



DOI: [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v6i5.3427](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i5.3427)

**Descripción hidrogeomorfológica de la cuenca del río Santa Rosa  
(Ecuador) con fines de riego y control de inundaciones**

**MSc. Miguel Efren Loaiza Espinoza**

[mloaiza@mag.gob.ec](mailto:mloaiza@mag.gob.ec)

<https://orcid.org/0000-0003-3058-2657>

Ministerio de Agricultura y Ganadería  
Guayaquil-Ecuador

**MSc. Carlos Alberto Nieto Cañarte**

[cnieto@uteq.edu.ec](mailto:cnieto@uteq.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0003-1817-9742>

Universidad Técnica Estatal de Quevedo  
Quevedo-Ecuador

**MSc. Byron Andres Burgos Carpio**

[byron.burgos2015@uteq.edu.ec](mailto:byron.burgos2015@uteq.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-2840-9997>

Universidad Andina Simón Bolívar  
Quevedo-Ecuador

**MSc. Carlos Vinicio Sanabria Yépez**

[csanabria@mag.gob.ec](mailto:csanabria@mag.gob.ec)

<https://orcid.org/0000-0001-5038-3159>

Ministerio de Agricultura y Ganadería  
Guayaquil-Ecuador

## RESUMEN

En Ecuador, las provincias de los Ríos y Bolívar siempre se han caracterizado por un desarrollo agrícola importante y constante. Lamentablemente la mala gestión del recurso hídrico es un problema que se viene acarreado en todo el país desde hace muchos años. Es por eso que el presente trabajo muestra si las condiciones climáticas de la cuenca del Río Santa Rosa satisfacen este desarrollo agrícola. Para esto, por medio del software ArcGIS (SIG), se realizó la caracterización geomorfológica de la cuenca, información que sirvió para posteriormente determinar el balance hídrico de la misma, obteniendo que el área de estudio presenta dos etapas en el año, una de enero a abril con excedentes hídricos y otra de mayo a diciembre con déficits. Posterior a esto se determinó la escorrentía superficial de la cuenca con la metodología planteada por Ferguson, obteniéndose un valor de 62'858,679.45 de m<sup>3</sup>/año. El volumen de escurrimiento sirvió para realizar una comparación con los requerimientos hídricos y de riego calculados para los principales cultivos de la zona (cacao, arroz, banano, cítricos), obteniendo como resultado que el escurrimiento sólo puede suplir el 46% de los requerimientos de riego de dichos cultivos en la cuenca. Finalmente, por medio de una evaluación multicriterio a través de variables como precipitación, pendiente, drenajes, y cobertura de suelos se determinó las zonas susceptibles a inundaciones, comprobando que el 89% de la cuenca baja se encuentra en susceptibilidad alta a inundaciones y que poblados como Beldaco, Tres Marías y la Cooperativa Buena Suerte permanecen en constante riesgo a sufrir inundaciones.

**Palabras clave:** Hidrología; escorrentía; riego; susceptibilidad; inundaciones.

Correspondencia: [mloaiza@mag.gob.ec](mailto:mloaiza@mag.gob.ec)

Artículo recibido: 10 agosto 2022. Aceptado para publicación: 10 septiembre 2022.

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

Todo el contenido de **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, publicados en este sitio están disponibles bajo

Licencia [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) 

Como citar Loaiza Espinoza, M. E., Nieto Cañarte, C. A., Burgos Carpio, B. A., & Sanabria Yépez, C. V. (2022). Descripción hidrogeomorfológica de la cuenca del río Santa Rosa (Ecuador) con fines de riego y control de inundaciones. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(5), 4699-4709. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v6i5.3427](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i5.3427)

## Hydrogeomorphological description of the Santa Rosa River basin (Ecuador) for irrigation and flood control purposes

### ABSTRACT

In Ecuador, the provinces of Los Ríos and Bolívar have always been characterized by significant and constant agricultural development. Poor management of water resources is a problem that has been taking place throughout the country for many years. That is why the present work shows if the climatic conditions of the Santa Rosa River basin satisfy this agricultural development. For this, by means of the ArcGIS (SIG) software, the geomorphological characterization of the basin was carried out, information that location to later determine the water balance of the same, obtaining that the study area presents two stages in the year, one of January to April with water surpluses and another from May to December with deficits. After this, the surface runoff of the basin will be prolonged with the methodology proposed by Ferguson, obtaining a value of 62'858,679.45 m<sup>3</sup>/year. The volume of runoff due to make a comparison with the water and irrigation requirements calculated for the main crops in the area (cocoa, rice, banana, citrus), obtaining as a result that the runoff can only supply 46% of the water requirements. irrigation of these crops in the basin. Finally, through a multi-criteria evaluation through variables such as precipitation, slope, drainage, and land cover, the areas susceptible to flooding are limited, verifying that 89% of the lower basin is highly susceptible to flooding and that towns such as Beldaco, Tres Marías and the Buena Suerte Cooperative will remain at constant risk of flooding.

**Keywords:** Hydrology; runoff; irrigation; susceptibility; floods

## **INTRODUCCIÓN**

En Ecuador los planes enfocados al manejo de cuencas hidrográficas son muy escasos y no poseen la importancia que requieren (Castro, 2012). En el litoral ecuatoriano las lluvias son muy variables, es por eso que existen sectores con déficit hídrico y otros con excesos de lluvias que provocan inundaciones.

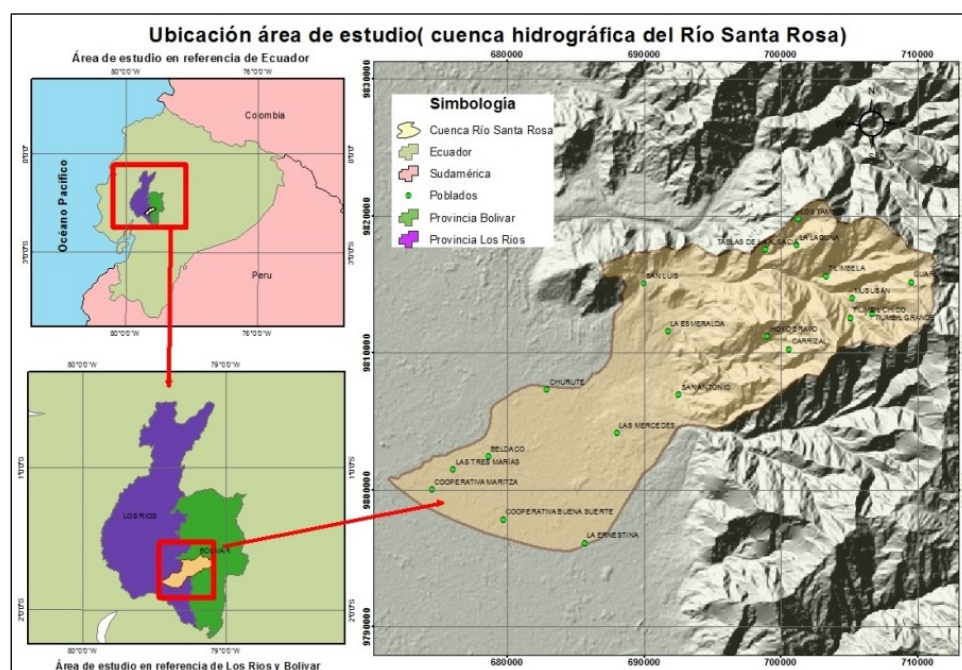
La gestión inadecuada del recurso agua por parte de las autoridades competentes en el Ecuador tienen como consecuencias el no aprovechamiento de aguas provenientes de escorrentías superficiales, las cuales pueden aportar en gran medida en las provincias de la región costera del Ecuador, donde sobresale la agricultura de secano entre los pequeños y medianos agricultores (MAG, 2016) para suplir los requerimientos hídricos de una variedad de cultivos como banano, cacao, arroz, maíz, entre otros, debido a que las lluvias se concentran entre enero y abril, Pourrut (1995), lo que representa que el período disponible para la producción agrícola es corto.

Por otra parte, la intensidad de mucha de esta precipitación en estos meses trae como consecuencia que, en las cuencas bajas, los sistemas hidrográficos de la región vienen acarreado caudales con muchos sólidos (sedimentos), ocasionando que las aguas se salgan del cauce de los Ríos provocando inundaciones, con el consecuente daño a obras de infraestructura, viviendas, cultivos e inclusive causando la pérdida de vidas humanas. En el ámbito de los recursos hídricos (riego y control de inundaciones) las nuevas herramientas que ofrecen los SIG han provocado realizar análisis de forma más rápida y la correcta toma de decisiones de instituciones públicas y privadas, Dal-Ré (2003) argumenta que en la actualidad los Sistemas de Información Geográfica (SIG) brindan herramientas potentes para el análisis hidrológico de cuencas usando MDE como base para el desarrollo del estudio. Otras metodologías como la evaluación multicriterio (EMC), agrupa distintos tipos de información y determina con mayor precisión zonas susceptibles a inundaciones.

## **METODOLOGÍA**

El presente estudio se realizó en la cuenca del Río Santa Rosa, la cual posee un área de 408.68 km<sup>2</sup>, geográficamente se encuentra ubicada en la parte central de la república de Ecuador, ocupando territorio de tres cantones; Chimbo de la provincia de Bolívar y los cantones Montalvo y Babahoyo de la provincia de Los Ríos.

Figura 1. Área de estudio



La cuenca se encuentra en la unidad hidrográfica 1 (SENAGUA, 2009), el río principal es el Río Santa Rosa con 27.7 km de longitud, fisiográficamente, el área se caracteriza por tener un relieve montañoso, mientras que en el piedemonte existen llanuras aluviales, la elevación máxima es de 3013 msnm y la mínima de 12 msnm, la precipitación media anual de 1900 mm en la parte media/baja, y de 1250 mm en la parte alta. La temperatura es más alta en las zonas más cercanas al cantón Babahoyo, es decir a la región costa, teniendo un promedio anual de 25.4 °C, mientras que en las zonas altas la temperatura desciende a un promedio anual de 20.6 °C.

El desarrollo del presente trabajo se encuentra dividido en tres fases, teniendo como primera etapa la caracterización de la cuenca de estudio, para poseer información necesaria y realizar así un balance hídrico teniendo en cuenta el cálculo de la escorrentía superficial. La segunda fase consiste en determinar los requerimientos hídricos de los cultivos de la cuenca hidrográfica. La última fase consiste en la identificación de las zonas propensas a inundarse en la cuenca baja del Río Santa Rosa.

Determinación de balance hídrico y escurrimiento superficial

Para realizar un balance hídrico climatológico (BHC) se aplicó la metodología propuesta por Thornthwaite y Mather (1955), se generó un raster de precipitación y temperatura por cada mes utilizando técnicas de interpolación por Kriging ordinario y de IDW mediante los datos de las estaciones meteorológicas del INAMHI, el BHC considera el

suelo como una unidad de reserva de agua, para esto se realizó un raster de humedad disponible a la profundidad radicular [(CC-PMP)(Pr)]. En el presente trabajo se estableció la misma reserva mensual para el cálculo del BHC a lo largo del año.

La determinación del escurrimiento superficial se realizó por medio de la metodología implementada por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) utilizando una hoja de cálculo en Excel, la determinación del NC fue realizada con base a las investigaciones de Sprenger (1978). Debido a que se trabajó con temporalidad mensual en los datos de precipitación, se aplicó la metodología de Ferguson (1996), fórmula que determina el caudal usando datos de precipitación mensual, el potencial de retención según el NC, además de 3 constantes a, b y k, las cuales fueron elegidas en base a las investigaciones de Knight et al. (2001).

#### **Cálculo de requerimientos hídricos**

El proceso para el cálculo de los requerimientos hídricos se realizó en dos partes, la primera se efectuó mediante mapas raster y la segunda mediante una plantilla creada en hoja de cálculo. La metodología se basa en la propuesta de la FAO, que considera la evapotranspiración (calculada previamente en formato raster) para obtener el BHC, así mismo se consideró el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), en el cual se utilizó el  $K_c$  medio debido a que es cuando los cultivos más necesitan reponer sus requerimientos hídricos. El cálculo se realizó utilizando la siguiente ecuación  $ET_c = [(ETP)(K_c)]$  en la calculadora de rasters.

El cálculo de requerimientos hídricos de los cultivos también se realizó a través de una plantilla de Excel, usando las mismas entradas, mientras que para la obtención de los requerimientos de riego es necesario determinar previamente los requerimientos hídricos, a los cuales se les restó el aporte de la precipitación efectiva mensual calculada mediante la metodología del Servicio de Conservación de Suelos.

#### **Identificación de zonas susceptibles a inundaciones**

Finalmente, la identificación de zonas susceptibles a inundaciones se la realizó mediante una evaluación multicriterio (EMC), metodología planteada por Yáñez et al. 2017 y que en Ecuador es utilizada por la Secretaría de Gestión de Riesgos (SGR) pondera variables como pendiente, cobertura de suelos, precipitaciones, drenaje, y tipo de suelos, con los archivos rasterizados y reclasificados de las variables mencionadas, se procedió a hacer el cuadro de ponderación (Tabla 1) y emplear la herramienta Weighted overlay en ArcGIS.

**Tabla 1.** Ponderación EMC

Ponderación	Parámetros	Valores	Susceptibilidad a Inundación
15%	Pendiente	4	Alta
		5	Muy Alta
30%	Precipitación	1	Muy Baja
		2	Baja
		3	Media
		4	Alta
		5	Muy Alta
20%	Textura	2	Baja
		3	Media
		4	Alta
		5	Muy Alta
20%	Drenaje	1	Muy Baja
		2	Baja
		3	Media
		4	Alta
		5	Muy Alta
15%	Cobertura	2	Baja
		3	Media
		4	Alta
		5	Muy Alta

Primero con la herramienta Reclassify del software ArcGIS se realizó una delimitación de la cuenca baja del Río Santa rosa delimitándola con la cota 20 msnm del MDE, utilizando como referencia el plan nacional de ordenamiento territorial (Odeplan, 2004). El uso combinado de los factores ya mencionados sobre el área de estudio permitió obtener un raster el cual fue reclasificado en 5 clases (Muy baja, Baja, Media, Alta y Muy Alta).

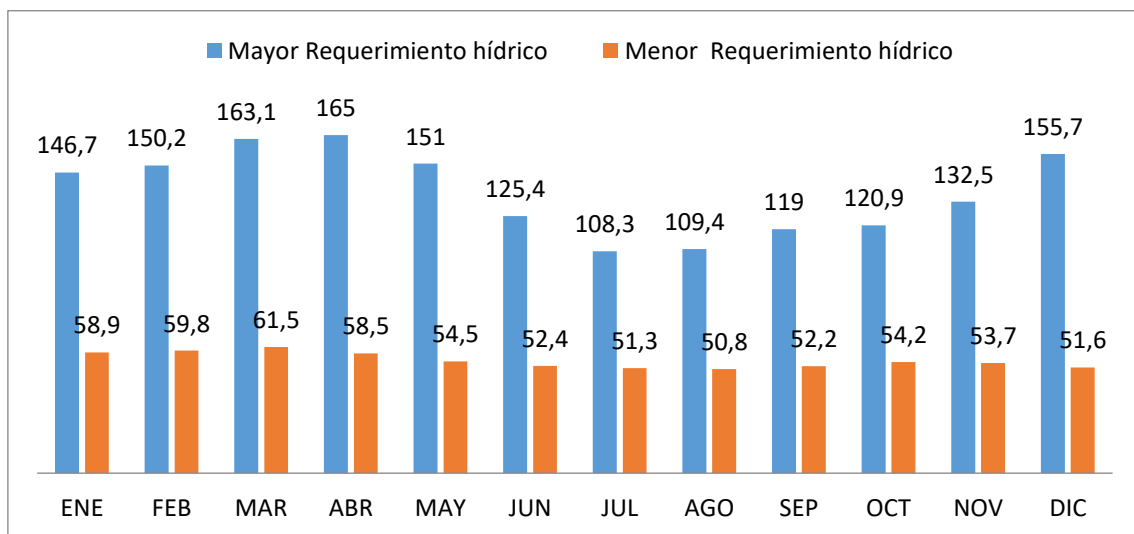
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según los resultados que arrojó el BHC mediante mapas de distribución espacial, la cuenca del Río Santa Rosa en los 4 primeros meses del año presenta exceso hídrico en

toda la cuenca, en los meses restantes sólo presenta excedente en la cuenca media y alta. Desde mayo hasta agosto se ven signos de déficit en zonas de la cuenca media baja. En los últimos 4 meses del año persiste el excedente hídrico con un promedio de 256 mm, sobre todo en los sectores de la cuenca media alta, mientras que el déficit en estas zonas es proporcional al aumento de la evapotranspiración de estos meses y a la disminución de la precipitación.

El NC obtenido después de la ponderación de 23 coberturas fue 73, con este resultado se obtuvieron los escurrimientos mensuales. La sumatoria anual del escurrimiento es 62'858,679.45 de m<sup>3</sup>/año, el escurrimiento es mayor en los meses iniciales del año debido a la mayor cantidad de precipitación, superando los 10 millones de m<sup>3</sup> entre enero y abril, por su parte desde mayo hasta septiembre el escurrimiento disminuye progresivamente, hasta noviembre cuando las precipitaciones tienen un ligero aumento y por consiguiente el escurrimiento también aumenta.

Figura 2. Requerimientos hídricos mensuales



Los resultados del cálculo del RH mensual demuestran que existen zonas con requerimientos promedio de 155 mm, esto ocurre principalmente entre los meses de enero y mayo. Las zonas donde se presentan las mayores demandas de agua es donde existen cultivos de arroz en la cuenca baja, en la cuenca media existen zonas con requerimientos bajos y medios, por la variación de cultivos y en la cuenca alta constan en su mayoría coberturas que no fueron considerados en este cálculo.

Los resultados indican que la cuenca baja presenta una pendiente máxima de alrededor del 10%, la textura del suelo en su gran mayoría es franco arcilloso, con respecto al drenaje la mayoría de estos suelos presentan un drenaje pobre, referente a la cobertura,



el cultivo de arroz es el que predomina en la cuenca baja, con las variables antes mencionadas se realizó la EMC, obteniéndose resultados entre 3 y 5 (susceptibilidad media, alta y muy alta).

Es importante manifestar la importancia de la disponibilidad de información climática, en Ecuador la inexistencia de estaciones meteorológicas provoca que se usen datos climáticos a nivel mundial con periodos cortos, OMM (2011) indica que es más fiable hacer estimaciones de pocos registros climáticos que de largos periodos en el que faltan datos. Investigaciones sugieren que en la interpolación de estos datos se utilicen (co-variables), como la elevación, para obtener resultados superiores en mapas distribución espacial.

Variabes como cobertura vegetal, capacidad de campo y punto de marchitez tienen influencia dentro del cálculo del BHC, toda el área de estudio presenta condiciones de excedente hídrico puntualmente de enero hasta abril, específicamente en la cuenca alta del río Santa Rosa. En septiembre y agosto se produce un déficit hídrico ya que son meses de menor precipitación en el año, por lo que la cuenca presenta dos periodos a lo largo del año.

Sobre la escorrentía de la cuenca, los primeros cuatro meses del año son aquellos que producen un volumen de escurrimiento superficial mayor, guardando relación con el BHC en el que se indicó que los mismos meses presentaban excedentes, la importancia de obtener el escurrimiento anual de cuencas, es que indica si es capaz de satisfacer las demandas dentro de la misma. El principal problema que surge al calcular la escorrentía por el método del SCS es la obtención de los datos de precipitación diaria, es debido a esto la aplicación de temporalidad mensual Ferguson (1996). La elección de NC es debido a las características similares a las que se presenta la cuenca del Río Santa Rosa con el estudio de Sprenger.

Mediante los cálculos del RH, la caña de azúcar es el cultivo que requiere más agua en la cuenca, por otro lado, soya, maíz y arroz presentan el segundo requerimiento más alto. Los factores que influyen en las necesidades hídricas de un cultivo son la evapotranspiración y el cultivo representado a través del coeficiente  $K_c$ , se coincide con MAG (2014), en que el cálculo de los requerimientos hídricos a nivel de la cuenca se realiza de manera referencial, sin entrar a detalles como edad vegetativa de los cultivos,

etc. Los resultados del volumen de escurrimiento anual (62'858,679.45 m<sup>3</sup>) suplen solamente el 46% de los requerimientos de riego de los cultivos.

Existen técnicas que pueden ayudar metodológicamente en la determinación de áreas inundables como el análisis multitemporal con imágenes satelitales y la metodología EMC, que es la que se aplica en el análisis de zonas inundables en el Ecuador. Utilizando la segunda se demostró que sí existe riesgo de inundaciones en la cuenca baja, teniendo un 89 % (10,850.86 ha) de la cuenca baja en susceptibilidad alta, dentro de los poblados que presentan mayor riesgo se encuentran La Ernestina, Churute, Beldaco y Cooperativa Buena Suerte.

### **CONCLUSIONES**

El valor de número de curva obtenido en la cuenca del Río Santa Rosa fue 73, este valor implica escorrentías medias-altas con infiltraciones bajas. La notable actividad agrícola de la cuenca del río Santa Rosa, hacen que esta tenga altas demandas de recursos hídricos, con los resultados obtenidos de las necesidades de riego de los cultivos y los volúmenes de escorrentía se puede concluir que dicho caudal solo sufre el 46% de lo requerido por los cultivos de la zona. Esto hace considerar la construcción de embalses o pequeñas presas para aprovechar esta escorrentía y evitar que estas alcancen otras corrientes.

La utilización de herramientas SIG para el cálculo de requerimientos hídricos significó de mucha ayuda en el análisis y rapidez para obtener resultados confiables, los cuales coincidieron en gran porcentaje con los obtenidos mediante plantillas Excel. El área de la cuenca del río Santa Rosa presenta una densidad de drenaje pobre, la cual se asocia debido a que contiene materiales impermeables y suelos de 124 textura arcillosa y franco arcillo limosa los cuales drenan de forma imperfecta especialmente en la cuenca baja del área de estudio, lo que aumenta la susceptibilidad a inundación en dichas zonas de la cuenca, es debido a esto que los resultados obtenidos en el presente estudio demuestran que el riesgo de inundaciones en la cuenca baja del Río Santa Rosa es real, coincidiendo con los mostrados por el plan nacional de ordenamiento del Ecuador. Del área total de la cuenca, 10,850.86 ha se encuentran en susceptibilidad alta a inundaciones, poniendo en riesgo a tres poblados específicos: Beldaco, Tres Marías y la Cooperativa Buena Suerte, los cuales se encuentran asentadas en esas zonas.

## LISTA DE REFERENCIAS

- 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.
- MAG [Ministerio de Agricultura y Ganadería]. (2016). La política agropecuaria ecuatoriana Hacia el desarrollo territorial rural sostenible 2015-2025. Quito, Ecuador. 482 p.
- Pourrut, P. (1995). El agua en el Ecuador. Clima, precipitaciones, escorrentía. Estudios de Geografía. Volumen 7. Quito, Ecuador. 135 p.
- OMM [Organización Meteorológica Mundial]. (2011). Guía de prácticas meteorológicas OMM-N°100. Ginebra, Suiza.
- Dal-Ré, R. (2003). Pequeños embalses de uso agrícola. Madrid: Mundi-prensa.
- SENAGUA [Secretaría Nacional del Agua]. (2009). Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas del Ecuador. Quito.
- Thornthwaite, C.W., Mather, J.R. (1955). The water balance. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, Publications in Climatology, vol.VIII, n.1, 104 p.
- Sprenger, F. D. (1978). Determination of direct runoff with the 'Curve Number Method' in the coastal area of Tanzania/East Africa. Wasser und Boden, I, 13.
- Ferguson, B. (1996). Estimation of direct runoff in the Thornwaite water balance. University of Georgia.
- Knight, C.G., H. Chang, M.P. Staneva y D. Kostov, (2001). A Simplified Basin Model for Simulating Runoff: The Struma River GIS, Professional Geographers.
- Odeplan [Oficina de Planificación de la Presidencia]. (2004). Plan nacional de ordenamiento territorial y generación de información base del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Yáñez. D., Hurtado. J., y Cando. M. (2017). Propuesta metodológica para la elaboración de cartografía de amenazas por inundación. Secretaria de Gestión de Riesgos.