



## Simulación de flujos aluvionales en la quebrada Quirio mediante la implementación del radar meteorológico PX-1000

John Chahua J.<sup>1</sup>, Juan Carlos Gómez A.<sup>1</sup>, Yamina Silva<sup>1</sup>, Danny Scipión<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Geofísico del Perú

### RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue realizar la simulación de flujos aluvionales utilizando la siguiente información: Imágenes procesadas del radar meteorológico PX-1000, para el cálculo de los hietogramas de tormentas; Un estudio geológico-geodinámico, para el cálculo de los volúmenes y solidograma del evento; Ensayos de mecánica de suelos, para caracterizar las propiedades del fluido y la permeabilidad del suelo; Y un modelo digital del terreno generado con técnicas de aerofotogrametría digital utilizando imágenes obtenidas por VANT. Estos resultados fueron comparados empleando el método de tormentas del US-SCS, el cual se utiliza cuando no se cuenta con información de precipitaciones de tormentas en la zona de estudio (metodología clásica de hidrología).

Como resultado se obtuvo una nueva distribución de tormentas con una duración de 12 horas en comparación con el método clásico el cual presenta una duración de 24 horas; El caudal máximo del hidrograma generado con los datos del radar para un periodo de retorno de 20 años fue de 9.95 m<sup>3</sup>/s a diferencia con el otro método en el que se obtuvo un caudal de 6.94 m<sup>3</sup>/s; El volumen de sólido total que puede generar este evento es de 49776 m<sup>3</sup> y 55149 m<sup>3</sup> con ambas metodologías, respectivamente. Esto permitió generar mapas de zonas susceptibles a ser afectadas por flujos aluvionales con la finalidad de contribuir a la gestión del riesgo de desastres y planes de ordenamiento territorial.

**Palabras clave:** flujos aluvionales, radar meteorológico, hietograma de tormentas, estudio geológico-geodinámico, gestión del riesgo de desastres.

### ABSTRACT

The objective of this investigation was to perform the simulation of alluvial flows using the following information: Processed images of the PX-1000 weather radar, for the calculation of storm hyetographs; A geological-geodynamic study, for the calculation of the volumes and solidgraph of the event; Soil mechanics tests, to characterize the properties of the fluid and the permeability of the soil; And a digital terrain model generated with digital aerial photogrammetry techniques using images obtained by UAV. These results were compared using the US-SCS storm method, which is used when there is no information about storm-falls in the study area (classical hydrology methodology).

As a result, a new distribution of storms with a duration of 12 hours was obtained in comparison with the classic method, which has a duration of 24 hours; The maximum flow of the hydrograph generated with the radar data for a return period of 20 years was 9.95 m<sup>3</sup>/s unlike the other method in which a flow of 6.94 m<sup>3</sup>/s was obtained; The total solid volume that this event can generate is 49776 m<sup>3</sup> and 55149 m<sup>3</sup> with both methodologies, respectively. This allowed us to generate maps of susceptible areas to be affected by alluvial flows in order to contribute to disaster risk management

and territorial planning plans.

**Keywords:** alluvial flows, meteorological radar, storm hietograph, geological-geodynamic study, disaster risk management.

**INTRODUCCIÓN**

Los efectos del cambio climático se han manifestado a lo largo de las últimas décadas principalmente con eventos hidrometeorológicos extremos alrededor del mundo. En Perú, uno de los eventos extremos más recientes fue el denominado “Niño costero” (ENFEN, 2017) el cual originó lluvias intensas y de larga duración en toda la costa peruana ocasionando inundaciones, deslizamientos y flujos de aluvionales, uno de los casos en donde ocurrieron estos flujos fue en la quebrada Quirio, el cual se ubica a 40 km al este de la capital del Perú. Estos eventos son recurrentes en esta zona y no cuenta con estudios a detalle de simulaciones de flujos de lodo debido principalmente a la falta de datos de precipitaciones, topografía, geomorfología, geodinámica, etc.

En este sentido, el Instituto Geofísico del Perú (IGP) implementó un radar meteorológico (PX-1000) para los estudios de las condiciones atmosféricas que ayudarán a determinar la ocurrencia de inundaciones, deslizamientos y flujos de aluvionales. Este se encuentra instalado en el distrito de Santiago de Tuna, provincia de Huarochirí, fue financiado por el Fondo de intervenciones ante Desastres (FONDES) y en colaboración con Advanced Radar Research Center (ARRC) de la Universidad de Oklahoma en el marco del proyecto “Modelado hidrogeodinámico (lluvias, huacos y deslizamientos) en Chosica, Lima”, el cual permitió conocer las precipitaciones en la cuenca de la quebrada Quirio.

**UBICACIÓN**

La zona de estudio se ubica al oeste del distrito de San Antonio, en las coordenadas UTM (Universal Transversal Mercator): 3134267 E y 8679689 N (Estadio Municipal), a una cota promedio de 902 m.s.n.m. Geopolíticamente limita: En el norte, distrito de San Antonio; En el sur, carretera Central – río Rímac; En el este, distrito de Santa Eulalia; Y en el oeste, quebrada Santa María.

**METODOLOGÍA**

Para la simulación de los flujos aluvionales en la quebrada Quirio se realizó un estudio geológi-

co-geodinámico de toda la cuenca de la quebrada en la que se determinó los volúmenes susceptibles y disponibles que presenta esta quebrada (Figura 1.a), los cuales representan la cantidad probable de material que conformaría un flujo aluvional y la cantidad de material depositado en la quebrada, respectivamente. Se realizó también ensayos de mecánica de suelos para conocer las propiedades físicas de la matriz de los flujos depositados, clasificación de las propiedades reológicas del fluido y permeabilidad del suelo (Figura 1.b).

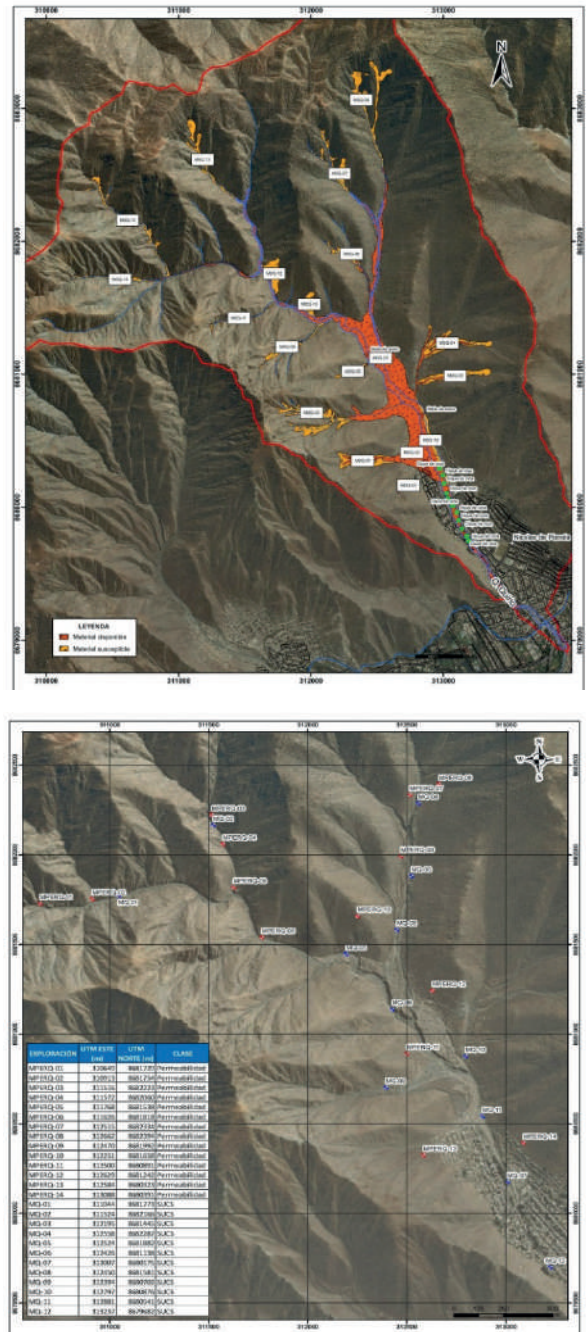


Figura 1: (a) Volúmenes de materiales susceptibles y disponibles. (b) mapa de ubicación de extracción de muestras.

La topografía del terreno se obtuvo aplicando técnicas de aerofotogrametría digital utilizando imágenes obtenidas por un Vehículo Aéreo No Tripulado [VANT] en un área total de 100 hectáreas y una longitud del cauce de 3 Km aproximadamente.

Para la generación de los hietogramas de tormentas se utilizó las imágenes procesadas del radar PX-1000 y para la estimación de la precipitación máxima con un periodo de retorno de 20 años (Gonzales, 2014) se utilizó los datos de precipitación de la estación meteorológica Santa Eulalia. Adicionalmente, se utilizó el método de tormentas del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (US-SCS) con la finalidad de comparar los resultados de las simulaciones de flujos aluvionales utilizando ambos métodos. Utilizando las imágenes satelitales se obtuvo un hietograma con una duración de 12 horas el cual generaría un caudal máximo de  $9.95 \text{ m}^3/\text{s}$  (Figura 2.a) y aplicando el método del US-SCS se obtuvo una tormenta de 24 horas de duración con un caudal máximo de  $6.94 \text{ m}^3/\text{s}$  (Figura 2.b).

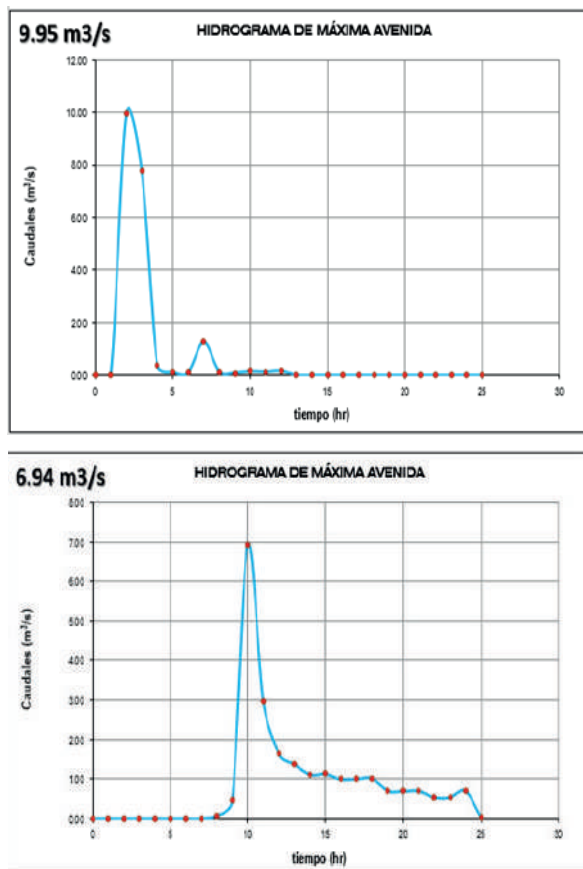


Figura 2: (a) Hidrograma generado utilizando las imágenes del PX-1000. (b) Hidrograma generado aplicando el método de US-SCS.

## RESULTADOS

Toda la información obtenida fue procesada y analizada para ser ingresado al programa FLO-2D (2011), el cual permite la simulación de fluidos no newtonianos (flujos aluvionales), utilizando el modelo reológico de O'Brien y Julien (1985). En la Figura 3.a se observa las alturas máximas del flujo aluvional empleando el hidrograma generado con los datos del PX-1000 y en la Figura 3.b se observa las alturas máximas del flujo utilizando el método del SCS.



Figura 3: Alturas máximas del flujo aluvional empleando los datos del PX-1000 (a) y el método de tormentas del SCS (b).

## CONCLUSIONES

El principal factor desencadenante de la ocurrencia de flujos de lodo en la quebrada Quirio es la precipitación, el cual se incrementa entre los meses de diciembre a abril y el principal factor condicionante para la ocurrencia de los flujos es material suelto, los cuales, de acuerdo a la conservación de volúmenes del modelo utilizado, existe el suficiente material para la ocurrencia de flujos de lodos similares a los simulados.

De acuerdo a los resultados de los estudios de mecánica de suelos, las matrices de los flujos depositados presentan valores menores al 3% de material fino, los cuales presentarían las mismas propiedades físicas de la muestra *Glenwood sample 2* el cual fue estudiada por O'Brien y Julien (1985). Además, de acuerdo a los ensayos de permeabilidad en toda la quebrada presenta un valor máximo de 414 mm/h y un mínimo de 25.68 mm/h de infiltración.

Según el estudio geológico-geodinámico realizado en la quebrada Quirio, esta presenta 592164.47 m<sup>3</sup> de material disponible (flujos depositados) y 94833.59 m<sup>3</sup> de material susceptible a la formación de los flujos aluvionales.

Se determinó con los datos del PX-1000 que la quebrada Quirio presenta una tormenta característica con duración de 12 horas y con un pico máximo a las 3 horas de haberse iniciado dicha tormenta el cual genera un hidrograma con un caudal máximo de 9.95 m<sup>3</sup>/s. Utilizando el método de tormentas del SCS se genera un hietograma con una duración de 24 horas con un pico máximo a las 10 horas de haberse iniciado la tormenta, el cual genera un caudal máximo de 6.94 m<sup>3</sup>/s.

Los volúmenes de agua que generan el evento de flujo aluvional aplicando la tormenta de 12 horas es de 78937 m<sup>3</sup> y con un solidograma de concentración volumétrica máxima de 0.45 acarrea 49779 m<sup>3</sup> de volumen de sedimentos, el cual representa el 52% del volumen total susceptible en la cuenca. Utilizando la tormenta de 24 horas el volumen de agua es de 81600 m<sup>3</sup> y con un solidograma de concentración volumétrica máxima de 0.45 acarrea 55149 m<sup>3</sup>, el cual representa el 58% del volumen total susceptible en la cuenca.

De acuerdo con las simulaciones de los eventos de flujos aluvionales en Quirio, la altura máxima utilizando los datos del PX-1000 es de 2.60 m y

utilizando el método del SCS es de 2.48 m. Las calles afectadas por estos flujos son: Sánchez Cerro, Paseo la Alameda, Gonzales Prada, Tarazana y la carretera Central.

## REFERENCIAS

FLO-2D Software. (2011). "FLO-2D Model Validation". Arizona, Nutrioso.

Gonzales, Noemi. (2014). "Descripción de la teoría para la simulación de flujos de sedimentos hiper-concentrados (flujos de lodo y escombros) en el FLO-2D". [Webinar]. FLO-2D Software, Inc.

O'Brien, J. S., and Julien, P. Y. (1985). "Physical properties and mechanics of hyperconcentrated sediment flows." Proc, ASCE Specialty Conf. on Delineations of Landslide, Flashflood, and Debris Flow Hazards in Utah, D. S. Bowles, ed., Logan, Utah.

O'Brien, J.S. and P.Y. Julien. (1988). "Laboratory analysis of mudflow properties," J. of Hyd. Eng., ASCE.

ENFEN. (2017). "Informe técnico Extraordinario N°001-2017/ENFEN EL NIÑO COSTERO 2017". Lima, Perú. Mina Uchucchacua se encuentra el distrito de Oyon, Provincia de Oyon, Departamento de Lima a 180 Km al NE de la ciudad de Lima. A una altura de 5,000 – 5,200 msnm. (Fig. 01-02). Desde que Cia. de Minas Buenaventura inició sus operaciones en la mina Uchucchacua (1974), se han producido 275'710,308 oz de Ag (275 Moz). Uchucchacua es un depósito hidrotermal epigenético del tipo de relleno de fracturas (vetas), las cuales también fueron canales de circulación y reemplazamiento metasomático de soluciones mineralizantes que finalmente formaron cuerpos de mineral. La mineralización económica comercial es básicamente de plata, como subproducto se extrae plomo y zinc, se observa además una amplia gama de minerales de ganga muchos de rara naturaleza. Las estructuras se emplazan en rocas calcáreas del cretácico superior Jumasha Superior y Jumasha Medio