



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.  
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), julio-agosto 2026,  
Volumen 10, Número 4,

[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v10i4](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i4)

## **MODELAMIENTO DE INUNDACIÓN PARA LOS RÍOS PINDO Y PUYO, PASTAZA, ECUADOR**

**FLOOD MODELING FOR THE PINDO AND PUYO RIVERS,  
PASTAZA, ECUADOR**

**Betsaida Salomé Peñafiel Bedón**

Universidad Estatal Amazónica, Ecuador

**Lorena Elizabeth López Guerra**

Universidad Estatal Amazónica, Ecuador

**María Cristina Valencia Cepeda**

Universidad Estatal Amazónica, Ecuador

DOI: [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v10i4.25806](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i4.25806)

## Modelamiento de Inundación para los Ríos Pindo y Puyo, Pastaza, Ecuador

**Betsaida Salomé Peñafiel Bedón<sup>1</sup>**[bs.penafielb@uea.edu.ec](mailto:bs.penafielb@uea.edu.ec)<https://orcid.org/0009-0005-7695-7858>Universidad Estatal Amazónica  
Ecuador**Lorena Elizabeth López Guerra**[le.lopezg@uea.edu.ec](mailto:le.lopezg@uea.edu.ec)<https://orcid.org/0009-0008-5923-8474>Universidad Estatal Amazónica  
Ecuador**María Cristina Valencia Cepeda**[mc.valenciace@uea.edu.ec](mailto:mc.valenciace@uea.edu.ec)<https://orcid.org/0000-0003-2264-0976>Universidad Estatal Amazónica  
Ecuador

### RESUMEN

La investigación surge como respuesta a los daños generados a nivel local por las inundaciones presentadas en la provincia de Pastaza. El objetivo fue estimar las zonas de posible inundación a lo largo de los cauces de los ríos Pindo y Puyo para identificar qué sectores urbanos y rurales se podrían ver afectados por eventos de precipitación extrema. En la metodología se tomó como referencia los caudales de crecida máximos registrados en cada afluente que desemboca en los ríos principales antes mencionados. Con estos datos y con las demás características geomorfológicas e hidrológicas se generó la marca de inundación sobre modelos digitales de terreno para luego ser plasmada sobre ortofotografías de la zona. El caudal máximo de crecida acumulado fue de 309.49 m<sup>3</sup>/s para el Río Pindo antes de unirse al Río Puyo y de 163.6m<sup>3</sup>/s para el Río Puyo antes de unirse con el Pindo. El área de inundación neta calculada fue de 0.95 km<sup>2</sup> para el Río Pindo y 0.61 km<sup>2</sup> para el Río Puyo. Finalmente, se ha identificado que las zonas de posible inundación afectarían a sectores poblados como Dique de Shell, puente de Bellavista, Barrio Las Palmas y Barrio el Obrero entre los principales.

**Palabras Clave:** inundación, caudal máximo, modelamiento hidráulico, HEC-RAS, HEC-HMS

---

<sup>1</sup> Autor principal

Correspondencia: [bs.penafielb@uea.edu.ec](mailto:bs.penafielb@uea.edu.ec)

# Flood modeling for the Pindo and Puyo rivers, Pastaza, Ecuador

## ABSTRACT

The research arose in response to the local damage caused by flooding events in Pastaza Province. The objective was to estimate potential flood-prone areas along the channels of the Pindo and Puyo rivers in order to identify urban and rural sectors that could be affected by extreme precipitation events. The methodology used as a reference the maximum recorded flood discharges for each tributary flowing into the aforementioned main rivers. Based on these data, together with other geomorphological and hydrological characteristics, flood extents were generated over digital terrain models and subsequently overlaid onto orthophotographs of the study area. The maximum accumulated flood discharge was 309.49 m<sup>3</sup>/s for the Pindo River upstream of its confluence with the Puyo River, and 163.6 m<sup>3</sup>/s for the Puyo River upstream of its confluence with the Pindo River. The calculated net inundation area was 0.95 km<sup>2</sup> for the Pindo River and 0.61 km<sup>2</sup> for the Puyo River. Finally, it was identified that the potential flood-prone areas could affect populated sectors, including Dique de Shell, Bellavista Bridge, Las Palmas neighborhood, and El Obrero neighborhood, among others.

**Keywords:** flooding, peak discharge, hydraulic modeling, HEC-RAS, HEC-HMS

*Artículo recibido 14 julio 2026*

*Aceptado para publicación: 20 agosto 2026*



## INTRODUCCIÓN

El modelamiento hidrológico se fundamenta en la cuantificación de los procesos físicos que gobiernan la conversión de la precipitación pluvial en escorrentía directa mediante la estimación de las abstracciones iniciales (interceptación vegetal, almacenamiento en depresiones e infiltración profunda). Para operacionalizar estas pérdidas, se aplica el método del Número de Curva (*CN*), parámetro empírico desarrollado en 1972 por el *Soil Conservation Service* (*SCS*) -actualmente *Natural Resources Conservation Service*- (Li et al., 2015). Este método determina la escorrentía potencial a partir de las características físicas de la cuenca, integrando la densidad, el tratamiento y la cobertura del suelo con su Grupo Hidrológico de Suelo (*HSG*) (Díaz & Mercado, 2017). Dichos suelos se clasifican en cuatro grupos según su tasa de infiltración y potencial de escorrentía en condiciones de humedad: el Grupo A (suelos arenosos de baja escorrentía), el Grupo B (texturas moderadamente gruesas a finas), el Grupo C (texturas finas de moderado a alto potencial de escorrentía) y el Grupo D (suelos arcillosos de baja infiltración y alta escorrentía) (NRCS, 2009). En cuencas heterogéneas, la variación espacial de estas coberturas se resuelve mediante el cálculo de un *CN* compuesto ponderado según la incidencia de cada uso de tierra (Chow, 1994). Posteriormente, la precipitación neta se procesa mediante modelos de transferencia como el Hidrograma Unitario para simular la distribución temporal del flujo en una sección de control ante una tormenta de diseño (Batista & Ribeiro Neto, 2022).

La definición de la lluvia de diseño constituye un insumo crítico para prever eventos de precipitación intensa, estimando su duración y recurrencia como soporte para la planificación territorial y los planes de contingencia. La metodología para su obtención depende de la amplitud del registro pluviométrico y del periodo de retorno deseado: para registros menores a 10 años se emplean series de duraciones parciales, mientras que para registros mayores a 10 años se aplican series de excedencias anuales (si el periodo de retorno es menor a una década) o series de máximos anuales (si es mayor a 10 años), recurriendo a la interpolación o a distribuciones de probabilidad para su extrapolación (Campos, 1984). El caudal resultante representa la respuesta de procesos naturales complejos dentro de la cuenca de drenaje, donde intervienen la infiltración, la dinámica de los acuíferos, la evapotranspiración, la vegetación, la topografía y el clima (Smakhtin, 2001).



Ante la ausencia de cuencas instrumentadas, la estimación de caudales en puntos no aforados requiere métodos indirectos que incluyen la regionalización de parámetros geomorfológicos y climáticos, métodos gráficos de curvas regionales, interpolación espacial y la simulación de series sintéticas de caudal (Jaramillo, 2002).

Una vez generados los caudales, los enfoques de Mapeo de Inundaciones (*Flood Inundation Mapping*, FIM) se dividen en modelos hidráulicos basados en la física -como las Ecuaciones de Aguas Someras (SWE), la formulación inercial local y la Onda de Difusión (DWE)- y modelos conceptuales basados en el terreno. Los esquemas físicos superan a los de terreno al simular la progresión dinámica de la onda, el almacenamiento en llanuras de inundación y fenómenos complejos como el remanso (*backwater*) en confluencias o zonas urbanas, escenarios donde los modelos de terreno fallan por sus supuestos de flujo estacionario; no obstante, la precisión de estos sistemas presenta alta sensibilidad a la fase del hidrograma y a la métrica empleada como *benchmark* (Nikrou et al., 2026). La simulación numérica del flujo en lámina libre es una técnica consolidada en la ingeniería fluvial (Bladé i Castellet, 2009), cuya implementación práctica requiere la articulación de parámetros de entrada mediante herramientas computacionales especializadas como HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center, 2019), HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center, 2022) y ArcGIS (Environmental Systems Research Institute, 2016). Mientras HEC-HMS calcula la conversión de precipitación en escorrentía, las pérdidas por infiltración y los hidrogramas de salida (Urrutia, 2009), HEC-RAS procesa la hidráulica del canal y la delimitación de niveles de agua. Respecto a este último, Mora y Ochoa (2016) señalan:

Mismo que permite determinar el nivel de agua a través de la simulación de flujos en determinados afluentes. Este software desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos es uno de los modelos más utilizados a nivel mundial para estudios hidráulicos de flujo uniforme, unidimensional y permanente, su popularidad se debe a su flexibilidad en la creación de escenarios hidráulicos, a su rapidez en los cálculos, su fácil manejo y operación (p. 21) .

La integración de estas metodologías cobra especial trascendencia en la provincia de Pastaza, donde históricamente se han registrado múltiples eventos de inundación a lo largo de los cauces de los ríos Pindo y Puyo, ocasionando severas pérdidas económicas, sociales y estructurales.



La incertidumbre sobre la extensión de las áreas afectadas ha expuesto a la población a riesgos recurrentes que comprometen su seguridad y desarrollo. Sobre esta problemática, Mora y Ochoa (2016) afirman:

El recurso hídrico, es esencial para todos los seres vivos y su dinámica se convierte en una fuerza importante que nos ofrece constantemente grandes beneficios, aunque existen momentos y sitios en los cuales se pueden generar inundaciones con impactos adversos que traen como consecuencias pérdidas económicas, ambientales y sociales en las poblaciones ubicadas próximas a los ríos. Estos fenómenos climáticos son un factor principal en la modelación y continua transformación de la superficie terrestre, estos dependiendo de cada región afectan de manera diferente y traen consecuencias nefastas en el desarrollo de una localidad según su intensidad y duración. Las inundaciones son uno de los riesgos naturales que producen mayor número de pérdidas tanto humanas como materiales (p. 11).

La revisión de la literatura, determina que el estudio ecuatoriano más próximo por ambiente y procedimiento es el de la subcuenca del Jatunyacu, en Napo, que utilizó HEC-RAS, SIG y HEC-GeoRAS para delimitar zonas inundables (Lapo Alcivar, 2019). Los mejores precedentes metodológicos para construir la cadena lluvia–escorrentía–inundación son el estudio de Manglaralto, que combinó HEC-HMS y HEC-RAS bajo escenarios de uso del suelo, y el estudio amazónico boliviano que aplicó HEC-RAS 2D y contrastó la extensión simulada con imágenes satelitales (Catuto Quinde et al., 2020; Quirogaa et al., 2016)

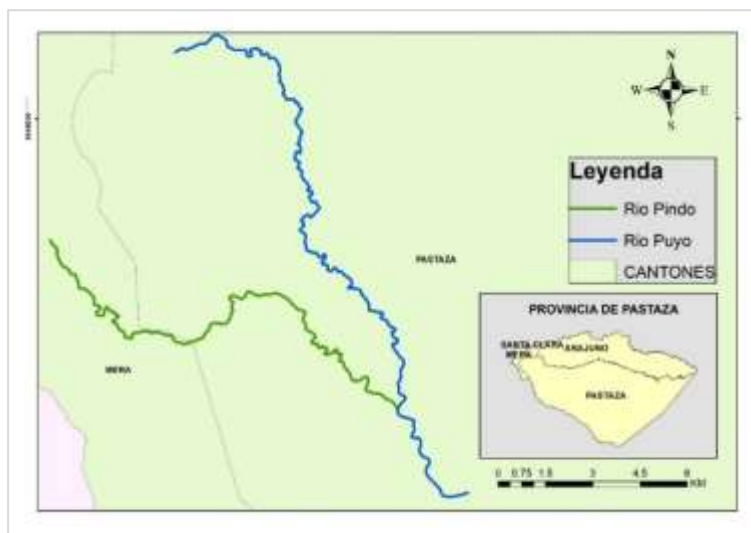
Finalmente, podemos decir que pese a los antecedentes teóricos y la recurrencia de estos eventos en la región, actualmente no se cuenta con información hidrológica e hidráulica actualizada que sirva de insumo técnico para la formulación de Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) efectivos. Frente a esta limitación, el objetivo del presente trabajo fue estimar las zonas de posible inundación a lo largo de los cauces de los ríos Pindo y Puyo para identificar los sectores urbanos y rurales vulnerables ante eventos de precipitación extrema.

## METODOLOGÍA

### Localización

El área de estudio comprende las zonas que atraviesan los afluentes del Río Pindo y del Río Puyo, mismos mantienen su curso activo por sectores rurales como las parroquias Shell y Tarqui, dentro del cantón Mera y también zonas urbanas en el cantón Pastaza como la ciudad de Puyo.

### Ilustración 1 Localización de los afluentes



### Tipo de Investigación

El presente trabajo adopta un enfoque cuantitativo, con un alcance descriptivo y un diseño observacional, no experimental y documental-retrospectivo. La estrategia metodológica se estructuró en tres fases secuenciales: (i) recopilación y parametrización de información hidrológica secundaria, (ii) procesamiento espacial y simulación precipitación-escorrentía, y (iii) modelación hidráulica de la mancha de inundación e integración cartográfica.

### Fuentes de información y caracterización de la muestra documental

Dado que la subcuenca no cuenta con una red de instrumentalización continua en todos sus tramos, la unidad de análisis estuvo constituida por la red hidrográfica de los ríos Pindo y Puyo y sus principales afluentes. La recolección de datos secundarios se basó en una revisión documental sistemática de investigaciones hidrológicas previas realizadas en la zona, de las cuales se extrajeron los caudales base/máximos y los valores del Número de Curva (CN) correspondientes a cada microcuenca:

- Río Pindo: Abril et al. (2017);
- Río Motolo: Mejía (2013);
- Río Plata: Valle & Vargas (2018), e Illanes & Paucar (2019);
- Río Salomé: Soria (2015), y Acan & Acosta (2021);
- Río Pindo Chico: Paredes (2021);
- Río Puyo: Alvarado & Apolo (2019);
- Río Pambay: Huatatoca & Chanaluisa (2019);
- Ríos Churuyaco, Paico y Sandalias: Abril et al. (2020).

### **Procesamiento espacial y parámetros morfométricos**

A partir de la georreferenciación de los puntos de monitoreo reportados en la literatura consultada, se procedió a la delimitación de las áreas de recarga en el entorno de un Sistema de Información Geográfica (ArcGIS). Como insumo topográfico de entrada, se empleó el Modelo Digital del Terreno (MDT) provisto por el Sistema de Información Geográfica de Tierras del Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador (SIGTIERRAS; MAG, 2022). Mediante el análisis del relieve y la red de drenaje, se determinaron las variables geomorfológicas fundamentales: área de recarga ( $A$ ), longitud del curso principal ( $L$ ) y pendiente media del lecho ( $S$ ).

Con base en estos parámetros, se calculó el tiempo de concentración ( $T_c$ ) de cada subcuenca mediante la ecuación empírica de Kirpich:

#### **Ecuación 1**

$$T_c = 0,02 \cdot L^{0,77} \cdot S^{-0,385}$$

Donde  $T_c$  representa el tiempo de concentración en minutos,  $L$  es la longitud máxima del cauce desde la cabecera hasta el punto de cierre (m), y  $S$  corresponde a la pendiente media del lecho (m/m).

Insumos meteorológicos y lluvia de proyecto

Para la caracterización hietográfica de la cuenca, la información pluviométrica se diferenció según la ubicación geográfica de los afluentes:

- Subcuencas Pindo Parte Alta y Río Motolo: Se utilizaron los registros pluviográficos de la estación meteorológica Pindo Mirador (Abril et al., 2019), seleccionando el evento de precipitación máxima histórica correspondiente al 30 de diciembre de 2016.

- Subcuencas Ríos Plata, Pindo Chico, Salomé y ramal del Río Puyo: Se emplearon los datos de la estación meteorológica Puyo (Guachamín et al., 2019). Con esta serie temporal se determinó la lluvia de proyecto (Martínez, 2006) mediante curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) modeladas para un período de retorno de  $T = 100$  años.

### **Modelación numérica precipitación-escorrentía e hidráulica**

Los parámetros morfométricos ( $T_c$ ), los valores de  $CN$  y los hietogramas de la tormenta de diseño de 100 años se integraron en el software HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center) para simular la transformación de la precipitación en escorrentía directa y obtener los hidrogramas de avenida con sus respectivos caudales picos en los nodos de control.

Posteriormente, los caudales máximos simulados se transfirieron al programa HEC-RAS para ejecutar la modelación hidráulica en lámina libre y determinar las tirantes de agua, velocidades y la delimitación del perfil hidráulico en los cauces principales. Finalmente, las manchas de inundación resultantes fueron exportadas a la plataforma ArcGIS para su procesamiento cartográfico, proyectando espacialmente las zonas de amenaza en los sectores urbanos y rurales expuestos.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Las características de la morfología, caudales y numero de curva de los afluentes y curso principal se muestran en la tabla 1, donde la principal área de recarga para el afluente pindo se encuentra en su parte alta y del afluente Puyo corresponde al curso Churuyaco. De la misma manera, el mayor tiempo de concentración en horas en el ramal Pindo corresponde a su parte alta mientras que en ramal Puyo corresponde al afluente Churuyaco.

Por otro lado, se puede observar los caudales máximos obtenidos con el modelamiento a través del HEC-HMS en cada afluente del ramal Pindo (Tabla 2) y del ramal Puyo (Tabla 3). En este sentido, para el Río Pindo se identifica el caudal máximo de crecida en la parte alta del afluente Pindo y de la misma forma el caudal máximo de crecida identificado para el ramal Puyo es en su parte alta. Además, en las figuras 2 y 3, se puede observar el área de recarga de todos los fluentes del ramal Pindo y del ramal Puyo respectivamente de acuerdo con la geografía de la zona de estudio.



**Tabla 1** Características, morfología, número de curva y caudal de los afluentes y cursos principales.

| Rio   | Afluente         | Caudal inicial (m <sup>3</sup> /s) | Número de curva | Área de recarga (km <sup>2</sup> ) | Tiempo de concentración (horas) |
|-------|------------------|------------------------------------|-----------------|------------------------------------|---------------------------------|
| Pindo | Pindo parte alta | 0.75                               | 36              | 12                                 | 0.96                            |
|       | Motolo           | 0.4                                | 36              | 1.47                               | 0.82                            |
|       | Plata            | 3.7                                | 36              | 1.6                                | 0.38                            |
|       | Pindo Chico      | 2.7                                | 36              | 6.1                                | 0.74                            |
|       | Salome           | 2.3                                | 36              | 0.8                                | 0.49                            |
| Puyo  | Puyo parte alta  | 12.9                               | 68              | 31.2                               | 1.87                            |
|       | Churuyaco        | 2                                  | 56              | 55.16                              | 3.17                            |
|       | Pambay           | 3.5                                | 56              | 10.5                               | 0.91                            |
|       | Paico            | 0.7                                | 68              | 14.6                               | 2.64                            |
|       | Sandalias        | 1.17                               | 68              | 31.8                               | 2.23                            |

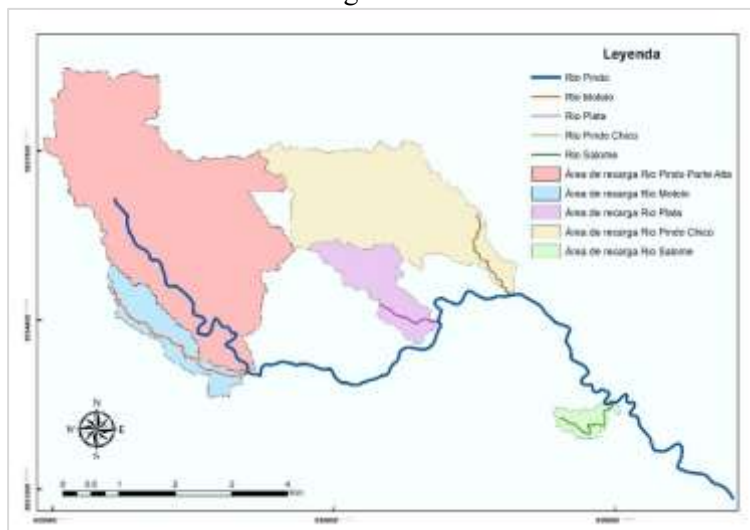
**Tabla 2** Caudales máximos de crecida de los afluentes del ramal Pindo con sus intersecciones

| Afluente         | Caudal de crecida (m <sup>3</sup> /s) | Caudal de salida de la intersección (m <sup>3</sup> /s) |
|------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Pindo Parte Alta | 217                                   |                                                         |
| Motolo           | 18.38                                 | 235.38                                                  |
| Plata            | 20.01                                 | 255.39                                                  |
| Pindo chico      | 33.2                                  | 288.59                                                  |
| Salome           | 20.9                                  | 309.49                                                  |

**Tabla 3** Caudales máximos de crecida de los afluentes del ramal Puyo con sus intersecciones.

| Afluente        | Caudal de crecida (m <sup>3</sup> /s) | Caudal de salida de la intersección (m <sup>3</sup> /s) |
|-----------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Puyo parte alta | 59.5                                  |                                                         |
| Churuyaco       | 24.8                                  | 84.3                                                    |
| Pambay          | 12.4                                  | 96.7                                                    |
| Paico           | 19.6                                  | 116.3                                                   |
| Sandalias       | 47.3                                  | 163.6                                                   |
| Pindo           | 309.49                                | 473.09                                                  |

### Ilustración 2 Zonas de recarga de los cursos hídricos del ramal Pindo



### Ilustración 3 Zonas de recarga de los cursos hídricos del ramal Puyo



En función de las ecuaciones de la estación Puyo (Guachamin et al. 2019), se estableció la lluvia de proyecto (Figura 4) donde se obtuvo una intensidad máxima de 84.9 mm/h identificado a la una de la tarde aproximadamente. Mientras que en la figura 5, se muestra el hidrograma del Ramal Puyo a la altura de su unión con el afluente Sandalias, obteniendo un caudal máximo de 163.6 m<sup>3</sup>/h. y para el ramal Pindo antes de su unión con el Puyo, el caudal máximo estimado es de 309.49 m<sup>3</sup>/h.

**Ilustración 4** Lluvia de proyecto del ramal Puyo.

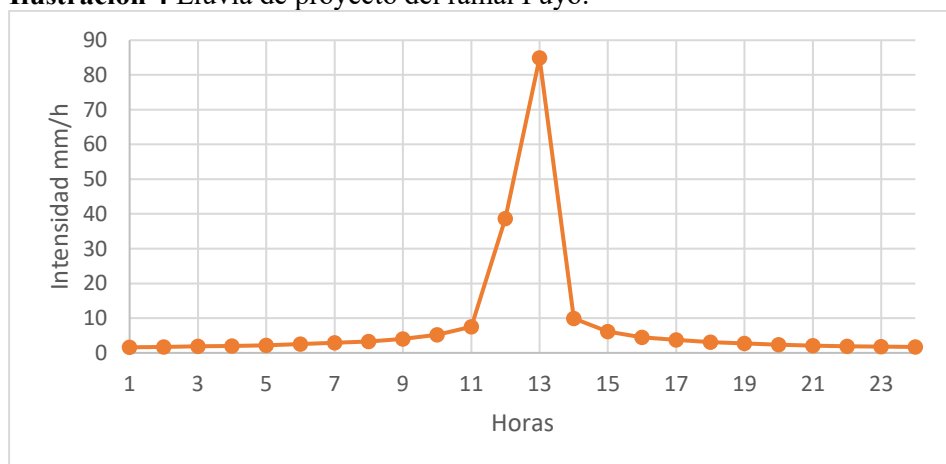
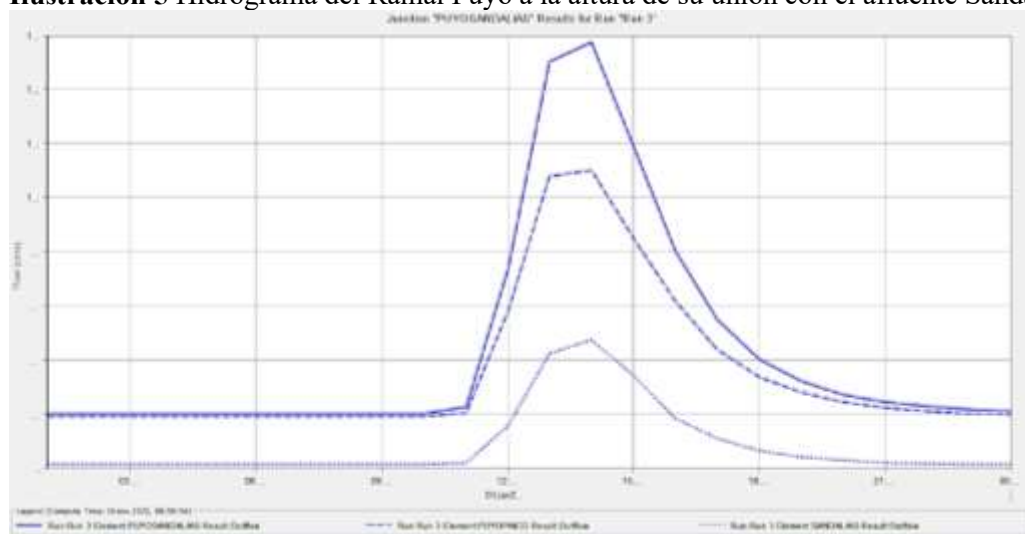


**Ilustración 5** Hidrograma del Ramal Puyo a la altura de su unión con el afluente Sandalias



Para el desarrollo de los modelos digitales de elevación, se consideró el análisis desde el punto donde se estimó el caudal de crecida máximo en el afluente Pindo en su parte alta (Ilustración 2), en función de lo cual, se estimó las zonas de posible inundación (Ilustración 7) dentro del modelo digital de elevación (Ilustración 6).

**Ilustración 6** Modelo Digital de Elevación del curso Rio Pindo.

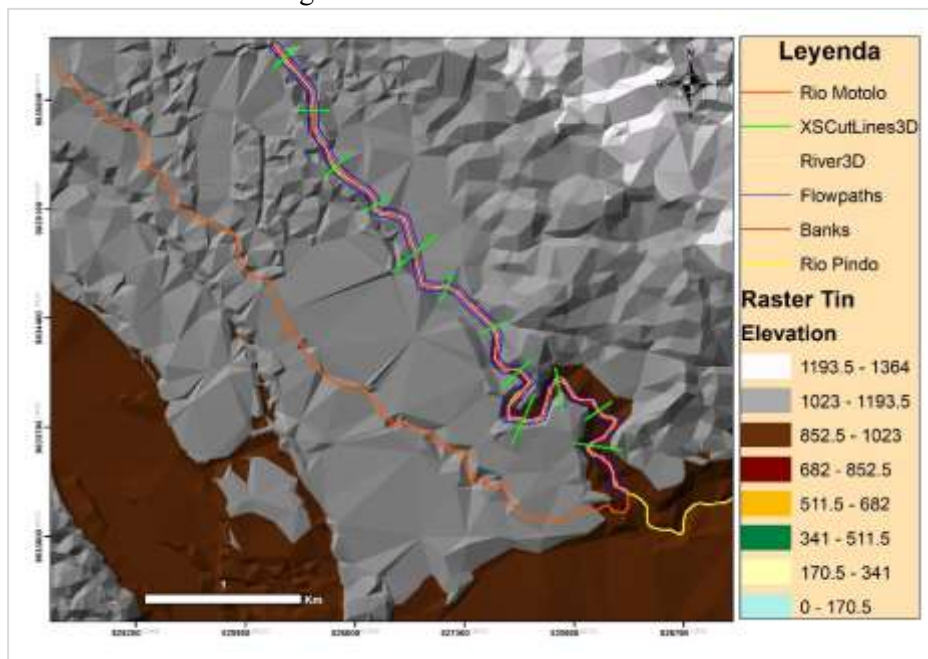
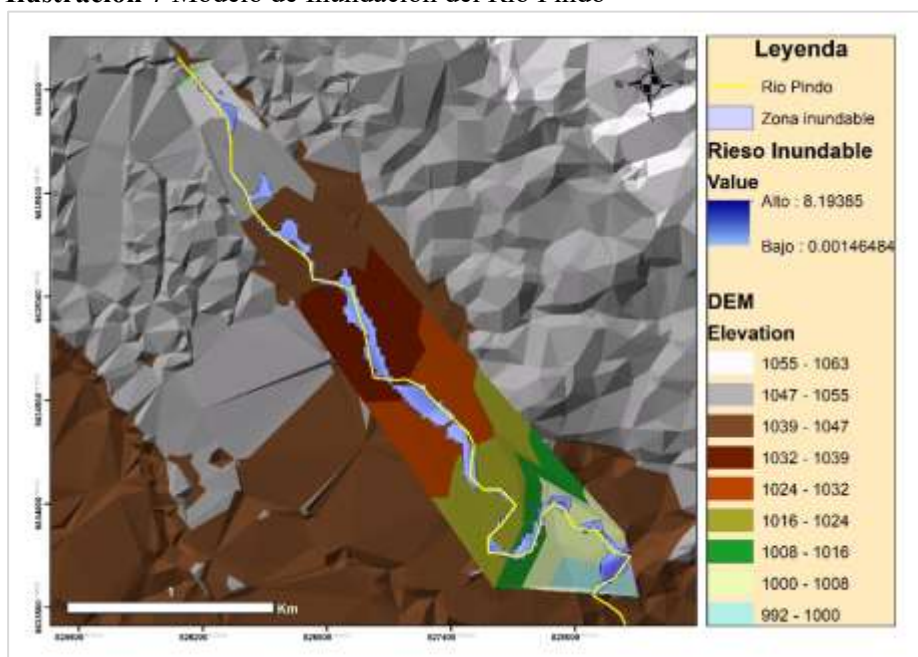


**Ilustración 7** Modelo de Inundación del Rio Pindo



En la Ilustración 8, se puede apreciar la proyección de estas áreas en la imagen satelital, donde se observa la formación de áreas indudables que afectan a sectores poblados como: Sacha Runa, Dique de Shell, Puente de Bellavista, zonas bajas del sector Santa Rosa y Las Palmas. Mientras que, en la ilustración 9 correspondiente al mismo ramal se observan posibles áreas inundables en el sector El Recreo en la zona de las viviendas municipales y a la altura del puente de la Comunidad San Jacinto.

En el ramal Puyo (Ilustración 9), se observa la formación de zonas de inundación, a la altura del puente del Km 21/2 vía a Napo, en el sector del paseo turístico, barrio el Obrero, La Isla, el estadio Víctor Hugo Georgis y a la altura del puente del Km 2 Vía Puyo- Macas. Posteriormente en la unión de los dos ramales (Ilustración 10), no se identifican lugares poblados con problemas de posible inundación. El área de inundación neta calculada es de 0.95 km<sup>2</sup> para el Rio Pindo y 0.61 km<sup>2</sup> para el Rio Puyo respectivamente.

**Ilustración 8** Zonas inundables del ramal Pindo Tramo 1

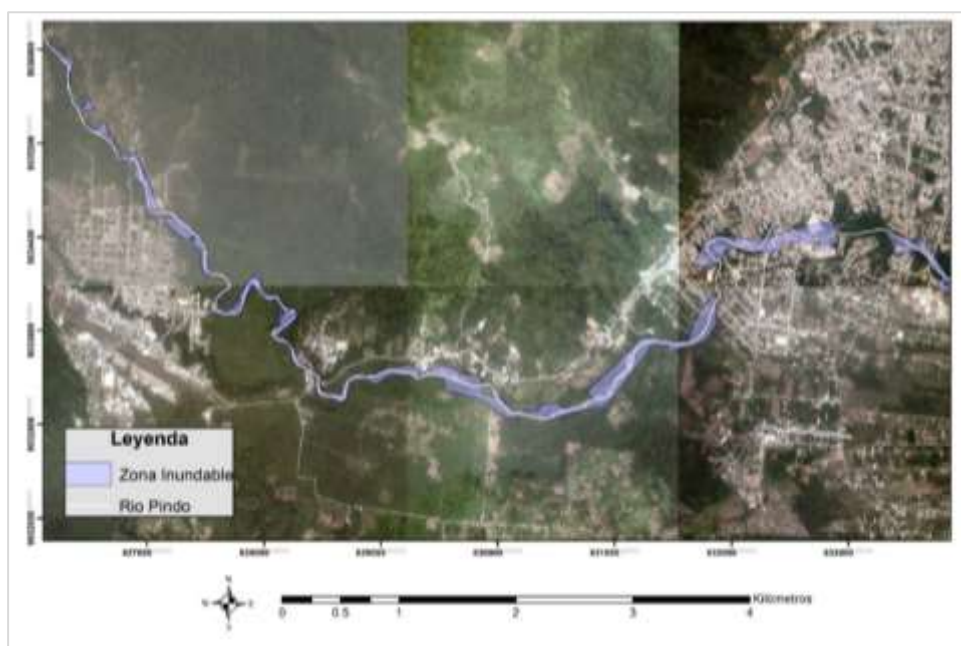
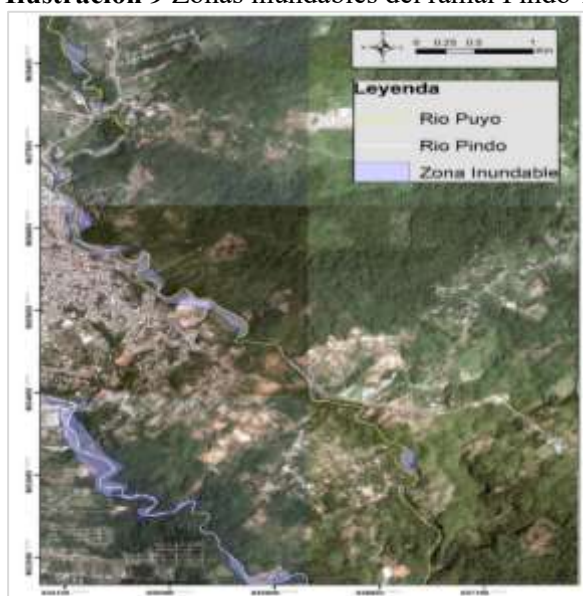


**Ilustración 9** Zonas inundables del ramal Pindo Tramo 2 y del ramal Puyo tramo 1.



#### **Ilustración 10** Zonas inundables del ramal Pindo Tramo 3 y del ramal Puyo tramo 2



Para desarrollar un modelamiento de inundación aproximado a la realidad en el peor de los escenarios de precipitación, es importante el uso de un software capaz de considerar las características y geomorfología de la zona de manera precisa. HEC-RAS usado en el presente trabajo de investigación fue también empleado en el trabajo presentado por Orellana (2021), mismo que se desarrolló en el departamento de Piura en Perú y destaca la posibilidad del programa de calcular perfiles de flujo, considerando flujo unidimensional. Los resultados de una simulación de inundación permiten observar la altura y velocidad de la lámina de agua en una gráfica de perfil de todo el tramo modelado, además de la extensión de la inundación a través de un ploteo de las secciones en 3D. El modelamiento se puede realizar con flujo permanente y flujo no permanente gradualmente variado (U.S. Army Corps of Engineers, 2016). El primero está basado en la ecuación de energía unidimensional, mientras que el segundo se fundamenta en la ecuación de continuidad y la ecuación de conservación de momento.

Al igual que en la investigación de Galeno (2014), en donde se utilizó el software HEC-RAS para evaluar la vulnerabilidad de las superficies afectadas por crecidas de ciertos tramos del río, con los resultados hidrológicos conseguidos en el presente trabajo es posible elaborar mapas de riesgo de inundaciones de los tramos estudiados.

Por otra parte, en cuanto a la modelación hidráulica de los tramos de los ríos Pindo y Puyo, se utilizaron métodos estadísticos para periodos de retorno al igual que sucede en la investigación presentada por Mora (2016) en el río Chicamocha. Dicho estudio empleó un periodo de retorno de 5, 20, 50 y 100 años

para los cálculos de las huellas de inundación respectivas.

En el estudio realizado por Orellana (2021), se tiene conocimiento de que: la alta tasa de producción de sedimentos se debe a un incontrolado crecimiento de áreas deforestadas, especialmente en las subcuencas altas. Por otra parte, resulta claro que en un evento extremo los mayores aportes de caudal se producen precisamente en esta zona y que ello también se encuentra estrechamente relacionado con los altos índices del número de curva. (p.91).

De la misma manera en el presente estudio se ha identificado que los máximos caudales de crecidas se presentan en las partes altas de los afluentes que están claramente influenciados por las actividades antropológicas realizadas por los moradores del sector que deforestan amplias zonas cercanas a los afluentes.

En los resultados de investigación presentados por Carpio (2018), se determina la zona inundable para el río Catarama sobre modelos digitales de terreno generados a partir de la información brindada por la plataforma Sig Tierras en el año 2018 y se emplea la misma metodología. Además, el modelo digital de terreno se asemeja al utilizado en esta investigación en cuanto a la altitud de terreno, sin embargo, la zona inundable de este estudio es inferior por mucho a la del estudio de Carpio que indica zonas inundables superiores a 200 ha<sup>2</sup>

## **CONCLUSIONES**

El modelamiento hidrológico e hidráulico desarrollado permitió estimar las zonas potencialmente inundables asociadas a los ríos Pindo y Puyo, a partir de los caudales de crecida obtenidos para los principales afluentes y de las características geomorfológicas e hidrológicas del área de estudio. La integración de los modelos HEC-HMS y HEC-RAS, junto con herramientas de información geográfica, permitió representar espacialmente la extensión potencial de la inundación sobre el territorio analizado. Los resultados obtenidos muestran un caudal máximo acumulado de 309,49 m<sup>3</sup>/s para el río Pindo antes de su confluencia con el río Puyo, mientras que para el río Puyo se estimó un caudal máximo de 163,6 m<sup>3</sup>/s antes de dicha confluencia. A partir de estos resultados, se estimó un área potencialmente inundable de 0,95 km<sup>2</sup> para el río Pindo y 0,61 km<sup>2</sup> para el río Puyo, evidenciando la presencia de sectores susceptibles de afectación ante eventos de precipitación extrema.



La representación de las áreas potencialmente inundables permitió identificar sectores poblados y elementos de infraestructura ubicados próximos a los cauces que podrían verse afectados, entre ellos Dique de Shell, el puente de Bellavista, el barrio Las Palmas y el barrio El Obrero, entre otros sectores identificados en el área de estudio. Estos resultados permiten reconocer espacialmente la relación entre los cauces y las zonas de ocupación humana, constituyendo un insumo para la identificación de áreas susceptibles a inundación.

En este sentido, el estudio aporta información espacial que puede ser considerada en los procesos de planificación territorial y gestión local del riesgo, particularmente para la identificación de sectores que requieren mayor atención frente a eventos de precipitación extrema. La delimitación obtenida constituye una aproximación de las áreas potencialmente inundables bajo las condiciones consideradas en el modelamiento y puede servir como base para futuros estudios que incorporen información hidrométrica, topográfica y de campo con mayor nivel de detalle.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abril Saltos, R. V., Rodríguez Badillo, L. M., Sucoshañay Villalba, D. J., & Bucaram Visuma, E. M. (2017). Caracterización preliminar de calidad de aguas en subcuenca media del río Puyo. *Ingeniería hidráulica y ambiental*, 38(2), 59-72.
- Abril Saltos, R.V., Armas-Chugcho, P. A., Chamorro, W. P., Toscano-Salazar, V. E., Sucoshañay-Villalba, D. J., & Ríos-Rodríguez, F. A. (2021). Calidad de agua del río Puyo y afluentes, Pastaza, Ecuador. *Tecnología y ciencias del agua*, 12(3), 379-417.
- Acan Guamán, S. y Acosta Hurtado, F. (2021). Modelamiento de inundaciones en el tributario Salomé parroquia Tarqui. Universidad Estatal Amazónica.
- Álvarado Carrasco, O. F., & Apolo Echeverría, A. O. (2019). Caracterización hidrológica y geomorfológica de la subcuenca del Río Puyo en el tramo Fátima-Sector puente Km 2 1/2 vía Puyo (Tesis para la obtención del título de Ingeniero Ambiental, Universidad Estatal Amazónica).
- Aparicio F, Fundamentos de la hidrología de superficie. México D.F., ME: Editorial Limusa; 304 p (2015).



- Batista, L. F. D. R., & Ribeiro Neto, A. (2022). Conceptual and Analytical Framework as Flood Risk Mapping Subsidy. *GeoHazards*, 3(3), 395-411. <https://doi.org/10.3390/geohazards3030020>
- Bladé i Castellet, E., Sánchez Juny, M., Sánchez Tueros, H. P., Niñerola Chifoni, D., & Gómez Valentín, M. (2009). Modelación numérica en ríos en régimen permanente y variable: una visión a partir del modelo HEC-RAS. Edicions UPC.
- Campos, D. (1984). Procesos del ciclo hidrológico. San Luis Potosí: UASLP.
- Carpio Rugel, A. A. (2018). Generación del Modelo de Áreas de Inundación del Río Catarama mediante el uso de los softwares HEC-RAS Y ARC-GIS (Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas. Carrera de Ingeniería Civil.).
- Catuto Quinde, M. M., Montalvan Toala, F. J., & Rubira Gómez, G. (2020). Hydrological modeling of the manglaralto river for the generation of flood maps (Santa Elena-Ecuador). Proceedings of the 18th LACCEI international multi-conference for engineering, education, and technology: "Engineering, integration, and alliances for a sustainable development" "Hemispheric cooperation for competitiveness and prosperity on a knowledge-bas, 27-31.
- Chow, V. T. (1994). Hidráulica de canales abiertos (No. 627.13 C552h). Bogotá, CO: McGrawHill.
- Diaz Carvajal, Á., & Mercado Fernández, T. (2017). Determinación del número de curva en la subcuenca de Betancí (Córdoba, Colombia) mediante teledetección y SIG. *Ingeniería y Desarrollo*, 35(2), 452-470.
- Duque-Sarango, Paola, Patiño, Daysi M., & López, Xavier E.. (2019). Evaluación del Sistema de Modelamiento Hidrológico HEC-HMS para la Simulación Hidrológica de una Microcuenca Andina Tropical. *Información tecnológica*, 30(6), 351-362. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000600351>
- Environmental Systems Research Institute, (2016). ArcGIS Dekstop 10.5 [software]. <https://www.esri.com/en-us/home>
- Espinales Cedeño, F. R., Alulema del Salto, R. A., & Caicedo Toro, M. D. (2021). Determinación del Número de Curva (CN) de la cuenca del Río Portoviejo. Dilemas contemporáneos: educación, política y valores, 8(SPE2).



- Galeno, C. H. (2018). Modelación de áreas de afectación por desbordamiento de ríos en zonas de transición fluvial. Caso del río La Antigua, Veracruz.
- García, M. L., Basile, P. A., & Riccardi, G. A. (2011). Estudio de registros de caudales y niveles hidrométricos para grandes crecidas sobre tramo del río Paraná. In Actas del XXIII Congreso Nacional del Agua, Resistencia, Chaco, Argentina (pp. 88-108).
- Guachamin, W., García, F., Arteaga, M., Cadena, J. (2019). Determinación de ecuaciones para el cálculo de Intensidades máximas de precipitación, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Obtenido de:  
[https://www.inamhi.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/ESTUDIO\\_DE\\_INTENSIDADES\\_V\\_F\\_INAL.pdf](https://www.inamhi.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/ESTUDIO_DE_INTENSIDADES_V_F_INAL.pdf)
- Guerrero Coronel, F. R. (2018). Evaluación y análisis de la intensidad de lluvia de diseño influenciada por oscilaciones decadales de precipitación mediante la determinación de una metodología de cálculo para la cuenca del río Paute (Bachelor's thesis). Retrieved from  
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/31528>
- Huatatoca Chimbo, J. L., & Chanaluisa Chiliquinga, W. O. (2019). Análisis geomorfológico de la subcuenca del Río Pambay para determinar las zonas vulnerables e inundaciones mediante el modelamiento hidrológico (Tesis para la obtención del título de Ingeniero Ambiental, Universidad Estatal Amazónica).
- Hydrologic Engineering Center, (2022). River Analysis System. [software] U.S: Army Corps of Engineers. [www.hec.usace.army.mil](http://www.hec.usace.army.mil)
- Hydrologic Engineering Center, (2019). Hidrologic Modeling System. [software] U.S: Army Corps of Engineers. [www.hec.usace.army.mil](http://www.hec.usace.army.mil)
- Illanes Cerda, I. y Paucar Paucar, M. (2019). Caracterización edafológica, hidrológica y geomorfológica de la zona de recarga del Río Plata, Barrio Las Palmas, Cantón Pastaza.
- Jaramillo, G. P., Upegui, J. V., Sánchez, O. J. M., Bonilla, L. C., Arias, M. Z., & Ortiz, C. H. (2002). Estimación de caudales mínimos para Colombia mediante regionalización y aplicación de la curva de recesión de caudales. *Meteorol. Colomb*, 6, 73-80.

- Lapo Alcivar, C. M. (2019). Análisis espacio-temporal del riesgo de inundación mediante simulación espacial en la Parroquia Puerto Napo [B.S. thesis, Universidad Nacional de Chimborazo, 2019]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/5842>
- Li, J., Liu, C., Wang, Z., & Liang, K. (2015). Dos modelos universales de rendimiento de escurrimiento: SCS vs. LCM. *Journal of Geographical Sciences*, 25 (3), 311-318.
- Martinez, E, (2005) Hidrologia Práctica 2da ed. Colegio de Ingenieros en Caminos, Canales y Puertos.
- Mejía Cerda, G. M. (2013). Diagnóstico del estado actual de la microcuenca del río Motolo y propuesta de plan de manejo en la parroquia Shell, Cantón Mera (Tesis para la obtención del título de Ingeniero Ambiental).
- Ministerio de Agricultura y Ganadería, (2022). <http://www.sigtierras.gob.ec>
- Mora Mariño, W., & Ochoa Guerrero, R. G. (2016). Modelamiento de zonas de inundación por medio de las herramientas HEC-RAS, GEO-RAS y ARCGIS, para el sector comprendido entre los municipios de Corrales-Paz del Rio a lo largo del Río Chicamocha, en el departamento de Boyacá.
- Nikrou, P., Seyvani, S., Cohen, S., Gangrade, S., Gutenson, J. L., Tian, D., Baruah, A., Follum, M. L., & Kao, S.-C. (2026). Intercomparison of flood inundation models across land use types and hydrological flood stages. *Journal of Hydrology*, 673, 135410. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2026.135410>
- NRCS, "Hydrologic soil groups". (2009). Part 630 Hydrology National Engineering Handbook, Natural Resources Conservation Service, Ed. USA: USDA, cap. 7, pp. 1-3.
- Orellana Cabello, R. E. (2021). Modelamiento hidrológico e hidráulico para el análisis de inundaciones en la ciudad de Piura utilizando HEC-HMS y HEC-RAS.
- Paredes, J. (2021). Aplicación de Hidrogramas Sintéticos SCS para el modelamiento de crecidas en los ríos Puyo y Pindo. (Tesis para la obtención del título de Ingeniero Ambiental, Universidad Estatal Amazónica).
- Quirogaa, V. M., Kurea, S., Udoa, K., & Manoa, A. (2016). Application of 2D numerical simulation for the analysis of the February 2014 Bolivian Amazonia flood: Application of the new HEC-RAS version 5. *Ribagua*, 3(1), 25-33. <https://doi.org/10.1016/j.riba.2015.12.001>



- Smakhtin, V. 2001: Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology*. 240, 147–186.
- Soria Castro, R. I. (2015). Estudio hidrológico de la calidad de agua de la cuenca media del río Puyo Ramal Salomé (Tesis para la obtención del título de Ingeniero Ambiental, Universidad Estatal Amazónica).
- Urrutia, R., y M. Vuille, Climate change projections for the tropical Andes using a regional climate model: Temperature and precipitation simulations for the end of the 21st century, *Journal of Geophysical Research*, doi: 10.1029/2008JD011021, 114, D02108 (2009).
- Valle Ramírez, M. L., & Vargas Franco, M. G. (2018). Caracterización geomorfológica de los tributarios Plata y Charaguayacu de la subcuenca del Río Pindo Grande (Tesis para la obtención del título de Ingeniero Ambiental, Universidad Estatal Amazónica).

