

ARTÍCULO ORIGINAL

Análisis de rotura de presa para simular la propagación e impacto del flujo de descarga, presa Limón, San Felipe, Perú 2023

Dam break analysis to simulate the propagation and impact of the discharge flow, Limón Dam, San Felipe, Perú 2023

Mejía, E.¹ 

RESUMEN

Este estudio tiene como propósito simular la propagación y magnitud del caudal generado por la ruptura de la presa Limón, una estructura tipo CFRD (Concrete Face Rockfill Dam) de 43 metros de altura, 332 metros de longitud y 10 metros de ancho en la cresta. El embalse asociado posee una capacidad de almacenamiento de 14.63 millones de metros cúbicos (año 2022). La investigación se desarrolló en dos fases: primero, se realizó un análisis de rotura de presa mediante el software EMBREA, lo que permitió estimar las dimensiones de la brecha y generar los hidrogramas de ruptura. Luego, estos hidrogramas fueron utilizados en la modelación hidráulica con HEC-RAS 6.3.1 para evaluar la propagación de las caudales aguas abajo, sobre el río Huancabamba. En el primer escenario, se obtuvo un caudal pico de 15,134.88 m³/s, una superficie inundada de 29.09 km² y un tiempo de llegada al último punto de control de 14:10. En el segundo escenario, el caudal pico fue de 16,653.30 m³/s, con una inundación de 33.04 km² y una llegada a las 16:10. En ambos casos, se identificaron 82 localidades afectadas por el evento.

Palabras clave: Presa, rotura de presa, predicción de brecha, modelamiento hidráulico.

ABSTRACT

This study aims to simulate the propagation and magnitude of the discharge flow produced by the rupture of the Limón dam, the CFRD type dam is 43 meters high, 332 meters long and has a crest of 10 meters, the reservoir has a storage capacity of 14.63 MMC (year 2022). This study was developed in two important parts, firstly, a dam break analysis was carried out using the EMBREA software, with which it was possible to predict the dimensions of the breach and the break hydrograph, then, taking the break hydrographs obtained, we proceeded with hydraulic modeling in the HEC-RAS 6.3.1 software to evaluate the propagation of flows downstream of the Huancabamba river dam. For the first scenario, a peak flow of 15134.88 m³/s was found at the time of the rupture, a flood that covers 29087685.19 m², an arrival time to the last control point of 14:10, likewise for the second scenario a peak flow of 16653.30 m³/s at the time of the rupture, a flood of 33035546.8 m² and an arrival time at the last control point of 16:10. Finally, for both scenarios, 82 affected localities were quantified.

Keywords: Dam, Dam break, breach prediction, hydraulic modeling.

* Autor para correspondencia

¹ Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Perú. Email: emejiah.1507@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Se conoce que históricamente las civilizaciones han tenido interés por aprovechar el agua para encaminar su desarrollo económico y satisfacción de sus necesidades, en la actualidad este recurso permanece siendo de gran interés y atención dada su escasez o exceso.

Proyecciones muestran que en las siguientes décadas, la demanda de agua será del 2% a 3% cada año, ante esta realidad, administrar el agua supone la construcción de presas para su almacenamiento, mundialmente se conoce que se han edificado aproximadamente 58713 presas para cubrir la necesidad en irrigación (50%), producción de energía (20%), consumo humano (11%), y control de inundaciones (9%), y otras industrias de menor demanda (ICOLD, 2020, pág. 1).

En el campo de la ingeniería se acepta la categorización de ICOLD que propone que una presa grande tiene una altura igual o mayor a 15 metros o cuyo almacenamiento sea mayor a 3 MMC si la altura es menor de 15 metros y 3 metros como mínimo. (ICOLD, 2011), Tal clasificación la toma la adopta el gobierno peruano para plasmarlo dentro de una normativa que pretende regular la operación y seguridad de las presas de agua (ANA, 2018, pág. 3)

En este contexto es importante reconocer que la existencia de una presa supone un peligro que se asocia al riesgo de inundaciones, si bien un embalse tiene la capacidad de atenuar eficazmente crecidas en los ríos, si por alguna razón una presa emplazada dentro de un río llega a fallar las inundaciones producidas serán de magnitudes significativamente mayores a las que naturalmente puede producir la cuenca, por lo que se supone la ocurrencia de daños materiales y pérdidas humanas. España, (Dirección General del Agua, 2021, pág. 9)

El fenómeno de rotura se ha dado a nivel mundial, es muy conocida la falle de la Presa Teton, cuya construcción culminó en noviembre del año 1975, la falla se produjo el 5 de junio de 1976 ocasionando daños en las ciudades de Sugar y Reburg en los Estados Unidos, esta tragedia marco un hito en el desarrollo en el campo de la seguridad de presas en EE. UU. Escudero Bueno et al. (2014, pág. 23)

ICOLD establece como rotura de presa al colapso parcial o total que sufre el cuerpo de una presa, esta institución especializada ha encontrado que la falla de presas representa 2,2% de las existentes hasta el año 1950, en adelante ha disminuido a 0,5%, además el 70% se han dado en los primeros 10 años de su funcionamiento y los motivos más recurrentes están relacionados a problemas de la fundación, erosión interna y poca resistencia al corte de la fundación, lo cual barca un 21%. (ICOLD, 1995, pág. 25).

En el Perú, se inicia un desarrollo de normativas en torno a esta temática en el año 1972 al publicarse una norma orientada a la seguridad de Presas y Reservorios, posteriormente en 2003, se pretendió aprobar el Reglamento de seguridad de presas, sin embargo, esto fue posible en el año 2017 cuando se aprueba: “Normas y Reglamentos de seguridad de presas en el Perú” (ANA, 2017, pág. 1).

La presa que es materia de evaluación en este trabajo es la Presa Limón de tipología CFRD con un tamaño de 43 metros y una capacidad de almacenamiento inicial de 36 MMC (2012) y actualmente de 14.63 MMC (año 2022), está ubicada sobre el río Huancabamba, localidad de San Felipe, Cajamarca, el proyecto del que forma parte es el proyecto de irrigación Olmos que tiene como principal objetivo suplir con la demanda hídrica en áreas de sembrío de Olmos, la presa cuenta con una obra de aliviadero tipo móvil que dispone de 03 compuertas radiales con capacidad de 1 740 m³/s, además un túnel de trasvase de 20 km. (Concesionaria Trasvase Olmos S.A., 2019, pág. 10).

Para desarrollar el estudio de rotura de presa se debe ser abordado entendiendo al embalse como un ente regulador y de almacenamiento que asocia un peligro potencial de inundaciones, esta es una grande presa y de categoría A en respecto con su riesgo potencial según normativa peruana (Concesionaria Trasvase Olmos, 2017, pág. 6)

Para operar una presa es necesario diversos documentos de guía, tales como manuales de operación, programas de mantenimiento y uno importante, un plan de acción de emergencia que se gesta a partir de un análisis de rotura, de esta manera es posible conocer el desarrollo de inundaciones en términos de magnitud, además las consecuencias que se pueden presentar sobre las áreas vulnerables, de esta manera se podrá elaborar instrumentos de gestión necesarios para una buena actuación ante una emergencia de tal manera que se disminuya el riesgo de rotura al mismo tiempo que se salvaguarda la vida humana (ANA, 2017, pág. 22)

Esta investigación se basa en la necesidad de planificar actividades relacionadas con situaciones de emergencia y la necesidad de comprender las consecuencias de la falla de una presa, contando con herramientas informáticas capaces de modelar y simular tales fenómenos. (US Army Corps Of Engineers, 2022, pág. 21). De esta forma, es posible comprender el alcance del impacto, delimitar las zonas de inundación y comprender el momento del movimiento del pico de las olas, facilitando la planificación de acciones y la prevención en caso de emergencia. (ICOLD - EC, 2017, pág. 22).

A partir de las preguntas formuladas se delinea el objetivo general: simular la distribución y magnitud del derrame resultante de la ruptura de la Presa Limón. Además, objetivos específicos:

- Simular la liberación de inundaciones por la rotura de una presa.
- Simulación de niveles de inundación provocados por la liberación de agua durante la rotura de una presa.
- Simular el tiempo de propagación del tráfico pico en diferentes puntos estratégicos.
- Determinar el alcance del impacto de las inundaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación, de tipo aplicada y diseño cuasi experimental, se desarrolló con el propósito de simular la rotura de la presa Limón y evaluar la propagación del flujo de descarga aguas abajo. La presa Limón, ubicada en la cuenca baja del río Huancabamba, fue seleccionada como muestra mediante muestreo no probabilístico, dirigido a criterio del investigador. La variable independiente fue el análisis de rotura de presa, definida operativamente por sus características geométricas, estructurales y parámetros de brecha; mientras que la variable dependiente fue la simulación de la propagación del flujo, evaluada mediante área de inundación, caudal pico, velocidad, profundidad y tiempo de llegada.

Para la recopilación de datos se empleó la técnica de observación directa, registrando información en fichas diseñadas en Excel. La validez de los instrumentos fue confirmada por tres expertos con coeficientes de 0.9, considerados dentro del rango de “validez perfecta” según Herrera (1998). La confiabilidad se garantizó mediante el uso de software especializado de libre acceso, incluyendo HEC-RAS 6.3.1, QGIS 3.28.5 y EMBREA Lite.

El modelamiento de la brecha se realizó en EMBREA, software desarrollado por HR Wallingford, que permite simular la formación de brechas en presas con materiales de distinta erosionabilidad. Se consideraron dos escenarios: rotura en buen tiempo (época seca) y rotura en mal tiempo (época lluviosa), obteniendo para cada uno el hidrograma de descarga correspondiente.

Con los hidrogramas generados, se procedió al modelamiento hidráulico en HEC-RAS, estableciendo condiciones de flujo, coeficientes de rugosidad y límites de entrada y salida. Los resultados permitieron delimitar áreas de inundación, tiempos de propagación y poblaciones afectadas.

Tabla 1.*Características geométricas de la presa Limón*

Nivel de coronación de la presa	1 123 m.s.n.m.
NAMO	1 120 m.s.n.m.
Longitud de presa	332 m
Ancho en la corona	10 m
Tamaño de la presa	43 m
Talud de cara aguas arriba	V:H = 1:1,5
Talud de cara aguas abajo	V:H = 1:1,5
Ancho de la berma	10 m
Pantalla de concreto	0,55 – 0,42 m
Cortina de impermeabilización	40 m
Volumen del cuerpo de la presa	830 000 m ³

Nota. La tabla muestra datos propios de la presa. Tomado del MOM 2019 Presa Limón.

La presa en estudio se denomina (Presa Limón) es una presa de material suelto con enrocado y pantalla de concreto, o CFRD, una presa que se adapta a diversas condiciones geográficas y geológicas.

La granulometría de la presa Limón, esta está clasificada con material del tipo 2A a 4^a, las especificaciones del material de zonificación de presas CFRD está descrito por el ICOLD publicado en el Boletín 141: “Concrete Face Rockfill Dams – Concepts for design and construction”. (ICOLD, 2010).

Se partió realizando un análisis de rotura con el fin de determinar las dimensiones de la brecha y en consecuencia también el hidrograma que define el desembalse durante la falla, el desarrollo de la rotura es altamente sensible al volumen de agua almacenado, material de la presa, altura y tipo de falla. (SPANCOLD-CNEGP 2013, pág. 64)

La información necesaria para proceder con la elaboración del modelo, consideran datos de la geometría de la presa, granulometría del material de la presa, volumen de almacenamiento. Ver tabla 2.

El análisis de rotura y determinación de brecha se utilizó el modelo EMBREA debido a la calidad de sus resultados y la consideración de características de la presa y escenarios de rotura.

Tabla 2.*Especificaciones del material de cuerpo de la presa*

Diámetro medio d50 (mm)	57	Fuerza de Tensión (Kn/m ²)	0
Ángulo de fricción (°)	45	Índice de plasticidad	0
Porosidad	0,15	Coeficiente de Erosionabilidad (cm ³ /N. S)	17,7
Cohesión (kN/m ²)	0	Esfuerzo cortante crítico (N/m ²)	0
Peso específico seco (kN/M ³)	22	Coeficiente de Rugosidad (Ven Te Chow, 1995)	0,03

Nota. La tabla muestra los datos considerados para el análisis.

Se definió 2 escenarios de falla para evaluar la rotura, el primer escenario supone condiciones meteorológicas con escasa presencia de lluvias en temporada seca y con el embalse hasta el NAMO y el segundo escenario supone condiciones meteorológicas adversas, lluvias y crecida de gran magnitud y el embalse hasta la cota 1113 msnm, se ha considerado la crecida de diseño de 1 740 m³/s. En la tabla 3 puede observarse el planteamiento de los escenarios.

Tabla 3.*Escenarios de falla*

Escenario	Escenario 01	Escenario 02
Tipo de falla	Tubificación	Tubificación
Caudal de ingreso	Caudal medio anual de 26,88 m ³ /s	Crecida: 1 740 m ³ /s
Nivel Inicial del Embalse (msnm)	1120,00	1113,00
Nivel Inicial de brecha (msnm)	1100,00	1100,00

Nota. La tabla muestra el detalle de los escenarios planteados.

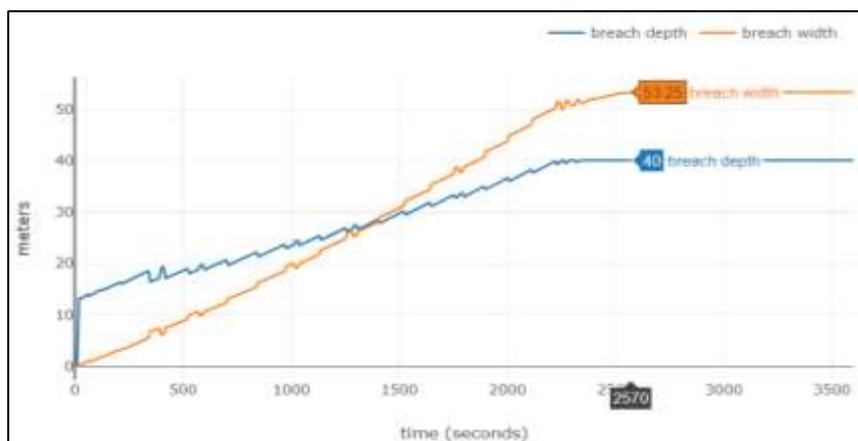
RESULTADOS

Determinación de la Brecha de rotura

Luego de correr algunos modelos de prueba se estableció un tiempo de cálculo para el primer escenario se fijó un tiempo de 3 600 segundos mientras que para el segundo escenario un tiempo de 10 800 segundos, esto se explica dado que el segundo escenario parte de un nivel de embalse más bajo y tarda más en iniciar el proceso de rotura.

Figura 1

Desarrollo de la brecha para el escenario 01



Nota. La figura muestra el inicio de la brecha y su desarrollo en “Embrea Lite”.

Después de correr nuestros modelos con EMBREA Lite, se obtuvieron las características de la brecha y el hidrograma de rotura que el programa entrega para cada escenario. Se encuentra que el escenario 02 es el mas desfavorable dada la magnitud del caudal pico, tal como se detalla en la tabla 4.

Tabla 4.

Parámetros de la brecha

Parámetro	Escenario 01	Escenario 02
Caudal máximo (m ³ /s):	15 134,88	16 653,30
Tiempo al caudal pico (s):	2 220,00	11 100,00
Cota del Embalse (msnm):	1 112,50	1 114,63
Ancho de la Brecha (m):	53,25	63,92
Altura de la Brecha (m):	40,00	40,00

Nota. La tabla muestra los resultados del análisis de rotura para ambos escenarios.

Figura 2*Hidrogramas de rotura (Escenarios 1 y 2)*

Nota. La figura muestra la evolución del caudal de rotura para los escenarios plantados.

Modelamiento hidráulico de la propagación del flujo.

Para el modelamiento hidráulico se ha utilizado el software HEC RAS en su versión 6.3.1.

La modelo hidráulica tomo como data de ingreso los hidrogramas de rotura, la información del terreno se considera información satelital, se incluyó la rugosidad para el terreno y el eje del río mediante SIG.

Para cubrir la superficie del río para evaluar la inundación, se obtuvieron 190 imágenes raster con una resolución de píxel de 10 metros, desde la plataforma web de Eos Data Analytics.

Se creó la geometría desde la presa Limón hasta el puente Corral Quemado. El paso siguiente fue generar la malla computacional, dentro del área de interés, este polígono se digitó en QGIS, el tamaño de celda de la malla computacional se estableció en 20 metros.

El coeficiente de rugosidad se ha estimado para la superficie de inundación esto engloba el cauce del río, las riberas y las laderas, los usos de suelo son en su mayoría.

El cálculo de la rugosidad “n” se ha realizado mediante el método propuesto por Cowan (1956), la ecuación se presenta a continuación: Río Cauce (0,056), Cultivos (0,040), Árboles (0,089), Quebrada (0,086), Poblado (0,110), Carretera (0,020), Laderas (0,060), Presa (0,058).

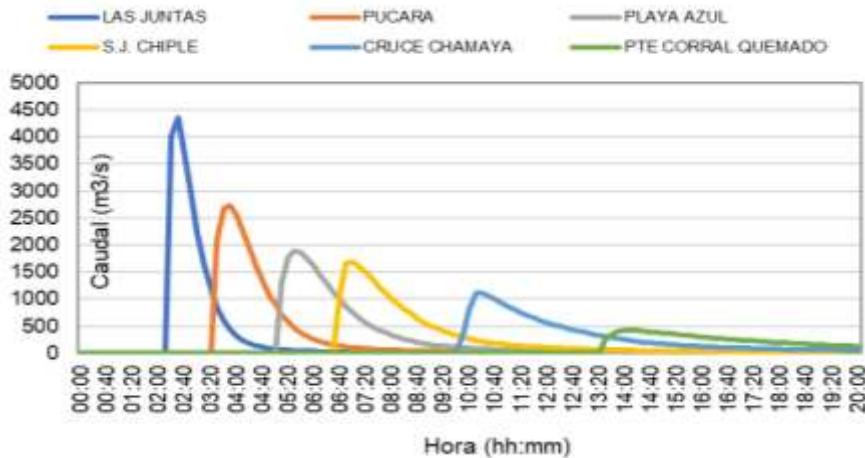
Para evaluar la propagación se estableció 06 secciones a lo largo del tramo del río aguas debajo de la presa, estas se encuentran en las siguientes localidades: Las Juntas, Pucara, Playa Azul, Cruce Chamaya, Puente C. Quemado.

Propagación del caudal pico.

La propagación del caudal pico y todo el flujo en general está directamente asociado a las velocidades producidas en el modelo, la evaluación de la propagación del flujo de descarga, consideró cinco puntos de interés aguas abajo de la presa Limón.

Figura 3

Propagación de caudales pico Escenario 01



Nota. La figura muestra el tiempo que tarda en llegar el máximo caudal a cada punto de control.

Para el escenario 01 la propagación de los caudales de descarga y el caudal pico han evolucionado como se muestra en la figura 3.

Los tiempos de propagación del caudal pico se muestran en la tabla 5, para los escenarios planteados se ha encontrado la propagación de los caudales de descarga y el caudal pico en cada sección de control.

Tabla 5.

Tiempos de propagación (Escenario 01 y Escenario 02)

Sección control	Caudal	Tiempo	Caudal	Tiempo
	(m³/s) (escenario 01)	(hh:mm) (escenario 01)	(m³/s) (escenario 02)	(hh:mm) (escenario 02)
Las Juntas	4 351,537	02:30	5547.608	02:20
Pucara	2 724,449	03:50	3717.389	03:30
Playa Azul	1 887,698	05:30	2781.872	05:10
S.J. Chiple	1 688,828	07:00	2586.145	06:30
Cruce Chamaya	1 115,375	10:20	2042.231	09:20

Puente C.	424,805	14:10	1628.594	16:10
Quemado				

Nota. En la tabla se muestran los resultados de caudal pico y tiempo de llegada a la sección de control.

Áreas de Inundación

El área de inundación que resultó del modelamiento hidráulico corresponde a todo el terreno que fue cubierto por el paso del flujo de descarga, es términos de HEC-RAS el área inundable se representa por los niveles máximo alcanzados por el paso del caudal pico a lo largo y ancho de la malla computacional.

Se determinó las áreas de inundación para el tramo de 114 km del río desde la presa Limón hasta el puente Corral Quemado, en la figura 4 se muestra la inundación máxima sobre el área de estudio.

Figura 4

Áreas de inundación máxima Escenario 01



Nota. La imagen muestra la inundación en el modelo HEC-RAS.

Para el escenario 01 se determinó un área de inundación que asciende a 2 9087 685,19 metros cuadrados, o 2 908,77 hectáreas y profundidades que alcanzan los 18,59 metros como máximo. Para el escenario 02, se determinó un área de inundación que asciende a 33 035 546,8 metros cuadrados, o 3 303,56 hectáreas y profundidades que alcanzan los 19,63 metros como máximo.

Poblaciones afectadas

Se extrajo los centros poblados que estaban dentro y alrededor del polígono de inundación, cuyas áreas aledañas se vieron afectadas por las áreas de inundación.

Finalmente se determinaron los poblados afectados por la rotura de la presa, usando herramientas SIG. En total se encontró 81 centros poblados pertenecientes a las provincias de Jaen, Cutervo, y Utcubamba, además 1 distrito (Pucará), tal como se presenta en la tabla 6.

Tabla 6.

Relación de poblados vulnerables a una rotura de presa

Cantidad	Distrito	Provincia	Departamento
17	Pomahuaca	Jaen	Cajamarca
23	Pucara	Jaen	Cajamarca
3	Querocotillo	Cutervo	Cajamarca
5	Callayuc	Cutervo	Cajamarca
6	Colasay	Jaen	Cajamarca
1	Santa Cruz	Cutervo	Cajamarca
12	Choros	Cutervo	Cajamarca
2	Pimpingos	Cutervo	Cajamarca
10	Jaen	Jaen	Cajamarca
3	Cumba	Utcubamba	Amazonas

Nota. De la relación mostrada todos corresponden a centros poblados afectados.

El área urbana del caserío Las Juntas ubicado a 14 kilómetros río abajo presenta una afectación completa para el escenario de rotura en mal tiempo. La zona urbana del distrito de Pucará se ubica en las áreas adyacentes al río Huancabamba la afectación se daría de forma parcial para ambos escenarios de rotura, con una ligera superioridad del escenario de rotura en mal tiempo. En Playa Azul, aunque su zona urbana no sería afectada por la rotura de la presa, la estación de bombeo del Oleoducto Nor Peruano sufriría afectación total. San Juan de Chipile no presentaría daños urbanos, ya que las áreas inundables están fuera de su perímetro. Cuica tendría afectación parcial en viviendas cercanas al río. Puente Chamaya II vería más del 50 % de sus viviendas urbanas inundadas. Mesones Muro, en Jaén, tendría afectación mínima en viviendas próximas al cauce. Chamaya, también en Jaén, sufriría afectación parcial en su zona urbana, especialmente en viviendas cercanas al río.

DISCUSIÓN

El primer objetivo fue simular la magnitud de los caudales de descarga por rotura de presa. Según Costa (1985), el caudal pico está directamente relacionado con la altura y volumen del embalse; Verma et al. (2023) añaden que también influyen parámetros hidráulicos, geométricos y geotécnicos. Este estudio obtuvo caudales pico de 15,134.88 m³/s (buen tiempo) y 16,653.30 m³/s (mal tiempo), con una diferencia del 10.03%. Gaagai et al. (2022), en Argelia, reportan 8,768 m³/s para una presa similar, pero con menor volumen (5.7 MMC), lo que explica la discrepancia.

El segundo objetivo abordó la simulación del nivel de inundación. ICOLD (2003) y la DGA (2021) señalan que las fallas estructurales u operativas generan inundaciones severas. Este estudio identificó áreas inundadas de 29.09 km² y 33.04 km², con profundidades de 18.59 m y 19.63 m. Mihretab G. & Kyungsoo J. (2021), en Etiopía, hallaron 240 km² para un caudal de 6,161.1 m³/s, lo que refleja diferencias topográficas y de volumen de embalse.

El tercer objetivo fue simular los tiempos de propagación del caudal pico. Se aplicaron las ecuaciones WSE recomendadas por ICOLD (1998) e integradas en HEC-RAS. Los tiempos fueron de 14 h 10 min y 16 h 10 min hasta Corral Quemado. Toapaxi y Acero (2021), en Ecuador, reportan 2 h 30 min para 36.2 km, frente a los 114.5 km de este estudio.

Finalmente, se evaluó el nivel de afectación. ICOLD (2003) y DGA (2021) advierten impactos sociales, económicos y ambientales. Se identificaron 81 centros poblados y 1 distrito afectado. Cuaresma et al. (2021) y Bilali et al. (2021) confirman daños similares.

CONCLUSIONES

El análisis de rotura realizado de la presa Limón bajo la premisa de una rotura por erosión interna que propicia un proceso de tubificación, permitió obtener la información necesaria para realizar un modelamiento hidráulico con lo cual se pudo evaluar el desarrollo y la propagación del flujo de descarga para el tramo estudiado y así también los efectos que podría generar este evento.

Para efectos de este estudio, se partió realizando un análisis de rotura con el modelo EMBREA en su versión gratuita, con este elaborado software para predecir brechas de rotura, se determinó las dimensiones de la brecha y se logró predecir los hidrogramas de rotura de la presa Limón, se encontró un caudal pico de 15 134,88 m³/s y 16 653,30 m³/s para los escenarios 1 y 2 respectivamente.

El análisis de rotura de la presa Limón permitió analizar las magnitudes de caudal de descarga, la simulación seguida del fenómeno hidráulico que produce este evento mostró conocer las características de la inundación que podría materializarse, se encontró que la inundación que abarca áreas de: 29 087 685,19 metros cuadrados y 33 035 546,8 metros cuadrados para los escenarios 1 y 2 respectivamente, la diferencia es de solo 13,57% en base al escenario 1, se encontraron profundidades máximas de 18,59 metros y 19,63 metros para los escenarios de rotura 1 y 2 respectivamente.

La propagación de los caudales máximos se logró determinar mediante el modelamiento hidráulico en HEC-RAS usando los hidrogramas de rotura, se establecieron 5 secciones de control en Las Juntas, Pucara, Playa Azul, Cruce Chamaya y Puente C. Quemado. En estos puntos de

interés se estimaron los tiempos de llegada del caudal más alto encontrándose los tiempos de 02:30, 03:50, 05:30, 07:00, 10:20, 14:10 para el primer escenario de rotura y 02:20, 03:30, 05:10, 06:30, 09:20, 16:10 para el segundo escenario, se encuentra una diferencia de dos horas para el último punto considerado entre ambos escenarios, concluyendo que la propagación de caudales es más rápida en el segundo escenario.

Este estudio contempló un breve análisis del nivel de afectación producido una rotura de la presa Limón, dado que la diferencia en cuanto a inundación para ambos escenarios es de solo 13,57%, tal afectación es la misma, se pudo determinar un total de 81 centros poblados y además el distrito de Pucará que son afectados por efectos del tránsito de caudales ante la rotura de la presa Limón, la afectación también se da en áreas agrícolas, viviendas, y zonas de crianza de animales domésticos, se concluye que existe afectación negativa sobre las poblaciones vulnerables aguas debajo de la presa, se puede inferir que también podría haber consecuencias fatales si no se hace una adecuada gestión de los riesgos asociados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA. (2018). *Compendio Nacional de Estadísticas de Recursos Hídricos 2018*. Lima: Ministerio de Agricultura y Riego - PERU. Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/compendio-nacional-estadisticas-recursos-hidricos-2018>
- ANA. (2018). *Reglamento de Seguridad de Presas Públicas de Embalses de Agua*. Lima: Ministerio de Agricultura y Riego - PERU.
- Bello, D., Alcayaga, H., Caamaño, D., & Pizarro, A. (2022). *Influence of Dam Breach Parameter Statistical Definition on Resulting Rupture Maximum Discharge*. CHILE.
- CIGB ICOLD. (2003). *Bulletin 125 - Dams and Floods*. Paris: ICOLD.
- Concesionaria Trasvase Olmos. (2017). *Informe de Clasificación de la Presa Limon*. Jaen: CTO.
- Concesionaria Trasvase Olmos S.A. (2019). *Manual de Mantenimiento de las Obras Civiles en Las Obras De Trasvase Del Proyecto Olmos*. CTO.
- Costa, J. (1985). *Floods from Dam Failures*. USGS - US Geological Survey. Colorado: Open-File Services Section - USGS.
- Escudero Bueno, I., González Pérez, J., Altarejos García, L., Ardiles López, L., Castillo Rodríguez, J., Chacon Cano, M., Serrano Lombillo, A. (2014). *Metodología para la Evaluación del Riesgo Hidrológico de Presas y Priorización de Medidas Correctoras*. Valencia, España.

- Gaagai, A., Amir Aouissi, H., Krauklis, A., Burlakovs, J., Athamena, A., Zekker, I., Chenchouni, H. (2022). *Modeling and Risk Analysis of Dam-Break Flooding in a Semi-Arid Montane Watershed: A Case Study of the Yabous Dam*, Northeastern Algeria. Algeria.
- ICOLD - EC. (2017). *Management of Dam Incidents*. European Club, ITALY.
- ICOLD. (1995). *Bulletin 99 - Dam Failures Statical Analysis*. Paris: Imprimerie de Montligeon.
- ICOLD. (1998). *Bulletin 111 - Dam Break Flood Analysis*. Montliegeon - Francia: Imprimerie de Montligeon.
- ICOLD. (2010). *Bulletin 141 - Concrete Face Rockfill Dams: Concepts for Design and Construction*. Paris: ICOLD.
- ICOLD. (2011). *Constitution Status*. Paris: ICOLD. Obtenido de https://www.icold-cigb.org/userfiles/files/CIGB/INSTITUTIONAL_FILES/Constitution2011.pdf
- ICOLD. (2020). *Worl Register Dams - General Synthesis*. Obtenido de https://www.icold-cigb.org/GB/world_register/general_synthesis.asp
- Mihretab G., T., & Kyungsoo Jun, Y. C. (2021). *Flood Mapping from Dam Break Due to Peak Inflow: A Coupled Rainfall–Runoff and Hydraulic Models Approach*. Etiopia.
- SPANCOLD-CNEGP. (2013). *Analisis de Riesgos Aplicado a la Seguridad de Presas y Embalses (Guia Técnica)*. Comite Nacional Español de Grandes Presas. Madrid: Exce Consulting Group.
- Toapaxi Alvarez, J., & Acero Quilumbaquin, A. (2021). *Análisis de Inundación por Rotura de Presa Utilizando el Modelo HEC-RAS 2D: Caso de Estudio de la Presa Mulacorral*, Ecuador.
- US Army Corps Of Engineers. (2022). *HEC-RAS User's Manual*. EE.UU.
- Verma, D., Berwal, P., Amir Khan, M., Raied Saad, A., Alfaissal, F., & Rathnayake, U. (2023). *Design for the Prediction of Peak Outflow of Embankment Breaching Due to Overtopping by Regression Technique and Modelling*. India. doi:<https://doi.org/10.3390/w15061224>