

DESARROLLO DE UN PLAN DE ACCIÓN EN EMERGENCIAS PARA LA PRESA GALLITO CIEGO (PERÚ) BASADO EN METODOLOGÍAS INTERNACIONALES

DEVELOPMENT OF AN EMERGENCY ACTION PLAN FOR THE GALLITO CIEGO DAM (PERU) BASED ON INTERNATIONAL METHODOLOGIES

¹Eliser Mejía Herrera

¹Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI (Trujillo – Perú)

ORCID de los autores:

E. Mejía Herrera <https://orcid.org/0000-0002-5559-6687>

DOI <https://doi.org/10.46363/warmi.v5i1.5>.

Recibido: 28/07/2025

Aceptado: 11/08/2025

Publicado: 23/08/2025

RESUMEN

La seguridad de presas es un componente esencial para garantizar una operación sostenible y beneficiosa, esto hace indispensable disponer de protocolos de actuación frente a escenarios de riesgo. El presente estudio tuvo como objetivo general desarrollar un Plan de Acción en Emergencias (PAE) bajo metodologías y estándares internacionales, para complementar los procesos de operación de la presa Gallito Ciego, una estructura hidráulica de 105 metros de altura, construida para almacenar 638.10 hm³. El propósito fue establecer un instrumento de gestión para proteger las estructuras y salvaguardar a la población aguas abajo de la presa frente a escenarios de riesgo. Para ello se adoptó un enfoque cuantitativo, de diseño no experimental y propositivo, el proceso partió de una revisión detallada de información técnica de la presa, normas internacionales (MITECO, USACE, FEMA). Se inició con una evaluación general de la seguridad de las obras y un planteamiento de mejora. A partir de un estudio de rotura de presa se pudo evaluar la magnitud de los daños, identificando un total de 66 centros poblados dentro del área inundable para un escenario de desborde. El PAE también consideró un sistema de respuesta coordinado, con niveles de alerta (Blanca, Amarilla, Roja), se establecieron procedimientos claros de comunicación, se conformó un Comité de Gestión de Emergencias (CGE) y un Equipo de Respuesta Operativa (ERO) para la gestión ordenada de la emergencia. Se concluyó que la implementación de este PAE, alineado con las mejores prácticas internacionales, optimiza significativamente la capacidad de resiliencia y respuesta, estableciendo un modelo replicable para otras grandes presas en la región.

Palabras clave: seguridad de presas, plan de acción en emergencias, análisis de rotura de presas, mapas de inundación.

ABSTRACT

Dam safety is a key component for ensuring sustainable and beneficial operation, which makes it essential to have action protocols for risk scenarios. The main objective of this study was to develop an Emergency Action Plan (EAP) based on international methodologies and standards, aimed at strengthening the operational processes of the Gallito Ciego dam, a 105-meter-high hydraulic structure built to store 638.10 hm³. The purpose was to establish a management tool to protect the structures and safeguard downstream populations against risk scenarios. To this end, a quantitative, non-experimental, and proposal-based approach was adopted. The process began with a detailed review of the dam's technical information and international standards (MITECO, USACE, FEMA), followed by a general safety assessment and proposals for improvement. A dam-break study was carried out to assess the magnitude of potential damage, identifying 66 population centers within the inundation area under an overtopping scenario. The EAP also defined a coordinated response system with alert levels (White, Yellow, Red), clear communication procedures, and the establishment of an Emergency Management Committee (EMC) and an Operational Response Team (ORT) for the orderly management of emergencies. It was concluded that the implementation of this EAP, aligned with international best practices, significantly enhances resilience and response capacity, providing a replicable model for other large dams in the region.

Keywords: dam safety, emergency action plan, dam break analysis, flood maps

INTRODUCCIÓN

Las presas representan infraestructuras estratégicas para el desarrollo socioeconómico global, cumpliendo funciones vitales como el almacenamiento de agua para irrigación, el abastecimiento de agua potable, la generación de energía hidroeléctrica y el control de inundaciones. Su proliferación durante el último siglo ha reconfigurado paisajes y economías. Según la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD, 2024), existen aproximadamente 61,988 presas registradas en el mundo, que almacenan un total de 8,767 km³ de agua. De estas, un 47% han sido construidas con fines de irrigación, evidenciando su rol central en la seguridad alimentaria mundial, y un 67% son presas de tierra, una tipología constructiva predominante por su adaptabilidad y uso de materiales locales. En el contexto peruano, la realidad no es distinta; el inventario nacional reporta 743 presas que son fundamentales para la sostenibilidad agrícola de sus valles costeros y la generación de energía en su accidentada geografía (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2015). A diferencia de la tendencia global, en Perú predominan históricamente las presas de gravedad, seguidas por las de materiales sueltos, orientadas principalmente a la irrigación y, en segundo lugar, a la contención de relaves mineros.

Sin embargo, el potencial de desarrollo que tiene este tipo de estructuras, coexiste con un riesgo inherente que no puede ser subestimado. La falla de una presa es un evento de baja probabilidad, pero de consecuencias catastróficas, capaz de desencadenar inundaciones súbitas que arrasan comunidades enteras, destruyen ecosistemas y generan pérdidas económicas masivas. El registro histórico global es un sombrío recordatorio de esta vulnerabilidad. Hasta 1993, se contabilizaban 322 fallas de presas a nivel

mundial, con las presas de tierra mostrando la mayor incidencia (ICOLD, 2019).

Lamentablemente, varios desastres recientes nos recuerdan lo real que es este peligro. El colapso de la presa Brumadinho en Brasil que tuvo lugar en el año 2019, produjo la descarga descontrolada de un gran volumen de lodo tóxico que produjo la muerte de 270 personas (Zhu et al., 2024). Aproximadamente cuatro años antes, en 2015, la ruptura de la presa Fundão había causado uno de los daños ambientales más importantes de Brasil y Sudamérica. (Quaresma et al., 2021).

Pero no hace falta que una presa colapse por completo para entender el riesgo. La emergencia de 2018 en la hidroeléctrica Hidroituango, en Colombia, demostró lo increíblemente complejo que es manejar una crisis en tiempo real y por qué es tan crucial tener un plan de contingencia sólido (Suárez et al., 2022). Y el Perú no es ajeno a esta realidad. Entre 1952 y 1980, nuestro país sufrió al menos nueve roturas de presas de relaves. Según los análisis de la época, estos eventos ocurrieron por una combinación fatal: falta de conocimiento técnico en gestión de riesgos y un monitoreo deficiente de las estructuras (Carrillo, 2001).

Para hacer frente a esta situación, la ingeniería ha pasado de reaccionar a prevenir. Hoy, el enfoque es proactivo, y organismos de referencia a nivel mundial han marcado el camino. Instituciones como el Cuerpo de Ingenieros de EE. UU. (USACE, 2014) o el MITECO en España (de Ceda et al., 2023) han creado guías detalladas para elaborar Planes de Acción en Emergencias (PAE). En términos sencillos, un PAE es un instrumento estratégico que define escenarios críticos, establece roles y funciones de los actores involucrados, desde el operador de la presa hasta protección civil y las comunidades,

para reducir el impacto frente a un riesgo crítico. Se ha demostrado la eficacia de estos planes, un ejemplo claro fue durante la emergencia en la presa de West Parish Filters en EE. UU., donde un PAE bien implementado fue clave para gestionar la crisis del huracán Henri (Laurila, 2023).

También, MITECO (2023) recomienda el uso de modelos hidráulicos para abordar la elaboración de un PAE, Haile et al. (2024) En Etiopía, simularon los efectos de las inundaciones que podría ocasionar la rotura de la presa Midimar sobre la ciudad de Adwa para lo cual usaron HEC-RAS para el análisis hidráulico, para rotura por desbordamiento o tubificación se alcanzaría un caudal pico de 423 m³/s, poniendo en riesgo 16 168 vidas humanas y 3 319 viviendas, así como una inundación de 6.4 km². Finalmente se determinó la necesidad de elaborar un PAE como herramienta de gestión y contingencia.

En Malasia, se ha tomado mucha responsabilidad en cuanto a la seguridad operativa de las presas, Daud et al. (2021) abordaron un estudio para evaluar la percepción de la población ante una emergencia en la presa Bukit Merah, el estudio analizó las características demográficas, también se analizó niveles de conciencia sobre los riesgos de falla y la implementación de un PAE, se utilizó encuestas como instrumentos de medición, se concluyó que más del 67% de los habitantes tiene conciencia sobre los riesgos pero cerca del 75% declara no conocer sobre la implementación de un PAE, finalmente la población aceptó positivamente el PAE y se interesó en su implementación.

También en Malasia, Muda et al. (2021) abordaron un estudio para explorar las prácticas del PAE para incidentes en presas en la región de Malasia. El estudio se centró en las prácticas de PAE y en cómo ayudar a los propietarios de presas en la planificación de emergencias para

mitigar el riesgo. Para tal fin se examinaron las pautas internacionales para la seguridad de las presas y los planes de emergencia, también las implicancias de la capacitación de las personas involucradas y la realización de simulacros. El resultado resaltó la importancia de tener un PAE efectivo para mitigar los riesgos asociados con posibles fallas en presas, se enfatizó la necesidad de que cada presa tenga su propio PAE adaptado a sus características específicas, asimismo, se subrayó la necesidad de realizar ejercicios de capacitación y simulacros para garantizar la eficacia del PAE.

Aquí en Perú, también hemos avanzado. La publicación del "Reglamento de seguridad de presas públicas de embalse" en 2018 (ANA) fue un paso importante, pues obliga a los operadores a tener un PAE, sin embargo, a pesar de la exigencia legal, no existe una metodología definida o recomendada para su elaboración. Muchas presas peruanas, incluyendo la de Gallito Ciego, todavía no cuentan con un plan de emergencias formal y actualizado. Y no hablamos de cualquier estructura, la presa Gallito Ciego es una imponente presa de tierra de 105 metros de altura que almacena 638.10 hm³ de agua, siendo vital para la agricultura del valle Jequetepeque y la generación de electricidad. Oficialmente está clasificada como "Gran Presa" y de "Categoría A" por su alto riesgo potencial (Tarrillo & Vilcabana, 2017). Esto significa que tener un PAE no es solo cumplir un requisito legal, es una necesidad urgente para la seguridad de miles de personas.

A pesar de toda la evidencia que existe del enorme impacto negativo que significa la rotura de una presa, en el Perú aún es escaso el interés por cuantificar estos riesgos, aun así existen análisis recientes para presas como Limón (Mejía, 2023), donde se ha realizado una evaluación de las posibles consecuencias frente a un colapso de la presa utilizando modelos de

rotura e hidráulicos de alta confiabilidad, este estudio también muestra la necesidad de plantear herramientas de gestión de emergencias en todas las presas de agua. La falta de este plan es una vulnerabilidad crítica que deja a todas las poblaciones río abajo expuestas a un peligro real y sin gestionar. No se tiene registro ni evidencia de implementación de PAE para las principales presas del Perú. Este estudio ataca directamente ese problema que radica en la falta de responsabilidad por parte de los entes operadores en establecer protocolos de emergencia con foco en

METODOLOGÍA

Para desarrollar este estudio optamos por un enfoque cuantitativo, pues nos basamos en la recolección y el análisis riguroso de datos que ya existían en documentos para poder responder a nuestras preguntas y, con esa base, construir la propuesta final (Ñaupas Paitán, 2018). Además, el diseño de la investigación es no experimental, es decir que no manipulamos ninguna variable. Nuestro trabajo fue, en esencia, observar y analizar la situación tal y como se presenta en su contexto real.

Específicamente, el diseño es de tipo descriptivo-propositivo, lo cual implicó una primera fase de descripción exhaustiva de las características técnicas, operativas y de seguridad de la presa Gallito Ciego, seguida de una fase propositiva en la que se formuló el Plan de Acción en Emergencias como una solución técnica estructurada y fundamentada en la evidencia recopilada (Ñaupas Paitán, 2018). La población de estudio fue definida como el conjunto de todas las presas de embalse situadas en el departamento de Cajamarca, Perú. De esta población, se seleccionó como caso de

salvaguardar la vida de las personas y la sostenibilidad de las estructuras relacionadas al funcionamiento de las presas, esto a pesar de que la ley exige la implementación del PAE.

En tal sentido el objetivo general de este estudio es desarrollar un PAE completo y funcional para Gallito Ciego el cual además de estar en armonía con la normativa peruana, también esté basada en buenas prácticas internacionales y pueda servir de modelo para ser aplicado en otras presas del país y de la región.

estudio la presa Gallito Ciego a través de un muestreo no probabilístico de tipo oportunista o por conveniencia. La elección de la unidad muestral responde a una decisión intencional del investigador, y se fundamenta principalmente en la importancia estratégica de la infraestructura en la región, por su clasificación dentro de la categoría de alto riesgo potencial y la necesidad de contar con un Plan de Acción ante Emergencias (PAE) formulado para su aplicación y posterior mejora (Hernández Sampieri et al., 2014).

El procedimiento central para la obtención de información consistió en un análisis documental profundo. Se partió desde una revisión ordenada de documentos oficiales de la presa, informe de seguridad, manuales de operación, referencias propuestas por la normativa nacional y normativas internacionales, con el objetivo de extraer datos relevantes y la estructura de contenido para elaborar el PAE. Las fichas de análisis de contenido elaboradas fueron clave para la organización y estudio de la información obtenida, de esta manera

se tomaron en cuenta todos los datos técnicos y criterios operativos para la formulación del PAE.

En cuanto al tratamiento de la información, se aplicó la técnica de análisis de contenido, lo cual se adapta perfectamente al tratamiento de los documentos y normas consultadas. Adicionalmente se tomó datos de origen geoespacial y los resultados de simulaciones hidráulicas previamente desarrolladas fueron tratados y procesados mediante Sistemas de Información Geográfica (QGIS 3.28), los resultados permitieron elaborar con claridad los

mapas de inundación.

Todo el proceso de la investigación estuvo en armonía con los principios éticos, el uso de información oficial fue bajo la autorización escrita de la Junta de Usuarios del Sector Hidráulico Menor Jequetepeque, Clase A. con ello se garantiza la veracidad de la información utilizada, además el documento final fue entregado a la entidad para la implantación y mejora. Finalmente, el estudio cumplió con un marco ético en la elaboración, y marcó un precedente en práctica de la seguridad y gestión de riesgos en presas de almacenamiento de agua.

RESULTADOS

Resultado 01. Análisis del estado de seguridad de la Presa Gallito Ciego

El estudio de la seguridad de la presa se desarrolló a partir de la revisión minuciosa de los informes técnicos y operativos disponibles, lo que permitió establecer que la estructura presenta, en términos generales, condiciones satisfactorias de estabilidad. Sin embargo, el análisis también evidenció la existencia de factores específicos que requieren un seguimiento continuo y la aplicación de medidas de gestión preventiva.

Un componente central en este proceso es el sistema de auscultación, indispensable

para la detección temprana de posibles anomalías en la presa. Dicho sistema está conformado por un conjunto de instrumentos dispuestos tanto en el cuerpo de la estructura (incluyendo celdas de presión de poros y totales, extensómetros, limnímetros e inclinómetros) como en los alrededores inmediatos, donde se complementa con piezómetros y vertederos de aforo. A esta red instrumental se suma el monitoreo microgeodésico, que refuerza la capacidad de control y contribuye a una evaluación integral del comportamiento de la infraestructura a lo largo del tiempo.

Tabla 1.*Especificaciones Técnicas de la Presa y Embalse Gallito Ciego*

Característica	Presa	Embalse
Tipo	Tierra zonificada con núcleo central	Abastecimiento
Altura (bases espaldones)	105.00 m	-
Nivel de coronación	413.00 msnm	-
Longitud de coronación	797.00 m	-
Volumen de relleno	13,788,000 m ³	-
Volumen Total	-	638.10 hm ³
Volumen Útil	-	426.80 hm ³
Nivel Máximo de Crecidas	-	410.30 msnm
Nivel Normal del Embalse	-	404.00 msnm
Capacidad Aliviadero	1,632 m ³ /s	-
Clasificación (Riesgo)	Gran Presa / Categoría A	-

Nota. Adaptado de Tarrillo & Vilcabana (2017) y JUSHMJ-CA (2024).

Se identificaron los siguientes escenarios con riesgos asociados que podrían comprometer la seguridad de la presa, existen factores de origen estructural,

hidrológico, sísmico, operativos y relacionado con las filtraciones en pie de presa. Ver Tabla 02

Tabla 2.*Factores de Riesgo Asociados a la Seguridad de la Presa*

Factor de Riesgo	Descripción
Inestabilidad Estructural	Potenciales deslizamientos o deformaciones por deficiencias en la cimentación o erosión interna.
Eventos Hidrológicos Extremos	Avenidas extraordinarias que superen la capacidad de diseño del aliviadero, con riesgo de sobrepaso de la presa.
Sismos de Gran Magnitud	La ubicación en una zona sísmicamente activa exige un monitoreo constante del comportamiento estructural.
Fallos Operativos	Obstrucción o fallo mecánico de las compuertas.
Filtraciones	Aumento significativo de filtraciones (de <150 L/s a >250 L/s) cuando el embalse supera la cota 402 msnm.

Nota. Tabla elaborada a partir de información proporcionada por la JUSHMJ-CA

Se determinó que las filtraciones en el pie de presa es un parámetro de seguridad que indica estabilidad estructural, y se encontró que este parámetro mantiene una correlación directa con la carga hidráulica del embalse. En efecto el análisis de

seguridad determinó que debe evaluarse cualquier aumento significativo en el caudal de filtraciones en especial cuando el nivel del embalse este por encima de la cota 402 msnm.

Resultado 02. Zonificación Territorial y Estimación de Daños

La zonificación territorial tuvo lugar definiendo tres escenarios de emergencia basados en umbrales técnicos y operativos.

Tabla 3.
Escenarios de emergencia

Escenario	Condición
Descarga Crítica	Descargas $\leq 300 \text{ m}^3/\text{s}$, al límite de la capacidad del cauce del río.
Desembalse Controlado	Descargas $> 300 \text{ m}^3/\text{s}$ que superan la capacidad del cauce, o incidentes estructurales (grietas, aumento de filtraciones) sin peligro inminente de rotura.
Falla Inminente o en Curso	Condición crítica que indica una rotura inminente o en progreso de la estructura.

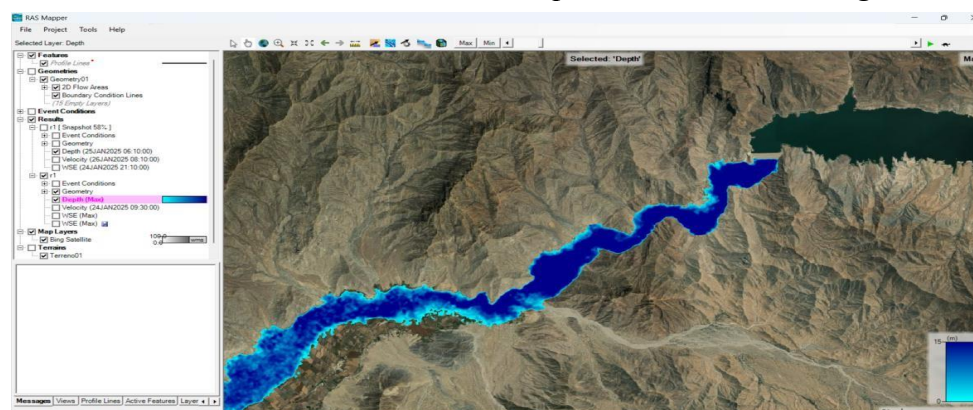
Nota. Se planteo estos 3 niveles de alerta en función de las características y reglas de operación de la presa.

Para la zonificación territorial se adoptó el escenario de rotura por sobrevertido, analizado por Lujan Córdova (2022), por ser el más desfavorable. Dicho estudio calculó la brecha de rotura utilizando el método empírico de Froehlich (2008) y

posteriormente modeló la propagación de la onda de inundación con HEC-RAS en un esquema bidimensional, utilizando como base topográfica Modelos de Elevación Digital (DEM) de 12.5 metros de resolución.

Figura 1.

Modelamiento hidráulico de rotura de presa Presa Gallito Ciego



Nota: Imagen tomada del estudio realizado por Lujan Córdova (2022)

Tabla 4.*Parámetros del Escenario de Rotura por Sobrevertido*

Parámetro	Valor
Caudal Pico de Rotura	63,456.70 m ³ /s
Tiempo de Formación de la Brecha	1.86 horas
Geometría de la Brecha	Trapezoidal (Base: 196 m, Talud Z=1)
Área Total Inundada	11,358 hectáreas

Fuente. Adaptado de Lujan Córdova (2022).

Utilizando los resultados de la simulación hidráulica y herramientas SIG, se identificaron las áreas y poblaciones

afectadas a lo largo de 49.6 km del cauce del río Jequetepeque, hasta su desembocadura en el Océano Pacífico.

Tabla 5.*Resumen de Afectaciones por Rotura de Presa*

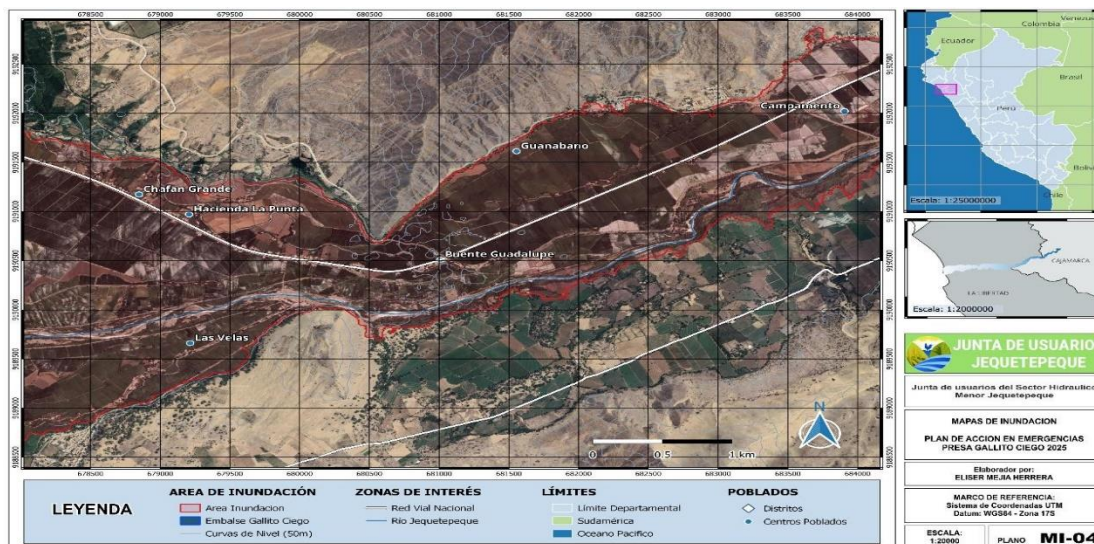
Distrito	Provincia	Departamento	N° de Centros Poblados Afectados
Chepén	Chepén	La Libertad	11
Guadalupe	Pacasmayo	La Libertad	7
Jequetepeque	Pacasmayo	La Libertad	34
San José	Pacasmayo	La Libertad	4
Yonán	Contumazá	Cajamarca	10
Total	-	-	66

Fuente: Elaboración propia a partir de análisis SIG.

Se elaboraron mapas de inundación detallados que delimitan la mancha de inundación máxima y señalan la ubicación de los centros poblados en riesgo. Estos

mapas son la herramienta fundamental para la planificación de la evacuación y la comunicación del riesgo a las autoridades y la población.

Figura 2.
Mapa de Inundación para el Escenario de Rotura (Sector Guadalupe)



Nota: Este mapa, generado en QGIS, muestra la extensión de la inundación potencial sobre áreas agrícolas y centros poblados. Fuente: Elaborado por el autor.

Resultado 03. Normas de Actuación y Niveles de Alerta

Se estableció un sistema de respuesta escalonado basado en tres niveles de alerta, cada uno asociado a protocolos de comunicación y acción específicos,

diseñados para garantizar una movilización eficiente y proporcional al nivel de la amenaza.

Tabla 6.
Niveles de Alerta y Criterios de Activación

Nivel de Alerta	Criterios de Activación	Acción Principal
Alerta 1 Blanca	Descargas controladas que se aproximan a la capacidad máxima del cauce del río ($< 300 \text{ m}^3/\text{s}$). Evento hidrológico adverso en desarrollo.	Notificación Nivel 1 (Interna y autoridades locales).
Alerta 2 Amarilla	Descargas que superan la capacidad del cauce ($> 300 \text{ m}^3/\text{s}$) con riesgo de inundación localizada. Detección de anomalías estructurales (grietas, filtraciones crecientes).	Notificación Nivel 2. Activación del CGE. Evacuación preventiva.
Alerta 3 Roja	Falla estructural inminente o en curso. Sobrepaso incontrolado de la corona de la presa. Ruptura confirmada.	Notificación Nivel 3. Activación de sirenas. Evacuación inmediata.

Nota: Esta tabla fue elaborada durante el presente estudio.

El flujo de actuación se fijó para seguir una secuencia lógica: **1) Detección del evento** (vía instrumentación o inspección visual), **2) Clasificación del nivel de emergencia** por el personal técnico, **3) Notificación y comunicación** según el nivel de alerta, **4) Actuación durante la emergencia** (mitigación y evacuación), y

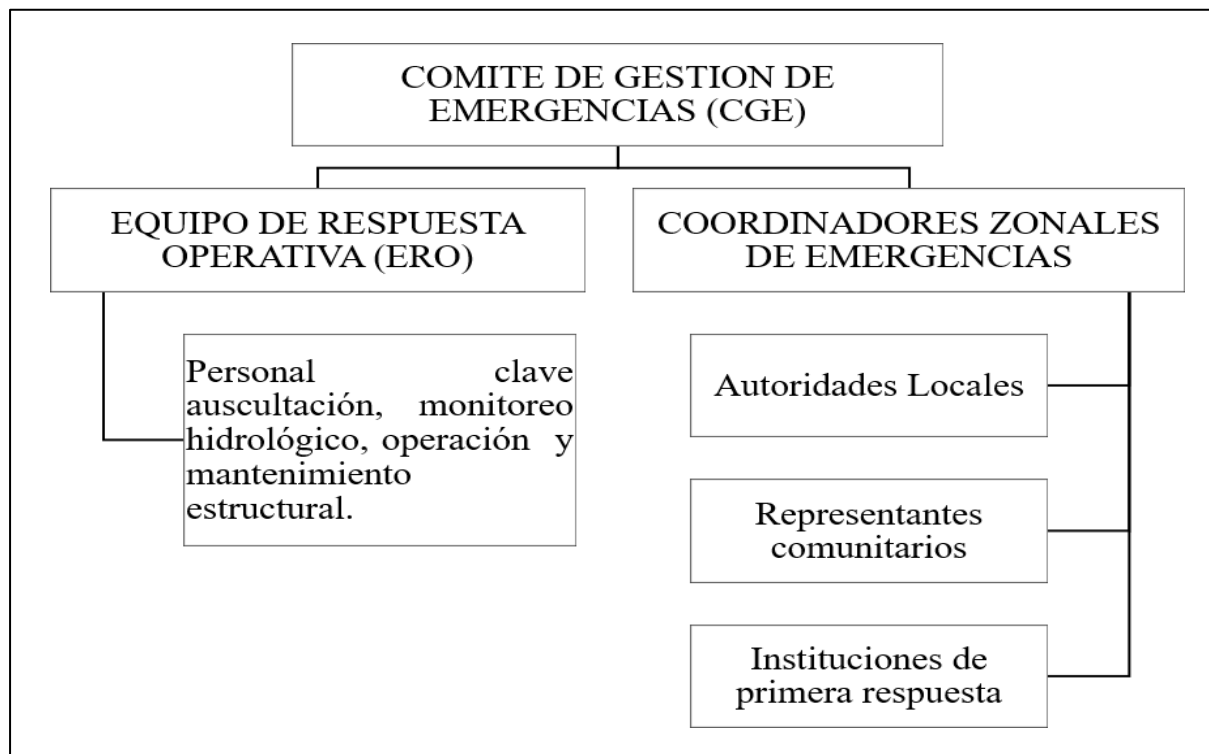
5) Finalización de la emergencia, que se declara una vez restablecidas las condiciones seguras, e incluye la realización de inspecciones post-evento, la emisión de informes técnicos y la actualización del PAE con las lecciones aprendidas. Ver Anexos.

Resultado 04. Organización para la Actuación en Emergencia

Se propuso una estructura organizativa clara para gestionar la respuesta, basada en el personal existente de la JUSHMJ-CA, con roles y responsabilidades bien definidos.

Figura 3.

Organigrama de la Estructura de Respuesta en Emergencias



Nota. Diagrama que muestra la relación jerárquica y funcional entre el CGE, el ERO y los Coordinadores Zonales.

Comité de Gestión de Emergencias (CGE): Órgano de alto nivel responsable de la toma de decisiones estratégicas. Liderado por el Gerente General de la JUSHMJ-CA, está integrado por los jefes de área y especialistas. Sus funciones son declarar los niveles de alerta, coordinar con las agencias externas (Defensa Civil, COER), gestionar la comunicación oficial y movilizar recursos.

Equipo de Respuesta Operativa (ERO): Conformado por ingenieros y técnicos de operación y mantenimiento. Es el brazo ejecutor en el terreno, responsable de implementar las medidas de mitigación en la presa (operación de compuertas, inspecciones de emergencia, reparaciones menores) y reportar la situación al CGE en tiempo real.

Coordinadores Zonales de Emergencia: Rol asumido por autoridades locales (alcaldes, agentes municipales) en los 66 centros poblados identificados. Actúan como el enlace entre el CGE y la comunidad, siendo responsables de recibir

las alertas, activar los sistemas de aviso locales y supervisar la ejecución de los planes de evacuación en su jurisdicción.

Resultado 05. Medios y Recursos Materiales

Se definieron los recursos materiales y logísticos necesarios para una transición hacia un plan de respuesta tangible y efectiva. Estos elementos constituyen la infraestructura física y tecnológica sobre la cual se ejecutan todas las acciones de mitigación y evacuación. A continuación, se detallan los componentes críticos identificados para la operatividad del PAE.

Infraestructura de Comando y Logística Operativa: El éxito de la gestión de una emergencia radica en la capacidad de centralizar la información y coordinar las acciones desde un punto neurálgico. Para ello, se define una infraestructura de comando robusta, complementada por recursos que garantizan la autonomía operativa del ERO en el terreno.

Tabla 7.
Infraestructura de Comando y Soporte Operativo

Componente	Descripción	Función Estratégica
Centro de Gestión (CGE)	Sede JUSHMJ-CA equipada con monitoreo en tiempo real, SIG y datos hidrometeorológicos.	Centraliza la toma de decisiones y coordina la respuesta interinstitucional.
Equipamiento Operativo	Generadores, bombas de achique, equipos de soldadura, herramientas e iluminación portátil.	Respalda la intervención efectiva del ERO durante la emergencia.
Movilidad Táctica	Vehículos 4x4 y un dron de inspección de alta resolución.	Garantiza el traslado oportuno para evaluar y actuar.

Sistemas de Comunicación y Alerta

Temprana: La comunicación es vital para una actuación eficaz frente a un escenario de emergencia. El sistema de comunicación consta de equipos principales y de redundancia a modo de

contingencia frente a limitaciones o imprevistos, la información es transmitida a las principales partes interesadas establecidas en el PAE y, en especial a la población vulnerable.

Tabla 8.
Sistemas de Comunicación y Alerta a la Población

Sistema	Tipo	Propósito
Comunicaciones Internas	Red de radios VHF/UHF y telefonía satelital de respaldo.	Mantener la comunicación permanente en simulacros y emergencias reales.
Alerta a la Población	Sirenas, protocolos con radios locales, mensajería móvil y megáfonos.	Realizar avisos y notificaciones cuando sea necesario.

Archivo documental e información de consulta: La gestión de la emergencia se basa en protocolos estratégicos y datos precisos que han sido definidos en las

normas de actuación. La documentación debe estar siempre disponible y a la mano para su consulta y aplicación.

Tabla 9.
Documentación Estratégica del PAE

Documento	Formato	Función
Plan de Acción (PAE)	Físico y Digital	Documento rector con todos los procedimientos y roles definidos.
Mapas de Riesgo	Físico (laminado) y Digital (SIG)	Soporte visual para la planificación y ejecución de la evacuación.
Directorios de Contactos	Físico y Digital (actualizado)	Permite la comunicación inmediata con todos los actores clave.

Los recursos descritos forman parte de un sistema sólido, cuya efectividad dependerá de su constante aplicación en simulacros acompañada de una actualización a partir de las lecciones encontradas durante los ejercicios, además es importante la constante mejora tecnológica donde se sea aplicable, y finalmente la difusión de los

DISCUSIÓN

El diseño del Plan de Acción en Emergencias (PAE) elaborado para la presa Gallito Ciego constituye un hito relevante en los esfuerzos por aproximar la gestión de seguridad de presas en el Perú a las mejores prácticas internacionales. La metodología empleada integra el análisis de seguridad general, definición de escenarios de falla para terminar con una estructura de respuesta organizada, esto en coherencia con directrices establecidas por el MITECO (2023), USACE (2014) y FEMA (2013). Estas guías y metodologías resaltan el enfoque integral del PAE, que involucra documentación técnica, profesionales, recursos tecnológicos, financieros, sustentado en una visión de riesgo integral y orientado principalmente a la protección de vidas humanas.

El resultado del análisis de seguridad ha mostrado que tanto la presa como las demás estructuras, mantienen condiciones aceptables de estabilidad, no obstante, se requiere un análisis complementario para algunos parámetros de auscultación como las filtraciones en correlación con el nivel del embalse. Por otro lado, se destaca la existencia de riesgos asociados a la capacidad del aliviadero frente a eventos hidrológicos extraordinarios. Estas observaciones coinciden con las

protocolos de actuación a todo el personal. Todo esto requiere inversión de tiempo y dinero cuyo beneficio se encuentra en la disponibilidad de un PAE sólido y un equipo de personas con capacidad de respuesta efectiva y proporcional a la magnitud de la situación de riesgo o falla de la presa.

estadísticas internacionales de ICOLD (2019), las cuales identifican las dimensiones cortas del vertedero o aliviadero como una de las principales causas de falla en presas de materiales sueltos.

La zonificación de las áreas expuestas, realizada a partir de un escenario de rotura por sobrevertido, evidenció la magnitud de una eventual catástrofe: 66 poblaciones y más de 11,000 hectáreas quedarían bajo inundación. Este resultado es comparable con experiencias internacionales recientes. Mattas et al. (2023) en Grecia y Mo et al. (2023) en China desarrollaron modelaciones hidráulicas bidimensionales mediante HEC-RAS que mostraron la utilidad de este enfoque para determinar los niveles de inundación, planificar evacuaciones y reducir la vulnerabilidad social. La aportación de este estudio radica en traducir los resultados de un modelamiento académico previo (Lujan Córdova, 2022) en un insumo operativo y directamente aplicable, con la identificación puntual de comunidades en riesgo, la aplicación más importante fue la creación de los mapas de inundación.

En relación con la organización, la conformación de un Comité de Gestión de Emergencias (CGE) y un Equipo de

Respuesta Operativa (ERO) añade una estructura clara con responsabilidades objetivas, lo cual facilita la toma de decisiones. El diseño responde a lecciones aprendidas en desastres como el de Brumadinho (Zhu et al., 2024), donde la ausencia de una cadena de mando eficiente contribuyó a agravar la emergencia. Asimismo, la identificación de Coordinadores Zonales, constituye un factor clave para las coordinaciones con las poblaciones y puntos de interés dentro del ámbito de riesgo. Esto también coincide con lo desarrollado en Malasia (Said et al., 2020), donde se incluyó a personal de las comunidades cercanas como parte de la organización para la actuación y aplicación efectiva del PAE formulado.

El PAE desarrollado para la presa Gallito Ciego, abordó un profundo análisis técnico de las estructuras, empleó un modelo de rotura paramétrico muy usado, y un modelo de simulación hidráulica de muy buena precisión. A partir de allí se logró determinar los escenarios de riesgo, los protocolos de actuación y recursos necesarios. Este proceso de desarrollo del

PAE se compara con lo realizado por Daud et al. (2021) y también Muda et al. (2021) en Malasia, donde hicieron una mirada a las prácticas de los PAE, se examinaron las pautas internacionales en seguridad de presas, las implicancias de la implementación, se resaltó la importancia de desarrollar un PAE adaptado a las características específicas de cada lugar y de la propia presa.

También es de destacar que este PAE trasciende la escala local, su aplicación puede tener un efecto multiplicador en el ámbito nacional. La Autoridad Nacional del Agua (ANA) y otros operadores de presas podrían aprovecharlo como experiencia piloto para impulsar planes de mayor calidad técnica y pertinencia territorial. No obstante, la materialización de estos beneficios dependerá de la voluntad política y de la asignación sostenida de recursos para su implementación y mejora continua. Tal como subrayan Shukla y Banerjee (2024) en su estudio en India, sin una inversión constante el riesgo es que los PAEs permanezcan como instrumentos formales sin incidencia práctica.

CONCLUSIONES

Se elaboró un Plan de Acción en Emergencias (PAE) integral y detallado para la presa Gallito Ciego, en concordancia con marcos de referencia internacionales (USACE, FEMA, MITECO) y en cumplimiento de la normativa peruana vigente.

De acuerdo con el análisis de seguridad, se encontró que la presa mantiene un comportamiento estable durante la operación normal, con parámetros

medidos dentro del rango habitual. Sin embargo, se recomienda una evaluación de las crecidas de diseño para el aliviadero y determinar el desempeño frente a eventos extraordinarios, además se requiere una evaluación de las filtraciones para niveles de embalse sobre los 402 msnm.

La zonificación de riesgos, frente a un escenario de rotura por sobrevertido, permitió delimitar un área de afectación de 11,358 hectáreas y 66 centros poblados

ubicadas aguas abajo de la presa. Los mapas de inundación generados permiten una visualización clara del área inundable, esto permitirá una adecuada planificación de evacuaciones, dado que ofrece una visualización muy intuitiva del alcance del impacto.

El PAE establece procedimientos de respuesta organizados en tres niveles de alerta (Blanca, Amarilla y Roja), que se consideran desde la detección de un evento, la clasificación del nivel de la emergencia, la coordinación y la ejecución de medidas de emergencia. Este desarrollo secuencial de acciones permitirá una actuación eficiente y eficaz.

Se creó una organización funcional, compuesta por el Comité de Gestión de Emergencias (CGE), cuyo rol general se enmarca en la dirección estratégica; el Equipo de Respuesta Operativa (ERO), encargado de ejecutar todas las acciones

preventivas y correctivas durante la emergencia; y los Coordinadores Zonales, como un medio de contacto permanente con las comunidades. Esta organización tiene una estructura sólida y roles bien definidos para otorgar un alto nivel de respuesta frente a un evento crítico.

El PAE desarrollado para la presa Gallito Ciego requiere de implementación. Este proceso es técnicamente viable bajo los lineamientos internacionales disponibles, sin embargo, dicha implementación demanda inversión en recursos materiales, capacitación constante y un fuerte compromiso institucional de las autoridades y ente operador. En tal sentido la propuesta comprende un avance progresivo y constante para convertirse en un instrumento de gestión sólido y efectivo que además servirá como un modelo aplicable a otras grandes presas del país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdelghani, L. (2024). Modeling of dam-break flood wave propagation using HEC-RAS 2D and GIS: case study of Taksebt dam in Algeria. *World Journal of Engineering*, 21(2), 376-385.
<https://doi.org/10.1108/WJE-10-2022-0405>
- Al-Fugara, A., Mabdeh, A. N., Alayyash, S., & Khasawneh, A. (2023). Hydrological and Hydrodynamic Modeling for Flash Flood and Embankment Dam Break Scenario: Hazard Mapping of Extreme Storm Events. *Sustainability*, 15(3), 1758.
<https://doi.org/10.3390/su15031758>
- Ansori, M. B., Damarnegara, A., Margini, N. F., & Nusantara, D. (2021). Flood inundation and dam break analysis for disaster risk mitigation (A Case Study Of Way Apu Dam). *International Journal of GEOMATE*, 21(84), 85-92.
<https://doi.org/10.21660/2021.84.j2130>
- Autoridad Nacional del Agua. (2015). *Inventario de presas en el Perú*. Ministerio de Agricultura y Riego.
- Autoridad Nacional del Agua. (2018). *Reglamento de Seguridad de Presas Públicas de Embalses de Agua*. (Resolución Jefatural N° 201-2018-ANA).

- Carrillo, A. (2001). Geotecnia de los suelos peruanos.
- Daud, N., Madzman, A., Hassan, S., Bakar, A., Tutur, N., Noh, M., & Hamzah, A. (2021). Downstream community awareness of the failure risk and emergency action plan of bukit merah dam. *Civil Engineering and Architecture*, 9(6), 138-144.
<https://doi.org/10.13189/cea.2021.091316>
- de Ceda Azadeño, J. C., Villar Arrondo, A., Álvarez Feijoo, R., & Pedre Villar, E. (2023). Planes de Emergencia de Presas - Guía Técnica para la Elaboración. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- Federal Emergency Management Agency. (2013). Federal Guidelines for Dam Safety - Emergency Action Planning for Dams (FEMA P-64).
- Haile, T., Goitom, H., Degu, A. M., Grum, B., & Abebe, B. A. (2024). Simulation of urban environment flood inundation from potential dam break: case of Midimar Embankment Dam, Tigray, Northern Ethiopia. *Sustainable Water Resources Management*, 10(2).
<https://doi.org/10.1007/s40899-023-01008-9>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la Investigación Científica (6 ed.). Mc Graw Hill.
- International Commission on Large Dams. (2019). Statistical Analysis of Dam Failures. (Bulletin 164).
- International Commission on Large Dams. (2024). World Register of Dams – General Synthesis. https://www.icold-cigb.org/GB/world_register/general_synthesis.asp
- JUNTA DE USUARIOS DEL SECTOR HIDRÁULICO MENOR JEQUETEPEQUE CLASE A. (2024). Memoria Descriptiva Sector Hidráulico Mayor Jequetepeque Clase A.
- Laurila, J. R. (2023). Emergency Repair of a Failing Dam Slope. *Journal of the New England Water Works Association*, 137(3), 32-39.
- Lujan Córdova, C. (2022). Modelamiento Hidráulico Bidimensional Del Tránsito De La Onda Generada Por La Rotura De Una Presa De Tierra Zonificada Aplicada A La Presa Gallito Ciego - Cajamarca, Perú 2021
- Mattas, C., Karpouzou, D., Georgiou, P., & Tsapanos, T. (2023). Two-Dimensional Modelling for Dam Break Analysis and Flood Hazard Mapping: A Case Study of Papadia Dam, Northern Greece. *Water*, 15(5), 994.
<https://doi.org/10.3390/w15050994>
- Mejía, E. (2023). Análisis de rotura de presa para simular la propagación e impacto del flujo de descarga, Presa Limón, San Felipe 2023.
- Mo, C., Cen, W., Lei, X., Ban, H., Ruan, Y., Lai, S., & Xing, Z. (2023). Simulation of dam break flood and risk assessment: a case study of Chengbi River Dam in Baise, China. *Journal of Hydroinformatics*, 25(4), 1276-1294.
<https://doi.org/10.2166/hydro.2023.193>

- Muda, R., Hussain, M., Tukiman, I., & Abdullah, F. (2021). Dam Safety Emergency Action Plan: A Current Practice for Hydropower Dam in Malaysia. IOP. Conference Series: Materials Science and Engineering, 1203, 032030.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/1203/3/032030>
- Ñaupas Paitán, H., Valdivia Dueñas, M. R., Palacios Vilela, J. J., & Romero Delgado, H. E. (2018). Metodología de la Investigación (5 ed.). Ediciones de la U.
- PEJEZA. (2022). Informe sobre el comportamiento de la presa y el estado del sistema de auscultación periodo comprendido entre 01/01/2004 y 31/03/2012.
- Quaresma, V., Aguilar, V., Bastos, A., Oliveira, K., Vieira, F., Sá, F., & Baptista Neto, J. (2021). The impact of trace metals in marine sediments after a tailing dam failure: the Fundão dam case (Brazil). Environmental Earth Sciences, 80(571).
<https://doi.org/10.1007/s12665-021-09817-x>
- Said, N., Mohd Sidek, L., Mustafa, Z., Mansor, F. H., & Jamal, M. (2020). Emergency Action Plan for Public Safety Around the Juaseh Dam, Johor In Water Resources Development and Management (pp. 115-124). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-981-15-1971-0_11
- Shukla, A., & Banerjee, A. (2024). Development of Emergency Action Plan (EAP) for Tilaiya Dam-A Case Study. Water and Energy International, 66(A-386), 16-20.
- Suárez, B., Vera, J. D., Botero, F., Suárez, B. H., & Giraldo, W. (2022). Hidroituango intake gate closure - Emergency conditions. Revista Facultad de Ingeniería, Universidadde Antioquia, (104), 140-151.
<https://doi.org/10.17533/udea.redin.20210847>
- Tarrillo Bustamante, W. H., & Vilcabana Bernilla, S. (2017). Auscultación de la Presa Gallito Ciego, Periodo 1988-2016
- US Army Corps of Engineers. (2014). Safety of Dams - Policy and Procedures. (Engineer Regulation 1110-2-1156).
- Zhu, F., Zhang, W., & Puzrin, A. M. (2024). The slip surface mechanism of delayed failure of the Brumadinho tailings dam in 2019. Communications Earth & Environment, 5(33). <https://doi.org/10.1038/s43247-023-01086-9>