

Metodología para la estimación de caudales mínimos de una cuenca hidrográfica con escasa información hidrometeorológica

Methodology for the estimation of minimum flows of a hydrographic basin with little hydrometeorological information

*Sánchez, C.¹; Vera, F.¹; Luna, A.¹; Espinoza, J.¹; Bustamante, A.¹; Cárdenas, J.¹; Lucero, W.¹

¹Universidad Técnica de Machala

*csanchez@utmachala.edu.ec

RESUMEN

Este artículo tiene por objetivo elaborar una metodología para la estimación de caudales mínimos de una cuenca con escasa información hidrológica realizando una comparación con una fuente hídrica homóloga. Los métodos empleados son el balance hídrico y el método de la Curva Duración General, el primer método calcula el caudal mínimo en función de variables climatológicas, dados por la estación meteorológica M180 Zaruma dando como resultado el escurrimiento superficial, además aforos obtenidos en la cuenca del río Luis para encontrar el escurrimiento basal resultando la sumatoria entre ambas un caudal mínimo de 2,40 m³/s. El segundo método está en función de los caudales medios mensuales de una estación homóloga a la cuenca de estudio, siendo esta la estación H587 Pindo AJ Amarillo en la cual se realizó la Curva de Duración General, aquí se determinó el caudal mínimo para una probabilidad de excedencia del 80%, en base a este resultado se realizó una relación matemática de áreas entre la cuenca de referencia y la cuenca a estudio y se obtuvo un caudal mínimo de 2,22 m³/s correspondiente al río Luis, dando una diferencia de resultados entre ambos métodos de 7,50 %. De acuerdo a ambos métodos, los resultados convergen por lo tanto son positivos porque el porcentaje de variación de resultados es aceptable, aquí radica la importancia de tener aforos en las cuencas hidrográficas del Ecuador, debido a que el balance hídrico se apoya de un aforo para determinar el escurrimiento basal el cual es permanente en épocas de estiaje.

Palabras clave: Caudal mínimo, balance hídrico, curva duración general, cuenca hidrográfica, aforo.

ABSTRACT

This article aimed to develop a methodology for the estimation of minimum flows of a basin with little hydrological information, by making a comparison with a homologous water source. The methods used were the water balance and the General Duration Curve method. The first method calculated the minimum flow rate considering the climatological variables provided by the M180 Zaruma meteorological station, resulting in the surface runoff. It also calculated the limit obtained in the basin of the River Luis to find the basal runoff. The sum of both the surface runoff and the basal runoff resulted in a minimum flow of 2.40 m³/s. The second method grounds in the monthly flow rates of a station homologous to the basin under study, the H587 Pindo AJ Amarillo station. In this station, we performed the General Duration Curve, in which the minimum flow for a Probability of Exceedance of 80% was determined. Based on this result, a mathematical relationship of areas between the referential basin and the basin under study was performed. A minimum flow of 2.22 m³/s was obtained, which corresponded to the Luis River. The difference of the results between both Methods was 7.50%. According to both methods, the results converge. Therefore, they are positive because their percentage of variation is acceptable. It is demonstrated here the importance of having limits in the river basins of Ecuador because the water balance is supported in a limit for determining the basal runoff, which is permanent in times of drought.

Keywords: Minimum flow, water balance, general duration curve, hydrographic basin, capacity.

INTRODUCCIÓN

La estimación de la disponibilidad de agua en una cuenca hidrográfica es importante para la captación y gestión del recurso hídrico (Zhang & Chiew, 2012). En la actualidad es indispensable el uso del agua para diferentes fines, entre ellos la industria, uso agrícola y doméstico; radicando su importancia en la disponibilidad hídrica que puede ofrecer un río para el abastecimiento constante y a su vez la protección de la fuente para la vida de la fauna y flora.

Los caudales mínimos son alimentados por aportes de aguas subterráneas (Poveda et al., 2002). Por lo tanto para su determinación es importante contar con una estación fluviométrica que guarde un registro periódico de caudales. Sin embargo en el Ecuador, pocas son las estaciones hidrológicas que están en funcionamiento y que guarden registros representativos de caudales (Sandoval y Aguilera, 2014). Actualmente existen 150 estaciones hidrológicas convencionales y 43 automáticas distribuidas en las principa-

les cuencas hidrográficas (INAMHI).

La estimación de los caudales en una cuenca sin registros constituye uno de los problemas principales de la ingeniería hidrológica. Existen varios modelos para determinar caudales en cuencas no aforadas, entre los cuales el balance hídrico superficial ofrece la ventaja que involucra variables exclusivamente climáticas, tales como precipitación y temperatura (Marini y Piccolo, 2000). Para representar el escurrimiento superficial, a este caudal se debe adicionar el aporte de aguas subterráneas que mantienen un flujo constante de caudal en épocas de sequías (Villón, 2002). Este resultado representa el escurrimiento real en la cuenca hidrográfica, porque involucra el escurrimiento superficial y el aporte subterráneo. Para verificar la eficacia del cálculo se utiliza el método Curva de Duración General de una cuenca homóloga, este representa la magnitud del caudal igualado o superado para una cierta probabilidad, en términos de porcentaje del tiempo.

La presente investigación tiene como objetivo

elaborar una metodología para la estimación de caudales mínimos de una cuenca con escasa información meteorológica e hidrológica mediante el método del balance hídrico en la cuenca hidrográfica del río Luis.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación geográfica y características del área de estudio

La subcuenca del río Luis tiene un área de 156,13 Km², se encuentra en el cantón Portovelo, provincia de El Oro (Ecuador), y forma parte de la cuenca del río Puyango (CP) (Figura 1). Está limitando al norte con el cantón zaruma, al sureste con la provincia de Loja, y al oeste con el cantón Piñas, los principales caminos para acceder al sitio son por las ciudades de Portovelo y Curtincapa.

La zona presenta una marcada estacionalidad, registrando los meses de mayor precipitación de enero-abril y el estiaje de mayo-diciembre, la precipitación media mensual es máxima en el mes de marzo con 586 mm/mes y con un

total anual de 2640 mm/año; para el año seco, la precipitación es máxima en el mes de marzo con 363 mm/mes y con un total anual de 1626 mm/año; para el año húmedo la precipitación es máxima en el mes de febrero con 914 mm/mes y con un total anual de 3820 mm/año.

Información climatológica

Para el estudio se utilizaron datos de precipitación y temperatura con la finalidad de estimar la evapotranspiración, los cuales fueron obtenidos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Debido a la ausencia de estaciones meteorológicas dentro de la cuenca hidrográfica, se tomaron datos de registros de estaciones más cercanas a la misma.

La estación Zaruma (M180) fue seleccionada como representativa de la cuenca, teniendo ella una mayor continuidad en lo que respecta a datos de precipitaciones mensuales y temperaturas medias, llegándose a obtener de los anuarios hidrológicos 26 registros consecutivos, además se adoptaron las estaciones Saraguro (M142) y Cariamanga (M146) como apoyo para relleno de registros en la estación base. El período de aná-

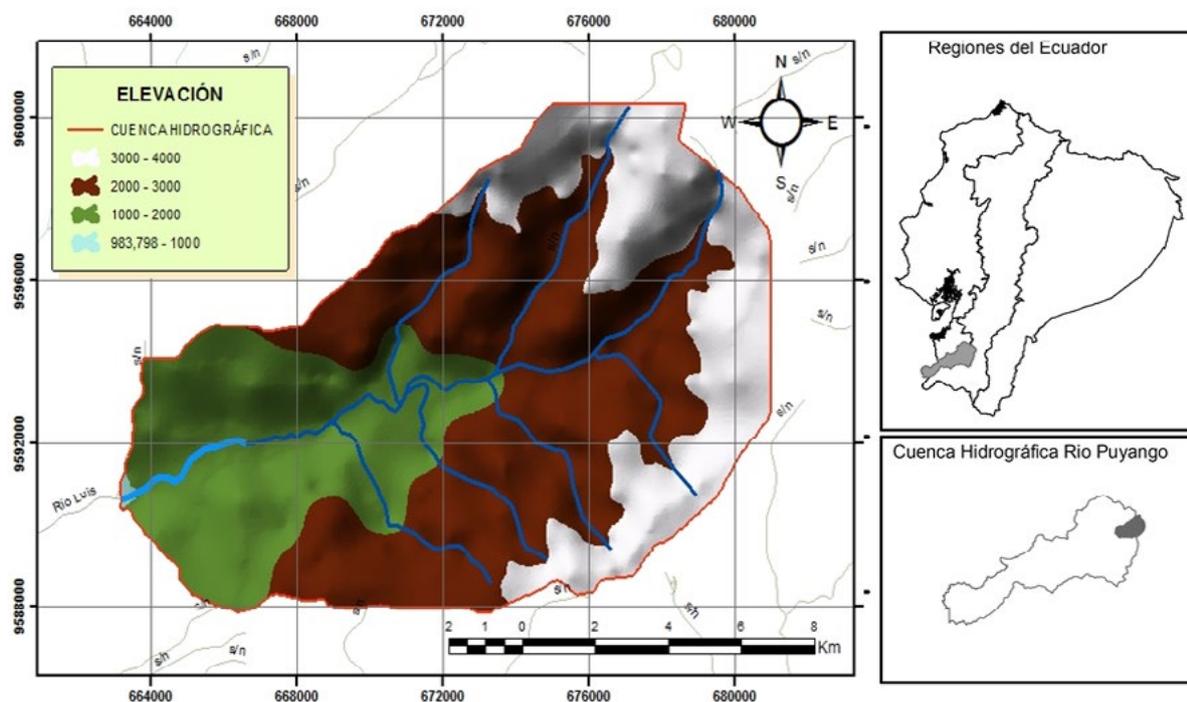


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio

lisis corresponde al comprendido entre los años 1986 hasta el 2011, realizando el relleno de datos con una estación homogénea para rellenar los registros.

La estación Zaruma (M180) ha registrado 26 años de precipitación y temperaturas las cuales están con datos incompletos en algunos meses, por lo tanto el método U.S. National weather service (WS) es usado para relleno de series incompletas, teniendo como variables la precipitación y distancias entre estaciones cercanas que se usarán para encontrar los datos faltantes (Toro, Ramírez, Vásquez, Ibáñez, 2015), validando las estaciones homogéneas que tenga un coeficiente de correlación mayor a 0,70 (López y Ríos, 2014).

Tipo y uso de suelo

Los mapas de uso de suelo del Ecuador son publicados por el servicio nacional de información (SNI) en formato shapefile, con el uso de un programa GIS, se plasma en un mapa el tipo de vegetación que existe en la cuenca hidrográfica, se identificaron 7 tipo de vegetación, siendo la predominante la vegetación arbustiva, seguido por bosques naturales.

Evatranspiracion

Diversos autores han desarrollado métodos para determinar la evapotranspiración de referencia, siendo el más aceptado a nivel global el Método FAO Penman-Monteith, que dio excelentes resultados tanto en climas áridos como en húmedos (Allen, Pereira, Raes, Smith, 2006).

Debido a la ausencia de registros de Radiación Solar y Velocidad del Viento, parámetros fundamentales para el desarrollo del método FAO Penman-Monteith se optó por el Método de Hargreaves (necesita registros de temperatura y radiación solar), el cual fue comparado junto a otros métodos (Blaney Criddle FAO 24, Radiación FAO 24, Penman 1948, Bandeja de Evaporación) y dio el menor porcentaje de variación con respecto al Método FAO Penman-Monteith (Torres y Vásquez, 2013).

Balance hídrico

La determinación de la disponibilidad hídrica se determina por el método del balance hídrico propuesto por Thornthwaite & Mather 1957, el cual involucra el conocimiento del ciclo hidrológico

además de los cambios del régimen en los ríos (Bohn y Campo, 2008), los componentes principales para su aplicación son la precipitación y temperatura (Marini y Piccolo, 2000), los cuales son publicados anualmente por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI.

El principio fundamental en que se basa el modelo del balance hídrico es la conservación de masas, o conocido por ecuación de la continuidad, siendo la contabilización mes a mes del ingreso y salida del agua en un recipiente hídrico. Por lo tanto la ecuación para cualquier intervalo de tiempo, y cualquier masa de agua en su forma más general es (Unesco, 1981):

$$P + QSI + Q Ui - E - QSO - Q uO - \Delta S - v = 0$$

ecuación(1).

Donde:

P: Precipitación.

QSI + Q Ui : Entradas de corrientes de agua superficial y subterránea.

E : Evaporación.

QSO - Q uO : Salidas de corrientes de agua superficial y subterránea.

ΔS : Variación del almacenaje.

Curva de duración de caudales (CDG)

Para verificar la eficacia del cálculo se procede a encontrar el caudal mínimo a través de la Curva de Duración General de una cuenca de referencia con similares características (fisiográficas, cobertura vegetal y comportamiento hidrológico), adoptando como mínimo el 80% de probabilidad de ocurrencia (Villacís y Andrade, 1986 ; López y Viera, 2014). Al caudal de la cuenca de referencia, mediante la ecuación (2) se transportó el caudal a la cuenca hidrográfica del río Luis (Ordoñez, 2011), comparando así los resultados encontrados mediante el balance hídrico y Curva de Duración General.

$$Qx = (Ax / Ar) * Qr \quad \text{ecuación (2)}$$

Donde:

Qx = Caudal a estimar en la cuenca X.

Ax = Área de la cuenca X.

Qr = Caudal registrado en la cuenca de referencia.

Ar = Área en cuenca de referencia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cuenca Hidrográfica

La cuenca hidrográfica del río Luis es una sub-cuenca del río Puyango, tiene una superficie de 156,13 km², con una longitud de su cauce principal de 8,419 Km y 11,68% como pendiente media. Consta de un Índice de Compacidad de 1,20 resultando así ser una cuenca de forma redondeada, siendo propensa a avenidas superiores dada su simetría.

Información Climatológica

Para la realización de este proyecto se dispone de información meteorológica de la estación de Zaruma (M180). desde el año 1986 hasta el 2011, se realizó el relleno de datos con una estación homogénea para rellenar los registros. Obteniéndose de ella precipitación mensual y temperaturas medias.

La tendencia de la serie es lineal, no existen cambios bruscos de pendiente, por lo cual estas estaciones son homogéneas, además tiene un coeficiente de correlación de 0,999, el cual es aceptable.

Balance hídrico superficial

Se determinó el balance hídrico mes a mes utilizando un registro de 26 años de temperatura media mensual de la estación Zaruma (M180), además la evapotranspiración se calculó en base

al criterio de Hargreaves, este modelo tiene como variables principales temperatura media del aire, la radiación solar y la amplitud térmica del día (Vega y Jara, 2009). El escurrimiento superficial en la cuenca se determinó con la suma de la escorrentía directa producida por las precipitaciones en épocas de lluvia y el flujo base o escorrentía basal, producida por los aportes de agua subterráneas en épocas de sequías (Villón, 2002, Vargas, et al., 2012, Unesco, 1981) dando como resultado el siguiente régimen de caudales.

En los primeros meses de Enero, Febrero Marzo, Abril, Mayo presenta caudales altos provocadas por las constantes precipitaciones, mientras tanto se puede observar que se presenta caudales mínimos en los meses de Septiembre, Octubre, y Noviembre llegando a su extremo en el mes de Octubre con un caudal de 2.40 m³/s.

Curva de duración general (CDG)

Se determinó la curva de duración general de una cuenca hidrográfica de referencia con similar comportamiento hidrológico y cobertura vegetal. Se utilizó información de la estación hidrológica Pindo Aj Amarillo (H587) ubicada en el río Pindo, que corresponde a variables del caudal medio anual comprendidos entre los años 1964 a 2010, datos obtenidos por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

Se utilizó una serie de caudales mínimos

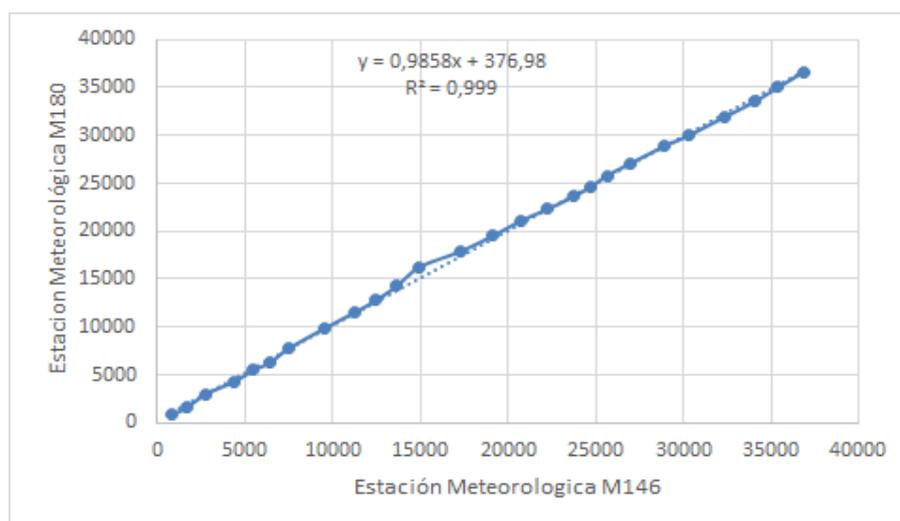


Figura 2. Curva doble Masa Precipitación

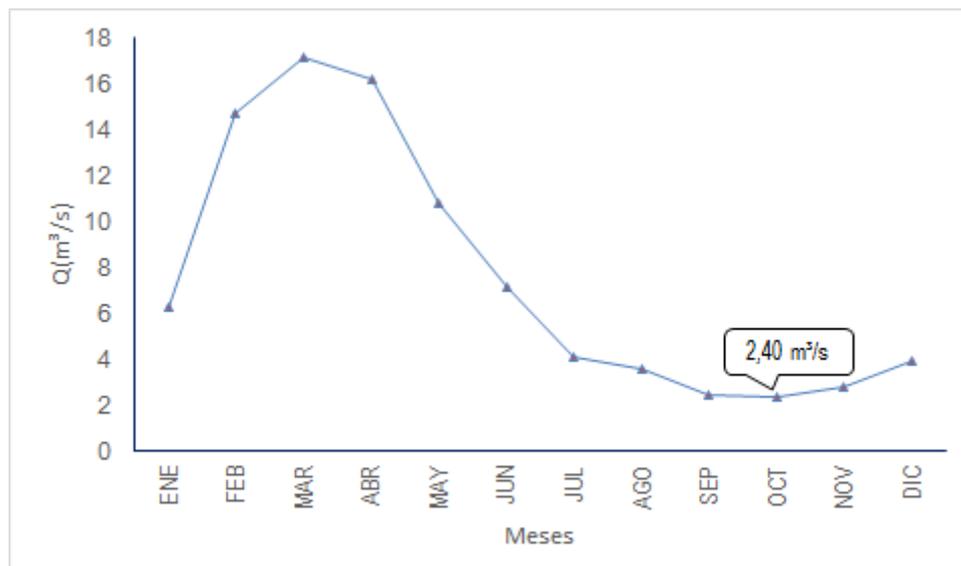


Figura 3. Caudales mínimos mensuales

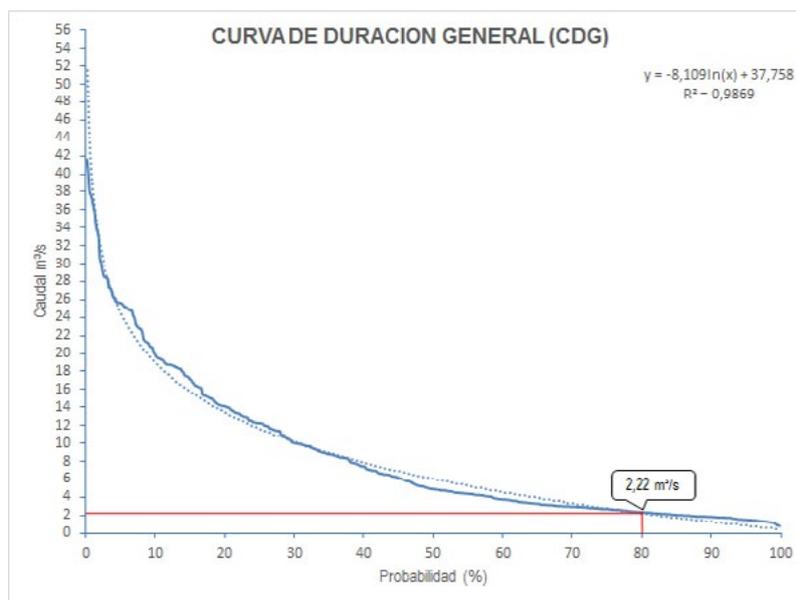


Figura 4. Curva de Duración General transportada al río Luis

mensuales de 46 años para la construcción de la curva de duración, encontrándose como caudal mínimo con una probabilidad del 80% de ser excedido de 2,22m³/s.

Las curvas de duración tienen formas típicas que dependen de las características de las cuencas vertientes. En cuencas de montaña, por ejem-

plo, la pendiente pronunciada en el tramo inicial de la curva indica que los caudales altos se presentan durante períodos cortos, mientras que en los ríos de llanura no existen diferencias muy notables en las pendientes de los diferentes tramos de la curva (Juela, 2011).

CONCLUSIONES

Al encontrar las características morfológicas de la cuenca verificamos que es una cuenca con tendencia a rápidas avenidas, con un tiempo de concentración pequeño debido al índice de compacidad de 1,20. Se determinó el caudal mínimo de una fuente por el método del balance hídrico, con información de cuencas hidrográficas vecinas, este resultado fue comparado con una relación de caudales de una cuenca de referencia encontrada por la Curva de Duración General seleccionando para ello el 80 % de probabilidad de excedencia como caudal mínimo, dando así un error del 7,50 % entre ambos métodos, este resultado es aceptado para este tipo de estudios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Zhang, Y. & Chiew, H.H.S. (2012). Estimation of mean annual runoff across southeast Australia by incorporating vegetation types into Budyko framework. *Australian Journal of Water Resources*, 15(2), a-b.
- Poveda, G., Vélez, J., Mesa, O., Ceballos, L., Zuluaga, M. y Hoyos, C. (2002). Estimación de caudales mínimos para Colombia mediante regionalización y aplicación de la curva de recesión de caudales. *Meteorol. Colomb*, (6), 73-80.
- Sandoval, E. y Aguilera, O. (2014). Determinación de Caudales en cuencas con poco información Hidrológica. *Ciencia Unemi*, 7(12), 100-110.
- Marini, M. y Piccolo, M. (2000). El balance hídrico en la cuenca del río Quequén salado, Argentina. *Papeles de geografía*, (31), 39-53.
- Villon, M. (2002). *Hidrología*. Lima: MaxSolf.
- Toro, A., Ramírez, R., Vázquez, M. y Ibáñez, L. (2015). Relleno de series diarias de precipitación, temperatura mínima, máxima de la región norte del Urabá Antioqueño. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(2), 577-588.
- López, J. & Viera, P. (2014). *Desarrollo de un manual hidrológico para el manejo de las cuencas del sur de la costa Ecuatoriana*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D. y Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. *Cuadernos de riego y drenaje*, 56.
- Torres, A. y Vásquez, R. (2013). Prospección de la estimación de la evapotranspiración de referencia, bajo las condiciones del valle de Chaca, Arica-Chile. *Idesia (Arica)*, 31(2), 25-29.
- Bohn, V. y Campo, A. (2010). Estimación de escurrimientos superficiales para cuencas no aforadas en Corrientes, Argentina. *Investigaciones Geográficas*, (71), 31-42.
- Unesco. (1981). *Método de Cálculo del Balance Hídrico*. Madrid: Instituto de Hidrología de España.
- Ordoñez, J. (2011). *Cartilla Técnica: Balance Hídrico Superficial*. Lima: Sociedad Geográfica de Lima.
- VEGA, E. y Jara, J. (2009). Estimación de la evapotranspiración de referencia para dos zonas (costa y región andina) del Ecuador. *Ingengería Agrícola*, (29), 390-403.
- Vargas, J., De la Fuente, L. y Arumi, J. (2012). Balance hídrico mensual de una cuenca Patagónica de Chile: Aplicación de un modelo parsimonioso. *Obras y Proyectos*, (12), 32-41.
- Juela, O. (2011). *Estudio hidrológico y balance hídrico de la cuenca alta del río Catamayo hasta la estación el arenal en el sitio el boquerón, provincia de Loja*. Loja: Universidad Nacional de Loja.

