

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v3i2.173>

Descripción hidrogeomorfológica de la Cuenca Alta del río Sibimbe (Bolívar, Ecuador) con fines de riego

Hydrogeomorphological Description of the Upper Basin of the Sibimbe River (Bolívar, Ecuador), for Irrigation Purposes

Carlos Vinicio Sanabria Yépez

Ministerio de Agricultura y Ganadería
csanabria@mag.gob.ec
<https://orcid.org/0000-0001-5038-3159>
Guayaquil-Ecuador

Carlos Alberto Nieto Cañarte

Universidad Técnica Estatal de Quevedo
cnieto@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-1817-9742>
Quevedo-Ecuador

Byron Andres Burgos Carpio

Universidad Andina Simón Bolívar
byron.burgos2015@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-2840-9997>
Quevedo-Ecuador

Miguel Efren Loaiza Espinoza

Ministerio de Agricultura y Ganadería
mloaiza@mag.gob.ec
<https://orcid.org/0000-0003-3058-2657>
Guayaquil-Ecuador

Artículo recibido: día 31 de octubre de 2022. Aceptado para publicación: 19 de noviembre de 2022.
Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

Todo el contenido de **LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades**, publicados en este sitio está disponibles bajo Licencia [Creative Commons](#) . 

Como citar: Sanabria Yépez, C. V., Nieto Cañarte, C. A., Burgos Carpio, B. A., & Loaiza Espinoza, M. E. (2022). Descripción hidrogeomorfológica de la Cuenca Alta del río Sibimbe (Bolívar, Ecuador) con fines de riego. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 3(2), 1127-1140 <https://doi.org/10.56712/latam.v3i2.173>

Resumen

En el territorio ecuatoriano, la provincia de Bolívar ha venido extendiendo año tras año su frontera agrícola, sin tener en cuenta la oferta y demanda de agua en la zona. Por esta razón, la presente investigación se centró en llevar a cabo la caracterización hidrológica de la cuenca alta del río Sibimbe mediante el uso de herramientas de Sistema de Información Geográfica - SIG, con la finalidad de determinar si la oferta de agua permite suplir los requerimientos hídricos del área cultivada. Con base a lo mencionado anteriormente, se procedió a estimar los principales parámetros morfométricos de la cuenca, y una vez obtenidos se realizó un balance hídrico espacial mensual, adaptado a los conceptos desarrollados por la FAO y a la situación actual de la zona, lo cual permitió identificar dos etapas en cuanto a la oferta y demanda de agua. Por un lado, de febrero a mayo existe excedente de agua, y por el otro, de junio a enero existe déficit de agua. Así mismo, basado en la metodología del Servicio de Conservación de Suelos –SCS, ajustado por Fegurson, se aplicó un modelo de escorrentía mensual directa, el cual permitió conocer que la cantidad de agua superficial aportada al caudal del río Sibimbe es de 25,426,560 m³ por año. Finalmente, se aplicó la metodología de la FAO para determinar los requerimientos de riego de los principales cultivos, los cuales fueron de 22,263,951.28 m³ por año. En conclusión, se determinó que la escorrentía puede suplir los requerimientos de riego de los cultivos en la cuenca alta del río Sibimbe durante el año. Por lo tanto, las entidades públicas ecuatorianas deben priorizar la intervención en la zona de acuerdo al ámbito de sus competencias, con la finalidad de brindar una sostenibilidad a través del tiempo.

Palabras clave: cuenca, excedentes, déficits, riego, escorrentía

Abstract

In the Ecuadorian territory, the province of Bolívar has been expanding its agricultural frontier year after year, without taking into account the supply and demand of water in the area. For this reason, the present investigation focused on carrying out the hydrological characterization of the upper basin of the Sibimbe River through the use of tools from the Geographic Information System - GIS, in order to determine if the water supply allows meeting the requirements. water of the cultivated area. Based on the aforementioned, the main morphometric parameters of the basin were estimated, and once obtained, a monthly spatial water balance was made, adapted to the concepts developed by the FAO and to the current situation of the area, which allowed identify two stages in terms of water supply and demand. On the one hand, from February to May there is an excess of water, and on the other, from June to January there is a water deficit. Likewise, based on the methodology of the Soil Conservation Service -SCS, adjusted by Fegurson, a direct monthly runoff model was applied, which found that the amount of surface water contributed to the flow of the Sibimbe River is 25,426,560 m³ per year. Finally, the FAO methodology was applied to determine the irrigation requirements of the main crops, which were 22,263,951.28 m³ per year. In conclusion, it will be prolonged that the runoff can supply the irrigation requirements of the crops in the upper basin of the Sibimbe River during the year. Therefore, Ecuadorian public entities must prioritize intervention in the area according to the scope of their powers, in order to provide sustainability over time.

Keywords: basin, surpluses, deficits, irrigation, runoff

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el manejo sostenible de cuencas hidrográficas es de vital importancia, ya que permite aprovechar los recursos naturales disponibles en forma equilibrada, sin causar daño al ambiente. En Ecuador, los estudios referentes a cuencas hidrográficas son limitados y en la mayor parte del territorio se desconoce su importancia. Este problema incurre a que no se realice una gestión adecuada del agua para riego, ya que, en la mayoría de cuencas hidrográficas, el agua procedente de escorrentías superficiales no es aprovechada, dejando que estas se pierdan por evaporación y filtración durante su curso. Escudero (2015) indica que en el cantón Echeandía, provincia de Bolívar, existe un déficit hídrico del 32.69%; pero a pesar de esto las fronteras agrícolas se siguen extendiendo a través de los años, sin tomar en cuenta la disponibilidad de agua existente, por ende, la mayor parte de agricultores no logra alcanzar rendimientos óptimos en sus cosechas.

Con el fin de solucionar este problema, en la presente investigación se han aplicado herramientas SIG para los distintos procesos que conlleva la caracterización hidrológica de la cuenca alta del río Sibimbe, debido a que permiten realizar un análisis de una manera rápida y eficaz. Por lo tanto, entre las interrogantes planteadas tenemos: conocer los parámetros morfométricos, estimar en forma espacial y volumétrica el balance hídrico, partiendo de la metodología de la FAO (2016); de igual manera, la oferta de escorrentía superficial mediante el método del SCS ajustado por Ferguson (1996), y los requerimientos de riego de los principales cultivos, aplicando la metodología de la FAO (Calvache, 2012).

Los resultados obtenidos a partir del procesamiento de información hidrológica permiten realizar un análisis espacial y cuantitativo de la oferta y demanda de agua en la cuenca, lo cual ayudará a tomar decisiones correctas en cuanto a la gestión del agua para riego, y de esta manera garantizar una sostenibilidad en toda el área de influencia.

MÉTODO

La cuenca alta del río Sibimbe se encuentra ubicada en la parte centro-occidental de la región interandina del Ecuador, específicamente entre los cantones Echeandía y Guaranda de la provincia de Bolívar. La posición geográfica se extiende desde: 79°3' W 1°22' S y 79°17' W 1° 25' S. De acuerdo a la SENAGUA (2014), la cuenca alta del río Sibimbe hidrográficamente pertenece al sistema hidrográfico No. 14,976 de la cuenca del río Guayas, la más extensa e importante del país.

En el presente trabajo investigativo, se ha contemplado la aplicación de metodologías confiables que han sido probadas en distintos lugares bajo escenarios específicos. Por lo tanto, estas metodologías han sido empleadas mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica, las cuales se detallan a continuación:

Análisis morfométrico

Para este análisis se delimitó previamente la cuenca hidrográfica, a través del uso del menú Hydrology del software ArcGIS, utilizando un MDE como dato de entrada, con una resolución de 30 m. Posteriormente, mediante la metodología de Villón (2011) se calculó y clasificó la cuenca hidrográfica de acuerdo a su área y perímetro, de igual manera, el factor forma fue calculado mediante la ecuación recomendada por Fuentes (2004), mientras que el cálculo del índice de compacidad fue realizado en base a la ecuación sugerida por Urbina, Farfán, Ferreira, Brandán y Aguilera (2010); por último, la densidad de drenaje fue obtenida aplicando la ecuación recomendada por CORTOLIMA (2009). Estos productos ayudaron a estimar el comportamiento de la cuenca ante eventos de máximas avenidas.

Determinación del balance hídrico y los volúmenes de escurrimiento superficial

Para determinar el balance hídrico y los volúmenes de escurrimiento se descargaron previamente en formato raster los datos climáticos de temperatura media, máxima, mínima, radiación solar extraterrestre y precipitación media a nivel mensual de la página WorldClim versión 2.0, con una resolución espacial aproximada de 1 km² y cuya temporalidad es de 1970 – 2000 (Aruni, 2015). Estos datos fueron recortados en base al área de influencia con la herramienta Extract by Mask.

La metodología aplicada para determinar el balance hídrico fue la propuesta por la FAO (2016), debido a que considera varios aspectos de importancia como la evapotranspiración, que fue calculada por el método de Hargreaves, la variabilidad de la reserva de agua en el suelo, basada en la humedad disponible a la profundidad radicular efectiva de los cultivos. La información de suelos fue facilitada por el MAG (2018), y la información faltante fue calculada con el software SPAW (Saxton y Rawls, 2009). Por consiguiente, para la determinación del balance hídrico se aplicó la ecuación ($H_{Ai} = H_{Ai-1} + P_i - ET_{0i}$) mediante calculadora raster, siendo H_{Ai} : Humedad almacenada del mes actual (mm), H_{Ai-1} : Humedad almacenada del mes anterior (mm), P_i : Precipitación del mes actual (mm) y ET_{0i} : Evapotranspiración de referencia del mes actual (mm) (Ruíz, Arteaga, Vázquez, Ontiveros y López, 2012). Estas variables ayudaron a determinar el déficit y exceso que es aportado al caudal. Cabe indicar que el mes de partida para el balance, fue aquel que marca el inicio de la temporada seca luego de un periodo lluvioso; por ende, en este mes se asumió como humedad disponible en el suelo la capacidad de campo.

La determinación del escurrimiento superficial fue realizada aplicando la metodología del SCS, ajustado por Ferguson (1996) para ser aplicado a nivel mensual. Esta fórmula considera la precipitación a nivel mensual, el potencial de retención máxima obtenido a partir del número de curva, bajo una condición de humedad antecedente II, y 3 constantes a, b, k, que fueron seleccionadas de la tabla de constante en base a un $r^2 = 0.98$, por ser el valor mejor ajustado. Es importante destacar que las variables fueron utilizadas en formato raster y para el cálculo respectivo se utilizó la calculadora raster y luego la herramienta Zonal Statistics as Table, para obtener estos resultados en forma cuantitativa.

Cálculo de los requerimientos de riego de los principales cultivos sembrados

El cálculo de los requerimientos de riego fue realizado mediante la metodología de la FAO a nivel mensual (Calvache, 2012). La ecuación utilizada ($(ET_0 \times K_c) - P_e$), considera la evapotranspiración de referencia (ET_0) calculada previamente en el balance hídrico, el coeficiente de cultivo (K_c) seleccionado en base al Manual 56 de la FAO (Allen, Pereira, Raes, Smith, 2006), y la precipitación efectiva (P_e) en base a las ecuaciones de la USDA. Adicionalmente, a esta lámina obtenida se involucró una eficiencia de riego del 55%, que es catalogada para sistemas de riego por surcos. Cabe destacar que las variables fueron utilizadas en formato raster y para el cálculo respectivo se utilizó la calculadora raster y luego la herramienta Zonal Statistics as Table, para obtener estos resultados en forma cuantitativa.

RESULTADOS

De acuerdo a los parámetros morfométricos, obtenidos se puede apreciar que la cuenca alta del río Sibimbe es catalogada como grande por poseer una superficie mayor a 250 km². Del mismo modo, la clasificación de Horton permite evidenciar que su forma es moderadamente achatada, por presentar un valor adimensional que está entre el rango de 0.36 a 0.54, el índice de compacidad va de oval redonda a oval oblonga por presentar un valor adimensional que está entre el rango de 1.25 a 1.5; mientras que la densidad de drenaje es baja por estar entre el rango de 0.1 a 1.8. Por último, la pendiente promedio de la cuenca es alta con un valor de 13%, es decir que por cada 100 metros horizontales experimenta un desnivel de 13 m.

Tabla 1

Parámetros morfométricos

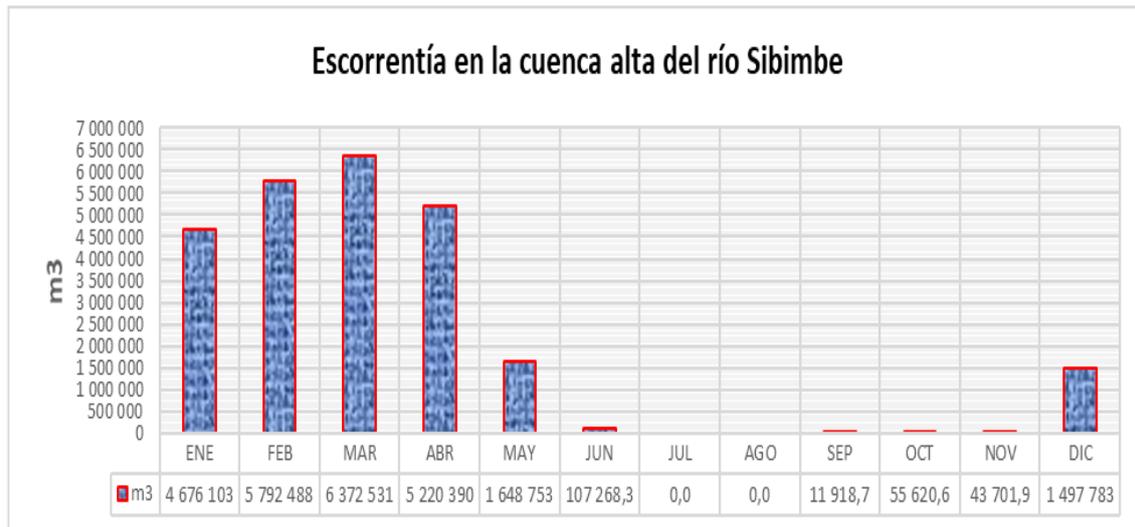
DESCRIPCIÓN	UNIDADES	VALOR
Área de la cuenca	km ²	397.29
Perímetro de la cuenca	km	89.38
Factor forma de Horton	adimensional	0.50
Índice de Gravelious	adimensional	1.26
Pendiente promedio de la cuenca	m/m	0.13
Longitud red hídrica	km	559.78
Densidad de drenaje	km/km ²	1.41

Los resultados de balance hídrico obtenidos a nivel mensual, permiten apreciar que en la cuenca alta del río Sibimbe durante los meses de febrero, marzo, abril y mayo presentan excesos de agua, siendo marzo el mes que presenta el registro más alto, con un valor de 425.24 mm; mientras que durante los meses de julio, agosto y septiembre se presenta déficit en toda la cuenca, siendo el mes de septiembre el que registra su valor más alto con 109.95 mm.

De igual forma, los resultados de escorrentía superficial obtenidos permiten apreciar que la escorrentía total en la cuenca alta del río Sibimbe es de 25,426,560 m³/año, registrando los mayores aportes en los primeros 4 meses de año, siendo marzo el mes que presenta el registro más alto, con un valor de 6,372,532.6 m³. Por el contrario, los meses que no producen escorrentía son los de julio y agosto.

Figura 1

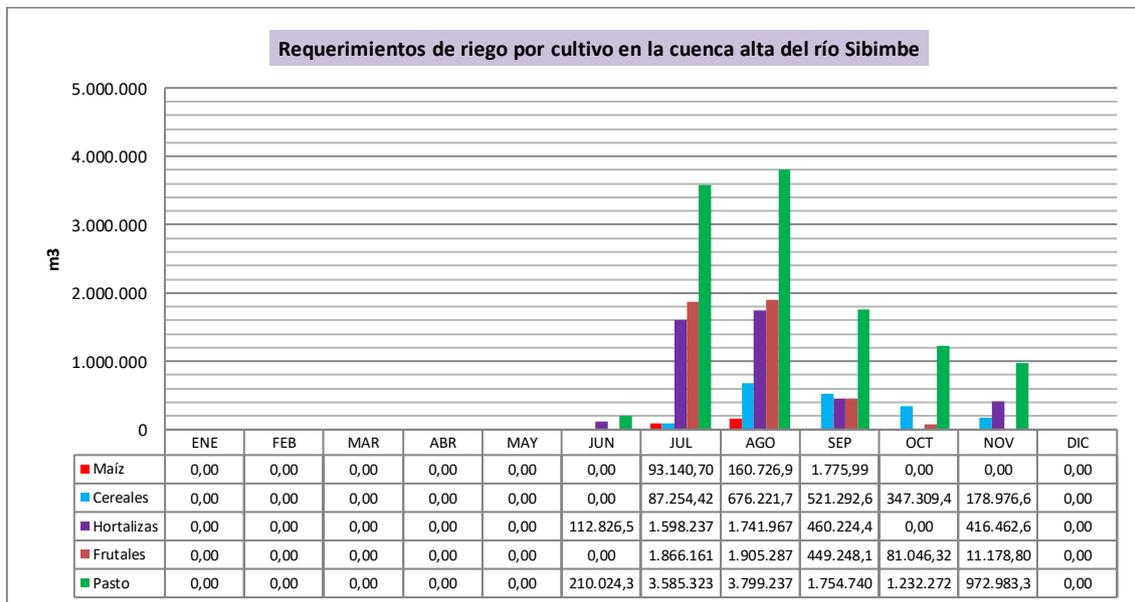
Volúmenes de escorrentía superficial



Los resultados de requerimientos de riego de los principales cultivos sembrados en la cuenca alta del río Sibimbe, permiten apreciar que durante los primeros 5 meses del año los cultivos no requieren riego; pero en los meses restantes estos valores varían paulatinamente. El requerimiento de riego total de los principales cultivos sembrados: pastos, frutales, hortalizas, cereales y maíz es de 22,263,951.28 m³/año.

Figura 2

Requerimientos de riego por los cultivos



DISCUSIÓN

Los parámetros morfométricos indican que la cuenca alta del río Sibimbe puede ser susceptible a concentrar lluvias intensas con fuertes volúmenes de escurrimiento de acuerdo a su factor forma (Fuentes, 2004), y a su índice de compacidad (Urbina et al, 2010), que sumado a una densidad de drenaje baja, hace que el tiempo de respuesta se vea afectado ante una máxima avenida por la baja longitud de ríos en el área de estudio (CORTOLIMA, 2009).

En aquellas zonas donde no exista información climática, es recomendable hacer uso de información confiable bajo una misma temporalidad y con las variables necesarias, como las que se pueden obtener a través de la página de WorldClim (Aruni, 2015).

En el balance hídrico se puede apreciar que desde el mes de febrero hasta el mes de mayo se presentan excesos de agua en toda la cuenca, debido a las altas tasas de precipitación; por consiguiente, durante este periodo la humedad disponible en el suelo está al máximo de su capacidad, como lo indica (Ruíz et al., 2012). De igual forma, la época en que se presenta déficit en toda la cuenca está comprendida entre los meses de julio a septiembre, ya que existe una menor tasa de precipitación, por ende, durante este periodo la reserva de humedad del suelo se va agotando.

Uno de principales problemas al realizar el cálculo de escurrimiento superficial por el método del SCS, es no contar con datos de precipitación diaria; por tal motivo, se aplicó la ecuación ajustada por Ferguson (1996) que se basa en el método del número de curva del SCS bajo una temporalidad mensual. Los resultados de escurrimiento superficial registran los mayores aportes en los primeros 4 meses del año, debido a que durante estos meses se concentran las mayores tasas de precipitación en toda la cuenca.

Para los cálculos de requerimiento de riego se concuerda con la FAO (2016), en que se deben tomar en cuenta las variables de (ET_o), (K_c) y (P_e). Estos resultados permitieron evidenciar que el mes de mayor demanda es agosto con 8,283,440.57 m³, debido a que durante este periodo se registran los (K_c) más altos y la precipitación efectiva es baja. Así mismo, se puede apreciar que el cultivo de mayor demanda de riego en la cuenca es el pasto, con un total de 11,554,582.57 m³, por poseer una mayor superficie.

Al contrastar los valores de requerimientos de riego de los cultivos y los valores de volumen de escurrimiento producidos en la cuenca alta del río Sibimbe, se puede notar que la oferta de agua en la cuenca permite satisfacer el 100% de la demanda, siempre y cuando se logre captar toda la escurrimiento generada. Es importante indicar que en Ecuador se requieren investigaciones que contemplen un plan de gestión Integrada e Integral de los Recursos Hídricos, para garantizar la sostenibilidad en las cuencas hidrográficas del territorio nacional.

REFERENCIAS

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., y Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo-Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos-Estudio FAO Riego y Drenaje 56. FAO, Roma.

Aruni, G. (2015). Sistematización de la información climática obtenida de WorldClim a través de sistemas de información geográfica (SIG) en el municipio de Patacamaya. La Paz, Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés.

Calvache, M. (2012). Riego Andino Tecnificado. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.

CORTOLIMA, Corporación Autónoma Regional del Tolima, (2009). Plan de ordenación y manejo ambiental de la microcuenca de las Quebradas, las Panelas y las Balsa. Ibagué, Colombia.

Escudero, P. (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Echeandía. Echeandía, Ecuador: Municipio de Echeandía.

FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2016). Sitio web AQUASTAT: Balance hídrico y necesidades de agua de riego. http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use_agr/indexesp3.stm

Ferguson, B. K. (1996). Estimation of Direct Runoff in the Thornthwaite Water Balance. University of Georgia, 48(3), 1-8.

Fuentes, J. A. (2004). Análisis morfométrico de cuencas: Caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancitaro. Michoacán, México: Instituto Nacional de Ecología.

MAG, Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2018). Información geográfica del Ecuador a través del estudio de zonas prioritarias de uso y aprovechamiento del recurso hídrico para pequeña y mediana agricultura. Guayaquil, Ecuador.

Ruíz, O. Arteaga, R., Vázquez, M., Ontiveros, R., y López, R. (2012). Balance hídrico y clasificación climática del estado de Tabasco, México. Chapingo, México. Scielo, 28(1), 5-9.

Saxton, K., y Rawls, W. (2009). Introducción al programa "Soil Water Characteristics" - Hydraulic Properties Calculator . Buenos Aires, Argentina: Universidad Nacional de La Plata.

SENAGUA, Secretaría Nacional del Agua. (2014). Delimitación y codificación de las unidades hidrográficas del Ecuador. (28 de Mayo, 2014) <http://www.agua.gob.ec/>

Urbina, L., Farfán, F., Ferreira, S., Brandán, E., y Aguilera, N. (2010). Morfología de la Cuenca Endorreica Cachipampa en P.N. Los Cardones, Salta. Universidad Nacional de Salta, 5(20), 111-113.

Villón, M. (2011). Hidrología. Lima-Perú: Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Agrícola.