

**SGP**
FUNDADA 1924**Boletín de la Sociedad Geológica del Perú**Journal homepage: www.sgp.org.pe

ISSN 0079-1091

Obras hidráulicas japonesas en la prevención de riesgos por flujos de detritos en Chosica (Perú)

Sandra Villacorta^{1,3}, Christian Huarez¹, Carlos Colina²

¹: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, - INGEMMET, Lima-Perú. (svillacorta@ingemmet.gob.pe)

²: APEBEJA – Asociación de ex becarios de Japón, Lima-Perú. (colinaperu2000@gmail.com)

³: Universidad Politécnica de Madrid, Madrid-España

ABSTRACT

In front of the generation of debris flows on the slopes surrounding Metropolitan Lima, is a need to have alternatives and technology whose effectiveness has been demonstrated in solving such problems. This would allow an adequately management this latent problem in our increasingly densely populated capital city, who demanding more space for housing, even in areas with unfavorable conditions.

In this regard, it is proposed to consider the application of advanced Japanese technology and the development of a multidisciplinary work in collaboration with other entities involved in risk management.

The selected area as a pilot to develop the proposal has the characteristics of a critical area, it is considered at high risk by these phenomena. The implementation of a SABO Master Plan based on the generation of risk scenarios, allow to take feasible mitigation actions.

Studies show that debris flows have a recurrence in this sector of Lima and in the past have caused countless damages and deaths.

The SABO technology is applied successfully in Japan in areas with steep slopes and short course, like we have on the slopes of the Peruvian capital. The proposal was exposed as a plan of Peruvian action in the 3rd edition of the international course "Disaster Management for Landslide and Sediment-Related Disasters (triggered by heavy rainfall, earthquake and volcanic activity), organized by the International Cooperation Agency of Japan - JICA.

RESUMEN

Ante la generación de flujos de detritos, en las laderas que rodean a Lima Metropolitana, surge la necesidad de contar con alternativas y tecnología cuya efectividad haya sido demostrada en la solución de este tipo de problemas. Esto permitiría atender adecuadamente esta problemática latente en nuestra cada vez más densamente poblada ciudad capital; demandante de más espacios destinados a vivienda, aún en zonas con condiciones no favorables.

En tal sentido se propone considerar la aplicación de tecnología japonesa de avanzada y el desarrollo de un trabajo multidisciplinario, con la colaboración de otras entidades involucradas en la gestión del riesgo.

El área seleccionada como piloto para desarrollar la propuesta reúne las características de un área crítica, considerada con un alto riesgo por estos fenómenos. La puesta en marcha de un Plan Maestro SABO basado en la generación de escenarios de riesgo permitirá tomar acciones de mitigación viables. Los estudios muestran que los flujos de detritos tienen recurrencia en este sector de Lima y en el pasado han causado innumerables daños y muertes.

La tecnología SABO se aplica con éxito en Japón en zonas con fuertes pendientes y corto recorrido como las que tenemos en las laderas de la capital limeña. La propuesta fue expuesta como plan de acción peruano en la 3ra edición del curso internacional "Disaster Management for Landslide and Sediment-Related Disasters (triggered by heavy rainfall, earthquake and volcanic activity), organizado por la Agencia de Cooperación internacional del Japón – JICA.

Palabras claves: SABO, Flujos de detritos, Prevención de desastres

1. Introducción

La tecnología Japonesa denominada SABO ha sido desarrollada desde 1860 en Japón, salvando muchas vidas y previniendo desastres en dicho país. Luego de analizar diferentes zonas críticas en el Perú, se ha propuesto desarrollar un piloto en la cuenca de la quebrada Rayos de Sol en (Chosica, Lima) para probar la eficacia de un Plan maestro SABO en el Perú. Se escogió un área vulnerable de la ciudad capital por el elevado riesgo existente en Lima, al concentrar casi el 30 % de la población peruana. Rayos de sol fue uno de los lugares más afectados por los flujos de detritos acaecidos el 23 de marzo del 2015 en Chosica, produciéndose allí la muerte de 09 personas.

El proyecto busca atender eficientemente la problemática de los flujos de detritos en Lima Metropolitana con una gestión integral de desastres en una de las microcuencas más afectadas, que luego pueda replicarse a otros sitios con características similares.

2. El área del Proyecto Piloto

La quebrada Rayos de Sol recorre perpendicularmente al río Rímac en su margen derecha, en el distrito de Chosica. Tiene una longitud de más de 2000 m (Figura 1). Su nacimiento está a 1890 metros sobre el nivel del mar y desemboca a una altura de 904 m en el valle del río Rímac. Presenta en su parte alta inclinaciones entre 30 ° a 40 ° con una inclinación promedio de 20 ° en la cuenca media y la cuenca baja a menos de 10 °.



Figura 1. Imagen del Google Earth (2014) donde se aprecia la cuenca de la quebrada Rayos de Sol (Chosica, Lima).

3. Aspectos Geológicos y Geomorfológicos

En el área de estudio destacan los relieves moderados de origen, gravitacional, aluvial y fluvial (Villacorta et al., 2015a). Entre las geoformas gravitacionales identificadas se pueden observar los cerros y lomeríos del Batolito de la Costa que rodean a la capital limeña. Están constituidos por afloramientos de granodioritas y dioritas (Palacios et al., 1992) con fuertes pendientes (20 a 45°), fracturados y meteorizados, con disyunción esferoidal que produce bloques sueltos e inestables (Nuñez & Villacorta, 2004). En su transporte, los bloques fragmentados pasan a ser depósitos residuales y coluviales que cubren gran parte del substrato rocoso. Cabe resaltar que por las

condiciones de aridez de la costa peruana (Capel, 1999), estos afloramientos están desprovistos de vegetación. Las laderas escarpadas permiten que el agua de escorrentía discurra fácilmente por ellas transportando todo el material residual y coluvial, ubicado en la parte alta, hacia las quebradas que surcan el Batolito de la Costa. Este material se puede acumular a manera de taludes de detritos susceptibles a remoción o llegar al cauce principal de las quebradas, desde donde son arrastrados por los flujos de detritos que forman conos de deyección en su desembocadura hacia el río Rímac. En los cauces de las quebradas de mayor tamaño se puede observar -en los perfiles de las terrazas aluviales- las secuencias intercaladas de flujos de detritos y flujos de lodo (Foto 1) así como grandes bloques de roca de varios metros de longitud, transportados por eventos antiguos (Foto 2). Esta información es útil para el análisis de la recurrencia y energía de flujos de detritos.



Foto 1. Se aprecian varios niveles de flujos de detritos (DF) y de flujos de lodo (DL). Quebrada Rayos de Sol (Foto: S. Nuñez, 2015).



Foto 2. Obsérvese el tamaño de los bloques, transportados por antiguos flujos de detritos.

4. Peligros Geológicos

Las quebradas de Chosica tienen un historial recurrente de eventos por flujos de detritos desde inicios del siglo anterior como se puede ver en el Cuadro 1.

Años	Eventos ocurridos
1907	Se activaron las quebradas Quirio, San Antonio y otras, en relación con el evento ENSO.
1925	Se activaron las quebradas Quirio, San Antonio y otras, en relación con el evento ENSO.
1965	Santa Eulalia fue afectada por flujo de detritos violentos.
1978	Santa Eulalia fue afectada por flujo de detritos violentos.
1970	Se activaron las quebradas Quirio y San Antonio.
1976	Se activaron las quebradas Quirio y San Antonio.
1981	Se generaron flujo de detritos, deslizamientos y desbordes del río Rímac.
1983	Se activó la quebrada Cashahuacra. Flujo de detritos en San José de Palle y la Trinchera.
1987	Se activaron las quebradas Pedregal, Corrales, Quirio, Carossio, Rayos de sol y Cashahuacra.
1998	Se activaron las quebradas Quirio, Pedregal, Santo Domingo y La Cantuta, en relación al evento ENSO
2009	Flujo de detritos en la quebrada Quirio
2012	Se activaron las quebradas La Ronda, Dos Barrios, Santo Domingo, La Cantuta, California, Coricancha y Los Cóndores.
2015	Se activaron las quebradas Pedregal, Corrales, Quirio, Carossio, Rayos de sol y Cashahuacra.

Cuadro 1. Eventos históricos de flujo de detritos en el distrito de Lurigancho-Chosica (Modificado de: Villacorta et al., 2015b; Zavala et al., 2012).

5. La tecnología SABO

SABO en japonés significa “control de la erosión” y con ese nombre se conoce a la tecnología que fue introducida en el Japón en 1860 por especialistas holandeses y posteriormente se perfeccionó en dicho país con apoyo de expertos suizos y alemanes. Actualmente el término SABO en Japón incluye todos los trabajos de prevención y mitigación de movimientos en masa, considerando la influencia futura de las medidas de control adoptadas con énfasis en su calidad (Ikeya, 1976; Tetra Tech, 2001; Wright, 1999).

Los métodos de trabajos SABO han sido clasificados históricamente en dos grandes grupos de obras: en ladera y obras de control de torrentes (Ikeya, 1976).

5.1. Plan maestro SABO

Contempla todas las fases de un estudio de mitigación de riesgos geológicos, desde la investigación de los peligros geológicos, su comportamiento, la modelización de escenarios hasta la planificación de la construcción de las estructuras de mitigación (Foto 3).



Foto 3. Esquema del Plan Maestro SABO en Minami-Aso Village (Kumamoto) (Foto: S. Villacorta, 2015).

En la fase de planificación de las estructuras, de acuerdo a la geodinámica del sitio y el proceso evaluado se elige uno u otro tipo de estructura de control.

Así por ejemplo en el caso de los flujos de detritos se eligen represas que almacenen una cantidad esperada de sedimentos (Foto 4) y que a su vez disminuyan la energía cinética (capacidad destructora y erosiva) de los mismos.



Foto 4. Represa SABO para el control de flujos de detritos en Minami-Aso Village (Kumamoto). Nótese el gran tamaño de la misma (Foto: S. Villacorta, 2015).

5.2. Las presas SABO

Son estructuras que permiten estabilizar los márgenes de cauces de quebradas de fuerte pendiente en las cuencas altas y medias, deteniendo los grandes bloques movilizados por flujos de detritos y eventos similares (avalanchas, etc.). El principal beneficio de una presa SABO radica en su funcionamiento ya que permite atrapar los sedimentos que bajan por el cauce activo y, una vez colmatada esta, se produce un cambio en la pendiente del cauce que se traduce en la disminución de la fuerza de futuros eventos. Por consiguiente disminuye la velocidad de transporte de materiales, lo que incide en una menor erosión que protege frente a nuevos eventos (Mizuyama & Mizuno, 1997).

Están construidas principalmente de “suelo-cemento” (cemento ciclópeo con material del sitio) y tienen los siguientes componentes: cuerpo de la presa, muros laterales (aguas abajo), piso de fondo, contra-presa y agujeros disipadores de energía (Figura 2). El cuerpo

principal permite el almacenamiento de sedimentos, lo que poco a poco va disminuyendo la pendiente del río. Los muros unen la presa con la contra-presa. El piso de fondo protege a la presa contra la caída del agua e impacto de los sedimentos. La contra-presa disminuye la energía del agua y permite la formación de un colchón amortiguador hidráulico. Las perforaciones en el cuerpo principal alivian la presión hidráulica que tiende a socavar la contra-presa.

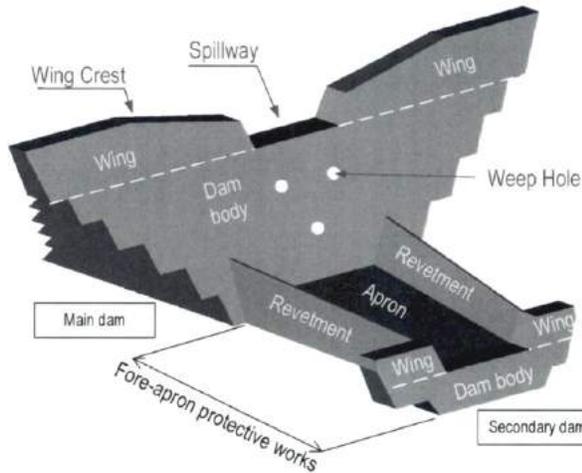


Figura 2. Área de la quebrada Rayos de Sol y alrededores (tomado de: Ikeda, 2015).

El diseño de estas presas, considerando la colmatación de sedimentos, es tal que no necesita un proceso de limpieza constante. La aplicación de modelos numéricos permite la selección del modelo de presa, así como planificar el proceso de supervisión (Mizuyama & Mizuno, 1997).

5. Evaluación de los flujos de detritos en la quebrada Rayos de Sol

En la Figura 3 se puede ver en color rosa claro, los flujos antiguos, en rosa oscuro el flujo del 2012 y en color más oscuro el evento ocurrido en marzo del año pasado, los cuales se activaron al producirse una lluvia sostenida por cuatro días alcanzando un máximo de 18 mm el día del evento (Calle, 2015). Nótese como el flujo de detritos al encontrar "barreras" a su paso se movilizó por las calles y avenidas hasta desembocar en el cauce del río Rímac.

La zona más afectada por el evento del año pasado fue la desembocadura de la quebrada. En las Figuras 4 y 5 se puede observar que en este sector existía antes de los eventos una plaza y viviendas, las cuales fueron destruidas. Mirando hacia aguas arriba del ápice del abanico aluvial observamos los grandes bloques que destruyeron el asfalto, escaleras, tuberías, etc... (Foto 5).

Vale mencionar que en el área de la quebrada se construyó, posteriormente a los eventos de flujos de 1987 que afectaron esa misma zona, ocho diques disipadores de energía. Estos fueron destruidos por el evento del año pasado, lo que demuestra su ineficacia. Para un adecuado diseño hacía falta incorporar datos geológicos y geomorfológicos de la zona, la evaluación de las recurrencias en relación a los umbrales de lluvia que los activaron.

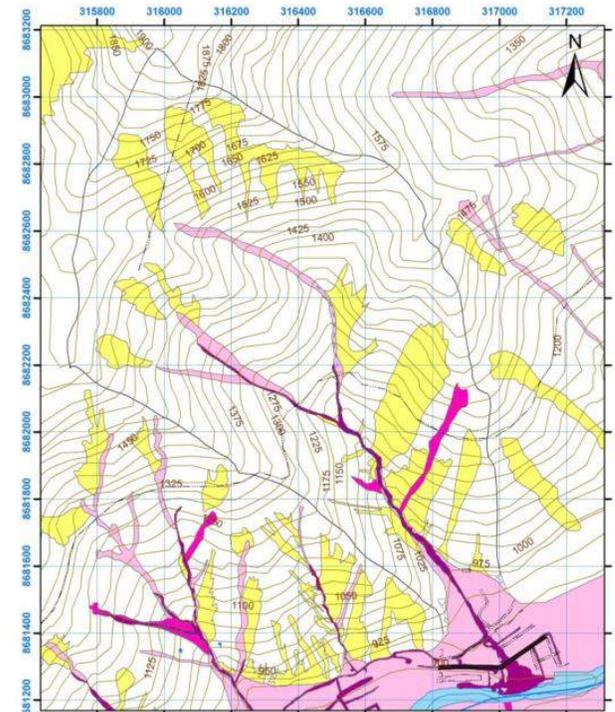


Figura 3. Área de la quebrada Rayos de Sol y alrededores (tomado de: Villacorta et al., 2015b).



Figuras 4 y 5. Viviendas en la desembocadura de la quebrada Rayos de Sol fueron las más afectadas por el flujo del 23-03-15. Fuente: Google Earth (2014) y CENEPRED (2015).

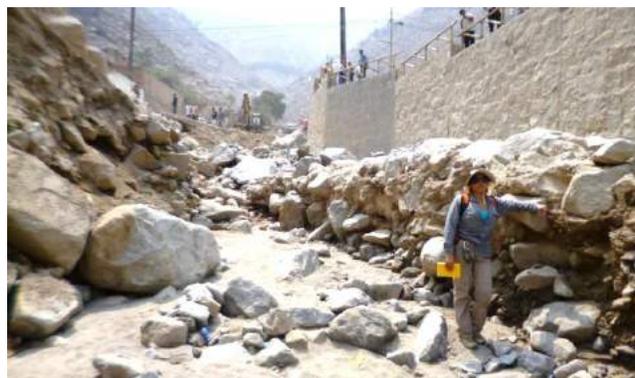


Foto 5. Se muestra el material grueso (bloques) y gravas, en la parte baja de la quebrada.

5.1. Modelización numérica de flujos de detritos

Siendo los flujos de detritos, los eventos que más han impactado a este sector de la ciudad, para evaluar la probabilidad de ocurrencia de estos procesos; se analizó su dinámica mediante la simulación numérica. Para ello se empleó el modelo bidimensional RAMMS (WSL-SLF, 2011). Los parámetros reológicos del flujo se estimaron en base a las características geológicas, la dinámica hidrológica de la zona y a datos recolectados en el campo, empleándose valores de número de Manning en el cauce del río y áreas aledañas de 0,050 y 0,080. (Villón, 2002).

El resultado de la simulación para un evento extremo, donde se buscó replicar al flujo de detritos del 23 de marzo de 2015 (periodo de retorno de 28 años), permitió observar las alturas y velocidades estimadas para el material movilizado (Figuras 6 y 7). En el caso de las alturas, estas alcanzan hasta 2 m sobre el área del cauce, mientras que la velocidad promedio del evento sería de 5.5m/s.

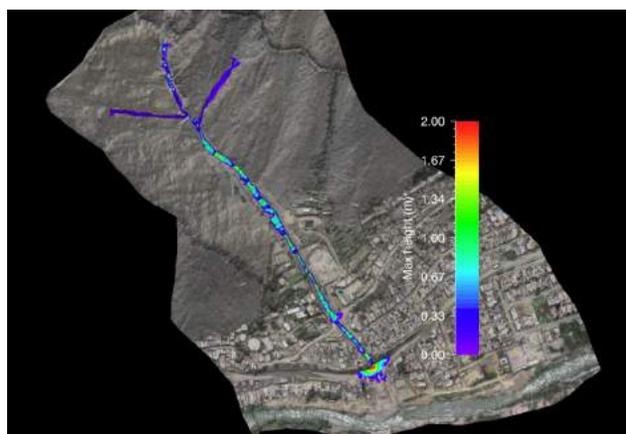


Figura 6. Alturas máximas de material alcanzadas por un flujo de detritos con un periodo de retorno de 28 años en la quebrada Rayos de Sol.

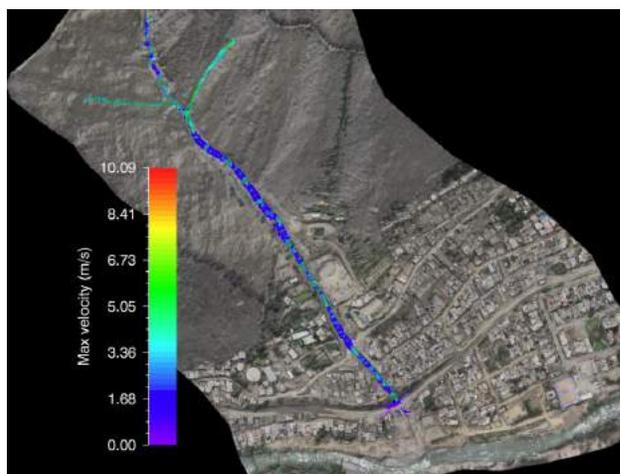


Figura 7. Velocidades de un flujo de detritos con un periodo de retorno de 28 años en la quebrada Rayos de Sol.

6. La Propuesta

Como proyecto final del curso internacional "Disaster Management for Landslide and Sediment-Related Disasters (triggered by heavy rainfall, earthquake and volcanic activity)", organizado por la Agencia de Cooperación internacional del Japón - JICA, se presentó a fines del 2015 un plan preliminar para el control de flujos de detritos en la quebrada Rayos de Sol. El planteamiento propuesto (Figura 8) se ha basado en la evaluación de la fenomenología de flujos en la quebrada Rayos de Sol y propone la construcción de cinco represas SABO en el cauce de la quebrada Rayos de sol. Para la parte alta, que tiene mayor pendiente se propone una presa SABO abierta (Foto 6) que permite la retención de los bloques más grandes y disminuye la velocidad de los detritos de menor tamaño, los cuales serían almacenados en represas SABO cerradas, ubicadas aguas abajo.

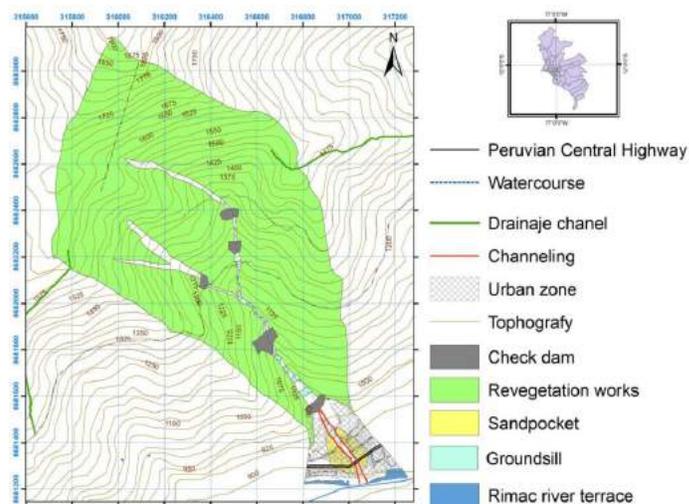


Figura 8. Propuesta de Plan maestro SABO en la cuenca de la quebrada Rayos de Sol (Villacorta, 2015).



Foto 6. Presa SABO abierta (tomado de: Ikeda, 2015).

Las represas proyectadas deben ser complementadas con diques disipadores, canales de drenaje y trabajos de forestación en la parte alta y media (Figura 8). Estos trabajos son muy importantes debido a que la vegetación controla el aporte de sedimento de las cuencas y de los escurrimientos al aumentar la infiltración. Asimismo se contempla la canalización del cauce hasta su desembocadura y la ubicación de áreas para el depósito final de los detritos (Sand pocket). Estas obras complementarias significan una vida más larga para las presas SABO lo que permitiría proteger con efectividad a la población ubicada aguas abajo.

El plan maestro SABO incluye además de las medidas estructurales, las no estructurales, tales como un sistema de alerta y evacuación basado en los modelos generados y en el monitoreo en tiempo real de la actividad de los flujos de detritos. Ello implica la instalación de cámaras de vigilancia y sensores de las precipitaciones ocurridas en la parte alta y baja de la cuenca.

El proyecto debe incluir además un estudio socio-económico para la propuesta de reordenamiento urbano: las casas construidas debe ubicarse lejos de la canalización y del área de amortiguamiento (sand pocket).

Finalmente, se debe incluir como parte del plan, un programa de concientización de las autoridades locales y la comunidad, con simulacros de flujos periódicamente.

En resumen, el Plan Maestro SABO para el caso de la quebrada Rayos de Sol contempla el desarrollo de los siguientes estudios específicos:

- Caracterización de las precipitaciones (escenarios para diferentes periodos de retorno).
- Análisis de datos históricos de eventos de flujos relacionados con las precipitaciones (para hallar el umbral de lluvias que detona los flujos).
- Simulación de flujos de detritos (incluyendo la caracterización de los depósitos, etc.).
- Evidencia de daños de sucesos pasados (casas destruidas, inundaciones, etc.).
- Estudios de costo-beneficio para definir el número y ubicación de las presas
- Estudios sociales para reubicar las casas lejos del área de influencia de los flujos de detritos.

Es necesario mencionar que para concretar la propuesta se requiere una simulación numérica de flujos de detritos para diferentes periodos de retorno. En el caso de Japón, cuando se diseña represas SABO para el control de flujos se toma como referencia un periodo de retorno de 100 años (Ikeda, 2015). La modelización debe incluir la ubicación probable de las represas SABO para evaluar su funcionamiento (Nakatani et al, 2007; Takahama et al., 2002; Egashira e Itoh, 2004).

6. Conclusiones y Recomendaciones

- A partir de la evaluación de los flujos de detritos en la quebrada Rayos de Sol, se muestra que las laderas que rodean a Lima Metropolitana son altamente susceptible a la generación de dichos procesos, teniendo como principales factores de ocurrencia la elevada meteorización, ausencia de vegetación, presencia de depósitos residuales, coluviales y pendiente. Es evidente la contribución de las condiciones geológicas y geomorfológicas como condicionantes de los eventos mostrados.
- La quebrada Rayos de Sol y las colindantes tienen un historial recurrente de eventos de flujos de detritos desde inicios del siglo XX. La falta de planificación urbana eficiente en el sector evaluado ha permitido que la población construya sus viviendas en áreas de alta peligrosidad por este tipo de procesos.
- La dinámica de los flujos de detritos en Lima Metropolitana es compleja y violenta, lo cual se ve reflejado en el resultado de la modelización de flujos de la quebrada Rayos de Sol, tomando como base el episodio del 2015 cuyo periodo de retorno ha sido de 28 años. El resultado señala que las viviendas ubicadas en el cauce fueron alcanzadas por flujos con alturas máximas de 2 metros sobre el área del cauce y velocidades promedio de 5.5 m/s.
- La información generada se ha presentado al CENEPRED, CIP, PCM para que sea integrada en la determinación del riesgo asociado a los eventos descritos.
- El Distrito de Chosica requiere de medidas urgentes que puedan reducir la vulnerabilidad de la población ante el elevado peligro por flujos de detritos existente, que ya ha causado gran afectación en el pasado. Actualmente se tienen estructuras hidráulicas inadecuadamente diseñadas y/o colmatadas, que se construyeron sin considerar las condiciones geológicas y geomorfológicas del área.
- Se requiere un esfuerzo multidisciplinario que analice el problema desde todas sus aristas y donde se involucre a los diferentes actores en la gestión de riesgo; para poner en marcha este tipo de proyectos, el cual demanda financiamiento así como la supervisión técnica de especialistas internacionales.

Referencias

- Calle, V. 2015. Heavy rains and mudslides in the Central Andes of Peru during 23 March 2015. National Weather Center. Weather Prediction Center. Disponible en Web: http://www.wpc.ncep.noaa.gov/international/internal/PRESENTATIONS/ID_201504_Victoria_Calle_Peru_Chosica-Rains-23Mar2015.pdf. (Consulta: 17 setiembre, 2016).
- Capel, J. 1999. Lima, un clima de desierto litoral. *Anales De Geografía De La Universidad Complutense*, 19, 25-45.
- Egashira, S., Itoh, T. 2004. Numerical simulation of debris flow, *Journal of Japan Society of Computational Fluid Dynamics*, 12(2).
- COEN – INDECI. 2015. flujo de detritos afectan el distrito de Lurigancho Chosica-Lima metropolitana. Informe de emergencia N° 471-21/04/2015 / 16:00 HORAS Informe N° 26. Acceso: 02-10-16. Disponible en Web: <http://www.indeci.gob.pe/objetos/alerta/MTM1Nw==/20150508202416.pdf>. (consulta: 15 setiembre, 2016).
- Ikeda, A. 2015. Design of SABO Dam. Presentación de PowerPoint del curso: "Disaster Management for Landslide and Sediment-Related Disasters (triggered by heavy rainfall, earthquake and volcanic activity)", Tokyo: Sabo and Landslide Technical Center. Agencia de Cooperación internacional del Japón – JICA.
- Ikeya, H. 1976. Introduction to SABO works, The Japan SABO Association, Tokio, Japón.
- Kinori, B.Z. 1970. Manual of surface drainage engineering, Elsevier Publishing Co, Amsterdam Netherlands
- Nakatani, K., Satofuka, Y., & Mizuyama, T. 2007. Development of 'KANAKO', a wide use debris flow simulator equipped with GUI. *Proceedings of 32nd Congress of IAHR International Association for Hydraulic Research*, 32(1) 430.
- Mizuyama, T. & Mizuno, H. 1997. Prediction of debris flow hydrographs passing through grid type control structures. In *Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment* (pp. 74-82). ASCE.
- Proceedings of first international conference on debris-flow hazard mitigation. San Francisco.
- Núñez, S. & Villacorta, S. 2004. Evaluación preliminar del peligro geológico en la zona de Chosica: sector Yanacoto-Buenos Aires. Resumen extendido Congreso Peruano de Geología. Sociedad Geológica del Perú
- Palacios, O.; Caldas, J. & Vela, Ch. 1992. Geología de los Cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica. INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 43,163 p.
- Takahama, J., Fujita, Y., Kondo, Y., Hachiya, K. 2002, Two-layer model for analysis of deposition and erosion processes of debris flows, *Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE*, Vol. 46, pp. 677-682
- Tetra Tech, Inc. 2001. Report for blackwood creek tmdl feasibility proyect lake Tahoe, California, The California State Water Quality Control Board and Lahontan Regional Water Quality Control Broad
- Villacorta, S., Núñez, S., Tatard, L., Pari, W., & Fidel, L. 2015a. Peligros Geológicos en el área de Lima Metropolitana y la región Callao (Lima-Perú). (Boletín No. 59, Serie C). Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú.
- Villacorta, S. Núñez, S. Huarez, C. 2015b. Evaluación geodinámica de los flujos de detritos del 23/03/2015 entre las quebradas Rayos de Sol y Quirio (Chosica) y Cashahuacra (Santa Eulalia). Informe Técnico A6680. DGAR-INGEMMET. Lima.
- Villón, M. 2002. Hidrología. Segunda Edición. Lima. Editorial Villón. 433 páginas.
- Wright Water Engineers Inc. and Denver Regional Council of Governments. 1999, Mountain driveway best management practices manual, The Colorado Nonpoint Source Council.
- Zavala, B. Vélchez, M. y Núñez, S. 2012. Flujos de detritos del 05-04-12 entre las quebradas La Ronda y Los Cóndores, margen izquierda del río Rímac. Informe técnico A6608. DGAR-INGEMMET, Lima.