

Áreas de inundación por ocurrencia de avenidas máximas en la subcuenca Milagros, Yungay, Perú

Flood plain due to the occurrence of maximum flow in the Milagros sub-basin, Yungay, Perú

GERARDO REVELO ¹, REYNALDO REYES ¹, PEDRO COLONIA ¹, TEÓFANES MEJÍA ¹
y FLOR JARA ²

RESUMEN

Las inundaciones de las áreas agrícolas y viviendas del caserío de Cañasbamba representa un problema debido al desbordamiento de las aguas de la quebrada Milagros en temporadas de precipitaciones extremas. En esta investigación, el objetivo es determinar las áreas de inundación por ocurrencia de avenidas máximas en la subcuenca Milagros. Mediante la modelización hidrológica con HEC-HMS 4.9 se ha obtenido caudales extremos de 9-11-13,4-16,9 y 20 m³/seg para periodos de retorno de 50-100-200-500 y 1000 años respectivamente. Se realizó el trabajo de campo para obtener información topográfica, reológica y coeficiente de rugosidad. Teniendo los hidrogramas de avenidas y la información de campo, se procedió al modelamiento hidráulico con FLO-2D para flujos hiperconcentrados, donde los resultados mostraron que las profundidades máximas alcanzadas por el flujo son de 1,81-2,04-2,18-2,35 y 2,50 m para los periodos de retorno de antes mencionados. Se ha determinado las áreas de inundación en el caserío de Cañasbamba de 3,43 - 3,80 - 4,13 - 4,60 y 5,23 Ha para los cinco periodos de retorno indicados.

Palabras clave: inundación; modelización hidrológica; modelamiento hidráulico.

¹Universidad Santiago Antúnez de Mayolo. Huaraz, Perú

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Aporte Santiaguino de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite: **Compartir-copiar** y **redistribuir** el material en cualquier medio o formato, **Adaptar-remezclar**, **transformar** y **construir** a partir del material para cualquier propósito, incluso comercialmente.

ABSTRACT

Flooding of the agricultural areas and homes of the Cañasbamba hamlet represents a problem due to the overflowing of the waters of the Milagros stream in seasons of extreme rainfall. In this research, the objective is to determine the flooding areas due to the occurrence of maximum flows in the Milagros subbasin. Through hydrological modeling with HEC-HMS 4.9, extreme flows of 9 -11 - 13.4 - 16.9 and 20 m³/sec have been obtained for return periods of 50 -100 -200 - 500 and 1000 years respectively. Field work was carried out to obtain topographic, rheological information and roughness coefficient. Having the flood hydrographs and the field information, we proceeded to hydraulic modeling with FLO-2D for hyperconcentrated flows, where the results showed that the maximum depths reached by the flow are 1.81 - 2.04 - 2.18 - 2.35 and 2.50 m for the aforementioned return periods. The flood areas in the Cañasbamba hamlet have been determined to be 3.43 - 3.80 - 4.13 - 4.60 and 5.23 Ha for the five indicated return periods.

Keywords: flood; hydrological modelling; hydraulic modeling.

INTRODUCCIÓN

Las inundaciones son fenómenos naturales que afectan a las infraestructuras, terrenos agrícolas y medio ambiente; en muchos de los casos ocasionan pérdidas de vidas humanas y económicas; de la importancia para realizar el estudio de las inundaciones con la finalidad de tomar acciones de prevención.

Las inundaciones son más frecuentes en las zonas que son propensas al desbordamiento de ríos y quebradas debido a las intensas precipitaciones y ordenamiento territorial escasa o nula; siendo un problema a nivel regional, nacional e internacional. [Torres \(2021\)](#) menciona que los países en desarrollo son más vulnerables a los desastres debido a la fuerte presencia de asentamientos informales con alto nivel de exposición a amenazas, por tal motivo [Guerriero et al. \(2020\)](#) menciona que es importante el mapeo de peligros es esencial para la evaluación de riesgos y el diseño de medidas de mitigación en áreas propensas a inundaciones.

[Castillo et al. \(2019\)](#) manifiestan que hidrográficamente el Perú se divide en dos grandes zonas de drenaje: la occidental, que drena sus aguas al Océano Pacífico, y la oriental, que drena sus aguas al Océano Atlántico. El primero se caracteriza por tierras altas semiáridas y una franja cos-

tera árida, con pocos ríos permanentes y un gran número de arroyos efímeros que se activan sólo en el período húmedo. El segundo se caracteriza por un clima tropical, con altas precipitaciones y ríos permanentes. Los huaycos ocurren cuando lluvias de alta intensidad caen sobre un arroyo provocando la saturación del suelo, falla y consecuentemente flujo, estos fenómenos son comunes en todos los Andes occidentales del Perú, sin embargo, en los últimos años comienzan a manifestarse con mayor frecuencia en los Andes orientales como consecuencia de procesos de deforestación.

[Teshome et al. \(2023\)](#). Manifiestan que la degradación de la tierra debido al crecimiento demográfico, el cambio y la variabilidad climáticos y otras actividades antropogénicas son los principales factores de la aparición de inundaciones en Etiopía. En este contexto, [Erena et al. \(2018\)](#) realizaron el mapeo de peligro de inundaciones de la ciudad de Dire Dawa en Etiopía utilizando FLO-2D, con la finalidad de adoptar estrategias locales de gestión del riesgo, para identificar estrategias locales de gestión de inundaciones, se realizó una encuesta de hogares en 232 hogares ubicados en áreas propensas a inundaciones, el resultado revelan que las profundidades del flujo pueden alcanzar hasta 4 m en las zonas residenciales de las aldeas de Dechatu y Koka; además, las velocidades son tan rápidas como 7 m/s alrededor del centro de las ciudades de las aldeas, el resultado del mapa de peligros muestra que 146 edificios se ubicaron dentro de las zonas de alto riesgo, los otros 245 y 772 edificios estaban ubicados dentro de zonas de peligro medio y menor, respectivamente; con este fin, el estudio sugiere la construcción de muros y otras estructuras de ingeniería deberían ubicarse fuera de las áreas inundadas.

[Paricio et al. \(2019\)](#) donde manifiestan que el lago Atitlán (Guatemala) se encuentra localizado en la zona de paso de los ciclones tropicales formados tanto en el océano Atlántico como en el Pacífico, este tipo de fenómenos provocan anualmente abundantes e intensas precipitaciones que, a su vez, generan numerosas inundaciones y la formación de flujos torrenciales. Para el análisis de las inundaciones se ha aplica el método geomorfológico y se han modelizado flujos con diferentes propiedades reológicas con el software FLO-2D, para determinar el caudal base se realiza con el software HEC-HMS. El volumen total de flujo generado es de 390 494 m³, la profundidad de flujo máxima registrada ha sido de 4,9 m y la velocidad máxima de 4,3 m/s. [Zhang et al. \(2018\)](#) indican que una inundación con escombros se produjo en el condado de Zhouqu, provincia de Gansu, noroeste de China, a la medianoche del 7 de agosto de 2010, lo que provocó daños a más de 390 edificios, por lo que evaluaron el daño a los edificios por flujos de escombros basándose en extensos datos observados y simulaciones numéricas utilizando FLO-2D, lo cual obtuvieron las distribuciones de la profundidad de deposición del flujo de es-

combros (≤ 5 m, 65,6 %), la velocidad del flujo (≤ 6 m/s, 70,3 %) y la presión de impacto (≤ 50 kPa, 59,5 %).

Larsen y Wiczorek (2006) investigaron los efectos que dejó la inundación en el norte de Venezuela de 1999, donde indican que, en diciembre de ese año se presenta una tormenta de gran magnitud que provoca corrientes de escombros e inundaciones, la cual es considerado como el peor desastre natural de la historia de las Américas, se estima entre 15 y 20 millones de m³ de sedimentos derivados de 24 cuencas hidrográficas a lo largo de 50 kilómetros esta, lo cual produjeron la muerte de unas 15 000 personas y una pérdida en propiedades de más de 2 mil millones de dólares. Cabe mencionar que Bello et al. (2003) realizaron la simulación de la inundación ocurrido en 1999 en el norte de Venezuela, donde se determinaron la distribución, intensidad y escorrentía de las precipitaciones de diciembre de 1999, luego se estimó el hidrograma de crecida de 3 días con el modelo hidrológico HEC-1 y finalmente, se aplicó el modelo bidimensional de enrutamiento de inundaciones FLO-2D con la capacidad de simular flujos de sedimentos hiperconcentrados.

Millán y Chavarri(2019) modelaron el flujo de escombros de gran magnitud que se presentó el 16 de enero de 2017 en la cuenca Los Cóndores del distrito de Chaclacayo, Lima, Perú. El proceso de modelación se realiza utilizando el módulo de flujo de escombros del modelo RAMMS, el principal insumo del modelo es el Modelo Digital de Elevación, el cual fue generado a partir de las imágenes del satélite PeruSAT-1, para la calibración del modelo se realizó a partir de una filmación de un tramo del flujo tomada el mismo día del evento; en consecuencia a partir de este modelado es posible reproducir la simulación de cinco escenarios de riesgo para la cuenca Los Cóndores que dependen de lluvias máximas probables de 24 horas para diferentes períodos de retorno; y acuerdo con los resultados obtenidos el modelo RAMMS es un método apropiado para flujos de escombros en el análisis de riesgos.

French et al. (2020) mencionan que el Perú ha experimentado una larga historia de desastres relacionados con El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), incluso durante los eventos globales de El Niño de 1982-83 y 1997-98. Esta historia ha contribuido al progreso en la previsión y preparación de ENSO, así como a un desarrollo más amplio de las capacidades de gestión del riesgo de desastres (GRD) del país. A pesar de estos avances, a principios de 2017 Perú fue devastado por un evento localizado de El Niño costero. Según el reporte del Instituto Nacional de Defensa Civil ([INDECI],2017) el seis de febrero de 2017 ocurrió un huayco en la localidad de Cañasbamba afectando: 256 personas, 63 viviendas, una Institución Educativa, 2 km de canal

de riego, 120 Ha de cultivo agrícola, 10 km de carretera PE-3N Huaraz - Caraz y un puente; además, causando la muerte de más de 1000 animales menores.

Para estudios de inundación por avenidas máximas de una subcuenca los modelos matemáticos son las más utilizadas para el modelamiento hidrológico e hidráulico, actualmente existen diversos modelos matemáticos disponibles en el mercado, siendo la más conocida por su uso y libre disponibilidad el modelo matemático HEC-HMS 4.9 y FLO-2D conceptualizado por O'Brien y Julien.

La presente investigación beneficia directamente a la población del caserío de Cañasbamba porque se conoce las áreas de peligro ante inundación para eventos extremos de la quebrada Milagros, e indirectamente a la Municipalidad Provincial de Yungay para elabore planes de prevención de inundación. Finalmente, la presente investigación contribuye al conocimiento de los problemas relacionados a la inundación de barro originada por las crecidas de los ríos y quebradas, sirviendo como base para investigaciones posteriores, ya que el tema de inundaciones es un problema nacional y mundial muy frecuente.

El objetivo de la investigación es determinar las áreas de inundación en el caserío de Cañasbamba debido al desbordamiento de la quebrada Milagros para avenidas máximas, la cual se realiza mediante el modelamiento hidrológico con HEC-HMS 4.9 y el modelamiento hidráulico con FLOD-2D, como resultado se obtiene caudales máximos, profundidades máximas y cantidad de áreas inundadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación es descriptiva no experimental. La población lo conforman las subcuencas del río Santa, la selección de la muestra no probabilística se realizó por conveniencia, la cual estuvo representado por la subcuenca Milagros que se encuentra ubicada en el caserío de Cañasbamba del distrito de Yungay, fue seleccionado, ya que dicha subcuenca se activó por las fuertes precipitaciones ocurridos en el Fenómeno del Niño 2017, donde las aguas se desbordaron e inundaron viviendas, alojamientos de animales, terrenos agrícolas, centro educativo y carreteras; trayendo como consecuencia la pérdida económica e impacto ambiental negativo.

Modelización hidrológica

Se trabajó con información cartográfica del IGN zona 19h e imágenes satelitales Alos Palsar de 12.5x12.5 m píxeles para determinar los parámetros geomorfológicos de la subcuenca con la ayuda de ArcMap 10.8. Se utilizó el mapa de uso de suelos y de cobertura vegetal del Perú para calcular el número de curva (CN) mediante la metodología del ANA. Se realizó el análisis de la precipitación máxima de 24 horas con el software Hydrognomon 4, se elaboraron los hietogramas de diseño para diferentes periodos de retorno con el método del bloque al-terno y el tiempo de concentración se realizó con la fórmula de Kirpich. Toda esta información fue necesario para determinar los hidrogramas de avenidas máximas por el método de Número de Curvas del SCS, las cuales fueron procesadas en el software HEC-HMS 4.9.

Modelización hidráulica

Se realizó el levantamiento topográfico con dron de las posibles áreas a inundarse para elaborar el Modelo Digital de Elevación (DEM) con la ayuda de ArcMap 10.8, el coeficiente de rugosidad de Manning se tomó de la propuesta de Ven te Chow. Para el cálculo de los parámetros reológicos se excavaron 12 calicatas en el cauce, donde se tomaron las muestras de suelo para ser analizados en laboratorio determinado así, la gravedad específica, esfuerzo de cedencia y viscosidad dinámica. Con la información del análisis granulométrico del suelo se tomo el valor de Coeficiente Volumétrico de sedimentos (CV), toda esta información fue procesado en el modelo numérico FLO-2D de O'Brien y Julien para determinar las áreas de inundación por flujos hiperconcentrados.

RESULTADOS

Parámetros geomorfológicos

Empleando las cartas nacionales e imágenes satélites con ArcGis 10.8 se determinó los parámetros geomorfológicos de la subcuenca Milagros, que se indican en la tabla 1.

Tabla 1

Parámetros geomorfológicos de la subcuenca Milagros

Parámetros Geomorfológicos	Unidad	Valor
Área	Km^2	8,46
Perímetro	Km	12,09
Coefficiente de compacidad		1,17
Factor de forma		0,48
Altitud media de la cuenca	m.s.n.m.	2900
Pendiente de la cuenca	%	32,83
Pendiente media del cauce principal	%	20,62
Densidad de drenaje	Km/Km^2	1,14

Parámetros reológicos

Con los resultados de análisis granulométrico de suelo y el modelo O'Brien y Julien (FLO-2D), se determinó los parámetros reológicos del cauce principal la subcuenca Milagros, que se indican en la tabla 2.

Tabla 2

Parámetros reológicos del cauce principal de la subcuenca Milagros

Parámetros	Unidad	Valor
Gravedad específica de suelo (Gs)		2,65
Concentración volumétrica de sedimentos (Cv)		0,35
Fuente Glenwood sample 3		
Viscosidad dinámica (h)	Pa.s.	0,67
a		0,00632
b		19,90
Esfuerzo de cedencia (τ_y)	Pa	2,393926759
a		0,000707
b		29,80
Comportamiento de flujo		Inundaciones de barro

Modelización hidrológica

Se han determinado las avenidas máximas para los diferentes periodos de retorno con HEC-HMS 4.9, que indican en la tabla 3.

Tabla 3

Avenidas máximas para diferentes periodos de retorno de la subcuenca Milagros

Periodo de Retorno	Caudal Máx. (m^3/seg)
T = 50 años	9,00
T = 100 años	11,00
T = 200 años	13,40
T = 500 años	16,90
T = 1000 años	20,00

Modelización hidráulica

La modelización se ha llevado a cabo con FLO-2D, los valores de las profundidades máximas, velocidades máximas y áreas de inundación para los diferentes periodos de retorno se muestran en la tabla 4.

Tabla 4

Profundidades máximas, velocidades máximas y áreas de inundación debido al flujo hiperconcentrado

Indicador	T=50 años	T=100 años	T=200 años	T=500 años	T=1000 años
Profundidad Máxima (H _{máx.}) (m)	1,81	2,04	2,18	2,35	2,5
Velocidad a Profundidad Máxima (V) (m/seg)	1,96	2,02	2,21	2,33	
Velocidad Máxima (V _{máx.}) (m/seg)	4,38	4,68	4,93	5,21	5,43
Profundidad a Velocidad Máxima (H) (m)	0,63	0,7	0,78	0,88	1,2
Área Máxima Inundada (Ha)	3,43	3,80	4,13	4,60	5,23
Área Máxima Inundada (profundidad ≥ 0.15 m.) (Ha)	2,41	3,05	3,43	3,96	4,46

En las figuras siguientes se muestran las inundaciones que se producen en el caserío de Cañasbamba para diferentes periodos de retorno.

Áreas de inundación por ocurrencia de avenidas máximas en la subcuenca Milagros, Yungay, Perú

Figura 1

Áreas de inundación para un periodo de retorno de 50 años

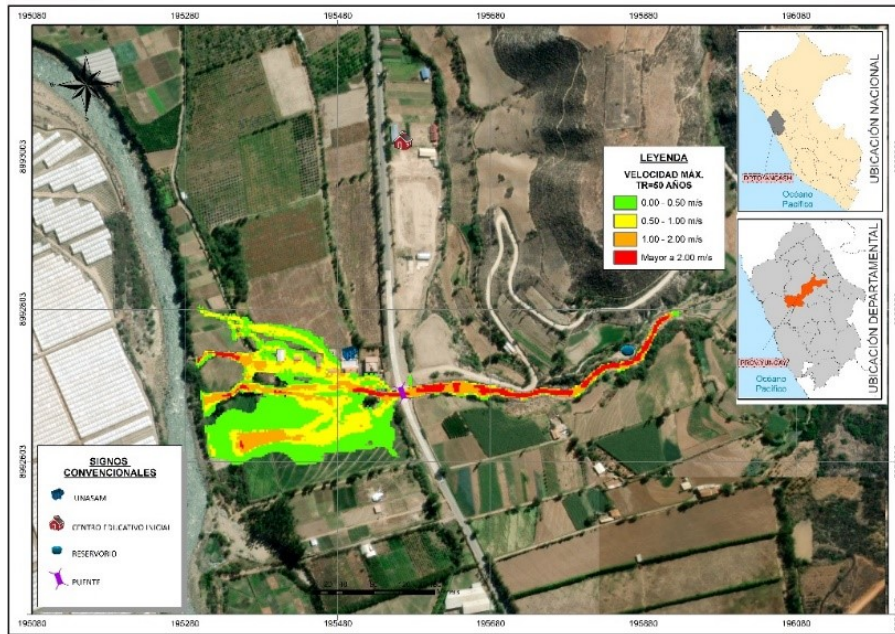


Figura 2

Áreas de inundación para un periodo de retorno de 100 años

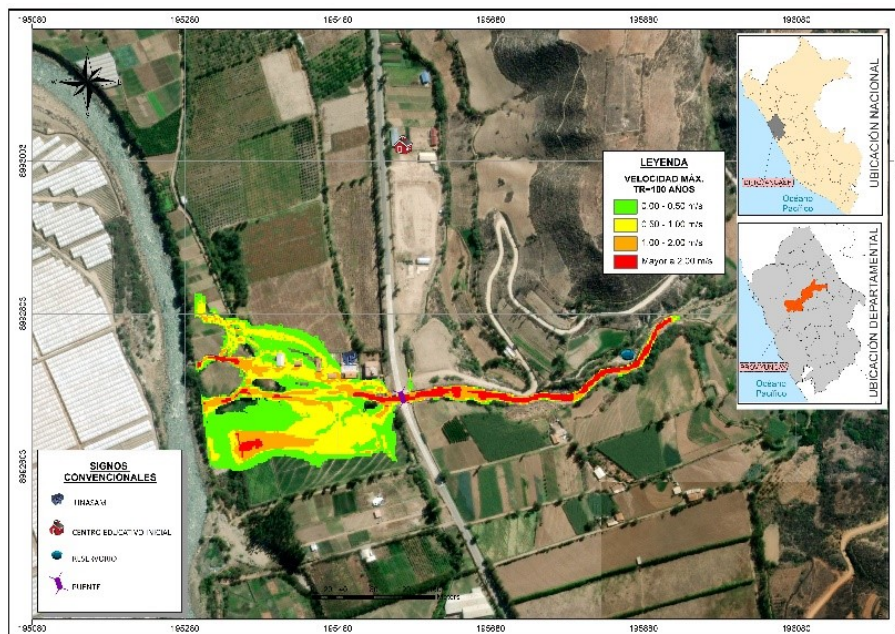


Figura 3

Áreas de inundación para un periodo de retorno de 200 años

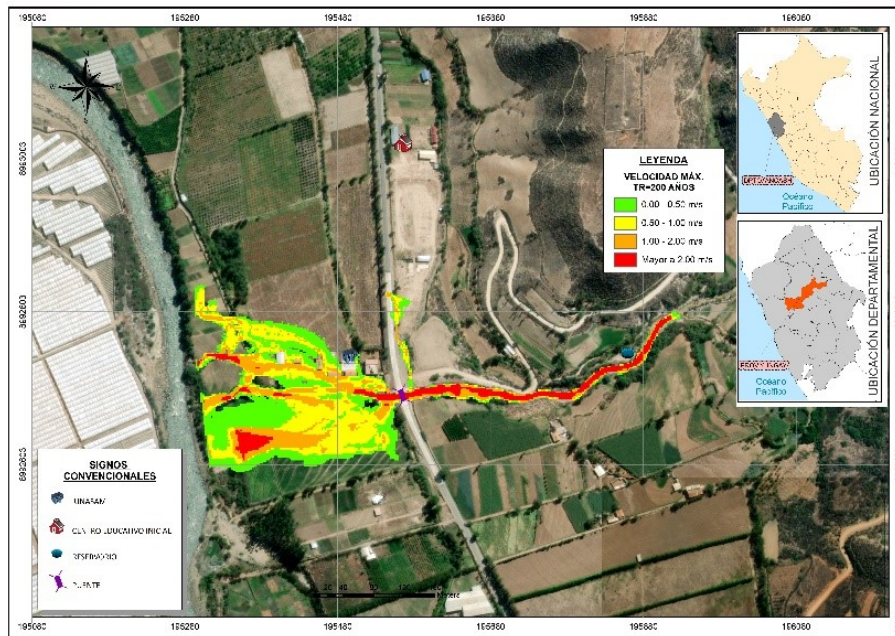


Figura 4

Áreas de inundación para un periodo de retorno de 500 años

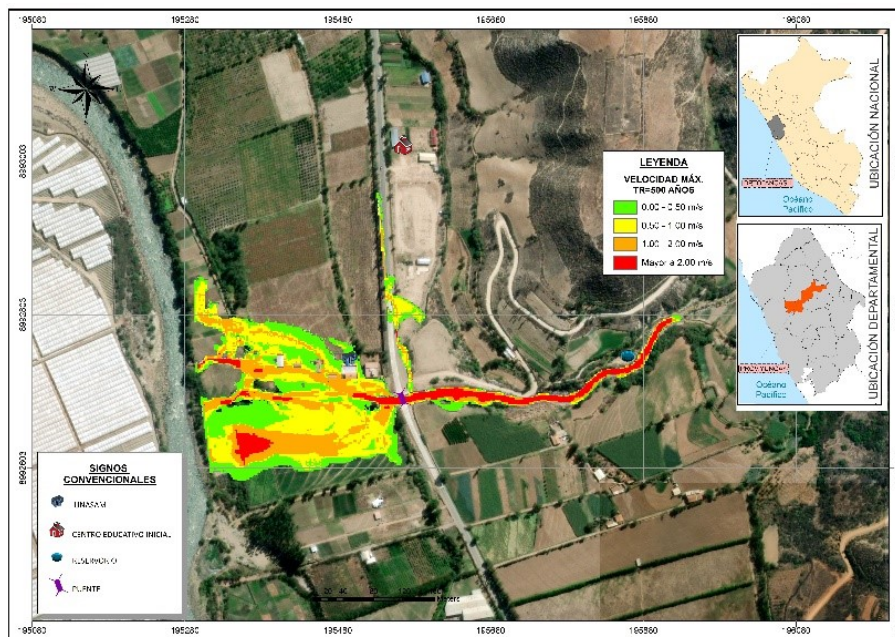
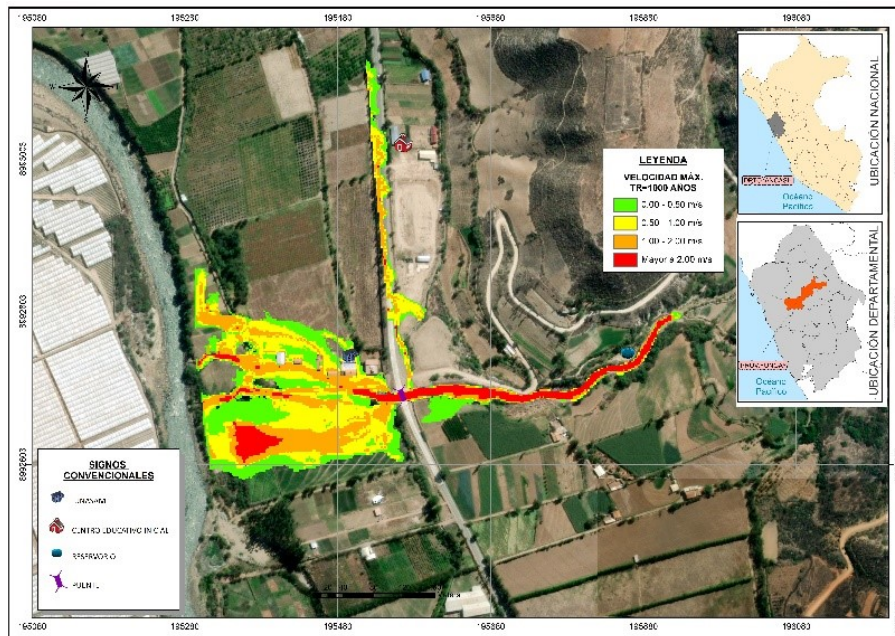


Figura 5

Áreas de inundación para un periodo de retorno de 1000 años



DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados de los parámetros geomorfológicos de la subcuenca Milagros, se tiene que el área de la subcuenca es 8,46 km², de acuerdo [Viramontes et al. \(2007\)](#) se clasifica como una cuenca muy pequeña; así mismo, tiene un Coeficiente de Compacidad de 1.17 lo que indica que la subcuenca es de forma casi redonda a oval-redonda ([Viramontes et al. ,2007](#)); de igual manera, se ha calculado un Factor de Forma de 0,48 deduciendo que es ligeramente ensanchada ([Horton et al. ,1945](#)).

La subcuenca tiene una Pendiente Media de 32.83 %, tal como manifiestan [Ibáñez et al. \(2011\)](#) este un parámetro muy importante para la velocidad media de la escorrentía y su poder de arrastre o erosivo; además, tiene una Altitud Media de 2 900 m.s.n.m. En cuanto a la Densidad de Drenaje se obtuvo 1.14, de acuerdo a [Delgadillo y Páez \(2008\)](#) el cauce de la subcuenca se caracteriza por un drenaje moderado no susceptible a erosionar-se; agregando a lo anterior se ha determinado la Pendiente Media del cauce principal igual a 20,62 % lo cual indica que el terreno es accidentado ([Ortiz ,2004](#)).

De acuerdo a los resultados del análisis granulométrico el suelo del cauce principal de la sub-

cuenca Milagros se caracteriza por ser grava mal graduada con arena, estos tipos de suelo tienen una Gravedad Específica de 2,65; además, se ha determinado la Concentración Volumétrica de sedimentos (C_v) igual a 0,35 y de acuerdo a O'Brien et al.(1993) el tipo de flujo es de inundación de lodo o barro, cuya característica del flujo es la separación del agua en la superficie; las olas viajan fácilmente, la mayoría de las arenas y gravas se sedimentan y se mueven como arrastre de fondo.

El promedio de finos del suelo presente el cauce principal es de 3,10 % y según O'Brien et al.(1993) por la cantidad de finos el modelo se ajusta a la fuente Glenwood Sample 3, donde la viscosidad dinámica es 0,67 Pa.s. y el esfuerzo de cedencia 2,39 Pa. En el modelamiento hidrológico se tiene que la avenida máxima para los diferentes periodos de retorno se presenta en las 1,05 horas de haberse saturado el suelo e iniciado la escorrentía superficial debido a la tormenta.

De acuerdo al modelamiento hidráulico existen terrenos agrícolas e infraestructuras que están expuestos a inundación como se puede observar en las figuras anteriores.

CONCLUSIONES

Se ha realizado la modelización hidrológica mediante software HEC-HMS 4.9, cuyas avenidas máximas son: 9 - 11 - 13,40 - 16,90 y 20 m³/seg para los periodos de retorno de 50 - 100 - 200 - 500 y 1000 años respectivamente. Se ha realizar la modelización hidráulica para flujo hiperconcentrado mediante software FLO-2D, cuyas profundidades máximas de flujo de inundación son: 1,81 - 2,04 - 2,18 - 2,35 y 2,50 m para los periodos de retorno de 50 - 100 - 200 - 500 y 1000 años respectivamente. Se ha determinado el área total de inundación igual a 3,43 - 3,80 - 4,13 - 4,60 y 5,23 Ha para los periodos de retorno de 50 - 100 - 200 - 500 y 1000 años respectivamente. De las cuales se puede concluir que áreas de cultivo aguas abajo del puente, tomas de riego, carretera Huaraz - Caraz, viviendas y el centro educativo inicial están expuestos a inundación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bello, M. E.; López, J. L.; García-Martínez, R. & O'Brien, J. S. (2003). Simulation of flooding and debris flows in the Cerro Grande river [Simulación de inundaciones y flujos de escombros en el río Cerro Grande]. *Acta científica venezolana*, 54, 22-32.
- Castillo, L.; Cabrera, J.; Hidalgo, R. & Huanca, F. (2019). Relationship between solid concentration and bed slope to the beginning of movement in water-soil mix [Relación entre la concentración de sólidos y la pendiente del lecho con el inicio del movimiento en

la mezcla agua ? suelo]. *Proceedings of the IAHR World Congress*, 2806-2812. [10.3850/38WC092019-1858](https://doi.org/10.3850/38WC092019-1858)

- Delgadillo, A. & Páez, G. (2008). Aspectos hidrológicos, subcuencas susceptibles a crecidas, escenarios de riesgo. En C. Ferrer & M. Duarte (Eds.). (2008). Plan de desarrollo urbano del Municipio Antonio Pinto Salinas, bajo el enfoque de gestión del riesgo. Caracterización del riesgo de la cuenca del valle Mocoties. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo-Fundación para la Prevención de los Riesgos del Estado Mérida.
- Erena, H.; Workub, H. & De Paola, F. (2018). Flood hazard mapping using FLO-2D and local management strategies of Dire Dawa city, Ethiopia [Mapeo de peligros de inundaciones utilizando FLO-2D y estrategias de gestión local de la ciudad de Dire Dawa, Etiopía]. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 19(2018). 224-239. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2018.09.005>
- Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: hydro-physical approach to quantitative morphology [Desarrollo erosivo de arroyos y sus cuencas de drenaje: enfoque hidrofísico de la morfología cuantitativa]. *Geological Society of America Bulletin*, 56(3). 275-370. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56\[275:EDOSAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2)
- French, A.; Mechler, R.; Arestegui, R.; MacClune, K. & Cisneros A. (2020). Root causes of recurrent catastrophe: The political ecology of El Niño-related disasters in Peru [Causas fundamentales de las catástrofes recurrentes: la ecología política de los desastres relacionados con El Niño en el Perú]. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 4(2020), 101539. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101539>
- Guerriero, L.; Ruzzaa, G.; Guadagno, F. & Revellino, P. (2020). Flood hazard mapping incorporating multiple probability models [Mapeo de peligros de inundaciones que incorpora múltiples modelos de probabilidad]. *Journal of Hydrology*, 587(2020), 125020. <https://doi.org/10.1016/j.jhydro1.2020.125020>
- Ibáñez, A. S.; Moreno, R. H. & Gisbert, B. J. (2011). Morfología de las cuencas hidrográficas. <http://hdl.handle.net/10251/10782>
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2017). Reporte de Estado Situacional de la Emergencia. Huayco en la Localidad de Cayasbamba.

- Larsen, M. C. & Wieczorek, G. F. (2006). Geomorphic effects of large debris flows and flash floods, northern Venezuela, 1999 [Efectos geomórficos de grandes flujos de escombros e inundaciones repentinas, norte de Venezuela, 1999]. *Zeitschrift fur Geomorphologie*, 145, 147-175.
- Millán, C.E. & Chavarri, E.A. (2019). Debris flow modeling for risk analysis in los Cóndores catchment, Chaclacayo, Lima, Peru [Modelado de flujo de escombros para análisis de riesgos en la cuenca Los Cóndores, Chaclacayo, Lima, Perú]. Proceedings of the IAHR World Congress, 3525-3533. <https://doi.org/10.3850/38WC092019-0903>
- O'Brien, J.; Julien, P.& Fullerton, W. (1993). Two-dimensional flood routing model [Simulación bidimensional de inundaciones de agua y flujo de lodo]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 119(2), 244-258. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1993\)119:2\(244\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1993)119:2(244))
- Ortiz, V. O. (2004). Evaluación hidrológica. Red Latinoamericana de Micro Hidroenergía, 1, p.3.
- Paricio, S.; Guinau, M., Bach i Plaza, J.,& Girón, L. (2019). Susceptibilidad a inundación por flujos torrenciales a partir de la integración del método geomorfológico y de la modelización con FLO-2D, lago Atitlán, Guatemala. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 36(1), 64-89. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57265242006>
- Teshome, G.; Asfaw B.; Grum, B.; Gebremariam, M. & Mengesha E. (2023). Investigation of flood incidence causes and mitigation: Case study of Ribb river, northwestern Ethiopia [Investigación de las causas de la incidencia de inundaciones y su mitigación: estudio de caso del río Ribb, noroeste de Etiopía]. *Natural Hazards Research*, 3(2023), 408-419. <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2023.04.009>
- Torres, S. F. (2021). Mainstreaming land use planning into disaster risk management: Trends in Lima, Peru [Incorporación de la planificación del uso del suelo en la gestión del riesgo de desastres: Tendencias en Lima, Perú]. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 62(2021), 102404. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102404>
- Viramontes, O.; Escoboza, L.; Pinedo, C.; Pinedo, A.; Reyes, V.; Román, J. & Pérez, A. (2007). Morfometría de la cuenca del río San Pedro, Conchos, Chihuahua. *Tecnociencia Chihuahua*, 1(3), 21-31. <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v1i3.56>

Zhang, S.; Zhang, L.; Xueyou Li, & Qiang Xu. (2018). Physical vulnerability models for assessing building damage by debris flows [Modelos de vulnerabilidad física para evaluar los daños a los edificios por flujos de escombros]. *Engineering Geology*, 247(2018), 145-158. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.10.017>

Fecha de recepción: 14/11/23

Fecha de aceptación: 15/12/23

Correspondencia

Gerardo Revelo

grevelos@unasam.edu.pe