poblacional y deforestación (información contrastada y validada). Para el cálculo de los parámetros geomorfológicos en la cuenca alta del río Macul, se utilizó el software IDRISI y complementado con la matriz IHG, cuya metodología utilizada para ambos casos se ajustó a la investigación; donde el resultado en dicha cuenca indica que no ha sufrido perturbaciones irremediables. Para determinar el balance hídrico se modeló la información con SWAT donde la metodología propuesta se ajustó para la investigación; cuyo resultado permitió entender el funcionamiento del sistema fluvial porque indica que el agua se encuentra en equilibrio. Con los datos obtenidos del análisis multitemporal, hidrogeomorfología de la cuenca y balance hídrico, permitió determinar la caracterización de la cuenca alta del río Macul.

Referencias

- Aguirre, N. (2007). Manual para el Manejo Sustentable de Cuencas Hidrográficas. Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador. 115p.
- Bernex, N. (2009). Ordenamiento territorial en la gestión integral del recurso hídrico en la cuenca andino-amazónica. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP); Ministerio del Ambiente de Perú / Dirección General de Ordenamiento Territorial; Secretaría General de la Comunidad Andina - Programa BIOCAN; Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH - Programa Desarrollo Rural Sostenible (PDRS) y Proyecto Sectorial Land Management. Iquitos, Perú. 152p.
- Barros-Bastidas, C., & Turpo, O. (2020). La formación en investigación y su incidencia en la producción científica del profesorado de educación de una universidad pública de Ecuador. *Publicaciones*, 50(2), 167–185. doi:10.30827/publicaciones.v50i2.13952
- Barros, C., & Turpo, O. (2017). La formación en el desarrollo del docente investigador: una revisión sistemática. *Revista Espacios*, 38(45).
- Castro, D. (2012). Clasificación Automática de Unidades de Relieve a partir de Variables Topográficas con fines de Planificación Territorial en la cuenca del Río Napo. Quito, Ecuador.
- Eischeid J. K., Pasteris, P. A., Diaz, H. F., Plantico, M. S., y Lott, N. J. (2000). Creating a serially complete, national daily time series of temperature and precipitation for the western United States. *Journal of Applied Meteorology*. Vol. 39. 1580-1591p.
- Espinoza, A. (2012). Balance hídrico río El Ángel. Universidad San Francisco de Quito. 79p.
- Foody, G. M. (2002). Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*. 80: 185-201p.
- Gravelius, H. (1914). *Flusskunde*. Goschen Verlagshan dlug Berlin. En Zavoianu, I. (1985). *Morphometry of Drainage Bassins*. Developments in water science, 20. Elsevier, Amsterdam. 238p. ISBN 0-444-99587-0
- GWP [Global Water Partnership]. (2009). Manual para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas. 112p.
- INEFAN [Instituto Ecuatoriano Forestal y de Áreas Naturales]. (1995). Política forestal y de áreas naturales y vida silvestre. Quito, Ecuador.
- Jiménez Otárola, F. (1994). Planificación y manejo de los recursos hidrológicos en la agricultura mediante el balance hídrico. Turrialba, Costa Rica. 37p.

- Klohm, Wulf, y Stanescu, Silvio. (1970). Magnitudes fisiográficas e índices morfométricos relacionados con la hidrología. Servicio Colombiano de Meteorología e Hidrología - SCMI. Santafé de Bogotá, Colombia.
- Lozano R., J. (1997). Principales enfoques acerca de la dimensión ambiental en los métodos actuales de planificación y desarrollo. Universidad del Tolima. Ibagué, Colombia. 21-50p.
- Miller, V. C. (1953). A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee. Office of Naval Research, Geography Branch, Project NR 389-042, Technical Report 3. Columbia University. USA.
- Mueller, J. E. (1968). An Introduction to the Hydraulic and Topographic Sinuosity Indexes. *Annals of the Association of American Geographers*. 58:2. 371-385. Consultado el 30 de abril del 2018. DOI: 10.1111/j.1467-8306.1968.tb00650.x
- Muñoz, E., Arumí, J. L., y Rivera, D. (2013). Watersheds are not static: Implications of climate variability and hydrologic dynamics in modeling. Chile. Consultado el 18 de enero del 2019. Disponible en: <http://www.scielo.cl/pdf/bosque/v34n1/art02.pdf>
- Schardong, A., y Simonovic, S. (2011). Multi-objective Evolutionary Algorithms for Water Resources Management. (Bol. Tec. N°78), Department of Civil and Environmental Engineering, University of Western Ontario. London, Ontario, Canadá. 167p.
- Schumm S. A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlans at Perth-Amboy. New-Jersey. *Geo. Soc. Am. Bull.* 597-646p.
- Seyler, F., Chaplot, V., Muller, F., Cerri, C., Bernoux, M., Ballesters, V., Feller, C., y Cerri, C. (2002). Pasture mapping by classification of Landsat TM images. Analysis of the spectral behaviour of the pasture class in a real medium-scale environment: the case of the Piracicaba Catchment (12400km², Brazil). *International Journal of Remote Sensing*. 23 (23): 4985-5004p.
- Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*. 63 (11). 1117 - 1142p.
- Strahler, A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Civil Engineering*. 101. 1258 - 1262.
- Turpo Gebera, O., Aguaded Gómez, I., & Barros Bastidas, C. (2022). Alfabetización mediática e informacional y formación docente en países en desarrollo: el caso de

Perú. Universidad Y Sociedad, 14(2), 321-327. Recuperado a partir de <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/2710>

- Ollero, A., Ballarín, D., Díaz Bea, E., Mora, D., Sánchez Fabre, M., Acín, V., Echeverría, M.T., Granado, D., Ibisate, A., Sánchez Gil, L., y Sánchez Gil, N. (2007) Un índice hidrogeomorfológico (IHG) para la evaluación del estado ecológico de sistemas fluviales. *Geographica*, 52. España. 113-141p.
- Rogan, J., Franklin, J. y Roberts, D. A. (2002). A comparison of methods for monitoring multitemporal vegetation change using Thematic Mapper imagery. *Remote Sensing of Environment*. 80: 143-156p.
- von Feigenblatt, Otto Federico (2007). *Japan and Human Security: 21st Century ODA Policy Apologetics and Discursive Co-optation* (2nd ed.). Delray Beach: Academic Research International.
- von Feigenblatt, Otto Federico (2009a). Anomie, Racial Wage, and Critical Aesthetics: Understanding the Negative Externalities of Japanese and Thai Social Practices. *Journal of Asia Pacific Studies*, 1(1), 69-75.