PROYECTO ComUnitar



Evaluación del riesgo asociado a falla de presas de relaves de minería de mediana y gran escala



Evaluación del riesgo asociado a falla de presas de relaves de minería de mediana y gran escala

Revisión técnica:
Mario F. Benavides Rojas
Eduardo C. Rodríguez Llivipuma

Año:
2026

Financiado por:
Dirección General de Protección Civil y Operaciones de Ayuda Humanitaria Europeas (DG ECHO)

Fotografía:
Esat Utitiaj
Dennys Sarango

Diseño y diagramación:
Elizabeth Salgado C.
Sandy Torres R.

Contacto:
Agronomes & Vétérinaires Sans frontières (AVSF)

Dirección:
Últimas Noticias N39-141 y El Universo

Teléf.:
+593 2 2567 475

Email:
s.bleuze@avsf.org

Publicación elaborada en el marco del proyecto piloto de preparación y protección de comunidades Shuar y Kichwa ante el riesgo de falla de las presas de relaves del complejo minero Mirador, provincia de Zamora Chinchipe, Ecuador (ComUnitar).

La presente publicación no refleja en ningún caso el punto de vista ni la posición oficial de la Dirección General de Protección Civil y Operaciones de Ayuda Humanitaria Europeas (DG ECHO).

Contenido

Introducción 8

Marco conceptual 12

Marco normativo 18

Amenazas 24

Vulnerabilidad 50

Capacidad de afrontamiento 60

Estimación integrada del riesgo territorial y consecuencias potenciales 72

Sistemas de Alerta Temprana (SAT) 78

Planes específicos de respuesta comunitaria 96

Acciones esperadas 110

Glosario de términos 114

Lista de verificación técnica 118

Listado de tablas

Tabla 1. Elementos expuestos **16**

Tabla 2. Identificación de la configuración geomorfológica y la favorabilidad del valle **28**

Tabla 3. Identificación de modos de falla potencial **29**

Tabla 4. Clasificación de las condiciones desencadenantes **30**

Tabla 5. Evaluación de intensidad y magnitud potencial **31**

Tabla 6. Determinación de la extensión espacial **32**

Tabla 7. Valoración cualitativa de la amenaza **33**

Tabla 8. Valoración de la amenaza por criterios geomorfológicos **34**

Tabla 9. Valoración de la amenaza por modos de falla **34**

Tabla 10. Valoración de la amenaza por factores desencadenantes de falla **35**

Tabla 11. Valoración de la amenaza por intensidad y magnitud **36**

Tabla 12. Valoración de la amenaza por extensión espacial **36**

Tabla 13. Rangos de valoración cualitativa de la amenaza **38**

Tabla 14. Estudios específicos para evaluación de condicionantes externas **41**

Tabla 15. Relación modo de falla y sus causa-origen **42**

Tabla 16. Subsistemas para la aplicación de FMEA **44**

Tabla 17. Resumen de herramientas de análisis **45**

Tabla 18. Metodologías avanzadas de análisis aplicadas a presas de relaves **47**

Tabla 19. Valoración de la vulnerabilidad física **55**

Tabla 20. Valoración de la vulnerabilidad social **56**

Tabla 21. Valoración de la vulnerabilidad económica **57**

Tabla 22. Valoración de la vulnerabilidad ambiental **58**

Tabla 23. Rangos de valoración cualitativa de la vulnerabilidad **59**

Tabla 24. Valoración del Sistema de GRD municipal **69**

Tabla 25. Valoración de planes de emergencia y contingencia **69**

Tabla 26. Valoración del monitoreo del funcionamiento de la presa de relaves **70**

Tabla 27. Valoración de los sistemas de comunicación e información de alertas **70**

Tabla 28. Valoración de rutas de evacuación **71**

Tabla 29. Rangos de valoración cualitativa de la capacidad de afrontamiento **71**

Tabla 30. Niveles relativos de priorización mediante el IAV **74**

Tabla 31. Componentes para la interpretación integrada del riesgo territorial **75**

Tabla 32. Matriz referencial de clasificación por consecuencias **77**

Tabla 33. Checklist componente conocimiento del riesgo **82**

Tabla 34. Checklist componente de monitoreo y pronóstico **84**

Tabla 35. Condiciones técnicas de la instalación y escalamiento operativo **85**

Tabla 36. Checklist componente de comunicación de la alerta **86**

Tabla 37. Checklist componente capacidad de respuesta **88**

Tabla 38. Checklist componente de transversales **90**

Tabla 39. Actores y responsabilidades del SAT **92**

Listado de figuras

Figura 1. Diferenciación entre gestión de la seguridad en presas y la gestión de riesgos de desastre **11**

Figura 2. Elementos del riesgo de desastre aguas abajo de una presa de relaves **15**

Figura 3. Esquema de una presa de relaves y estructuras relacionadas **25**

Figura 4. Perfil de una presa de relaves **26**

Figura 5. Esquema de variables para la valoración de la amenaza **27**

Figura 6. Componentes del Sistema de Alerta Temprana **80**

LISTA DE ABREVIATURAS

Sigla / abreviatura	Español	Denominación original
ANCOLD	Comité Nacional Australiano de Grandes Presas	Australian National Committee on Large Dams
DBR	Documento de Base de Diseño	Design Basis Report
COA	Código Orgánico del Ambiente	
COE	Comité de Operación de Emergencia	
COOTAD	Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización	
DG ECHO	Dirección General de Protección Civil y Operaciones de Ayuda Humanitaria Europeas	Directorate-General for European Civil Protection and Humanitarian Aid Operations
COPAE	Comité Parroquial de Emergencias	
EIA	Estudio de Impacto Ambiental	
EOR	Ingeniero Responsable de la Operación	Engineer of Record
ERM	Gestión Integral de Riesgos Empresariales	Enterprise Risk Management
FEMA	Agencia Federal para el Manejo de Emergencias de los Estados Unidos	Federal Emergency Management Agency
FMEA	Análisis de Modos y Efectos de Falla	Failure Mode and Effects Analysis
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado	
GISTM	Estándar Global de Gestión de Relaves para la Industria Minera	Global Industry Standard on Tailings Management
GT	Grupos Técnicos	
HAZOP	Estudio de Peligros y Operabilidad	Hazard and Operability Study
IAV	Índice auxiliar de priorización Amenaza-Vulnerabilidad	
ICMM	Consejo Internacional de Minería y Metales	International Council on Mining and Metals
ICOLD	Comisión Internacional de Grandes Presas	International Commission on Large Dams
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos	
ISO	Organización Internacional de Normalización	International Organization for Standardization
LOGIRD	Ley Orgánica para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres	
LORHUA	Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua	
MAATE	Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica	
MDT	Modelos Digitales de Terreno	
MEM	Ministerio de Energía y Minas	

GC	Gestión de Cambios	Management of Change
MOMV	Mapa de Obras de Mitigación y Vulnerabilidad	
OMS	Obras de Mitigación y Seguridad	
PGA	Aceleración Pico del Suelo	Peak Ground Acceleration
PMA	Plan de Manejo Ambiental	
PPRE	Plan de Preparación y Respuesta ante Emergencias	Emergency Preparedness and Response Plan
RAAM	Reglamento Ambiental de Actividades Mineras	
SAT	Sistema de Alerta Temprana	
SNDGRD	Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Integral del Riesgo de Desastres	
SNGR	Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos	
SUIA	Sistema Único de Información Ambiental	
TARP	Plan de Respuesta ante Niveles de Activación	Trigger Action Response Plan
TIC	Tecnologías de la Información y la Comunicación	
MTT	Mesa Técnica de Trabajo	
UGR	Unidad de Gestión de Riesgos	
UNDRR	Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres	United Nations Office for Disaster Risk Reduction
UNECE	Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa	United Nations Economic Commission for Europe
UNEP	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente	United Nations Environment Programme
WMO	Organización Meteorológica Mundial	World Meteorological Organization

Introducción

01

La gestión del riesgo de desastres asociado a la falla de presas e instalaciones de almacenamiento de relaves constituye un ámbito de creciente relevancia para el Ecuador. La expansión de la minería metálica de mediana y gran escala, junto con la presencia de comunidades, infraestructura, servicios esenciales, sistemas productivos y ecosistemas localizados aguas abajo de estas infraestructuras, configura escenarios de riesgo que exigen una evaluación sistemática, preventiva y territorialmente explícita.

Los antecedentes internacionales de fallas catastróficas —entre ellos Mount Polley (Canadá, 2014), Fundão–Mariana (Brasil, 2015) y Brumadinho (Brasil, 2019)— evidencian que la liberación no controlada de relaves puede generar eventos de rápida evolución y alta energía destructiva con consecuencias humanas, sociales, económicas y ambientales.

Estos eventos, aunque ocurridos en otras jurisdicciones, presentan algunas similitudes con las condiciones geológicas, sísmicas, climáticas y sociales del Ecuador, donde la combinación de alta pluviosidad, pendientes pronunciadas, sismicidad activa y comunidades rurales dispersas puede amplificar las consecuencias.

La evaluación del riesgo no se limita exclusivamente a la seguridad física de la infraestructura minera, sino que incorpora de manera articulada el conocimiento de la amenaza, la exposición, las vulnerabilidades, las capacidades institucionales y comunitarias, los tiempos críticos de respuesta y las medidas de reducción del riesgo.

La falla de una presa de relaves rara vez se manifiesta como un evento aislado. Por su naturaleza, la liberación de flujos de relaves puede desencadenar efectos en cascada: desde la destrucción directa de viviendas e infraestructura lineal (vías, puentes, líneas de transmisión), hasta la contaminación de fuentes de agua superficiales y subterráneas, la pérdida de suelos productivos, la interrupción prolongada de medios de vida y la generación de desplazamientos forzados.

En el caso ecuatoriano, donde muchas cuencas hidrográficas albergan población rural e indígena y actividades productivas aguas abajo de los proyectos mineros, la evaluación del riesgo debe considerar no solo el impacto inmediato de la onda del flujo, sino también la afectación diferida y de largo plazo sobre los servicios ecosistémicos, la salud pública y la cohesión social.

A esta situación se suma una característica técnica distintiva de estas estructuras. A diferencia de las presas hidroeléctricas, una presa de relaves es una infraestructura dinámica que crece a lo largo de la vida útil de la mina. Esta condición de “estructura viva” implica que sus condiciones de estabilidad, drenaje y comportamiento sísmico cambian en el tiempo, demandando un monitoreo continuo, auditorías independientes y una gestión adaptativa que contemple las distintas fases del ciclo de vida: diseño, construcción, operación, cierre y postcierre. La evaluación del riesgo, por tanto, no puede ser un ejercicio estático ni puntual, sino un proceso iterativo y actualizable que acompañe la evolución de la infraestructura y de las condiciones del entorno.

Es necesario reconocer que el riesgo de desastre no es únicamente un producto de la amenaza física; es también una construcción social. Las condiciones de vulnerabilidad de las poblaciones expuestas —expresadas en pobreza, informalidad de la tenencia de la tierra, limitado acceso a información, dependencia de recursos naturales para la subsistencia, o desconfianza hacia las instituciones— determinan en gran medida la magnitud de las consecuencias.

En el ámbito nacional, la evaluación y gestión de estos riesgos se sustenta en un marco normativo integral, que establece obligaciones diferenciadas y concurrentes para las autoridades, los Gobiernos Autónomos Descentralizados y los titulares u operadores mineros. Además, de una responsabilidad compartida entre múltiples actores, aunque diferenciada, que va desde el titular u operador minero hasta las comunidades, las cuales tienen derecho a participar en los procesos de evaluación, a conocer los riesgos a los

que están expuestos y a que sus conocimientos y prioridades sean incorporados en las decisiones.

La evaluación del riesgo de falla de presas de relaves no puede desvincularse de los procesos de planificación y ordenamiento territorial. Las decisiones sobre la localización de nuevas infraestructuras mineras, la expansión de asentamientos humanos, la construcción de infraestructura pública o la definición de usos del suelo aguas abajo de una presa de relaves deben estar informadas por escenarios de riesgo actualizados y accesibles. En el contexto ecuatoriano, esto adquiere especial relevancia frente a la fragmentación administrativa y la debilidad histórica de los mecanismos de control del uso del suelo en zonas rurales y periurbanas.

En virtud de todo lo expuesto, el presente documento se concibe como un insumo técnico de apoyo para las autoridades competentes en la futura construcción de un manual de evaluación del riesgo de falla de presas de relaves de minería de mediana y gran escala en el Ecuador. Su propósito es doble: por un lado, ofrecer una base metodológica que permita estandarizar los criterios y procedimientos para realizar evaluaciones del riesgo; y por otro, orientar la toma de decisiones hacia la reducción efectiva del riesgo, el fortalecimiento de la preparación y la protección de la vida, los medios de subsistencia y los ecosistemas.

1.1. Objetivo

El presente documento tiene como objetivo fortalecer las capacidades de los actores del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Integral del Riesgo de Desastres (SNDGRD) frente a los impactos potenciales derivados de la falla de presas de relaves de minería metálica de mediana y gran escala, mediante metodologías, procedimientos y criterios técnicos homogéneos para la identificación, análisis, evaluación y priorización del riesgo territorial aguas abajo de estas infraestructuras.

1.2. Alcance

El documento se presenta como una herramienta técnica de apoyo para fortalecer las capacidades institucionales y comunitarias en la gestión del riesgo por fallas de presas de relaves. Este trabajo cuenta con un enfoque territorial e intercultural, y es aplicable en todo el territorio continental del Ecuador, donde existen comunidades potencialmente expuestas a estos posibles escenarios. Se espera que este instrumento técnico, oriente a las instituciones del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Integral del Riesgo de Desastres y a los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) - Municipales y Provinciales - en la identificación, análisis y reducción del riesgo, promoviendo una gestión preventiva, segura y coordinada entre los niveles institucionales, técnicos y comunitarios del Ecuador.

Como herramienta técnica, el documento integra metodologías, criterios y orientaciones de apoyo para la evaluación territorial, el diseño y la articulación de Sistemas de Alerta Temprana, sujetos a los lineamientos obligatorios que expida la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR) y a la normativa sectorial aplicable.

Toma como referencia técnica complementaria el Estándar Global de Gestión de Relaves para la Industria Minera (GISTM por sus siglas en inglés) y otros estándares internacionales compatibles con la normativa ecuatoriana[1], garantizando la incorporación de estándares internacionales de seguridad, gobernanza y gestión del riesgo en el ciclo de vida de las presas de relaves.

Las guías y estándares internacionales se emplean como referencia técnica complementaria. No sustituyen obligaciones legales ni reglamentarias ecuatorianas y, cuando exista diferencia, prevalece la normativa nacional aplicable.

Asimismo, se articula con el Acuerdo MERNNR-MERNNR-2020-0043-AM, Instructivo para la aprobación de proyectos de diseño, construcción, operación y mantenimiento de depósitos

1 En caso de divergencia prevalecerá la normativa nacional vigente.

de relaves para la mediana y gran minería, reformado por el Acuerdo MEM-MEM-2023-0012-AM, incluido su Anexo II reformado.

Adicionalmente, se incorpora un enfoque específico para las poblaciones asentadas en las zonas aguas abajo de las presas de relaves, considerando que constituyen los grupos con mayor exposición ante escenarios de ruptura o falla. Este enfoque permitirá priorizar la identificación de zonas críticas, los análisis de vulnerabilidad social y física, los tiempos de llegada del flujo, así como la formulación de rutas de evacuación, protocolos diferenciales de alerta y mecanismos de comunicación culturalmente pertinentes. Con ello, se orientará a fortalecer la resiliencia de estas comunidades, promover su preparación ante emergencias y garantizar que la gestión del riesgo responda de manera efectiva a las condiciones reales del territorio.

1.3. Límites

Se prioriza el riesgo territorial aguas abajo. No sustituye a la evaluación de seguridad física de la instalación; utiliza como insumos obligatorios los modos de falla, modelaciones de rotura, zonas de inundación, monitoreo y planes de emergencia exigidos por la normativa minera.



Figura 1. Diferenciación entre gestión de la seguridad en presas y la gestión de riesgos de desastre

El documento no sustituye la evaluación ni el licenciamiento ambientales. No obstante, para escenarios de falla incorporará como insumos los impactos ambientales súbitos, los receptores ecológicos, la información del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) y del Plan de Manejo Ambiental (PMA), monitoreos, auditorías, contingencias y registros de relaveras, manteniendo la competencia de la Autoridad Ambiental.

La metodología propuesta constituye una herramienta técnica de referencia para la evaluación territorial del riesgo asociado a escenarios de falla de presas de relaves. Su aplicación deberá realizarse sin perjuicio de los requisitos mínimos obligatorios establecidos en la normativa vigente, de los estudios especializados de seguridad de la instalación y de los instrumentos que expidan las autoridades competentes.

Marco conceptual

02

Las fallas mayores de presas de relaves son eventos de baja frecuencia relativa, pero pueden producir consecuencias catastróficas. Los antecedentes internacionales demuestran que su ocurrencia no puede descartarse únicamente por el cumplimiento formal de requisitos de diseño u operación; por ello, la gestión debe basarse en prevención, controles críticos, monitoreo, revisión independiente, preparación para emergencias y aprendizaje continuo durante todo el ciclo de vida de la instalación.

Las consecuencias derivadas de estas fallas son muy significativas. Fallas pasadas provocaron pérdidas de vidas humanas, daños ambientales catastróficos, indignación pública, intervenciones regulatorias restrictivas y pérdidas y costos financieros asociados para la empresa responsable. Entre los ejemplos más representativos de desastres por fallas de presas de relave podemos mencionar: Brasil 2019 (Brumadinho) y 2015 (Mariana – Fundão), Canadá 2014 (Mount Polley) y Rumanía 2000 (Baia Mare).

En consecuencia, la gestión del riesgo exige articular dos ámbitos complementarios: la gestión de la seguridad y desempeño de la instalación de almacenamiento de relaves, responsabilidad principal del titular u operador dentro de sus obligaciones sectoriales, y la gestión territorial del riesgo de desastres aguas abajo, que involucra a las instituciones competentes, los gobiernos autónomos descentralizados, las comunidades y demás actores del SNDGRD.

2.1. Gestión de instalaciones de almacenamiento de relaves

Las instalaciones de almacenamiento de relaves son sistemas integrados que comprenden el depósito, las presas, diques o muros de contención, las obras hidráulicas y de drenaje, la infraestructura de manejo de agua, la instrumentación, los sistemas de monitoreo y los procesos operacionales necesarios para gestionar los relaves de manera segura durante todo su ciclo de vida.

Una presa de relaves se entiende como una estructura ingenieril, generalmente conformada por diques o terraplenes, diseñada y construida para contener y confinar relaves mineros y el agua asociada dentro de una instalación de almacenamiento de relaves. Su función principal es permitir la deposición controlada del material, mantener la estabilidad física del depósito y prevenir la liberación no controlada de relaves hacia el ambiente durante las fases de operación, cierre y postcierre[2].

Para efectos de este documento, los términos «depósito de relaves», «presa, dique o muro de contención», «relaves» e «instalación de almacenamiento de relaves» se utilizarán de manera diferenciada y conforme a las definiciones del Instructivo vigente. El término «represa» no se empleará como sinónimo técnico, salvo cuando forme parte de una cita literal.

La instalación de almacenamiento de relaves se comprenderá como el sistema integral destinado a contener, manejar y controlar los relaves y el agua asociada, mientras que la presa, dique o muro de contención corresponde a uno de sus componentes estructurales.

Al relave como una mezcla de mineral molido con agua y otros compuestos, generalmente en forma de lodo, que permanece luego de extraer los minerales económicamente aprovechables durante la fase de beneficio. Dependiendo del proceso, puede contener reactivos residuales y otras sustancias asociadas, cuya caracterización física y química deberá considerarse en la evaluación de consecuencias y en la gestión ambiental correspondiente.

Con respecto a la gestión de la instalación es un concepto integral y jurídicamente vinculante. No se limita a la operación de la presa, sino que abarca todo el ciclo de vida del depósito de relaves bajo el principio de responsabilidad objetiva y deber de diligencia debida del titular y operador minero, que implica obligaciones e interfaces en materia de información, inspecciones, archivo

2 Concepto adaptado de: International Commission on Large Dams – ICOLD; Australian National Committee on Large Dams – ANCOLD (2012), *Guidelines on Tailings Dams*; y, United Nations Economic Commission for Europe – UNECE (2014), *Safety Guidelines and Good Practices for Tailings Management Facilities*.

técnico, monitoreo, auditorías, supervisión, planes de emergencia y respuesta, avisos técnicos, simulacros, entrega de datos, acciones correctivas y el mantenimiento de un registro vivo de riesgos que contenga fecha, escenario, causa, consecuencia, incertidumbre, controles, responsable, estado y gatillo de revisión.

Así mismo, evaluaciones con indicadores de cultura de seguridad: reporte de desviaciones, autoridad para detener operaciones, aprendizaje de incidentes, competencia, fatiga, turnos, gestión del conocimiento y no represalia por reportes.

En el ciclo de vida[3] de las presas de relaves debe indicar para cada fase: amenazas, información mínima, responsables, controles críticos, monitoreo, actualización del riesgo, Plan de Preparación y Respuesta ante Emergencias[4] (PPRE) y necesidades de coordinación con GAD y el SNDGRD.

La gestión integral de estas instalaciones puede apoyarse, como referencia técnica complementaria, en el Global Industry Standard on Tailings Management (GISTM, 2020), la Tailings Management: Good Practice Guide de ICMM (actualización 2025) y otras guías internacionales pertinentes, sin que tales instrumentos sustituyan las obligaciones establecidas por la normativa ecuatoriana.

2.2. Riesgo de desastre

La Ley[5] define el riesgo a partir de amenaza, vulnerabilidad y capacidad de respuesta[6]. El riesgo de desastres incluye diferentes tipos de daños y pérdidas posibles que a menudo resultan difíciles de cuantificar. No obstante, conociendo las amenazas predominantes y las pautas de desarrollo humano y socioeconómico (vulnerabilidades y capacidades), los riesgos de desastres se pueden evaluar y cartografiar, al menos en líneas generales.

Es importante tener en cuenta los contextos sociales y económicos en que se dan los riesgos de desastres, así como el hecho de que las personas no necesariamente comparten las mismas percepciones del riesgo y los factores de riesgo subyacentes.

De acuerdo con la definición legal, el riesgo de desastres se relaciona con la amenaza, la vulnerabilidad y la capacidad de respuesta en un territorio determinado. Para aplicar esta definición es necesario identificar expresamente los elementos expuestos dentro de las zonas modeladas. Estos comprenden población, viviendas, infraestructura, servicios esenciales, sistemas productivos, patrimonio, medios de vida y receptores ambientales, tanto dentro como fuera de límites administrativos de comunidades.

La amenaza para las comunidades aguas abajo son las inundaciones por flujos de relaves en un escenario de falla de la presa de relaves.

La presa, dique o muro de contención constituye un componente de la instalación destinado a mantener confinados los relaves y el agua asociada. La pérdida de su función de contención, por uno o varios modos de falla, puede generar una liberación súbita del material; esa liberación y su propagación aguas abajo conforman el escenario peligroso que debe modelarse para la evaluación territorial.

Para efectos metodológicos, la inundación por flujo de relaves se tratará como amenaza de origen antrópico, de naturaleza tecnológica, derivada de la falla de una infraestructura minera.

Los modos de falla pueden ser condicionados o desencadenados por factores naturales —sísmicos, hidrometeorológicos, geológicos o geotécnicos— y por factores antrópicos relacionados con el diseño, la construcción, la operación, el mantenimiento o la gestión. También deberán analizarse combinaciones y secuencias de fac-

3 Durante el postcierre se considerarán el balance hídrico, escenarios climáticos, mantenimiento de drenajes y aliviaderos, filtraciones y capacidad de adaptación.

4 En ingles Emergency Preparedness and Response Plan (EPRP).

5 Ley Orgánica para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres (2024).

6 En el marco de este documento se hace la diferencia entre capacidad de respuesta y de afrontamiento.

tores que puedan incrementar la plausibilidad o severidad de un escenario.

La vulnerabilidad se evaluará sobre los elementos expuestos aguas abajo. Las capacidades institucionales, comunitarias y empresariales se analizarán en componentes separados para evitar duplicidades entre factores de fragilidad y factores de preparación o respuesta.



Figura 2. Elementos del riesgo de desastre aguas abajo de una presa de relaves

2.3. Elementos expuestos

La evaluación territorial comienza con la identificación de los elementos expuestos, entendidos como las personas, bienes, infraestructura, servicios, actividades, medios de vida, patrimonio y receptores ambientales localizados dentro de las zonas potencialmente afectables por los escenarios modelados.

Para evitar confundir la fuente del peligro con los elementos expuestos, el análisis distingue entre: (i) la instalación de almacenamiento de relaves, cuyos componentes, condiciones y modos de falla constituyen la fuente tecnológica del escenario; y (ii) los elementos expuestos localizados aguas abajo, sobre los cuales se evalúan exposición, vulnerabilidad y consecuencias.

La instalación puede comprender, entre otros componentes, la presa, dique o muro de contención, la cubeta o depósito, los relaves y agua asociada, obras hidráulicas y de drenaje, sistemas de decantación y manejo de agua, instrumentación y demás infraestructura auxiliar. Su seguridad y desempeño se analizan como parte de la identificación de modos de falla y condiciones desencadenantes.

Los elementos expuestos aguas abajo incluyen población, viviendas, infraestructura, servicios esenciales, sistemas productivos, patrimonio, medios de vida, cuerpos de agua, ecosistemas, áreas protegidas y otros receptores potencialmente alcanzados por la inundación o propagación de relaves en un escenario de falla.

La metodología no desarrolla un módulo independiente de riesgo ambiental crónico. Sin embargo, las consecuencias ambientales súbitas asociadas a la falla —incluidas afectaciones a agua, suelo, biodiversidad y servicios ecosistémicos— forman parte de la evaluación territorial y deben analizarse con información del Estudio

de Impacto Ambiental (EIA) y del Plan de Manejo Ambiental (PMA), monitoreos y demás instrumentos ambientales vigentes, sin sustituir las competencias de la Autoridad Ambiental.

La Tabla 1 resume esta diferenciación entre la fuente o instalación y los elementos expuestos en el territorio. Para evitar confundir la fuente del peligro con los elementos expuestos, la información se organizó en dos bloques: A. Fuente/ instalación: componentes, condiciones y modos de falla; B. Elementos expuestos: población, infraestructura, servicios esenciales, producción, patrimonio, ambiente, áreas protegidas y medios de vida dentro de cada zona modelada.

Tabla 1. Elementos expuestos

Bloque de análisis	Componentes / elementos	Condición o escenario relevante
A. Fuente / instalación	Depósito de relaves. Presa, dique o muro de contención. Sistema de drenaje y manejo de agua. Obras hidráulicas. Instrumentación y sistemas operacionales.	Modos de falla y condiciones precursoras de origen geotécnico, hidráulico, sísmico, hidrometeorológico, constructivo, operacional o de gestión.
B. Elementos expuestos aguas abajo	Población y viviendas. Infraestructura y servicios esenciales. Sistemas productivos y medios de vida. Patrimonio cultural. Cuerpos de agua, ecosistemas, áreas protegidas y otros receptores ambientales.	Liberación súbita y propagación de relaves según escenarios modelados. Las filtraciones se registran como condición de desempeño y, cuando corresponda, como asunto ambiental sectorial.

El escenario principal es la liberación súbita y la inundación por flujo de relaves debido a falla de la presa. Las filtraciones se registrarán como posibles condiciones precursoras de inestabilidad y, cuando corresponda, como asuntos ambientales sujetos a la normativa sectorial.

Como frontera metodológica, el riesgo ambiental crónico no se considera como módulo independiente; no obstante, la contaminación súbita y los receptores ambientales se incorporan como consecuencias asociadas al escenario de falla y como información para la coordinación con la Autoridad Ambiental.



Marco normativo

03

Las denominaciones institucionales contenidas en instrumentos operativos vigentes, incluido el Manual del Comité de Operación de Emergencia (COE), se interpretarán de acuerdo con la entidad que ejerza actualmente la competencia correspondiente. Los cambios de denominación o estructura administrativa no alteran por sí mismos la distribución legal de competencias.

El Manual del COE se considera vigente para este documento como instrumento operativo de coordinación para preparación y respuesta. Se aplicará de forma armónica con la Ley Orgánica para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres (LOGIRD) y su Reglamento General. Ante una aparente incompatibilidad se atenderá a la jerarquía normativa, la competencia material, la especialidad y la fecha de expedición, evitando atribuir a este documento efectos que correspondan exclusivamente a la ley o al reglamento.

Se observa la jerarquía normativa ecuatoriana: Constitución; leyes orgánicas y ordinarias aplicables; reglamentos; normativa sectorial; resoluciones, acuerdos e instructivos expedidos por autoridad competente; e instrumentos técnicos y operativos. Los estándares y guías internacionales se utilizan como referencias técnicas complementarias cuando sean compatibles con la normativa nacional.

Corte normativo verificado para este documento: 29 de agosto de 2026. Este dato deberá actualizarse[7] o cuando se produzca una reforma que modifique requisitos, competencias o procedimientos relevantes para la gestión de relaves o la gestión integral del riesgo de desastres.

- Actualización institucional: Las referencias históricas al Ministerio de Energía y Minas (MEM) y al Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) se conservarán únicamente para identificar al órgano emisor de normas expedidas bajo esas denominaciones. Para actuaciones actuales, deberá utilizarse la denominación de la entidad que ejerza legalmente la competencia al momento de la aplicación. Desde el proceso de fusión dispuesto en 2025, las competencias sectoriales de energía, minería, ambiente y agua se concentran en el Ministerio de Ambiente y Energía, sin perjuicio de posteriores reformas institucionales que deban verificarse.

  Regla de actualización: ninguna referencia normativa, competencia institucional o requisito sectorial se considerará permanente por el solo hecho de constar en este documento. Antes de utilizar la metodología en un caso concreto deberá comprobarse su vigencia en la fuente oficial correspondiente.
- Fuentes oficiales de verificación normativa: Registro Oficial del Ecuador; Asamblea Nacional; Agencia de Regulación y Control Minero; Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos; y la autoridad ambiental/minera competente. La verificación de vigencia debe realizarse sobre la publicación oficial y sus reformas, no únicamente sobre compilaciones secundarias. La trazabilidad normativa se documentará mediante una matriz con los campos: norma, artículo/requisito, obligación, sujeto responsable, autoridad de control/rectoría, producto exigido y numeral del manual que la desarrolla. La gestión de relaves mineros y la gestión de riesgos de desastres se encuentran reguladas por un marco normativo de carácter constitucional, legal y reglamentario, de naturaleza multisectorial. La aplicación de este marco implica la concurrencia de varias autoridades competentes y la observancia de principios de prevención, precaución y responsabilidad ambiental.

A continuación, se presenta una síntesis del marco normativo.

7 La gestión documental mantendrá una hoja de control de vigencia normativa que registre, como mínimo, norma, publicación oficial, reformas verificadas, artículos o requisitos relevantes, estado de vigencia, fecha de consulta, responsable de verificación y efecto sobre esta edición.

3.1. Marco Constitucional

Constitución de la República del Ecuador – 2008.

- La Constitución del Ecuador establece los principios rectores aplicables a la actividad minera y a la gestión de relaves, entre los cuales destacan:
- La soberanía del Estado sobre los recursos minerales.
- Los derechos de la naturaleza.
- El principio de prevención y precaución ambiental.
- La responsabilidad objetiva por daño ambiental.
- La obligación estatal de gestionar los riesgos naturales y antrópicos.

En este contexto, la gestión de relaves debe orientarse a evitar la generación de impactos ambientales significativos y a garantizar la seguridad de las poblaciones y ecosistemas potencialmente expuestos.

La Constitución del Ecuador establece, a través de disposiciones fundamentales, que la gestión de riesgos de desastres constituye tanto una responsabilidad del Estado como un derecho de la ciudadanía. En este marco, se prioriza la prevención frente a amenazas, la protección del ambiente y el control de tecnologías que puedan generar peligros.

Asimismo, se reconoce el derecho de la población a contar con protección ante situaciones de riesgo, lo que implica la obligación de implementar procesos de planificación preventiva, una atención oportuna ante emergencias y estrategias de reconstrucción con criterios de resiliencia.

También impulsa la descentralización y la corresponsabilidad entre los distintos niveles de gobierno y la sociedad, procurando un equilibrio entre los ámbitos ambiental, social y económico, con el propósito de garantizar una recuperación integral de las condiciones materiales y sociales, basada en principios de justicia, equidad y sostenibilidad.

3.2. Normativa Minera

La Ley de Minería[8] vigente, junto con su Reglamento General[9] y la normativa sectorial específica, constituye el marco jurídico minero aplicable. Son especialmente relevantes las disposiciones sobre competencias de la autoridad minera[10], actos administrativos previos, autorizaciones ambientales y obligaciones del titular, así como las reglas específicas para diseño, construcción, operación, mantenimiento, modificación, cierre y postcierre de depósitos de relaves.

Se regula el ejercicio de la actividad minera y establece las obligaciones del titular respecto a la seguridad operativa, protección ambiental, manejo técnico de instalaciones y cierre de operaciones. En el Reglamento General se establece los requisitos técnicos y administrativos para el desarrollo de las operaciones.

Si bien la ley no desarrolla de manera detallada una regulación específica para presas de relaves, sí impone al concesionario la responsabilidad integral sobre la estabilidad y adecuada gestión de sus infraestructuras.

Se establece que, antes de iniciar actividades, los titulares deben elaborar y presentar estudios o documentos ambientales para prevenir, mitigar, controlar y reparar impactos ambientales y sociales, y obtener la autorización ambiental correspondiente.

8 Para esta edición se verificó, entre otras modificaciones relevantes, la Ley Orgánica para el Fortalecimiento de los Sectores Estratégicos de Minería y Energía, publicada en el Quinto Suplemento del Registro Oficial No. 234 de 2 de marzo de 2026. La aplicación de disposiciones concretas deberá realizarse sobre el texto legal consolidado vigente al momento de cada evaluación.

9 Para este documento se considera la reforma publicada mediante Decreto Ejecutivo No. 273 en el Tercer Suplemento del Registro Oficial No. 195 de 31 de diciembre de 2025, sin perjuicio de posteriores reformas que deban verificarse antes de cada aplicación.

10 Las referencias a la autoridad minera indica que están dirigidas a la entidad que ejerza legalmente la competencia correspondiente al momento de la actuación. Cuando una atribución sea ejercida por delegación, se deberá verificar la delegación expresa y vigente, evitando asignar funciones por denominaciones institucionales históricas.

Clarifica que cuando el depósito se ubique en un área declarada de seguridad estratégica, esta condición se registrará dentro del contexto institucional. Dicha condición no traslada a las Fuerzas Armadas las obligaciones técnicas, ambientales, operativas o de seguridad de la instalación que legalmente corresponden al titular u operador minero.

También comprende artículos enfocados principalmente en el control ambiental, las garantías financieras y el proceso de cierre de minas. Además, de disposiciones relevantes relacionadas con los estudios de impacto ambiental, las pólizas de cumplimiento y los mecanismos de sanción.

En la revisión del cumplimiento y de la capacidad empresarial se indica que se verificará el tipo de garantía o seguro ambiental que resulte aplicable, su vigencia y suficiencia, así como su actualización cuando cambien las condiciones de la actividad o lo exija la autoridad competente.

Se indica que las obligaciones mineras se articulan con la gestión del riesgo de desastres, particularmente en la prevención, el monitoreo, la preparación, el cierre y la recuperación[11].

3.3. Normativa Ambiental

El Código Orgánico del Ambiente[12] (COA) constituye el marco legal ambiental general y es el principal cuerpo normativo en materia de control ambiental, aplicable a la construcción, operación, mantenimiento y cierre de depósitos de relaves.

Entre sus disposiciones relevantes se incluyen:

- La obligatoriedad del licenciamiento ambiental.
- La presentación y aprobación de estudios de impacto ambiental.
- La implementación de planes de manejo ambiental y contingencia.
- La responsabilidad de reparación integral, restauración ecológica y compensación ambiental en caso de daño ambiental.

Se indica que la regularización ambiental se verificará caso por caso conforme al COA y su normativa reglamentaria aplicable, el Reglamento Ambiental de Actividades Mineras[13] (RAAM) vigente, las normas técnicas de calidad ambiental vigentes[14] y la normativa hídrica que corresponda, atendiendo a la fase minera, el régimen aplicable, las instalaciones asociadas y el tipo de autorización exigible.

Se menciona la obligación de presentar un plan de cierre y postcierre que incluya estabilidad física y química del depósito, monitoreo postcierre y garantías financieras.

Asimismo, disposiciones abarcan desde las responsabilidades del operador frente a los impactos ambientales y la elaboración de planes de manejo, hasta las regulaciones relacionadas con la calidad ambiental y los procesos de autorización administrativa orientados a prevenir o disminuir posibles afectaciones.

También se establece directrices que refuerzan la prevención, la planificación ambiental responsable y la aplicación de medidas precautorias en actividades que puedan generar impactos, facilitando la articulación entre gestión ambiental, gestión de riesgos y ordenamiento territorial

11 Para efectos de este documento, dichas obligaciones se interpretan juntamente con la normativa de gestión de riesgos, ambiente, recursos hídricos y ordenamiento territorial, respetando las competencias de cada autoridad.

12 Al corte normativo de 29 de agosto de 2026, la Asamblea Nacional aprobó el 4 de agosto de 2026 un proyecto de Ley Orgánica Reformatoria al COA en materia de cambio climático; al no haberse verificado para esta edición su publicación como ley vigente en el Registro Oficial, el proyecto se registra únicamente como antecedente de seguimiento y no se utiliza como fundamento normativo obligatorio.

13 Expedido mediante Acuerdo MAATE-MAATE-2025-0045-A y publicado en el Segundo Suplemento del Registro Oficial No. 56 de 10 de junio de 2025, aplicable conforme a su ámbito material y a las reformas que se encuentren vigentes.

14 En cada aplicación se verificará la normativa secundaria y las normas técnicas ambientales vigentes que correspondan, incluidas las disposiciones aplicables sobre calidad ambiental, descargas, monitoreo, contingencias, cierre y postcierre.

bajo los principios aplicables de prevención, precaución y responsabilidad[15].

3.4. Normativa sobre Recursos Hídricos

En la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua[16] (LORHUA) y su Reglamento General[17] (2015) regulan el uso, aprovechamiento, protección y gestión integral del recurso hídrico. En el contexto de presas de relaves, esta normativa resulta aplicable en los siguientes ámbitos:

- Autorizaciones de uso y aprovechamiento de agua para actividades mineras.
- Prohibición de vertidos directos o indirectos de aguas contaminadas a cuerpos hídricos.
- Protección de cuerpos hídricos superficiales y subterráneos, riberas y zonas de protección hídrica.
- Prevención de la contaminación y control de la calidad del agua.
- Monitoreo de la calidad del agua superficial y subterránea antes, durante y después de la operación.
- Responsabilidad administrativa y reparación integral por daños al recurso hídrico.

Con la fusión institucional de las carteras de ambiente y energía, las competencias ambientales, hídricas y mineras se concentran actualmente en el Ministerio de Ambiente y Energía, debería facilitarse la articulación entre la normativa ambiental, hídrica y sectorial minera para el diseño, operación, cierre y postcierre de presas de relaves, debiendo el operador demostrar que su actividad no compromete la disponibilidad, cantidad y calidad del agua para los ecosistemas y las poblaciones locales.

3.5. Gestión del Riesgo

Ley Orgánica para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres[18] (LOGIRD) y su Reglamento General[19] constituyen la base jurídica específica para la gestión integral del riesgo de desastres. Su aplicación se complementa con el Manual del COE vigente y con los instrumentos técnicos emitidos por el ente rector, respetando la jerarquía normativa y las competencias de cada actor.

La gestión del riesgo asociado a escenarios de falla de presas de relaves se articula dentro del SNDGRD. La Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos ejerce las funciones que le correspondan conforme al marco jurídico vigente, sin sustituir las obligaciones técnicas, mineras, ambientales y de seguridad propias del titular u operador.

Para la distribución de responsabilidades se considerarán, entre otras, las disposiciones de la LOGIRD relativas a la organización del Sistema, las unidades de gestión de riesgos, la gestión territorial y la rectoría, complementadas por su Reglamento General y por el Manual del COE vigente.

Se indica que el titular u operador minero deberá cumplir las obligaciones de organización, prevención, preparación, contingencia, monitoreo, comunicación técnica y respuesta que le correspondan conforme a la normativa aplicable y articular sus instrumentos internos —incluidos el PPRE, el OMS, el MOMV, el Plan de Respuesta ante Niveles de Activación (TARP) y otros procedimientos de emergencia— con los mecanismos territoriales e institucionales de gestión del riesgo, sin transferir a la autoridad pública responsabilidades propias de la operación.

La Ley de Seguridad Pública y del Estado se considerará únicamente en aquello que resulte

15 La normativa ambiental secundaria aplicable deberá verificarse en cada evaluación para identificar los parámetros de calidad ambiental, límites permisibles, obligaciones de monitoreo, contingencia, manejo de residuos, cierre y postcierre que correspondan. Las referencias históricas o derogadas sólo se mantendrán cuando sean necesarias para explicar antecedentes administrativos y deberán identificarse expresamente como tales.

16 Publicada en el Registro Oficial Suplemento No. 305, del 6 de agosto de 2014.

17 Expedido mediante Decreto Ejecutivo No. 650, publicado en el Registro Oficial Suplemento No. 483, del 20 de abril de 2015.

18 Publicada en el Tercer Suplemento del Registro Oficial No. 488 de 30 de enero de 2024, con la fe de erratas publicada en el Suplemento del Registro Oficial No. 515 de 11 de marzo de 2024.

19 Expedido mediante Decreto Ejecutivo No. 394 y publicado en el Quinto Suplemento del Registro Oficial No. 646 de 18 de septiembre de 2024.

compatible y pertinente con el marco específico de la LOGIRD y las competencias vigentes. No se utiliza para desplazar las reglas especiales de gestión integral del riesgo de desastres establecidas por la LOGIRD y su Reglamento.

Los Gobiernos Autónomos Descentralizados ejercen las competencias que les atribuye la Constitución, la LOGIRD, el Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD) y demás normativa aplicable. La coordinación territorial debe integrar planificación, ordenamiento territorial, preparación, respuesta, continuidad de servicios y participación comunitaria, sin confundir competencias públicas con obligaciones del operador minero.

El COOTAD establece la gestión integral del riesgo en todas sus etapas, concebida como un proceso simultáneo, coordinado y vinculado con el ordenamiento territorial y la planificación del desarrollo a nivel local[20].



20 En este contexto, se impulsa la descentralización hacia los GAD, facultándolos para emitir ordenanzas técnicas orientadas a enfrentar distintas amenazas.

Amenazas

04

La amenaza territorial se define a la inundación por flujo de relaves que puede generarse aguas abajo como consecuencia de una liberación no controlada del material almacenado en una presa de relaves

El modo de falla se define al mecanismo que conduce a la liberación. Los desencadenantes pueden ser múltiples factores, de origen natural (sismos, precipitaciones extremas, condiciones geológicas), geotécnico (licuefacción, piping, inestabilidad de taludes), hidráulico (rebose, erosión, falla de drenajes) u operacional (mal balance hídrico, falla de instrumentación, errores de construcción) que afectan la integridad de la infraestructura de contención, se analizan como causas o condiciones del modo de falla.

A diferencia de las amenazas puramente naturales, la amenaza por flujo de relaves se caracteriza por: (i) la interacción sinérgica entre factores naturales y antrópicos; (ii) la posibilidad de fallas súbitas con alta energía destructiva; (iii) la persistencia de impactos ambientales y económicos a largo plazo[21]; y (iv) la influencia directa de la gestión, mantenimiento y gobernanza de la infraestructura en la probabilidad de ocurrencia.

Por tanto, la evaluación de la amenaza debe integrar la identificación sistemática de modos de falla creíbles, el análisis de los mecanismos desencadenantes y de su plausibilidad o probabilidad cuando exista un análisis formal sustentado y la modelación de escenarios de liberación y propagación del flujo. La vulnerabilidad del territorio aguas abajo se evalúa posteriormente como una dimensión independiente.

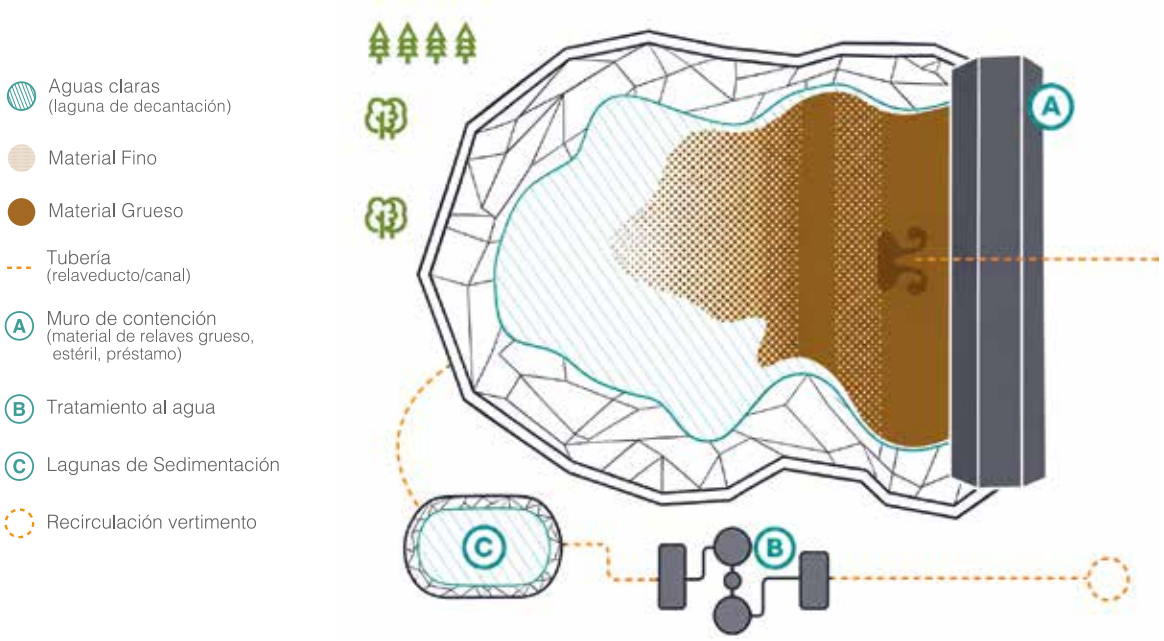


Figura 3. Esquema de una presa de relaves y estructuras relacionadas

Fuente: Ministerio de Minas y Energía de Colombia. (2021). Propuesta de lineamientos técnicos de política de buenas prácticas para estandarizar los procesos relacionados con presas de relaves.

21 Global Tailings Review. (2020). Global industry standard on tailings management. UNEP, PRI & ICMM.

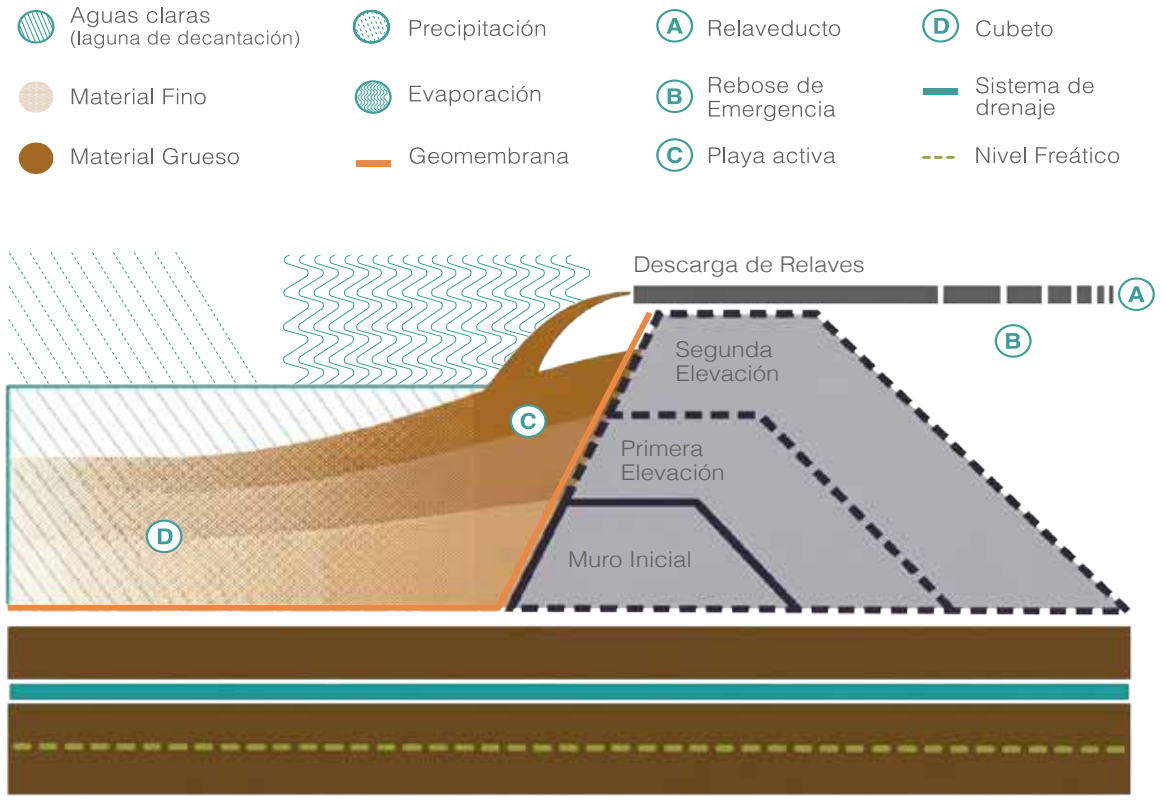


Figura 4. Perfil de una presa de relaves

Fuente: Ministerio de Minas y Energía de Colombia. (2021). Propuesta de lineamientos técnicos de política de buenas prácticas para estandarizar los procesos relacionados con presas de relaves.

4.1. Metodología para evaluación

4.1.1. Variables para la aproximación

La valoración de la amenaza se construye a partir de la integración de componentes que aportan información complementaria sobre el comportamiento potencial del evento. La configuración geomorfológica del valle permite identificar las condiciones del territorio que favorecen o desfavorecen la propagación del flujo, mientras que los modos de falla potenciales se asocian a las características estructurales, geotécnicas e hidráulicas de la presa.

Por su parte, las condiciones desencadenantes comprenden tanto factores externos, como eventos sísmicos o hidrometeorológicos, como factores internos vinculados a la operación de la presa, los cuales pueden activar o agravar los modos de falla.

A partir de la consideración conjunta de estos elementos se sustenta la estimación de la intensidad y magnitud potencial del evento, así como su extensión espacial, lo que permite una valoración de la amenaza basada en la interacción entre las condiciones de la infraestructura, los factores desencadenantes y las características del territorio[22].

22 International Organization for Standardization. (2018). ISO 31000: Risk management—Guidelines. ISO.

Por lo tanto, la amenaza se caracteriza de acuerdo con la siguiente figura.



Figura 5. Esquema de variables para la valoración de la amenaza

4.1.1.1. Configuración geomorfológica y favorabilidad del valle

Descripción

La identificación de la configuración geomorfológica y la favorabilidad del valle corresponden al análisis de las condiciones físicas del terreno que controlan el comportamiento del flujo en caso de una falla de la presa. Este proceso permite determinar cómo la forma del valle, la pendiente, el grado de confinamiento y la conectividad hidráulica influyen en la propagación, aceleración, disipación o concentración del material, definiendo así la capacidad del territorio para amplificar o atenuar los efectos del evento[23].

Se precisa que el criterio geomorfológico es preliminar y que su puntuación deberá verificarse contra la extensión e intensidad de los escenarios modelados.

Objetivo

Identificar y caracterizar las variables del territorio que definen la configuración geomorfológica del valle, tales como la forma del relieve, la pendiente longitudinal, el grado de confinamiento lateral y la conectividad hidráulica, con el fin de establecer cómo estas condiciones físicas controlan el comportamiento del flujo en un escenario de falla y definir los parámetros espaciales y puntos críticos que orientarán la modelación de flujos y el análisis posterior de la amenaza (Tabla 2).

23 Federal Emergency Management Agency. (2015). Federal guidelines for dam safety: Selecting and accommodating inflow design floods for dams (FEMA P-94). U.S. Department of Homeland Security.

Tabla 2. Identificación de la configuración geomorfológica y la favorabilidad del valle

Aspectos por considerar	Herramientas/ insumos a utilizar	Resultados / implicaciones para el análisis de la amenaza
• Características geomorfológicas del valle aguas abajo. • Pendientes y niveles de confinamiento natural. • Conectividad con red hidrográfica. • Condiciones hidrogeológicas locales. • Amenaza sísmica regional y efectos de amplificación local.	• Modelo Digital de Terreno (MDT). • Cartografía base actualizada. • Estudios topográficos e hidrológicos. • Estudios sísmicos regionales. • Información catastral y uso del suelo. • Inventarios ambientales. • Trabajo de campo y verificación territorial.	• Delimitación preliminar del área potencialmente afectable. • Identificación de rutas preferenciales de flujo. • Determinación de sectores críticos aguas abajo. • Priorización de escenarios de modelación. • Definición de puntos de análisis para tiempos de llegada y energía del flujo.

4.1.1.2. Identificación de modos de falla potencial

Descripción

La identificación de modos de falla potencial consiste en el análisis sistemático de las potenciales formas en que la presa de relaves puede perder su estabilidad estructural o su capacidad de contención. Este proceso evalúa tanto fallas de carácter geotécnico e hidráulico como deficiencias operacionales que puedan desencadenar una liberación no controlada de relaves. La identificación se realiza mediante revisión técnica documental, inspección de campo y aplicación de metodologías estructuradas como el Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), BowTie Analysis o Hazard and Operability Study (HAZOP), garantizando un análisis exhaustivo y trazable[24].

La identificación de modos de falla utilizará una lista mínima de verificación de mecanismos reconocidos, sin limitar el análisis de otros modos de falla creíbles sustentados técnicamente.



Objetivo

Determinar de manera estructurada y documentada los escenarios de falla potenciales asociados a la presa de relaves, estableciendo la base técnica para el análisis de condiciones desencadenantes, la modelación de escenarios y la posterior evaluación de la amenaza (Tabla 3).

24 International Commission on Large Dams. (2011). Tailings dams: Risk of dangerous occurrences—Lessons learnt from practical experiences. ICOLD.

Tabla 3. Identificación de modos de falla potencial

Aspectos por considerar	Herramientas por utilizar	Tipos de falla potencial
• Tipo de construcción (upstream, downstream, centerline). • Condiciones geotécnicas del cuerpo del dique y su fundación. • Sistema de manejo de aguas. • Historial de operación y recrecimientos. • Condiciones sísmicas y climáticas del sitio.	• FMEA para identificar los modos en que un componente, sistema o proceso puede fallar, analiza las causas raíz y evalúa los efectos o consecuencias de cada falla sobre el sistema completo. • HAZOP para identificar desviaciones de las variables de proceso (flujo, presión, temperatura, nivel) que puedan generar riesgos operacionales. • BowTie Analysis para la visualización de controles críticos. • Revisión de auditorías y reportes de inspección.	• Falla estática de taludes. • Licuefacción inducida por sismo. • Overtopping. • Erosión interna (piping). • Fallas operacionales críticas.

4.1.1.3. Análisis de condiciones desencadenantes

Descripción

El análisis de condiciones desencadenantes consiste en la identificación y evaluación de los factores naturales, estructurales y operacionales que pueden activar o acelerar los modos de falla previamente identificados. Esta etapa permite comprender bajo qué circunstancias específicas un escenario de falla puede materializarse, considerando tanto cargas externas, como sismos o precipitaciones extremas, así como condiciones internas, tales como incremento de presiones de poros, saturación excesiva o deficiencias en el sistema de drenaje y factores asociados a la gestión operativa. El análisis se enfoca en determinar relaciones causa – efecto y en identificar indicadores técnicos que permitan anticipar la evolución hacia una condición crítica[25].

Objetivo

Identificar y caracterizar los factores que pueden detonar o agravar los modos de falla potenciales, estableciendo los umbrales críticos, variables de monitoreo y condiciones de activación que orientarán la modelación de escenarios y la definición de mecanismos de alerta temprana. La clasificación de las condiciones desencadenantes se presenta en la Tabla 4.

Para cada modo de falla se establecerán variables observables, instrumento/fuente, valor esperado, umbral, nivel de acción, responsable y procedimiento de escalamiento, en correspondencia con el sistema de monitoreo y TARP.



25 a) International Commission on Large Dams. (2016). Dam safety management: Operational phase of the dam life cycle. ICOLD. b) Global Tailings Review. (2020). Global industry standard on tailings management. UNEP, PRI & ICMM.

Tabla 4. Clasificación de las condiciones desencadenantes

Tipo de desencadenante	Factores por identificar
Naturales	• Sismos (Aceleración Pico del Suelo[26] (PGA[27]), espectros de respuesta). • Precipitaciones extremas. • Crecidas extraordinarias. • Procesos de erosión natural.
Internas o estructurales	• Incremento de presiones de poros. • Saturación excesiva del depósito. • Obstrucción de drenajes. • Deterioro de estructuras hidráulicas.
Operacionales	• Manejo inadecuado del balance hídrico. • Recrecimientos fuera de especificación. • Falta de mantenimiento. • Gestión inadecuada de cambios.

En esta fase se determinan los umbrales críticos y los indicadores técnicos que podrían anticipar la ocurrencia del evento.

4.1.1.4. Evaluación de intensidad y magnitud potencial

Descripción

La evaluación de intensidad y magnitud potencial consiste en cuantificar, en términos físicos y dinámicos, las características del escenario de falla previamente identificado y condicionado. Esta etapa traduce los modos de falla y sus factores desencadenantes en parámetros medibles, tales como volumen potencial de relaves liberados, altura y velocidad del flujo, energía específica, duración del evento y tiempos estimados de llegada a puntos críticos aguas abajo. Para ello, se emplean herramientas de modelación como análisis de ruptura (dam-break), modelos hidrodinámicos bidimensionales y, cuando corresponda, simulaciones de flujo de detritos. Esta evaluación permite dimensionar la severidad del fenómeno y diferenciar escenarios según su capacidad de impacto[28].

Objetivo

Cuantificar las características físicas y dinámicas de los escenarios de falla potenciales, con el fin de estimar su nivel de severidad, sustentar la delimitación espacial de la amenaza y proporcionar insumos técnicos para la clasificación del nivel de amenaza y el diseño de medidas de reducción del riesgo y alerta (Tabla 5).

26 Es un parámetro que mide la aceleración máxima del terreno durante un terremoto. Se utiliza para evaluar la amenaza sísmica en un sitio y es un dato crítico para el diseño y la evaluación de la estabilidad de una presa de relaves.

27 En ingles es Peak Ground Acceleration.

28 a) U.S. Army Corps of Engineers. (2014). *HEC-RAS river analysis system hydraulic reference manual. Hydrologic Engineering Center. b) Federal Emergency Management Agency. (2013). Federal guidelines for dam safety: Emergency action planning for dams* (FEMA P-64).

Tabla 5. Evaluación de intensidad y magnitud potencial

Estimaciones	Herramientas por utilizar	Clasificación de la intensidad
• Volumen potencial de relaves liberados. • Altura inicial del flujo. • Velocidad estimada. • Energía del flujo. • Duración del evento. • Tiempo de llegada a puntos críticos.	• Modelación de ruptura (dam-break analysis). • Modelos hidrodinámicos bidimensionales. • Simulación de flujo de detritos en caso de relaves saturados.	• Profundidad del flujo. Producto altura × velocidad. • Energía específica.

4.1.1.5. Determinación de la extensión espacial

Descripción

La determinación de la extensión espacial consiste en delimitar, con base en los resultados de la modelación hidrodinámica y los análisis topográficos, el área potencialmente afectable por un escenario de falla de la presa de relaves. Esta etapa traduce los parámetros físicos del flujo, profundidad, velocidad, energía y tiempo de llegada, en representaciones cartográficas que permiten identificar trayectorias preferenciales, zonas de acumulación, sectores de confinamiento natural y puntos críticos donde podrían concentrarse mayores niveles de impacto. El análisis se apoya en Modelos Digitales de Terreno (MDT), cartografía base actualizada, información de uso de suelo y red hidrográfica, garantizando coherencia territorial y precisión espacial.

Cada escenario contará con una ficha que registre: volumen liberado, brecha, reología, profundidad, velocidad, tiempo de llegada, nivel máximo, incertidumbre y fuente/modelo.

La extensión espacial se sustentará prioritariamente en polígonos derivados de la modelación; cuando se requiera una puntuación ordinal, ésta se apoyará en métricas reproducibles, como área afectada, longitud aguas abajo y número de receptores o sectores alcanzados.

Objetivo

Delimitar de manera técnica y cartográfica el área máxima potencialmente afectable por cada escenario de falla potencial, identificando zonas de impacto diferencial que sirvan como base para la elaboración de mapas de amenaza, la planificación de evacuación y la priorización de medidas de reducción del riesgo (Tabla 6).

Tabla 6. Determinación de la extensión espacial

Aspectos por identificar	Herramientas por utilizar	Resultados
• Trayectorias preferenciales. • Zonas de acumulación. Sectores de mayor confinamiento. • Infraestructura crítica interceptada. • Centros poblados en zona de influencia.	• Modelo Digital de Terreno (MDT). • Cartografía base actualizada. • Información de uso de suelo. • Red hidrográfica.	• Área máxima de inundación. • Zona de impacto alto. • Zona de impacto moderado. • Zona de impacto bajo.

4.1.2. Valoración cualitativa de la amenaza

Descripción

La valoración cualitativa de la amenaza consiste en integrar los resultados del análisis de modos de falla, las condiciones desencadenantes, la evaluación de intensidad y la delimitación espacial, con el fin de asignar un nivel de amenaza a cada escenario modelado.



Esta etapa permite valorar no solo la magnitud del fenómeno, sino también su credibilidad o frecuencia estimada y el grado de incertidumbre asociado. Cuando la información técnica lo permite, puede aplicarse un enfoque probabilístico basado en frecuencias o análisis cuantitativos de riesgo; en ausencia de datos suficientes, se adoptará una clasificación cualitativa estructurada (por ejemplo, Alta, Media, Baja) sustentada en criterios técnicos previamente definidos y documentados. En ambos casos, el proceso debe garantizar transparencia metodológica y trazabilidad de los supuestos utilizados[29].

Objetivo

Integrar de manera sistemática la plausibilidad o frecuencia del escenario cuando sea técnicamente sustentable, junto con la intensidad y la extensión espacial modeladas, para asignar un nivel cualitativo de amenaza que apoye la elaboración de mapas, la priorización de intervenciones y la planificación del monitoreo y del Sistema de Alerta Temprana (SAT) (Tabla 7).

Las ponderaciones, dependencias entre variables y resultados del análisis de sensibilidad deberán justificarse. Cuando se emplee una suma simple de escalas, su resultado se tratará como un índice ordinal de priorización y no como una probabilidad física.

29 a) International Organization for Standardization. (2018). ISO 31000: Risk management—Guidelines. ISO. b) International Commission on Large Dams. (2011). Tailings dams: Risk of dangerous occurrences—Lessons learnt from practical experiences. ICOLD

Tabla 7. Valoración cualitativa de la amenaza

Aspectos por considerar	Herramientas por utilizar	Documentación
• Posibilidad del modo de falla. • Frecuencia estimada o categoría de probabilidad. • Intensidad modelada. • Extensión espacial. • Incertidumbre asociada.	• Cuando exista información suficiente, puede aplicarse un enfoque probabilístico. • En caso contrario, se utilizará una clasificación cualitativa estructurada (Alta, Media, Baja) basada en criterios técnicos predefinidos.	• Supuestos utilizados. • Nivel de confianza. • Fuentes de información. • Limitaciones del análisis.

El esquema metodológico descrito constituye un ciclo analítico que puede actualizarse conforme se disponga de nueva información técnica, cambios en la operación o revisiones independientes.

Este proceso permite:

- Sustentar técnicamente los mapas de amenaza.
- Aportar insumos para definir umbrales técnicos de monitoreo y criterios de escalamiento del SAT.
- Alimentar el análisis de vulnerabilidad.
- La clasificación obtenida permitirá priorizar intervenciones preventivas.

Con el propósito de facilitar la aplicación práctica de la metodología de evaluación de la amenaza, los seis pasos metodológicos descritos en el presente documento se traducen en un conjunto de instrumentos técnicos operativos estructurados en forma de listas de verificación (checklist).

La valoración ordinal es una herramienta de priorización. La delimitación de la amenaza territorial y las consecuencias deberá sustentarse, cuando aplique la normativa minera, en modelación o cálculos hidráulicos de los escenarios de rotura.

Estos instrumentos permiten sistematizar el proceso de análisis mediante la identificación ordenada de los aspectos críticos que deben ser considerados en cada etapa de la evaluación, desde la contextualización territorial hasta la clasificación final de la amenaza.

De esta manera, el uso del checklist facilita la verificación de información técnica relevante, asegura la trazabilidad del análisis y contribuye a estandarizar los criterios utilizados por los equipos técnicos encargados de evaluar las condiciones de amenazas asociadas a presas de relaves (Anexo 1).

4.2. Parametrización y criterios de valoración

Para la preparación de esta sección se ha utilizado como base los siguientes documentos técnicos:

Federal Emergency Management Agency. (2013). Federal guidelines for dam safety: Emergency action planning for dams (FEMA P-64).

U.S. Army Corps of Engineers. (2014). HEC-RAS river analysis system hydraulic reference manual.

International Commission on Large Dams. (2016). Dam safety management: Operational phase of the dam life cycle. ICOLD.

4.2.1. Configuración geomorfológica y favorabilidad del valle

La configuración geomorfológica del entorno se incorpora como un componente independiente

en la medida en que controla de forma directa la propagación, confinamiento, aceleración y disipación del flujo de relaves.

Este componente refleja las condiciones físicas del territorio sobre las cuales se desarrolla el evento, incluyendo el tipo de valle, la pendiente longitudinal, el grado de confinamiento lateral y la conectividad hidráulica.

Su inclusión garantiza que el análisis no se limite a las características de la estructura, sino que incorpore el comportamiento del flujo de relaves en el espacio territorial. Su valoración se presenta en la Tabla 8.

Tabla 8. Valoración de la amenaza por criterios geomorfológicos

Valor	Nivel	Criterios geomorfológicos
1	Muy baja	Valle amplio o abierto, con planicies de inundación desarrolladas. Pendientes bajas (<5%). Bajo confinamiento lateral. Alta capacidad de disipación de energía. Presencia de zonas de expansión lateral del flujo. Baja conectividad hidráulica.
2	Baja	Valle parcialmente abierto. Pendientes bajas a moderadas (5–10%). Confinamiento limitado. Presencia de algunas zonas de expansión. Conectividad hidráulica moderada. Flujo con tendencia a disiparse progresivamente.
3	Media	Valle con alternancia entre tramos confinados y abiertos. Pendientes moderadas (10–15%). Confinamiento variable. Presencia de zonas de canalización y disipación. Conectividad hidráulica continua. Comportamiento mixto del flujo.
4	Alta	Valle encajonado o semi-encajonado. Pendientes moderadas a altas (15–20%). Alto confinamiento lateral. Escasa capacidad de expansión. Alta conectividad hidráulica. Trayectoria definida del flujo. Tendencia a concentración y aceleración.
5	Muy alta	Valle estrecho, profundamente encajado (tipo cañón o quebrada). Pendientes altas (>20%). Confinamiento fuerte o total. Ausencia de zonas de disipación. Conectividad hidráulica directa aguas abajo. Alta canalización, aceleración y concentración del flujo.

4.2.2. Modos de falla potencial

Los modos de falla potenciales de la presa se identifican mediante el análisis técnico de su comportamiento estructural, considerando condiciones geotécnicas, hidráulicas y operacionales que pueden comprometer su estabilidad.

Por su parte, las condiciones desencadenantes permiten identificar los factores que pueden activar dichos modos de falla, considerando tanto variables externas, como sismos o precipitaciones extremas, como condiciones internas asociadas a la operación, tales como saturación, incremento de presiones de poros o deficiencias en el sistema de drenaje. Su valoración se presenta en la Tabla 9.

Tabla 9. Valoración de la amenaza por modos de falla

Valor	Nivel	Criterios técnicos
1	Muy baja	No se identifican modos de falla potenciales. Condiciones estructurales estables, sin evidencias de deterioro. Instrumentación consistente con comportamiento esperado. Sin antecedentes de anomalías.
2	Baja	Se identifican modos de falla teóricos, pero no existen condiciones actuales que los favorezcan. Estructura estable con márgenes adecuados de seguridad. Sin evidencias de comportamiento anómalo en monitoreo.

Valor	Nivel	Criterios técnicos
3	Media	Se identifican modos de falla posibles bajo ciertas condiciones (sísmicas, hidráulicas u operacionales). Existen algunas incertidumbres o limitaciones en la información. Se observan condiciones que requieren seguimiento.
4	Alta	Se identifican modos de falla probables asociados a condiciones actuales de la presa. Evidencias de comportamiento fuera de lo esperado (incremento de presiones de poros, deformaciones, filtraciones). Historial de observaciones relevantes o desviaciones operativas.
5	Muy alta	Se identifican modos de falla activos o altamente probables. Condiciones de inestabilidad evidentes o progresivas. Señales claras en instrumentación o inspección (movimientos, saturación crítica, deterioro estructural). Presencia de precursores de falla.

4.2.3. Condiciones desencadenantes

Las condiciones desencadenantes corresponden al conjunto de factores naturales, internos y operacionales que pueden activar o agravar los modos de falla previamente identificados. Este componente permite valorar el grado en que la presa se encuentra expuesta a cargas o condiciones capaces de llevar el sistema a un estado crítico, tales como eventos sísmicos, lluvias extremas, incremento de presiones de poros, saturación excesiva, obstrucción de drenajes, deterioro de estructuras hidráulicas o deficiencias en la gestión operativa.

Su incorporación es fundamental porque no basta con identificar que un modo de falla es técnicamente posible; es necesario analizar además bajo qué circunstancias concretas dicho modo de falla puede materializarse y con qué nivel de proximidad respecto a umbrales críticos de activación. De esta manera, este componente aporta la dimensión dinámica del análisis y fortalece la relación entre amenaza, monitoreo y sistemas de alerta temprana. Su valoración se presenta en la Tabla 10.

Tabla 10. Valoración de la amenaza por factores desencadenantes de falla

Valor	Nivel	Criterios técnicos
1	Muy baja	No se identifican condiciones activas que puedan detonar modos de falla. Variables controladas dentro de rangos de diseño. Sin aproximación a umbrales críticos. Condiciones hidráulicas, geotécnicas y operacionales estables.
2	Baja	Existen factores potenciales, pero se mantienen controlados y alejados de niveles críticos. Eventos externos (lluvias, sismos) dentro de rangos normales. Sistemas de drenaje y operación funcionando adecuadamente.
3	Media	Presencia de condiciones que podrían activar modos de falla bajo escenarios específicos. Aproximación a umbrales críticos en algunas variables (nivel freático, saturación, balance hídrico). Dependencia de condiciones externas moderadas (eventos climáticos o sísmicos).
4	Alta	Condición cercana a umbrales críticos o recurrentes. Evidencias de incremento de presiones de poros, saturación elevada, deficiencias en drenaje o manejo hidráulico. Alta sensibilidad a eventos externos (lluvias intensas, sismos moderados).
5	Muy alta	Condición de superación de umbrales críticos. Saturación excesiva, incremento de presiones de poros, drenajes ineficientes u obstruidos, overtopping inminente o en curso. Activación directa de modos de falla.

4.2.4. Intensidad y magnitud potencial

La intensidad o magnitud del evento corresponde a la severidad física del fenómeno y se determina a partir de la modelación de escenarios de ruptura, considerando parámetros como el volumen de relaves liberados, la profundidad del flujo, la velocidad, la energía específica y los tiempos de llegada. Finalmente, la extensión espacial refleja el alcance territorial del evento, delimitando el área potencialmente afectable y la magnitud de la superficie comprometida aguas abajo. Su valoración se presenta en la Tabla 11.

Tabla 11. Valoración de la amenaza por intensidad y magnitud

Valor	Nivel	Criterios técnicos
1	Muy baja	Volumen de liberación reducido. Profundidades bajas (<0.5 m). Velocidades bajas (<1 m/s). Energía específica baja. Flujo con limitada capacidad de arrastre y daño. Tiempos de llegada relativamente largos que permiten respuesta.
2	Baja	Volumen bajo a moderado. Profundidades entre 0.5 y 1.5 m. Velocidades entre 1 y 2 m/s. Energía limitada. Capacidad de daño localizada. Transporte de material fino. Tiempos de llegada manejables.
3	Media	Volumen moderado. Profundidades entre 1.5 y 3 m. Velocidades entre 2 y 4 m/s. Energía suficiente para generar daños estructurales parciales. Capacidad de arrastre de sedimentos y materiales. Tiempos de llegada que requieren alerta oportuna.
4	Alta	Volumen alto. Profundidades entre 3 y 5 m. Velocidades entre 4 y 6 m/s. Alta energía específica. Capacidad de destrucción significativa de infraestructura. Arrastre de bloques y estructuras. Tiempos de llegada cortos.
5	Muy alta	Volumen masivo. Profundidades >5 m. Velocidades >6 m/s. Muy alta energía específica. Capacidad de destrucción total. Flujo altamente erosivo y transportador. Tiempos de llegada muy cortos o súbitos.

4.2.5. Extensión espacial

La valoración de la extensión espacial se fundamenta en la delimitación cartográfica del área potencialmente afectable para cada escenario de falla, considerando la trayectoria del flujo de relaves, su propagación aguas abajo, la superficie comprometida y el número e importancia de los elementos expuestos interceptados. Este componente permite diferenciar la amplitud territorial del impacto y su capacidad de comprometer sectores críticos del territorio. Su valoración se presenta en la Tabla 12.

Tabla 12. Valoración de la amenaza por extensión espacial

Valor	Nivel	Criterios técnicos
1	Muy baja	El área potencialmente afectable es muy limitada y se restringe al entorno inmediato de la presa. No alcanza centros poblados ni infraestructura relevante. La propagación del flujo es corta y con escasa expansión lateral.
2	Baja	El flujo afecta un área localizada aguas abajo, con alcance restringido y baja intercepción de elementos expuestos. Puede comprometer infraestructura menor o sectores puntuales, pero sin propagación amplia.
3	Media	El flujo alcanza varios sectores aguas abajo y presenta una propagación continua a lo largo del cauce principal. Intercepta de manera parcial elementos expuestos, incluyendo infraestructura o asentamientos dispersos.
4	Alta	El área afectable es amplia y compromete varios sectores del territorio. El flujo intercepta centros poblados, infraestructura crítica, vías estratégicas o sistemas productivos. La propagación espacial es significativa y sostenida.

Valor	Nivel	Criterios técnicos
5	Muy alta	El área potencialmente afectable es muy extensa, con impacto sobre múltiples centros poblados, infraestructura crítica, servicios esenciales y receptores ambientales estratégicos. El flujo presenta alta continuidad y amplia cobertura territorial aguas abajo.

4.3. Integración del nivel de amenaza

Cada uno de los cinco componentes se valora mediante una escala cuasi-cuantitativa de cinco niveles, con valores comprendidos entre 1 y 5, donde 1 representa condiciones de muy baja incidencia en la generación o propagación de la amenaza y 5 condiciones de muy alta incidencia.

Esta escala permite estandarizar la valoración y facilitar la comparación entre escenarios, manteniendo al mismo tiempo la interpretación técnica de cada componente.

El índice de amenaza se calcula a través de una suma ponderada.

$$A = \sum_{i=1}^{5} w_i \cdot V_i$$

Donde:

- w_i= peso del componente.
- V_i= valor del componente (1 a 5).

La ponderación diferenciada permite corregir los componentes que más contribuyen a la pérdida de vidas.

Aplicando el Análisis de Decisión Multicriterio[30], se divide el índice en dos subgrupos:

- Grupo 1 (Propensión/credibilidad): *G, M y D*
- Grupo 2 (Severidad física): *I y E*

Para poblaciones aguas abajo, la severidad física (*I* y *E*) determina si hay tiempo de evacuar y si las viviendas serán destruidas. Si un flujo es de gran magnitud, aunque su credibilidad sea media, la amenaza es crítica.

Pesos:

- Grupo 1 (40 % total: 13.3 % c/u)
- Grupo 2 (60 % total: 30 % c/u)

Cálculo:

$$A = (G \times 0.133) + (M \times 0.133) + (D \times 0.133) + (I \times 0.30) + (E \times 0.30)$$

Donde:

- A = índice de amenaza.
- G = valoración de la configuración geomorfológica y favorabilidad del valle.
- M = valoración de modos de falla potenciales.
- D = valoración de las condiciones desencadenantes.
- I = valoración de la intensidad/magnitud del evento.
- E = valoración de la extensión espacial del impacto.

La suma ponderada de los cinco componentes evaluados genera un índice normalizado de 1 a 5.

Este índice sintetiza la interacción de los factores utilizados para caracterizar la amenaza sin perder la trazabilidad de cada componente. Cualquier ponderación distinta deberá justificarse, documentarse y someterse a análisis de sensibilidad.

30 Basado en OECD (Ed.). (2008). Handbook on constructing composite indicators: Methodology and user guide. https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2008/08/handbook-on-constructing-composite-indicators-methodology-and-user-guide_g1gh9301/9789264043466-en.pdf

Una vez calculado el índice de amenaza, este puede clasificarse en categorías cualitativas que faciliten su interpretación y aplicación para la gestión del riesgo. De manera referencial, los rangos se establecen en la Tabla 13.

Tabla 13. Rangos de valoración cualitativa de la amenaza

Rango	Nivel	Significado técnico
1.00 – 1.79	Muy baja	Condiciones asociadas al escenario con baja expresión relativa dentro del índice; la intensidad y extensión modeladas son limitadas respecto de los demás escenarios evaluados.
1.80 – 2.59	Baja	Condiciones de amenaza relativamente bajas; el escenario presenta intensidad o extensión reducida a moderada dentro del contexto evaluado.
2.60 – 3.39	Media	Condiciones intermedias de amenaza, con intensidad y extensión capaces de producir afectaciones relevantes en sectores del territorio modelado.
3.40 – 4.19	Alta	Condiciones altas de amenaza, con intensidad y/o extensión importantes y capacidad de producir daños severos en el territorio expuesto.
4.20 – 5.00	Muy alta	Condiciones críticas de amenaza dentro del método, con alta intensidad y amplia extensión espacial del flujo modelado y potencial de consecuencias severas.

La metodología diferenciará dos dimensiones: (i) la credibilidad o propensión del escenario de falla y (ii) la intensidad y extensión territorial del flujo. Su integración, cuando se requiera, se realizará mediante una regla explícita y validada, evitando presentar índices cualitativos como probabilidades.

Las categorías alta y muy alta se denominarán niveles cualitativos de las condiciones asociadas al escenario evaluado; el término probabilidad se reservará para análisis probabilísticos formalmente sustentados.

La clasificación obtenida permite elaborar mapas de amenaza y establecer prioridades de intervención preventiva. El índice de amenaza constituye un insumo para la priorización territorial y para el conocimiento del riesgo del SAT; no define por sí solo los estados de alerta, que dependen del monitoreo, el TARP, el escalamiento institucional y las competencias de la autoridad.

La metodología diferenciará expresamente peligro o modo de falla, escenario, plausibilidad o probabilidad, amenaza territorial, consecuencia y riesgo. Cuando se utilicen escalas cualitativas u ordinales, sus resultados se denominarán índices de priorización y no probabilidades de falla.

Se realizará una reevaluación integral cuando cambie titularidad, control societario u operador de la instalación. Los cambios de responsables técnicos requerirán transferencia documentada de conocimiento, entrega de expedientes, un periodo de transición proporcional a la criticidad y validación por la nueva persona responsable.

El carácter cuasi-cuantitativo del método garantiza que, si bien la valoración se apoya en criterios técnicos estructurados, esta mantiene la flexibilidad necesaria para incorporar el juicio experto, especialmente en contextos donde la información es limitada o presenta incertidumbre. En este sentido, el método no sustituye el análisis técnico detallado, sino que lo complementa, proporcionando una herramienta sistemática

para su integración y aplicación en la toma de decisiones.

Cada evaluación incluirá una matriz de incertidumbre con: fuente, tipo (epistémica/aleatoria si se desea), efecto sobre escenario, nivel de confianza, medida para reducirla y decisión conservadora adoptada.

Se mantendrá un repositorio maestro con control de versiones para diseño, as-built, Documento de Base de Diseño[31] (DBR)[32] o equivalente, Obras de Mitigación y Seguridad (OMS), Mapa de Obras de Mitigación y Vulnerabilidad (MOMV), PPRE, monitoreo, auditorías, revisiones, incidentes, cambios, planos, modelos y acciones.

4.4. Información técnica y herramientas de soporte

El análisis deberá desarrollarse siguiendo la secuencia metodológica, considerando la siguiente información y herramientas de apoyo:

4.4.1. Revisión documental y técnica

La revisión documental y técnica constituye una etapa fundamental del análisis de la amenaza, permite comprender las condiciones de diseño, construcción, operación y desempeño histórico de la presa de relaves. Esta fase implica el análisis detallado de los planos de diseño originales y sus actualizaciones, con el fin de verificar criterios estructurales, parámetros geotécnicos adoptados, capacidad hidráulica y supuestos técnicos considerados en el proyecto.

La revisión documental verificará el acto favorable aplicable y lo vinculará con la identificación de receptores hídricos, rutas de contaminación y escenarios de falla.

El registro documental incluirá: fase minera actual, instrumento de regularización ambiental aplicable, número/fecha/estado de autorización y correspondencia con actividades efectivamente ejecutadas.

Antes de iniciar la evaluación se verificará documentalmente: certificado de viabilidad técnica del depósito emitido por el Ministerio Sectorial y resolución administrativa de aprobación del proyecto de diseño antes de construcción, conforme corresponda.

Se verificará la notificación a la Autoridad Ambiental, evidencia de inspección in situ cuando corresponda, mecanismo de regularización definido, garantía actualizada y autorización sectorial para modificaciones del depósito.

La revisión se realizará mediante un checklist que contenga: título/concesión; autorización ambiental; acto de agua; EIA/PMA; garantía; auditorías/informes; informes semestrales de relavera; diseño/viabilidad; MOMV; registros de instrumentación; incidentes; modificaciones; contingencias; simulacros; planes de acción; cierre y postcierre.

La evaluación se actualizará cuando se presente alguno de los siguientes gatillos: aumento de capacidad y altura; cambio de método; modificación de drenajes; nueva población e infraestructura aguas abajo; cambio en manejo de agua; incidentes; nueva información geotécnica; y cambios regulatorios relevantes.

El análisis se sustentará en un modelo conceptual integrado del sitio (geología, geotecnia, hidrogeología, hidrología, sismicidad, clima y entorno social-ambiental), con control de versión y actualización cuando nueva información contradiga supuestos.

La gestión del cambio (GC[33]) deberá contemplar identificación, evaluación de riesgos, aprobación, comunicación, actualización documental y verificación posterior. Incluir cambios internos y externos.

31 Consolida todos los criterios, supuestos, parámetros geotécnicos e hidrológicos, cargas de diseño, y estándares de desempeño que rigen el proyecto de la instalación.

32 En ingles Design Basis Report (DBR).

33 En ingles Management of Change (MOC).

Solicitar un documento equivalente de base de diseño que consolide criterios, supuestos, cargas, parámetros, niveles de diseño, monitoreo y criterios de desempeño, aun cuando la denominación nacional sea distinta.

Se diferenciarán la inspección operativa, la auditoría del sistema de gestión, la revisión de seguridad de la instalación y la revisión independiente. Para cada una se definirá periodicidad, grado de independencia, alcance, productos y mecanismo de cierre de acciones.

La revisión independiente será proporcional a las consecuencias potenciales y considerará términos de referencia, competencias, conflictos de interés, acceso a información y trazabilidad de recomendaciones para el cierre.

Se deben examinar los reportes de auditoría interna y externa para identificar observaciones técnicas, recomendaciones pendientes y hallazgos críticos relacionados con la estabilidad, drenaje, instrumentación y gestión operativa.

Las fuentes se clasificarán separadamente en: auditorías de seguridad e ingeniería; auditoría ambiental de cumplimiento o informe ambiental de cumplimiento; informes de monitoreo; y planes de acción por incumplimientos.

La lista de documentos incluirá el informe ambiental de cumplimiento y/o auditoría ambiental de cumplimiento según corresponda, con fecha, periodo evaluado, estado de aprobación y observaciones pendientes.

El registro documental incluirá: planes de acción ambientales vigentes/cerrados, hallazgos, cronograma, evidencia de cierre y reincidencia; usarlo como señal de gestión deficiente cuando guarde relación causal con mecanismos de falla o consecuencias.

El historial de incidentes (incluyendo eventos menores), desviaciones operacionales, filtraciones, deformaciones o emergencias registradas; permite identificar patrones recurrentes y condiciones precursoras que podrían estar asociadas a modos de falla potenciales. En conjunto, esta revisión proporciona la base técnica necesaria para sustentar la identificación de escenarios de falla creíbles y garantizar la trazabilidad del análisis de la amenaza.

La revisión documental verificará, además: autorización administrativa ambiental vigente; pronunciamiento y acto de la Autoridad Única del Agua respecto de eventual afectación a aguas superficiales y subterráneas; y demás actos previos aplicables.

Se realizará una revisión acumulativa periódica de desviaciones que considere: construcción real, cambios operativos, recrecimientos, instrumentación, materiales, agua y cambios de diseño; determinar si requieren actualizar diseño, base de diseño, OMS o riesgo.

Se debe exigir cadena causal completa: condición inicial → mecanismo → progresión → liberación→ trayectoria → receptores → consecuencias. Evitar interpretar creíble como probable.



4.4.2. Evaluación de condicionantes externas

La evaluación de condiciones externas incluye estudios específicos que alimentan el análisis, se presentan en la Tabla 14.

Tabla 14. Estudios específicos para evaluación de condicionantes externas

Tipo de estudio	Alcance
Topográficos	• Genera modelos digitales de terreno (MDT). • Analiza pendientes y confinamiento natural. • Determinar rutas preferenciales de flujo. • Estimar volúmenes almacenados.
Hidrológicos	• Precipitación extrema. • Caudales máximos probables. • Hidrogramas de diseño. • Balance hídrico del depósito. • Análisis de variabilidad climática y escenarios futuros cuando corresponda.
Ambientales	• Sensibilidad ecológica aguas abajo. • Calidad de agua y suelo. • Identificación de receptores críticos. • Aportan variables para definir umbrales de alerta.
Hidráulicos	• Capacidad de vertederos. • Funcionamiento del sistema de decantación. • Drenaje superficial. • Escenarios de rebose.
Geotécnicos	• Estabilidad de taludes. • Parámetros de resistencia. • Susceptibilidad a licuefacción. • Condiciones de fundación. • Comportamiento bajo cargas estáticas y dinámicas.
Sísmicos	• Evaluación de amenaza sísmica regional. • Espectros de diseño. • Amplificación local y coeficientes de sitio. • Evaluación de estabilidad dinámica.

Cada producto técnico registrará su base normativa, periodicidad o disparador de actualización. Se actualizará ante cambios sustanciales de diseño, construcción, operación o condiciones aguas abajo.

El checklist de campo verificará la condición, capacidad y mantenimiento de drenajes y escorrentías de plantas de beneficio y su interacción hidráulica con la relavera.

Utilizar los eventos y parámetros hidrológicos definidos en el proyecto de diseño aprobado y sus actualizaciones, documentando escenarios de excedencia relevantes para el análisis de falla y rebalse.

Se definirá que para vida útil prolongada, recrecimientos, cierre/postcierre o cuencas sensibles se evalúen tendencias y escenarios de precipitación y temperatura pertinentes, documentando fuente, horizonte e incertidumbre. Mantenerlo como criterio técnico vigente y actualizar su fundamento si entra en vigor la reforma climática del COA.

Se utilizarán como fuentes de datos los monitoreos aprobados y límites aplicables para aire, suelo, ruido y agua, señalando que la evaluación de riesgo no reemplaza la evaluación de cumplimiento ambiental.

Como variable de cribado se considerará: presencia de sulfuros; potencial de generación de drenaje ácido; programa de predicción, prevención y manejo; y medidas del PMA. Utilizarla en consecuencias ambientales, no como modo estructural de rotura por sí sola.

4.4.3. Los modos de falla potenciales

La gestión del riesgo en presas de relaves exige la aplicación de metodologías estructuradas que permitan identificar, analizar y controlar los escenarios de falla potencial desde una perspectiva técnica, operativa y organizacional.

Dada la complejidad de estas infraestructuras, que integran elementos geotécnicos, hidráulicos, ambientales y de gestión, el análisis del riesgo no puede limitarse a evaluaciones estáticas de estabilidad, sino que debe incorporar herramientas avanzadas que consideren la dinámica operativa, la gestión institucional y la interacción entre causas técnicas y consecuencias territoriales.

Se utilizará el Sistema Único de Información Ambiental (SUIA) como fuente primaria para verificar autorizaciones y estado del trámite cuando esté disponible, complementado con resoluciones y expedientes oficiales.

La identificación de modos de falla constituye el núcleo del análisis de amenaza. Un modo de falla corresponde a la forma específica en que la presa puede perder su estabilidad estructural o funcionalidad de contención.

Los principales grupos de modos de falla considerados[34] se relacionan en la Tabla 15.

Tabla 15. Relación modo de falla y sus causa-origen

Tipo de Falla	Descripción	Causa/origen
Falla estática	Ocurre cuando el equilibrio resistente del dique es superado bajo condiciones normales de carga.	• Incremento sostenido de presiones de poros. • Saturación excesiva del cuerpo del dique. • Pérdida de resistencia al corte. Debilitamiento progresivo de fundación. • Geometrías inadecuadas.

34 a) International Commission on Large Dams. (2011). Tailings dams: Risk of dangerous occurrences—Lessons learnt from practical experiences. ICOLD. b) Rico, M., Benito, G., Díez-Herrero, A., & Pereira, H. G. (2008). Reported tailings dam failures: A review of the European incidents in the worldwide context. Journal of Hazardous Materials, 152(2), 846–852. c) United Nations Environment Programme. (2017). Mine tailings storage: Safety is no accident. UNEP. d) Global Tailings Review. (2020). Global industry standard on tailings management. UNEP, PRI & ICMM.

Tipo de Falla	Descripción	Causa/origen
Falla sísmica	Se produce ante cargas dinámicas generadas por un evento sísmico. En el contexto ecuatoriano, dada la actividad tectónica, este modo de falla debe analizarse con especial rigor mediante la evaluación de la amenaza sísmica específica del sitio.	Licuefacción de relaves saturados. Deformaciones permanentes. Deslizamiento del talud aguas abajo. Pérdida súbita de estabilidad global.
Overtopping o fallas hidráulicas	El overtopping corresponde al rebose del agua almacenada por encima del coronamiento de la presa, iniciando erosión progresiva. El overtopping es uno de los mecanismos más frecuentes en fallas históricas de presas de relaves y suele evolucionar rápidamente hacia ruptura completa.	• Eventos de lluvia extrema superiores al diseño. • Insuficiencia de freeboard. • Falla del sistema de drenaje superficial. • Colapso o bloqueo del decant. • Errores en el balance hídrico operacional.
Filtraciones crónicas y erosión interna	Las filtraciones crónicas y la erosión interna corresponden a procesos progresivos en los que el flujo no controlado de agua a través del cuerpo del dique o su fundación genera el arrastre de partículas finas (piping), debilitando gradualmente la estructura. Aunque pueden desarrollarse de manera silenciosa y prolongada, estas condiciones incrementan las presiones de poros y reducen la resistencia del material, pudiendo evolucionar hacia una falla súbita si no son detectadas y controladas oportunamente mediante sistemas adecuados de drenaje, monitoreo e inspección técnica.	• Aumento de presión intersticial. • Arrastre de finos (piping). Formación de cavidades internas. • Debilitamiento estructural progresivo. Las señales precursoras incluyen: • Surgencias nuevas en talud aguas abajo. • Aumento de turbidez. • Incremento sostenido de caudales de drenaje. • Humedades anómalas.
Fallas operacionales	Las fallas operacionales son aquellas asociadas a deficiencias en la gestión, control y mantenimiento de la presa de relaves durante su fase de operación. Incluyen errores en el manejo del balance hídrico, recrecimientos fuera de especificación técnica, mantenimiento inadecuado de sistemas de drenaje o vertederos, e interpretación insuficiente de datos de monitoreo. Aunque no siempre derivan de fenómenos naturales, pueden generar condiciones críticas que desencadenen o agraven otros modos de falla, constituyéndose en un factor determinante en la seguridad integral de la instalación.	• Se relacionan con deficiencias en: • Gestión del agua. • Control de recrecimientos. • Mantenimiento de obras hidráulicas. • Monitoreo e interpretación de instrumentación. • Gestión de cambios (GC).

4.4.4. Análisis de modos de falla

4.4.4.1. Análisis de modos y efectos de falla en presas de relaves (FMEA)

El Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA)[35] es una herramienta sistemática que identifica las posibles formas en que un componente o sistema puede fallar, analiza sus causas y evalúa las consecuencias asociadas. En presas de relaves, la FMEA se aplica descomponiendo la infraestructura en sus principales subsistemas (Ver Tabla 16).

Se ampliará la tabla con: causa, indicador precursor, control preventivo, control mitigador, indicador de desempeño, responsable y evidencia de verificación.

Tabla 16. Subsistemas para la aplicación de FMEA

Subsistema	Aspectos por identificar por subsistema
• Cuerpo del dique. • Fundación. • Sistema de drenaje interno. • Obras hidráulicas superficiales. • Sistema de monitoreo e instrumentación.	• Modo de falla potencial. • Causa técnica u operacional. • Efecto inmediato y efecto final. • Nivel de severidad. • Plausibilidad o probabilidad de ocurrencia, esta última sólo cuando exista análisis formal sustentado. • Capacidad de detección.

La combinación de estos factores permite establecer un índice de criticidad, que orienta la priorización de medidas preventivas y escenarios a modelar. En el análisis de riesgo de presas de relaves, la FMEA es especialmente útil para identificar modos de falla estructural, licuefacción, erosión interna y fallas hidráulicas, proporcionando una base técnica sólida para la caracterización de la amenaza; puede complementarse con el Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad (FMECA) para la jerarquización de los resultados.

4.4.4.2. Estudio de peligros y operabilidad adaptado a relaves (HAZOP)

El Estudio de Peligros y Operabilidad (HAZOP)[36] es una metodología estructurada que analiza desviaciones respecto a las condiciones normales de operación, mediante el uso de palabras guía que permiten identificar posibles fallas y sus consecuencias. En el contexto de presas de relaves, el HAZOP se adapta para examinar procesos clave como:

- Manejo y balance hídrico del depósito.
- Funcionamiento del sistema de decantación.
- Drenajes internos y superficiales.
- Control de niveles de agua y freeboard.
- Recrecimientos progresivos del dique.

El análisis se desarrolla evaluando desviaciones tales como: “más agua”, “menos drenaje”, “flujo invertido”, “nivel excesivo”, “ausencia de monitoreo”, entre otras. Cada desviación se examina identificando

35 a) Lees, F. P. (2012). *Lees' loss prevention in the process industries: Hazard identification, assessment and control* (4th ed.). b) Butterworth-Heinemann. International Organization for Standardization. (2018). *ISO 31000: Risk management—Guidelines*. ISO.

36 Kletz, T. (2001). *HAZOP and HAZAN: Identifying and assessing process industry hazards* (4th ed.). Institution of Chemical Engineers.

sus causas, consecuencias y medidas preventivas existentes. El HAZOP resulta particularmente útil para anticipar escenarios de overtopping, sobrepresión interna o fallas asociadas a errores operacionales. Además, facilita la identificación de umbrales críticos que pueden incorporarse posteriormente al Sistema de Alerta Temprana.

El alcance territorial se mantendrá centrado en la propagación del flujo, pero incluirá una prueba de exclusión documentada para otros escenarios creíbles con consecuencias fuera del sitio (p. ej. tuberías, estructuras auxiliares, deformaciones con afectación externa).

4.4.4.3. Metodología BowTie

La metodología BowTie es una herramienta gráfica que integra de manera visual las causas y consecuencias de un evento central crítico[37], permitiendo comprender la cadena completa de riesgo.

Como productos mínimos se obtendrán: área afectada, tiempo de llegada, profundidad, velocidad, duración de inundación, espesor/profundidad de deposición; se debe identificar incertidumbre de cada variable.

En el caso de presas de relaves, el evento central suele definirse como la "ruptura de la presa" o la "liberación no controlada de relaves". El diagrama se estructura en dos partes:

- Lado izquierdo: identifica las causas y mecanismos que pueden conducir al evento (sismo, sobrecarga hidráulica, erosión interna y fallas operacionales).
- Lado derecho: describe las consecuencias potenciales (inundación, pérdida de vidas, daño ambiental e interrupción económica).

Entre las causas y el evento central se ubican las barreras preventivas (monitoreo, drenajes adecuados, controles operativos), y entre el evento y las consecuencias se ubican las barreras de mitigación (planes de emergencia, rutas de evacuación, SAT). A continuación, se presenta un resumen de las principales herramientas de análisis.

Tabla 17. Resumen de herramientas de análisis

Metodología	Descripción técnica	Alcance en el análisis de amenaza	Resultados esperados en función de la amenaza
FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)	Herramienta sistemática que identifica modos de falla potenciales, sus causas, efectos y nivel de criticidad mediante la evaluación de severidad, ocurrencia y detectabilidad (RPN – Risk Priority Number).	Permite descomponer la presa de relaves en componentes críticos (dique, fundación, sistema hidráulico, drenajes, instrumentación) e identificar fallas estructurales, hidráulicas y operacionales. Se aplica en fases de diseño, operación y revisión periódica.	• Lista estructurada de modos de falla posibles. • Identificación de causas raíz. • Priorización de escenarios según criticidad. • Determinación preliminar de escenarios que deben modelarse. • Base técnica para clasificación cualitativa o probabilística de amenaza.

37 Reason, J. (1997). *Managing the risks of organizational accidents*. Ashgate.

Metodología	Descripción técnica	Alcance en el análisis de amenaza	Resultados esperados en función de la amenaza
HAZOP (Hazard and Operability Study)	Metodología estructurada que examina desviaciones respecto a condiciones normales de operación mediante palabras guía (más, menos, no, inverso, etc.), identificando causas y consecuencias de dichas desviaciones.	Útil para analizar procesos dinámicos como manejo de agua, balance hídrico, funcionamiento de decants, bombeo y recrecimientos. Permite detectar situaciones operacionales que podrían desencadenar overtopping, sobrepresiones o inestabilidad.	• Identificación de desviaciones críticas en operación. • Detección de fallas hidráulicas potenciales. • Definición de umbrales operativos y condiciones desencadenantes. • Fortalecimiento de controles preventivos en el sistema de gestión.
BowTie Analysis	Herramienta gráfica que representa un evento central (p. ej., ruptura de presa) y visualiza de manera estructurada las causas (lado izquierdo) y consecuencias (lado derecho), junto con las barreras preventivas y mitigadoras.	Integra modos de falla identificados (FMEA/HAZOP) en un esquema visual que conecta causas técnicas, factores operacionales y consecuencias territoriales. Es especialmente útil para comunicar escenarios de amenaza a tomadores de decisión.	Visualización clara de cadenas causales. Identificación de barreras críticas de control. Relación directa entre amenaza y consecuencias aguas abajo. Insumo para diseño de SAT y planes de respuesta.

La metodología BowTie permite visualizar claramente la relación entre amenaza, vulnerabilidad y capacidad de respuesta, facilitando la comunicación técnica con autoridades y tomadores de decisión. HAZOP complementa la identificación de desviaciones operacionales; no sustituye análisis geotécnicos, hidráulicos, sísmicos ni de estabilidad exigidos por la normativa.

4.4.5. Metodologías avanzadas de análisis aplicadas a presas de relaves

Las metodologías avanzadas presentadas en esta sección permiten complementar el análisis tradicional de estabilidad, fortaleciendo la identificación de modos de falla, la gestión prospectiva y la toma de decisiones basada en evidencia.

Las metodologías y herramientas se acompañarán de una tabla de estatus de uso que distinga: obligatorio por normativa, recomendado por Guía y complementario internacional, con su finalidad y producto esperado.

Su aplicación contribuye a reducir el riesgo de ocurrencia de eventos críticos y a mitigar sus consecuencias potenciales, alineándose con estándares internacionales de seguridad y gobernanza en instalaciones de relaves (Tabla 18).

Tabla 18. Metodologías avanzadas de análisis aplicadas a presas de relaves

Metodología	Descripción técnica	Proceso metodológico
Gestión de Cambios (GC)	La Gestión de Cambios (Management of Change – MOC) es una metodología orientada a identificar, evaluar y controlar los riesgos asociados a modificaciones en el diseño, operación o contexto de una presa de relaves. En estas infraestructuras, los cambios pueden incluir recrecimientos del dique, variaciones en la tasa de producción, modificaciones en la granulometría del relave, ajustes en el sistema de manejo de agua o incorporación de nuevas tecnologías de monitoreo. La GC debe aplicarse cada vez que se introduzca una alteración técnica, organizacional o ambiental que pueda afectar la estabilidad o el desempeño hidráulico de la instalación. La GC fortalece la prevención de riesgos emergentes y evita que modificaciones progresivas generen condiciones críticas no evaluadas oportunamente.	• Identificación formal del cambio propuesto. • Evaluación técnica de impactos potenciales en estabilidad, drenaje y capacidad hidráulica. • Análisis de riesgos asociados al cambio. • Definición de medidas de control y validación técnica independiente. • Documentación y actualización de procedimientos operativos.
Gestión Integral de Riesgos Empresariales aplicada a presas de relaves (ERM)	La Gestión Integral de Riesgos Empresariales (Enterprise Risk Management – ERM) amplía el enfoque técnico del riesgo, integrando dimensiones estratégicas, financieras, reputacionales, legales y ambientales. El ERM conecta el análisis técnico de estabilidad con la sostenibilidad institucional y la responsabilidad social. De esta manera, la gestión del riesgo de presas de relaves deja de ser un ejercicio exclusivamente ingenieril y se convierte en un componente estratégico de la gestión organizacional.	En el ámbito de presas de relaves, el ERM permite incorporar la gestión del riesgo de falla dentro del sistema general de gobernanza corporativa, asegurando que: • La alta dirección tenga conocimiento explícito de los riesgos críticos. • Existan responsabilidades claras en la toma de decisiones. • Se asignen recursos adecuados para monitoreo y mantenimiento. • Se establezcan mecanismos de auditoría independiente. Se mantenga transparencia con autoridades y comunidades.
La aplicación integrada de GC, HAZOP, FMEA, BowTie y ERM permite abordar el riesgo en presas de relaves desde múltiples niveles: • Técnico-estructural. • Operacional. • Organizacional. • Territorial.		

Este enfoque multidimensional fortalece la prevención, mejora la capacidad de detección temprana y contribuye a una gestión del riesgo coherente con estándares internacionales de seguridad y gobernanza.

4.5. Elaboración de mapas de amenaza

La fase final del análisis consiste en traducir los escenarios de falla en representaciones espaciales que permitan:

- Visualizar la extensión del flujo.
- Estimar profundidades máximas.
- Calcular velocidades.
- Determinar tiempos de llegada.
- Clasificar niveles de amenaza.

La modelación puede realizarse mediante:

- Análisis de ruptura (dam break).
- Modelos hidrodinámicos bidimensionales.
- Simulación de flujo de detritos cuando corresponda.

Los mapas deberán incluir:

- Escenario crítico (peor caso posible).
- Escenario intermedio.
- Escenario probable.

El análisis y caracterización de la amenaza no es un ejercicio aislado. Constituye la base técnica para:

Se definirá un estándar mínimo de salida cartográfica: escenario, extensión, profundidad, velocidad, tiempo de llegada, nivel máximo, elementos críticos, escala, sistema de referencia cartográfica, fecha, versión, incertidumbre y responsable técnico.

- El análisis de vulnerabilidad.
- La estimación del riesgo.
- El diseño del Sistema de Alerta Temprana.
- La planificación de evacuación comunitaria.
- Lo presentado en este capítulo debe ser aplicado con rigor técnico, sustentado en información verificable y validado por especialistas en geotecnia, hidráulica y gestión del riesgo.

A lo largo del tiempo, y dependiendo del campo de análisis en el que se discuta, diversas visiones y acepciones de vulnerabilidad se han utilizado. Por ejemplo, en campos como el derecho, la seguridad alimentaria, la macroeconomía, la medicina y la gestión de riesgo de desastres se definió el término vulnerabilidad y en cada una de ellas ha tenido su evolución.

El punto en el que todos los campos se ponen de acuerdo es que el uso del término vulnerabilidad adquiere sentido en relación con la probabilidad de verse envuelto en eventos potencialmente dañinos o peligrosos. Por lo que la vulnerabilidad está estrechamente relacionada con una amenaza.

La normativa ecuatoriana define a la vulnerabilidad como "las características y circunstancias de las comunidades, territorios o infraestructura que los hace susceptibles a los efectos dañinos de un evento adverso. Estas características y circunstancias pueden ser físicas, económicas, culturales, sociales, entre otras."[38]

En base a esta definición la vulnerabilidad describe características y circunstancias de susceptibilidad.

La exposición identifica la localización de personas, bienes y áreas dentro de zonas amenazadas. Así que los elementos de interés o elementos expuestos tendrán un nivel de vulnerabilidad con respecto a la amenaza.

38 Ley Orgánica para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres. 2024. Ecuador.



Vulnerabilidad

05

5.1. Análisis de los componentes

El análisis de la vulnerabilidad se debe realizar sobre los elementos que queremos proteger, es decir, sobre los elementos expuestos. Para este análisis se debe considerar todas esas condiciones, características o circunstancias propias de los elementos expuestos. Cuando estas condiciones, características o circunstancias son agrupadas o clasificadas se las denomina componentes de la vulnerabilidad.

Las componentes de la vulnerabilidad se las puede presentar de diferentes formas, pero para el análisis de vulnerabilidad frente a la falla de la presa de relaves se ha propuesto presentarlas de la siguiente manera:

- Vulnerabilidad Física
- Vulnerabilidad Social
- Vulnerabilidad Económica
- Vulnerabilidad Ambiental

A continuación, se explicará cada una de ellas en base al análisis de los elementos expuestos externos a las presas de relaves.

5.1.1. Vulnerabilidad física

Este componente se refiere a las condiciones de ubicación (factor geográfico) del elemento expuesto y a sus características constructivas (factor físico), desde el diseño hasta su funcionamiento.

Si bien en la vulnerabilidad física hablamos de dos tipos de condiciones, la ubicación y la parte constructiva, en lo referente a un posible colapso o fallo de la presa de relaves, cualquier elemento que esté dentro de la zona de influencia del paso del flujo de relaves y agua se verá afectado. Es decir, la ubicación será la característica predominante a la hora de medir la vulnerabilidad física. Mientras que, el sistema constructivo (diseño, construcción y funcionamiento) pasa a un segundo plano, a excepción de que se haya incluido medidas de protección o mitigación de los elementos expuestos.

La vulnerabilidad física se concentrará en la fragilidad o resistencia de los elementos expuestos, considerando materiales, tipología constructiva, número de pisos, estado de conservación, protección y funcionalidad. La exposición espacial y la intensidad recibida se analizarán por separado para evitar duplicidades.

5.1.2. Vulnerabilidad social

La vulnerabilidad social de las comunidades ubicada aguas abajo de las presas de relaves se define como el conjunto de condiciones sociales, económicas, organizativas y culturales que incrementan su fragilidad ante una eventual inundación por flujo de relaves, y que condicionan su capacidad para anticipar, enfrentar y recuperarse del impacto.

Esta vulnerabilidad no es estática; depende de la interacción entre las características de la comunidad y el contexto territorial, institucional y productivo en el que se inserta. Entre los factores que la determinan se incluyen: el nivel de organización y cohesión social, la disponibilidad y calidad de la información sobre el riesgo, el grado de confianza en las instituciones y en el operador minero, la existencia de planes de contingencia y la participación en ejercicios de simulacro, así como las condiciones de acceso a servicios básicos y la dependencia económica de la actividad minera.

En la vulnerabilidad social se debe retirar los indicadores que midan capacidad de respuesta y organización operativa y evaluarlos sólo en capacidad. Se debe mantener en la vulnerabilidad social las condiciones estructurales de susceptibilidad.

5.1.3. Vulnerabilidad económica

La vulnerabilidad económica corresponde a las condiciones que hacen susceptibles a los activos productivos, las fuentes de ingreso y los medios de vida a sufrir daños o interrupciones ante una inundación por flujo de relaves. Se analizarán la estructura y dependencia productiva, el empleo, la pobreza y otras condiciones de fragilidad

económica, evitando incorporar nuevamente variables que hayan sido clasificadas como capacidad de afrontamiento.

Esta vulnerabilidad se expresa en dos dimensiones interrelacionadas: (i) la vulnerabilidad estructural, referida a la fragilidad de la base productiva local (actividades económicas predominantes, infraestructura productiva, cadenas de valor y mercados); y (ii) la vulnerabilidad financiera, referida a la capacidad de los hogares y las empresas para hacer frente a pérdidas inmediatas (acceso a ahorros, seguros, créditos, redes de apoyo y transferencias estatales).

Para evitar doble contabilización, una misma variable no podrá puntuarse simultáneamente como vulnerabilidad y como capacidad. Los recursos, apoyos, seguros, redes y mecanismos de respuesta se registrarán en el componente de capacidad de afrontamiento.

En el contexto de las comunidades mineras, un factor crítico es la dependencia económica de la actividad minera (empleo directo, contratos de servicios, obras comunitarias), que puede generar una relación de asimetría con el operador y desincentivar la participación en acciones de gestión del riesgo.

5.1.4. Vulnerabilidad ambiental

Se define como la susceptibilidad de los sistemas naturales (ecosistemas, suelos, cuerpos de agua, biodiversidad) y de los servicios ecosistémicos que estos proveen a sufrir daños o alteraciones como consecuencia de un evento peligroso, así como su capacidad para recuperar sus funciones y estructura después del impacto.

En el caso de las comunidades ubicadas aguas abajo de presas de relaves, la vulnerabilidad ambiental incluye la fragilidad de los ecosistemas ribereños y aluviales ante la llegada de un flujo de relaves, que puede generar contaminación química (metales pesados, reactivos), sedimentación masiva, alteración de cauces y pérdida de la capacidad productiva de suelos y cuerpos de agua.

La vulnerabilidad ambiental se analizará respecto de las consecuencias agudas asociadas al escenario de falla. La metodología no constituye una evaluación ambiental crónica independiente ni reemplaza los instrumentos de regularización y control ambiental.

Se utilizarán los resultados de monitoreo de flora y fauna e indicadores ecológicos como insumos para caracterizar receptores ambientales y consecuencias potenciales, evitando convertir el cumplimiento ambiental en una puntuación de vulnerabilidad.

Se diferenciarán la sensibilidad o vulnerabilidad del receptor, la presión o estado ambiental y el cumplimiento del operador; cada dimensión tendrá indicadores y fuentes de información propios.

Esta vulnerabilidad se ve agravada por prácticas de gestión inadecuadas de los recursos naturales (deforestación, ocupación de cauces, sobreexplotación de acuíferos) y por la degradación preexistente de los ecosistemas, que reduce su capacidad de amortiguamiento frente al impacto.

5.2. Proceso metodológico para la evaluación de la vulnerabilidad

A continuación, se presenta el proceso metodológico para el análisis y evaluación de la vulnerabilidad de los elementos expuestos aguas abajo de las presas de relaves.

5.2.1. Metodología heurística cuasi-cuantitativa

Debido a la complejidad y a la gran cantidad de información a detalle que se requiere para calcular la vulnerabilidad mediante métodos matemáticos y estadísticos, para el ejercicio se ha seleccionado una metodología heurística.

Los métodos heurísticos son generalmente técnicas basadas en la experiencia que facilitan la

resolución de problemas y superan muchas deficiencias de las técnicas de optimización tradicionales. Normalmente, un método heurístico se utiliza para encontrar rápidamente una solución que se espera sea cercana a la óptima.

Esta metodología heurística consistirá en proceso cuasi-cuantitativo a través de matrices de factores de vulnerabilidad con ponderaciones basadas en experiencias similares. Por lo que cada tipo de vulnerabilidad tendrá unos componentes que serán medidos a través de indicadores, estos serán clasificados en una escala para luego ser ponderados[39] dentro del tipo de vulnerabilidad.

Aunque el método desarrollado es de carácter cuasi-cuantitativo, en él se utilizan, obviamente, procedimientos cualitativos, por lo que se propone una clasificación para determinar, cuantitativamente, el comportamiento de los componentes y su influencia en el cálculo de la vulnerabilidad.

En primer término, para cada componente se seleccionarán indicadores que describan la susceptibilidad o fragilidad de los elementos expuestos[40].

Cada componente (*VF, VS, VE y VA*) se calculará internamente con sus factores (F_1, F_2, ..., F_n), valorados de 1 a 5, como se presenta en la siguiente formula.

$$\mathrm{V}_{\mathrm{Componente}} = \frac{F_1 + F_2 + F_3 + \cdots + F_\mathrm{n}}{\mathrm{n}}$$

Donde:

F_i = valoración del factor (escala 1 a 5)

n = número de factores del componente

Si se aplican ponderaciones diferenciadas, se utilizará la siguiente expresión:

$$V_{\mathrm{Componente}} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(\mathrm{w}_i \cdot \mathrm{F}_i)}{\sum_{i=1}^{n} \mathrm{w}_i}$$

Donde:

w_i = peso asignado al factor

Se debe tener documentando la justificación técnica de cada peso y verificando su sensibilidad.

En cada uno de los componentes de la vulnerabilidad, se han escogido los factores principales (Fn) de la vulnerabilidad (basados en la estadística de componentes principales).

La selección y ponderación de indicadores se sustentará a partir de juicio experto estructurado y con evidencia disponible. Solo se hará referencia a análisis de componentes principales u otra técnica estadística cuando esta haya sido efectivamente aplicada y documentada; en caso contrario, se utilizará un protocolo de validación y análisis de sensibilidad de las ponderaciones heurísticas.

Dado que el objetivo principal de la gestión del riesgo de desastres es la protección de la vida humana, el índice de vulnerabilidad pondera las dimensiones que más influyen en la pérdida de vidas y la capacidad de supervivencia.

Se propone la siguiente ponderación[41]:

- Vulnerabilidad Física (*VF*) = 30%
- Vulnerabilidad Social (*VS*) = 30%
- Vulnerabilidad Económica (*VE*) = 20%
- Vulnerabilidad Ambiental (*VA*) = 20%

Esta ponderación basa su prioridad a la supervivencia (Física + Social = 60%) debido a lo siguiente:

- La Vulnerabilidad Física (*VF*) determina si las estructuras colapsarán ante el im-

39 Basado en NU. CEPAL. (2014). Manual para la evaluación de desastres. https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/df2fa48c-418c-4b2a-957c-0bdd97181d27/content

40 La exposición espacial se tratará por separado mediante la modelación y el inventario georreferenciado de receptores, evitando contabilizar dos veces la localización dentro del análisis.

41 Basado en Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9–26. https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I

pacto del flujo. Si la vivienda colapsa, la probabilidad de muerte es altísima.

- La Vulnerabilidad Social (*VS*) determina si la población tiene las capacidades (movilidad, conocimiento, redes de apoyo, etc.) para evacuar a tiempo, autoprotegerse y acceder a ayuda. Una población físicamente frágil, pero socialmente muy organizada puede sobrevivir mejor que una población con casas de concreto, pero sin sistemas de alerta.

La recuperación (Económica + Ambiental = 40%) se la asume como prioridad secundaria porque la Vulnerabilidad Económica (*VE*) y la Ambiental (*VA*) rara vez son la causa directa de muertes inmediatas durante la emergencia (aunque la contaminación del agua puede serlo a mediano plazo). Sin embargo, son cruciales para la recuperación postdesastre y la sostenibilidad a largo plazo.

Como se indica la ponderación prioriza el salvamento y la respuesta inmediata sin descuidar la reconstrucción integral.

Una vez calculado cada componente, la Vulnerabilidad Total (*V*) será calculada a través de la siguiente fórmula:

$$V = (VF \times 0.30) + (VS \times 0.30) + (VE \times 0.20) + (VA \times 0.20)$$

Donde:

V = índice de Vulnerabilidad.

VF = valoración de la Vulnerabilidad Física.

VS = valoración de la Vulnerabilidad Social.

VE = valoración de la Vulnerabilidad Económica.

VA = valoración de la Vulnerabilidad Ambiental.

La Vulnerabilidad se expresará en el rango de 1 a 5. Las ponderaciones internas de cada componente deberán estar documentadas y sometidas a análisis de sensibilidad; este rango se mantendrá para conservar coherencia con la matriz de priorización del riesgo.

5.2.2. Definición de indicadores

En esta sección se presentan todos los indicadores de cada componente de la vulnerabilidad con la escala de calificación y su ponderación.

Iniciamos con la vulnerabilidad física, que es el componente que predomina a la hora de evaluar la vulnerabilidad, en especial con el factor geográfico. En este componente tenemos dos indicadores o factores que marcarán la vulnerabilidad: la ubicación con respecto al paso de los flujos de relaves y el otro es las características constructivas generales de la infraestructura.

Como se puede ver en la literatura técnica sobre estos eventos, la ubicación de los asentamientos humanos tiene más importancia a la hora de cuantificar los daños e impactos por lo que ese será el que tenga el mayor peso a la hora de cuantificar la vulnerabilidad física.

A continuación, se muestra el detalle de los indicadores, la escala y la ponderación de la vulnerabilidad física (Tabla 19).

Tabla 19. Valoración de la vulnerabilidad física

Variable/Indicador	Escala	Valoración de la Escala
Características constructivas y resistencia física	Construcciones altamente frágiles, precarias o sin elementos básicos de resistencia; alta probabilidad de colapso ante la intensidad modelada.	5
	Construcciones vulnerables, con deficiencias estructurales importantes y limitada capacidad de resistencia.	4
	Construcciones de comportamiento intermedio, con algunos elementos resistentes y deficiencias que pueden aumentar el daño.	3
	Construcciones con condiciones mayormente adecuadas de resistencia y deficiencias menores.	2
	Construcciones con condiciones técnicas adecuadas y alta capacidad relativa de resistencia frente a las intensidades consideradas.	1

Para la vulnerabilidad social se analizó un sinnúmero de variables e indicadores que podrían reflejar la fragilidad por factores sociales y culturales, algunos cuantitativos otros cualitativos. Además de reflejar los factores mencionados deben ser parte de las componentes principales a la hora de sopesar esas variables en los resultados del cálculo de la vulnerabilidad.

Las variables seleccionadas están en primer lugar la organización comunitaria, aquella que intenta mostrar los niveles de articulación y cohesión que tienen las comunidades a la hora de hacer frente a las emergencias y desastres. Para ello se tomarán los datos generados por los GAD Municipales y Provinciales. Se sugiere tomar datos de las áreas de participación ciudadana de los diferentes municipios y prefecturas.

Para cada indicador se registrarán la fuente de datos, la unidad de medida, la regla de asignación de la escala 1–5, la evidencia mínima requerida, la fecha de actualización y el responsable de su validación.

En segundo lugar, está la variable educación, que se propone se mida de acuerdo con los niveles de escolaridad que tienen las comunidades, datos que el gobierno nacional los tiene a través del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC).

En tercer lugar, está la densidad poblacional, variable que con la organización comunitaria tienen el mayor peso en la vulnerabilidad social. Finalmente se incluye el acceso a la información y comunicación, como otra de las características clave, una falta de acceso a la comunicación e información hace que una comunidad sea más vulnerable.

A continuación, se muestra el detalle de los indicadores y la escala de la vulnerabilidad social (Tabla 20).

Tabla 20. Valoración de la vulnerabilidad social

Variable/Indicador	Escala	Valoración
Personas que requieren asistencia para evacuar	Proporción muy alta o concentración significativa de personas con necesidades específicas de asistencia, sin apoyos familiares suficientes.	5
	Proporción alta de personas que requieren asistencia y apoyos limitados.	4
	Proporción media, con redes de apoyo parciales.	3
	Proporción baja y apoyos familiares/comunitarios generalmente disponibles.	2
	Proporción muy baja y apoyos suficientes identificados.	1
Escolaridad y alfabetización funcional	Muy bajos niveles de escolaridad/alfabetización que dificultan comprender instrucciones de emergencia.	5
	Bajos niveles, con barreras frecuentes para comprender mensajes técnicos.	4
	Nivel intermedio, con algunas barreras de comprensión.	3
	Nivel adecuado, con barreras puntuales.	2
	Nivel alto, con amplia capacidad de comprensión de instrucciones.	1
Dependencia demográfica	Muy alta presencia de niñas/os, personas adultas mayores u otras personas dependientes.	5
	Alta dependencia demográfica.	4
	Dependencia demográfica media.	3
	Baja dependencia demográfica.	2
	Muy baja dependencia demográfica.	1
Barreras lingüísticas, culturales o de accesibilidad	Barreras muy altas; mensajes y procedimientos no están adaptados a lengua, cultura o discapacidad.	5
	Barreras altas, con adaptaciones insuficientes.	4
	Barreras medias, con adaptaciones parciales.	3
	Barreras bajas y mecanismos de apoyo disponibles.	2
	Sin barreras relevantes o con mecanismos inclusivos plenamente disponibles.	1

De la misma manera que los componentes anteriores, para la vulnerabilidad económica se han seleccionado variables o indicadores disponibles y que de una u otra forma permiten mostrar las fragilidades económicas y financieras. Es de gran utilidad el análisis de esta vulnerabilidad a la hora de plantear acciones de recuperación.

Para intentar caracterizar a las comunidades desde los factores económicos y financieros, es decir desde la vulnerabilidad económica, se han escogido tres variables que se pueden obtener de los datos del INEC. En primer lugar, tenemos al Producto Interno Bruto a nivel cantonal, en segundo lugar, el nivel de empleo, y finalmente el de pobreza. Para la medición de la pobreza se tomará las necesidades básicas insatisfechas o el índice de pobreza multidimensional estas muestran de mejor manera varias aristas de la problemática de la pobreza y no solo el tema de los ingresos o consumo.

En cada cantón se deberá establecer la escala de acuerdo con sus propios indicadores, tomando los mayores y menores como límites y dividiéndolos en 5 segmentos. A continuación, se muestra el detalle de los indicadores y su escala para la valoración (Tabla 21).

Tabla 21. Valoración de la vulnerabilidad económica

Variable/Indicador	Escala	Valoración
Actividad Económica	Muy bajo nivel de actividad económica local, limitada generación de ingresos y baja diversificación productiva	5
	Bajo nivel de actividad económica, con restricciones en generación de ingresos y dependencia de pocas actividades	4
	Nivel medio de actividad económica, con cierta diversificación y estabilidad.	3
	Alto nivel de actividad económica, con buena generación de ingresos y diversificación productiva.	2
	Muy alto nivel de actividad económica, con alta capacidad productiva.	1
Nivel de Empleo	Muy bajo nivel de empleo, alta desocupación o informalidad predominante.	5
	Bajo nivel de empleo, con limitadas oportunidades laborales y alta inestabilidad.	4
	Nivel medio de empleo, con condiciones laborales mixtas (formal e informal).	3
	Alto nivel de empleo, con predominio de empleo estable y formal.	2
	Muy alto nivel de empleo, con estabilidad laboral y acceso sostenido a ingresos.	1
Pobreza (Multidimensional)	Pobreza extrema, con múltiples privaciones críticas en condiciones de vida	5
	Alta pobreza, con múltiples limitaciones en acceso a servicios y bienestar	4
	Pobreza media, con algunas carencias estructurales.	3
	Baja pobreza, con acceso mayoritario a condiciones básicas adecuadas.	2
	Muy baja o inexistente pobreza, con condiciones de vida adecuadas y cobertura de servicios	1

El último componente es la vulnerabilidad ambiental. En este sentido, hay que estar claros en que, si bien esta componente puede ser muy importante dentro del análisis por temas de contaminación, en este documento se centra exclusivamente en el impacto por flujos de relaves, por lo que el tema de la contaminación de suelo, agua o aire en sí no se analiza a profundidad. Los temas de contaminación y remediación ambiental deberán ser considerados aparte de esta evaluación.

Para el análisis de estos factores ambientales y ecológicos, siempre pensando en el impacto del flujo de relaves, mas no en los aspectos contaminantes, se han seleccionado dos variables, por un lado, la degradación ambiental, medida por la

deforestación y la pérdida de capa vegetal, y por el otro, las áreas geográficas o territorios de conservación ambiental (parques, reservas etc.).

En cada cantón se deberá establecer la escala de acuerdo con sus propios indicadores, tomando los mayores y menores como límites y dividiéndolos en 5 segmentos.

A continuación, se muestra el detalle de los indicadores, la escala y la ponderación para la valoración de la vulnerabilidad ambiental (Tabla 22).

Tabla 22. Valoración de la vulnerabilidad ambiental

Variable/Indicador	Escala	Valoración
Degradación Ambiental	Muy alta degradación ambiental, con pérdida significativa de cobertura, suelos y calidad de ecosistemas	5
	Alta degradación ambiental, con afectación importante de funciones ecosistémicas	4
	Degradación moderada, con alteraciones parciales en el estado ambiental.	3
	Baja degradación ambiental, con ecosistemas relativamente conservados.	2
	Muy baja o inexistente degradación ambiental, con ecosistemas bien conservados.	1
Capacidad de recuperación del receptor	Muy baja capacidad de recuperación natural o restauración técnicamente compleja y prolongada.	5
	Baja capacidad de recuperación; restauración difícil o de largo plazo.	4
	Capacidad de recuperación intermedia.	3
	Buena capacidad de recuperación con medidas disponibles.	2
	Alta capacidad de recuperación y restauración factible en plazos cortos.	1
Sensibilidad ecológica del receptor	Ecosistemas críticos, áreas protegidas, hábitats de especies amenazadas o receptores de muy alta sensibilidad.	5
	Receptores de alta sensibilidad ecológica o con funciones ecosistémicas estratégicas.	4
	Receptores de sensibilidad media o con valores de conservación moderados.	3
	Receptores de baja sensibilidad o ambientes ampliamente intervenidos.	2
	Receptores de muy baja sensibilidad ecológica, sin valores estratégicos identificados.	1

Una vez calculada cada una de las componentes de la vulnerabilidad se calcula la Vulnerabilidad Total con la fórmula anteriormente presentada.

Tabla 23. Rangos de valoración cualitativa de la vulnerabilidad

Rango del índice de vulnerabilidad (V)	Nivel de vulnerabilidad	Significado técnico
4.20 – 5.00	Muy alta	Condiciones críticas de vulnerabilidad, con alta fragilidad del territorio y elevada susceptibilidad a sufrir daños y pérdidas.
3.40 – 4.19	Alta	Condiciones desfavorables, con factores que incrementan significativamente los impactos ante eventos adversos.
2.60 – 3.39	Media	Condiciones intermedias, con equilibrio entre factores favorables y desfavorables.
1.80 – 2.59	Baja	Condiciones mayormente favorables, con limitaciones puntuales.
1.00 – 1.79	Muy baja	Condiciones favorables, con baja fragilidad o susceptibilidad de los elementos analizados a daños.

La clasificación del índice de vulnerabilidad se establece en cinco niveles, ordenados de mayor a menor, con el fin de reflejar de manera progresiva el grado de susceptibilidad del territorio frente a eventos adversos. Esta categorización facilita la interpretación de los resultados y su uso en procesos de análisis, priorización y planificación.

5.3. Representación gráfica de la vulnerabilidad: métricas y mapas

La evaluación de la vulnerabilidad finaliza con la presentación gráfica de los resultados. Esta puede ser de dos tipos: métricas y mapas.

Las métricas son sistemas gráficos, ejes de coordenadas o matrices, en donde se indican el grado de importancia y significado de la relación de las variables. Sirven para buscar e identificar nodos de relaciones concentradas en grupos de variables, y para seleccionar prioridades dentro de los grupos de variables. Si se va a utilizar este modelo se recomienda utilizar matrices donde se muestre cada una de las variables para un análisis completo, o se puede utilizar un gráfico estadístico radial que muestre las cuatro componentes de la vulnerabilidad.

Por otro lado, están los mapas donde se representan geográficamente los valores de las variables se consigue tener una concepción espacial del valor de las variables es muy útil para los análisis en gestión de riesgo de desastres.

Utilizar la unidad espacial mínima técnicamente justificable, compatible con la resolución del modelo de inundación y la disponibilidad de datos; debe documentarse la agregación, supuestos y población asociada.

El análisis y evaluación de la vulnerabilidad no es un ejercicio aislado, constituye la base técnica para:

- La estimación del riesgo.
- El diseño del Sistema de Alerta Temprana.
- La planificación de evacuación comunitaria.

Para los temas de los diseños de alerta temprana y evacuación comunitaria, se puede manejar con mayor amplitud los componentes físico y social de la vulnerabilidad, es decir, se debe preparar mapas exclusivamente con esos componentes, y en el caso de la vulnerabilidad física se debe preparar para cada caso estudiado de la amenaza, esto es: escenario crítico (peor caso posible), intermedio y probable.

Capacidad de afrontamiento

06

6.1. Definición

Dentro de la gestión integral del riesgo, la capacidad de afrontamiento constituye una dimensión favorable porque expresa las fortalezas, recursos, conocimientos y mecanismos disponibles para anticipar, responder y recuperarse. Una mayor capacidad puede reducir la severidad de los efectos y mejorar la respuesta, pero no modifica por sí misma la huella física de la amenaza ni la consecuencia intrínseca del escenario.

De esta definición se entiende que cuando hablamos de capacidad estamos abarcando infraestructuras, instituciones, conocimientos y habilidades humanas, así como atributos colectivos como las relaciones sociales, el liderazgo y la gestión.

Para la evaluación del riesgo de desastres nos interesa específicamente la capacidad de afrontamiento. La normativa nacional define a la capacidad de afrontamiento como la disponibilidad y uso de conocimientos, medios y sistemas de gestión en las instituciones, personas, comunidades, nacionalidades, pueblos o colectivos para manejar las condiciones adversas, tanto en períodos normales como durante crisis. Por lo tanto, mientras mayor sea la capacidad de afrontamiento, el riesgo de desastres disminuirá.

6.1.1. Tipos de capacidad de afrontamiento

De acuerdo con las competencias, responsabilidades y funciones, las capacidades de afrontamiento para el caso específico de la falla o colapso de una presa de relaves se pueden clasificar en: institucionales, comunitarias y empresarial.

El primer tipo, las capacidades institucionales, se refieren a las facultades y experticia propias de las entidades e instituciones públicas que tienen las competencias y responsabilidades en la gestión de riesgos de desastres, así como la gestión de su territorio, dadas, obviamente, por los marcos legales vigentes.

Las capacidades comunitarias se refieren a la habilidades y disposiciones de las personas o habitantes de un territorio y otorgadas como responsabilidades en los principios de autoprotección y corresponsabilidad[42].

Finalmente están las capacidades empresariales establecidas por las funciones y responsabilidades que se otorgan y exigen al responsable de la explotación minera. La gobernanza del operador se documentará mediante una ficha que identifique: máximo responsable ejecutivo, responsable de la instalación, ingeniero de registro, equipo de diseño, responsables de operación y monitoreo, revisión independiente y suplencias.

La evaluación verificará la existencia de una autoridad ejecutiva formalmente designada, con atribuciones, recursos y mecanismos de recepción y seguimiento de hallazgos críticos, adaptando esta función a la estructura jurídica y organizacional del titular en Ecuador.

Como criterio equivalente se verificará la existencia de un responsable técnico de relaves claramente designado, con competencia demostrable, acceso a la alta dirección y coordinación con el Ingeniero Responsable de la Operación[43] (EOR[44]) conforme normativa ecuatoriana.

Las capacidades empresariales del titular u operador se analizarán de manera diferenciada respecto de las capacidades institucionales y comunitarias. Esta separación permite evaluar sus responsabilidades propias en seguridad de la instalación, monitoreo, contingencias, disponibilidad de personal competente, mantenimiento, simulacros, gestión documental, garantías, auditorías y coordinación territorial, evitando trasladar obligaciones privadas a las instituciones públicas o a la comunidad.

42 Ley Orgánica para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres. 2024. Ecuador.

43 Es una figura técnica clave y legalmente responsable que supervisa y es responsable del diseño, la construcción, la operación y el cierre de la presa de relaves.

44 En ingles es Engineer of Record.

El componente «Capacidad del titular u operador» considerará, como mínimo, la organización interna de gestión de riesgos, el plan de emergencia y respuesta, elTARP y controles críticos, la instrumentación y el monitoreo, la transmisión y respaldo de datos, las auditorías y revisiones, los simulacros, la competencia del personal, las comunicaciones y la coordinación con las autoridades y comunidades.

La evaluación empresarial verificará además permisos y autorizaciones, diseño aprobado, MOMV, OMS, inspecciones, mantenimiento, garantías, gestión del cambio, tratamiento de hallazgos y cierre de acciones, de acuerdo con la normativa aplicable y con el nivel de consecuencia potencial de la instalación.

6.2. Análisis de capacidades de afrontamiento institucionales

Las capacidades institucionales constituyen el conjunto de condiciones organizativas, técnicas, operativas y normativas que poseen las entidades responsables de la gestión del riesgo en territorio para anticipar, responder y gestionar eventos peligrosos asociados a fallas o ruptura en presas de relaves.

En escenarios de falla de presas de relaves, caracterizados por la rápida evolución del evento y la alta energía de los flujos generados, la efectividad de la respuesta institucional depende de la existencia de instrumentos de planificación adecuados, sistemas de alerta funcionales, capacidades operativas disponibles y mecanismos de coordinación interinstitucional claramente definidos. Por tanto, la evaluación de las capacidades institucionales debe orientarse a determinar no solo la existencia de estos elementos, sino también su nivel de operatividad, articulación y adecuación al contexto territorial.

Las capacidades institucionales municipales dependen de factores como la disponibilidad de recursos técnicos y financieros, la existencia de unidades de gestión de riesgos, la formación del personal y la articulación con entidades nacionales.

La capacidad se evaluará por escenario y territorio, considerando GAD municipal/metropolitano, GAD provincial, GAD parroquial cuando corresponda, SNGR, autoridad minera, organismos técnico-científicos, respuesta, salud, educación, telecomunicaciones y operador.

Como indicador complementario se considerará capacidad financiera territorial la existencia de planes de inversión y recursos de regalías aplicables a medidas de reducción de riesgo, ambiente, agua y saneamiento, sin asumir que constituyen recursos automáticos para el SAT.

La capacidad empresarial del operador minero es también un factor muy importante a la hora del análisis; por lo tanto, la coordinación y articulación entre las instituciones públicas y el operador minero es un punto clave y se lo incluye en este análisis.

El subcomponente de capacidad y cumplimiento empresarial incluirá la verificación de seguros o garantías ambientales vigentes y actualizados cuando correspondan, sin confundir esta condición con la capacidad pública de respuesta.

Los GAD municipales desempeñan un rol central en la gestión del riesgo de desastres a nivel local, en el marco del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Integral del Riesgo de Desastres. Su responsabilidad incluye la planificación territorial, la coordinación de la respuesta y la implementación de medidas de preparación.

El análisis empresarial incluirá un subcomponente de Sistema de Gestión de Relaves que evalúe política, gobernanza, planificación, recursos, riesgo, cambio, información, OMS, PPRE, revisión y mejora continua.

El análisis institucional considerará de manera prioritaria las capacidades del GAD municipal o metropolitano competente y, según el territorio y el escenario, las capacidades concurrentes de los GAD provinciales y parroquiales, la SNGR y las

demás entidades con responsabilidades de preparación y respuesta.

6.2.1. Sistemas de gestión de riesgos de desastres municipales

Los sistemas de gestión de riesgos a nivel municipal constituyen el marco organizativo a través del cual se planifican y ejecutan las acciones de prevención, preparación, respuesta y recuperación frente a desastres.

Estos sistemas incluyen la definición de estructuras de coordinación, protocolos de actuación, mecanismos de articulación interinstitucional y herramientas de planificación. Su efectividad depende de su nivel de formalización, operatividad y capacidad de integración con otros niveles de gobierno.

La Unidad de Gestion de Riesgos (UGR) constituye la instancia técnica permanente del GAD; la conducción político-administrativa y la coordinación interinstitucional se ejercen conforme a la Ley, los comités territoriales y los COE están bajo la autoridad competente.

En el contexto de presas de relaves, estos sistemas municipales deben incorporar escenarios tecnológicos complejos en su gestión, lo que implica una adaptación de los instrumentos tradicionales de gestión del riesgo.

6.2.2. Plan de emergencia y contingencia

Los planes de emergencia y contingencia constituyen instrumentos clave para la preparación institucional frente a escenarios de falla de presas de relaves. Estos planes deben incluir la definición de escenarios de riesgo, niveles de alerta, procedimientos de evacuación, roles y responsabilidades, y mecanismos de comunicación.

Asimismo, deben estar articulados con los planes de desarrollo y ordenamiento territorial, y considerar las características específicas del territorio, incluyendo la ubicación de las comunidades expuestas, las rutas de evacuación y los tiempos de llegada del flujo.

Un plan de emergencia y contingencia debe ser entendida como una guía clara y estructurada para preparar, atender y responder frente las diferentes situaciones que se presentan en un desastre. El Plan tiene como finalidad principal proteger la vida, la seguridad y el bienestar de población.

La calidad y operatividad de estos planes es un indicador fundamental de la capacidad institucional. Por ello la elaboración de estos debe ser coordinado y articulado entre el GAD Municipal y el operador minero para que estos planes incluyan toda la información requerida sobre la gestión de la presa de relaves. Y si aguas abajo se incluyen territorios de más de un municipio se deberá trabajar en planes conjuntos entre todos los GAD y el operador minero, de acuerdo con sus competencias y responsabilidades otorgadas por la Ley.

La evaluación incorporará indicadores relativos a: delegaciones oficiales, poder de decisión, cadena de llamadas, procedimientos de convocatoria, capacidad de Sala de Situación, soporte de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), continuidad operativa y articulación con la Mesa Técnica de Trabajo (MTT) y Grupos Técnicos[45] (GT).

6.2.3. Monitoreo del funcionamiento de la presa de relaves

El monitoreo del funcionamiento de la presa de relaves es un componente esencial para la detección temprana de condiciones de riesgo. Este proceso incluye la instrumentación geotécnica, hidráulica y estructural, así como la vigilancia operativa y la interpretación de datos.

La evaluación verificará las inspecciones periódicas, fecha del último monitoreo semestral ambiental, hallazgos, medidas correctivas y trazabilidad en informes de monitoreo.

45 Son equipos de especialistas que analizan la situación y brindan asesoramiento técnico a las autoridades (como el COE) para la toma de decisiones.

El monitoreo se estructurará en dos capas diferenciadas: (1) monitoreo de seguridad física y operacional de la presa conforme diseño, Instructivo y MOMV; (2) monitoreo ambiental conforme al EIA, PMA y RAAM. Integrar ambos mediante protocolo de intercambio de datos.

Se utilizará una tabla de frecuencias por condición operativa, instrumento y variable, incluyendo criterios de aumento de frecuencia, redundancia, pérdida de datos y respaldo manual.

Identificar controles críticos por modo de falla (drenaje, freeboard, bombeo, decantación, instrumentación, estabilidad, comunicaciones, etc.), con propietario del control, estándar de desempeño, indicador, frecuencia y acción ante pérdida de eficacia.

Si bien esta función recae principalmente en el operador minero, su integración con los sistemas de gestión del riesgo es fundamental para asegurar una respuesta oportuna ante condiciones críticas. Cuando se habla de integración de la información sobre la vigilancia operativa de la presa de relaves, se refiere a que el GAD Municipal tiene acceso a la información de monitoreo técnico e interpretación de estos, por lo que requerirá de un personal capacitado para esta acción.

Si bien, la capacidad institucional se evalúa en función de su acceso a la información, su capacidad de interpretación y su articulación con los sistemas de alerta, la responsabilidad primera, dada por las normas técnicas nacionales, es la del operador minero[46].

Como criterio de evaluación se considerará cierre del riesgo: programa postcierre, indicadores, periodicidad, informes semestrales cuando corresponda, garantía ambiental vigente y mecanismo de reapertura de acciones si se detectan anomalías.

6.2.4. Sistemas de comunicación e información de alertas

Los sistemas de comunicación son fundamentales para la transmisión oportuna de información durante una emergencia. Estos sistemas deben garantizar que las alertas generadas a nivel técnico lleguen de manera efectiva a las autoridades y a la población. Es decir, estos sistemas de comunicación e información aseguraran el cumplimiento del capítulo sexto del Instructivo para la Aprobación de Proyectos de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento de Depósitos de Relaves para la Mediana y Gran Minería.

Para mantener claridad conceptual, se utilizarán términos diferenciados: «disparador técnico» o «nivel de acción» para TARP y monitoreo; «estado de alerta» para la decisión de la autoridad competente; y «aviso» o «mensaje» para la comunicación dirigida a instituciones y población.

Incluyen medios como radiocomunicación, telefonía, sistemas de mensajería, sirenas y plataformas digitales. La existencia de redundancia y la cobertura territorial son factores clave para su efectividad.

La evaluación considera la confiabilidad, accesibilidad y capacidad de operación en condiciones adversas.

6.2.5. Rutas y organización de evacuación

Las rutas de evacuación constituyen un componente crítico de la capacidad de respuesta institucional. Estas deben ser técnicamente definidas en función de los escenarios de amenaza, garantizando que conduzcan a zonas seguras en tiempos adecuados.

Su planificación debe considerar factores como topografía, accesibilidad, capacidad de tránsito, condiciones climáticas y características de la población. Asimismo, deben estar debidamente señalizadas y socializadas.

46 Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables (2020). Instructivo para la aprobación de proyectos de diseño, construcción, operación y mantenimiento de depósitos de relaves para la mediana y gran minería.

Acompañada del diseño de las rutas debe ir la organización del proceso de evacuación. Es decir, no solo es necesario tener las rutas sino procedimientos y protocolos de evacuación que deben ser socializados tanto a la comunidad como a las diferentes entidades públicas, como Policía Nacional, Cuerpo de Bomberos, ECU 911 y las áreas o unidades del GAD.

En la planificación y definición de las rutas de evacuación debe estar involucrada la comunidad. Es clave que la población residente participe de este proceso pues son ellos los que conocen muy bien la zona y pueden definir los mejores caminos y senderos para llegar a las zonas seguras.

6.2.6. Capacitación, simulación y simulacros

Los procesos de capacitación y los ejercicios de simulación y simulacros son fundamentales para fortalecer las capacidades institucionales y validar la efectividad de los planes de emergencia.

La articulación de planes se documentará mediante una matriz que diferencie titular (Plan de Preparación y Respuesta ante Emergencias[47]), GAD (Plan de respuesta territorial), instituciones sectoriales (planes institucionales) y comunidad (plan comunitario), indicando quién aprueba, activa y actualiza cada uno.

La activación de planes se documentará mediante una matriz por estado de alerta, con rutas y puntos seguros, atención a grupos prioritarios, medios de transporte, continuidad de servicios y responsables.

El plan de contingencia deberá detallar tiempos de respuesta, responsables y recursos; el titular debe disponer de equipos, materiales y personal capacitado y ejecutar entrenamientos y simulacros periódicos. Además, establecer la interfaz con el plan territorial y el COE.

Se utilizará una matriz de asignación de responsables (RACI[48]) que establezca quién detecta, quién notifica, quién evalúa, quién controla la fuente, quién emite alertas, quién evacua, quién atiende impactos ambientales y quién informa públicamente.

Estos procesos permiten mejorar la coordinación, reducir tiempos de respuesta y fortalecer la toma de decisiones bajo condiciones de incertidumbre. En el caso de presas de relaves, deben basarse en escenarios realistas y considerar la participación de todos los actores relevantes. Es decir, en los procesos de capacitación y los de evaluación y entrenamiento (simulaciones y simulacros) se debe incluir a todas las entidades públicas del territorio, así como al operador minero.

El GAD Municipal que establezca un plan de capacitación y entrenamiento para enfrentar emergencias y desastres para su personal tendrá mejores capacidades para enfrentar posibles eventos peligrosos. En territorios con presencia de presas de relaves, estas capacidades deben fortalecerse para responder a escenarios de alta complejidad y baja tolerancia al error.

6.3. Capacidades comunitarias

Las capacidades comunitarias corresponden al conjunto de conocimientos, prácticas y formas de organización que posee la población para enfrentar situaciones de emergencia. Estas capacidades son fundamentales en contextos donde el tiempo de reacción es limitado, como ocurre en escenarios de falla de presas de relaves. Como se mencionó anteriormente, estas capacidades están asociadas a los principios de autoprotección y de corresponsabilidad.

El fortalecimiento de estas capacidades contribuye a reducir tanto la vulnerabilidad como el riesgo de las comunidades, además disminuye el impacto del desastre sobre su población.

47 Es el plan que el operador minero debe tener para gestionar una emergencia dentro de la instalación.

48 Se utiliza para clarificar los roles y las responsabilidades de los diferentes actores involucrados en un proceso o tarea. Sus siglas significan: R (Responsible/Responsable); A (Accountable/Rendidor de cuentas); C (Consulted/Consultado); I (Informed/Informado).

6.3.1. Componentes de la capacidad comunitaria

La capacidad comunitaria se expresa a través de diferentes componentes, entre los que destacan la organización social, el conocimiento del riesgo, la identificación de rutas de evacuación y zonas seguras, la existencia de protocolos de autoprotección y la presencia de redes de apoyo mutuo.

Estos elementos permiten a la comunidad actuar de manera organizada y efectiva ante una emergencia, reduciendo la dependencia exclusiva de la respuesta institucional.

Algunos componentes importantes de la capacidad comunitaria son:

- Los comités comunitarios de emergencia constituyen estructuras organizativas clave para la gestión del riesgo a nivel local. Estos espacios permiten articular a la población, facilitar la coordinación con las instituciones y promover acciones de preparación y respuesta. La efectividad de estos comités depende de su nivel de actividad, organización interna, legitimidad dentro de la comunidad y vinculación con los sistemas institucionales de gestión del riesgo.
- El conocimiento de las rutas de evacuación por parte de la población es un factor determinante para una respuesta efectiva ante una emergencia. En escenarios de falla de presas de relaves, donde los tiempos de reacción pueden ser muy reducidos, la falta de conocimiento puede traducirse en un aumento significativo del riesgo. Este componente implica no solo la identificación técnica de rutas seguras, sino también su socialización, señalización y apropiación por parte de la comunidad.
- Los puntos de encuentro o zonas seguras constituyen espacios previamente definidos a los cuales la población debe dirigirse durante una evacuación. Estos deben ubicarse fuera de las zonas de amenaza y contar con condiciones mínimas de seguridad y accesibilidad. Su identificación y socialización son fundamentales para evitar desorganización durante una emergencia y facilitar la asistencia posterior.
- Los protocolos de autoprotección corresponden a las acciones que la población debe ejecutar de manera inmediata ante la activación de una alerta. Estos incluyen procedimientos de evacuación, medidas de protección personal y mecanismos de apoyo a grupos vulnerables. La existencia y comprensión de estos protocolos por parte de la comunidad es un indicador clave del nivel de preparación y capacidad de afrontamiento.
- Las redes de apoyo mutuo reflejan el nivel de cohesión social y la capacidad de la comunidad para organizarse y apoyarse en situaciones de emergencia. Estas redes son especialmente importantes para la atención de personas en condición de vulnerabilidad, como adultos mayores, niños o personas con discapacidad. Su existencia fortalece la capacidad de respuesta y contribuye a una recuperación más rápida posterior al evento.

6.3.2. Coordinación y articulación entre lo comunitario con lo institucional

La articulación entre las capacidades comunitarias e institucionales es un factor clave para una gestión efectiva del riesgo. Esta coordinación permite integrar el conocimiento local con los sistemas técnicos y mejorar la comunicación y la respuesta.

Una adecuada articulación facilita la implementación de sistemas de alerta temprana, la ejecución de evacuaciones y la atención de la población, fortaleciendo la resiliencia del territorio en su conjunto.

La integración de los representantes de las comunidades en la toma de decisión, especialmente en la planificación es muy importante, para que luego, todas esas acciones sean apropiadas

por la comunidad, sean utilizadas y reduzcan el impacto de un posible evento peligroso por falla o ruptura de una presa de relaves. Mientras más involucrada esté la comunidad mejor será la capacidad de afrontamiento tanto de las instituciones como de los mismos residentes y pobladores de un territorio.

El involucramiento comunitario constituye una responsabilidad compartida dentro del SNDGRD. En el ámbito territorial, los GAD conforme a sus competencias y capacidades, deben promover mecanismos de participación, organización y fortalecimiento comunitario, articulados con el ente rector y con los demás actores públicos, privados y comunitarios. La asignación de responsabilidades deberá verificarse en la LOGIRD, su Reglamento General, el COOTAD y los instrumentos técnicos vigentes, evitando atribuir de manera exclusiva al GAD municipal funciones que correspondan concurrentemente a otros niveles o actores.

La conformación y el fortalecimiento de los Comités Comunitarios de Gestión de Riesgos se desarrollarán con participación de la comunidad y articulación de los GAD competentes, el ente rector y las demás instituciones del Sistema. No se establece en este documento una división automática según la cual el ámbito urbano corresponda exclusivamente al GAD municipal y el rural exclusivamente al GAD provincial; la intervención deberá definirse conforme al marco competencial vigente, la organización territorial y los lineamientos técnicos aplicables.

6.4. Proceso metodológico para la evaluación

La capacidad de afrontamiento se evaluará de forma independiente mediante un índice territorial de capacidades. Este índice no se incorporará mediante una operación aritmética al producto amenaza-vulnerabilidad; se utilizará en la interpretación integrada del riesgo, la identificación de brechas y la priorización de acciones de preparación y respuesta, en concordancia con la definición legal de riesgo de desastres.

La capacidad se integrará en la fase de interpretación y toma de decisiones, sin asignarle una operación matemática no prevista en la normativa. El producto A×V se denominará «Índice de Amenaza-Vulnerabilidad (IAV)» y funcionará como herramienta de priorización; la valoración de capacidades y la clasificación de consecuencias completarán la lectura integral del riesgo.

6.4.1. Cálculo de la capacidad de afrontamiento

Al igual que la evaluación de la vulnerabilidad se utilizará una metodología heurística con un proceso cuasi-cuantitativo a través de matrices de factores de capacidades institucionales con ponderaciones basadas en experiencias similares.

Aunque el método desarrollado es de carácter cuasi-cuantitativo, en él se utilizan, obviamente, procedimientos cualitativos, por lo que se propone una clasificación para determinar, cuantitativamente, el comportamiento de los componentes y su influencia en el cálculo de la capacidad institucional.

Para calcular la capacidad de afrontamiento (CA_{Total}) cada componente será cuantificada a través de una escala correspondiente a los parámetros evaluativos, desde 1 (sin capacidad), hasta 5 (con alta capacidad de afrontamiento).

Se aplicará una ponderación diferenciada para identificar con mayor claridad los componentes críticos que requieren intervención prioritaria porque la capacidad de afrontamiento ante una falla de presa de relaves opera como un sistema funcional en cadena (detección → alerta → evacuación).

Los componentes planes de emergencia (*CP*) y comunicación y alerta (*CC*) son los eslabones integradores y activadores del sistema: sin un plan específico y sin una alerta oportuna, los demás componentes (rutas, gobernanza y monitoreo) no pueden ejecutarse de manera efectiva. Por ello, se les asigna un peso superior (25% cada uno).

El componente rutas de evacuación (C_R) mantiene un peso equivalente de 20%, pues constituye la condición física indispensable para la huida. Los componentes sistemas GRD municipales (C_G) y monitoreo (C_M) reciben un peso reducido (15% cada uno) porque su función es principalmente preventiva, de gobernanza o de fiscalización, y no de ejecución directa durante la emergencia[49].

La fórmula general es la siguiente:

$$CA_{Total} = [C_G \times 0.15] + [C_P \times 0.25] + [C_M \times 0.25] + [C_C \times 0.25] + [C_R \times 0.20]$$

Donde:

CA_{Total} = índice de capacidad de afrontamiento.

C_G = valoración de sistemas de GRD municipales.

C_P = valoración de planes de emergencia y contingencia.

C_M = valoración de monitoreo del funcionamiento de la presa de relaves.

C_C = valoración de sistemas de comunicación e información de alertas.

C_R = valoración de rutas de evacuación.

Se aplicó una ponderación diferenciada a los cinco componentes de la capacidad de afrontamiento[50], pero si se desea aplicar ponderaciones distintas debe existir una justificación técnica documentada con juicio experto estructurado y con un análisis de sensibilidad.

La capacidad y el cumplimiento empresarial del titular u operador se evaluarán de forma separada, a fin de no confundir obligaciones privadas con capacidades públicas o comunitarias.

6.4.2. Definición de escalas y su ponderación

En esta sección se presentan todas las escalas de medición de cada componente de la capacidad de afrontamiento y su respectiva ponderación.

El primer componente es la existencia de sistemas de gestión de riesgos de desastres municipales, si bien cuando se habla de sistemas se incluye las estructuras de coordinación, protocolos de actuación, mecanismos de articulación interinstitucional y herramientas de planificación; en esta componente se mide específicamente la existencia de las estructuras del sistema y si estos están normados.

La coordinación territorial observará el principio de subsidiariedad: el nivel inferior mantiene sus responsabilidades y recibe apoyo concurrente del nivel superior cuando sus capacidades resulten insuficientes, sin producir una sustitución automática de competencias.

La evaluación institucional verificará además la existencia de análisis de brechas, planes de acción, responsables definidos, plazos y evidencia verificable de cierre de las medidas correctivas.

El valor de este componente será único para todo el territorio del cantón. A continuación, se presenta la escala y valoración de este componente en la Tabla 24.

49 Basado en OECD (Ed.). (2008). *Handbook on constructing composite indicators: Methodology and user guide*. https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2008/08/handbook-on-constructing-composite-indicators-methodology-and-user-guide_g1gh9301/9789264043466-en.pdf

50 Basado en Saaty, T. L. (1990a). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9–26. https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I

Tabla 24. Valoración del Sistema de GRD municipal

Escala	Valoración
El GAD Municipal cuenta con un Sistema de GRD formalmente establecido, normado mediante ordenanza, institucionalizado y coordinado por una Unidad de Gestión de Riesgos (UGR) con capacidad operativa	5
El GAD cuenta con UGR operativa y ordenanza de GRD, con implementación parcial del sistema y mecanismos de coordinación en funcionamiento.	4
El GAD cuenta con UGR y ordenanza de GRD, pero el sistema no está plenamente implementado ni articulado operativamente	3
El GAD cuenta con UGR, pero la GRD no está normada (ausencia de ordenanza municipal) y presenta limitaciones institucionales.	2
El GAD no cuenta con un Sistema de GRD ni con una Unidad de Gestión de Riesgos (UGR).	1

El siguiente componente son los Planes de emergencia y contingencia con que debe contar el GAD municipal. Y en este sentido para considerarlo como una capacidad o fortaleza los planes deben ser documentos socializados, validado y oficializado; un indicador fundamental es la calidad y operatividad de estos planes.

Si bien esta medición puede ser tomada en cuenta para todo el territorio cantonal, en caso de que haya planes específicos territoriales se puede calificar esta componente por cada zona que cuenta con esta planificación. Para medir esta capacidad se propone la escala de la Tabla 25.

Tabla 25. Valoración de planes de emergencia y contingencia

Escala	Valoración
El GAD Municipal cuenta con planes de emergencia y contingencia elaborados, validados, oficializados y socializados, con conocimiento institucional y territorial para su aplicación.	5
El GAD cuenta con planes de emergencia y contingencia validados y oficializados, con procesos de socialización parcial.	4
El GAD cuenta con planes de emergencia y contingencia elaborados y oficializados, pero no han sido validados ni socializados.	3
El GAD cuenta con planes de emergencia y contingencia en versión preliminar, no formalizados, sin oficialización, ni validación.	2
El GAD no cuenta con planes de emergencia y contingencia.	1

Para el componente de monitoreo del funcionamiento de la presa de relaves**,** lo importante es cuantificar el acceso a la información, su capacidad de interpretación y su articulación con los sistemas de alerta por parte del GAD.

La asignación de niveles se sustentará en evidencia objetiva sobre normativa u ordenanza vigente, personal, presupuesto, protocolos aprobados, fecha del último ejercicio o simulacro, cobertura, redundancia, disponibilidad operativa, mantenimiento y pruebas de funcionamiento.

La cuantificación de este componente será única para todo el cantón y se establece en la Tabla 26.

Tabla 26. Valoración del monitoreo del funcionamiento de la presa de relaves

Escala	Valoración
El GAD Municipal tiene acceso a la información del funcionamiento de la presa en tiempo real y cuenta con capacidad técnica para interpretar los datos y emitir alertas oportunas a la población.	5
El GAD tiene acceso a información en tiempo real, pero presenta limitaciones en la capacidad técnica para interpretar los datos o activar alertas.	4
El GAD tiene acceso a información de manera periódica (no en tiempo real) y cuenta con capacidad técnica para interpretar la información y alertar a la población.	3
El GAD tiene acceso limitado o indirecto a la información y no cuenta con capacidad técnica suficiente para interpretarla o generar alertas.	2
El GAD no tiene acceso a información del funcionamiento de la presa ni capacidad para interpretar datos o alertar a la población.	1

La valoración del monitoreo considerará el acceso a datos, el protocolo de interpretación y validación, el canal formal de notificación del operador, la capacidad técnica de la unidad competente del GAD, y la articulación con la Red Integral y el Centro Nacional de Alerta Temprana conforme al marco normativo vigente.

El cuarto componente de la capacidad de afrontamiento corresponde a los sistemas de comunicación e información de alertas y se refiere a los medios por los cuales se transmiten o se entregan las alertas. Si bien esto no depende directa o completamente del GAD municipal, si depende de las instituciones públicas del gobierno nacional y local. Aquí se analizará desde los sistemas más rudimentarios como es un perifoneo local, hasta comunicaciones vía celular u otros medios de comunicación.

Esta cuantificación debe ser realizada para cada asentamiento humano de acuerdo con las características de acceso de cada uno de ellos. La escala de cuantificación se presenta en la Tabla 27.

Tabla 27. Valoración de los sistemas de comunicación e información de alertas

Escala	Valoración
El asentamiento humano cuenta con múltiples sistemas de comunicación y alerta, redundantes y operativos, con cobertura total para la población.	5
El asentamiento humano cuenta con al menos un sistema de comunicación y alerta operativo, con cobertura total para la población.	4
El asentamiento humano cuenta con sistemas de comunicación y alerta operativos, pero con cobertura parcial o limitada en el territorio.	3
El asentamiento humano cuenta con sistemas de comunicación o alerta incipientes, no operativos o con cobertura muy limitada.	2
El asentamiento humano no cuenta con sistemas de comunicación ni de alerta.	1

Otro de los componentes analizados corresponde a las rutas de evacuación. Este componente abarca la planificación, definición, señalización y el conocimiento de las rutas de evacuación. Además, cuando se habla de rutas de evacuación se incluye las zonas seguras.

Esta cuantificación debe realizarse para cada uno de los asentamientos humanos aguas abajo y se cuantifica como se muestra en la Tabla 28.

Tabla 28. Valoración de rutas de evacuación

Escala	Valoración
El asentamiento humano cuenta con rutas de evacuación y zonas seguras diseñadas, señalizadas y accesibles, que han sido validadas mediante ejercicios o simulacros, con conocimiento generalizado de la población	5
El asentamiento humano cuenta con rutas de evacuación y zonas seguras diseñadas y señalizadas, pero sin validación mediante ejercicios o con socialización limitada	4
El asentamiento humano cuenta con rutas de evacuación y zonas seguras diseñadas y parcialmente señalizadas, con conocimiento limitado de la población	3
El asentamiento humano cuenta con rutas de evacuación definidas, pero no señalizadas ni socializadas	2
No se cuenta con rutas de evacuación ni zonas seguras definidas	1

El índice de capacidad de afrontamiento se construye a partir de la integración de cinco componentes que reflejan las condiciones institucionales, técnicas y operativas del territorio para anticipar, monitorear, responder y gestionar escenarios asociados a fallas en presas de relaves.

El índice de capacidad de afrontamiento se interpreta en cinco niveles, desde muy baja hasta muy alta capacidad. Los valores más altos representan mejores condiciones relativas de preparación y respuesta. Esta capacidad no modifica la intensidad física de la amenaza ni reduce por sí sola la consecuencia potencial del escenario; su función es identificar la aptitud para anticipar, alertar, evacuar, responder, sostener servicios esenciales y recuperar funciones, así como las brechas que requieren fortalecimiento.

Tabla 29. Rangos de valoración cualitativa de la capacidad de afrontamiento

Rango del índice de capacidad (C)	Nivel de capacidad	Significado técnico
4.20 – 5.00	Muy alta	El territorio cuenta con condiciones institucionales sólidas para anticipar, monitorear, alertar y responder ante escenarios de falla.
3.40 – 4.19	Alta	Existen capacidades institucionales funcionales y mayormente operativas, aunque con algunas limitaciones puntuales.
2.60 – 3.39	Media	Las capacidades institucionales son intermedias, con fortalezas parciales y limitaciones que pueden afectar la efectividad de la respuesta.
1.80 – 2.59	Baja	Las capacidades institucionales presentan debilidades importantes en planificación, monitoreo, alerta o evacuación.
1.00 – 1.79	Muy baja	Las capacidades institucionales son mínimas o insuficientes para gestionar adecuadamente un escenario de emergencia.

Estimación integrada del riesgo territorial y consecuencias potenciales

07

La evaluación del riesgo asociado a una eventual falla de una presa o instalación de almacenamiento de relaves integra dos planos complementarios que no deben confundirse. El primero corresponde a la seguridad y desempeño de la instalación, donde se identifican modos de falla creíbles, condiciones desencadenantes, controles y, cuando existe base técnica suficiente, su plausibilidad o probabilidad. El segundo corresponde al territorio aguas abajo, donde se analiza la propagación del flujo, la exposición, la vulnerabilidad, las capacidades de respuesta y las consecuencias potenciales. Esta metodología se concentra en el segundo plano y utiliza como insumos obligatorios los resultados técnicos provenientes de la evaluación de la instalación.

La evaluación tendrá carácter dinámico y deberá actualizarse ante recrecimientos o modificaciones de diseño, cambios operativos relevantes, variaciones en el manejo del agua, nueva información geológica, geotécnica, hidrológica o sísmica, cambios sustanciales en la población o infraestructura aguas abajo, incidentes, desviaciones de monitoreo, hallazgos de auditoría o revisión independiente, cambios de titular u operador, modificaciones normativas o resultados de simulaciones y simulacros que evidencien brechas.

Las incertidumbres asociadas a datos, modelos conceptuales, parámetros de rotura, reología, modelación hidráulica o hidrodinámica, población expuesta y escenarios de ocupación deberán declararse de forma expresa. Cuando puedan modificar de manera material la decisión, se adoptarán supuestos conservadores y se definirán acciones para reducirlas.

7.1. Definición de riesgo asociado a presas de relaves

Para efectos de este documento, el riesgo de desastres asociado a una falla de presa de relaves se entiende como la posibilidad de daños y pérdidas sobre la población, los bienes, la infraestructura, los servicios esenciales, los medios de vida y el ambiente, derivados de la interacción entre una amenaza tecnológica, las condiciones de exposición y vulnerabilidad del territorio y las capacidades de respuesta disponibles. Esta interpretación se mantiene en concordancia con la Ley Orgánica para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres.

La amenaza territorial corresponde a la liberación y propagación del flujo de relaves y agua asociada para un escenario de falla técnicamente definido. La exposición se establece mediante la intersección espacial entre la zona modelada y los elementos presentes en ella. La vulnerabilidad expresa la susceptibilidad de esos elementos a sufrir daños ante la intensidad del escenario. La capacidad de afrontamiento expresa las condiciones reales para anticipar, alertar, evacuar, atender y sostener funciones esenciales. Estas dimensiones se mantendrán diferenciadas para evitar doble contabilización.

La probabilidad o plausibilidad de un modo de falla pertenece al análisis del escenario de falla y no debe deducirse de la magnitud de la inundación, de la vulnerabilidad territorial ni del número de personas expuestas. Del mismo modo, el análisis de rotura se realiza suponiendo la ocurrencia del escenario seleccionado y se utiliza para determinar su impacto físico; sus resultados no deben presentarse como estimación de la probabilidad de que la falla ocurra.

En consecuencia, el resultado no se reducirá a una única cifra. Para cada escenario se reportarán, como mínimo, la amenaza territorial, los elementos expuestos, la vulnerabilidad, el índice auxiliar de amenaza-vulnerabilidad, las capacidades institucionales, comunitarias y empresariales, la clase de consecuencia potencial, el tiempo de llegada a sectores críticos y la incertidumbre relevante.

7.2. Índice auxiliar de priorización Amenaza-Vulnerabilidad (IAV)

Con el propósito de disponer de una medida sintética que permita ordenar y comparar sectores

o escenarios dentro de una misma evaluación, se utiliza un Índice de Amenaza-Vulnerabilidad (IAV)[51]. Este índice tiene carácter heurístico y cuasi-cuantitativo; no constituye una probabilidad de falla, una frecuencia anual, una estimación monetaria de pérdidas ni la definición legal completa del riesgo.

$$IAV = A \times V$$

Donde:

IAV = índice de Amenaza – Vulnerabilidad.

A = índice de Amenaza territorial.

V = índice de Vulnerabilidad Total.

Con los rangos definidos en esta metodología, A y V varían entre 1 y 5; por tanto, el IAV presenta un rango teórico de 1 a 25.

$$IAV_{mín} = 1 \times 1 = 1 \quad | \quad IAV_{máx} = 5 \times 5 = 25$$

El producto de escalas ordinales debe interpretarse con cautela. Las diferencias numéricas entre categorías no representan distancias físicas equivalentes; por ello, el IAV se utilizará únicamente para priorización relativa y no para calcular probabilidades, pérdidas esperadas o niveles de aceptabilidad del riesgo.

La multiplicación de escalas ordinales constituye una convención metodológica de priorización y no una operación física o probabilística. Por ello, antes de institucionalizar los puntos de corte se deberá realizar validación con casos reales, análisis de sensibilidad y revisión experta. Si dicha validación demuestra que la clasificación distorsiona la prioridad relativa, los rangos deberán recalibrarse sin alterar la separación conceptual entre amenaza, vulnerabilidad, capacidad y consecuencia.

Para la representación cartográfica se propone, de manera provisional, una división uniforme del rango teórico. Los puntos de corte deberán validarse mediante aplicaciones piloto, análisis de sensibilidad y revisión experta antes de una adopción institucional definitiva.

Tabla 30. Niveles relativos de priorización mediante el IAV

Nivel relativo	IAV (rango provisional)	Interpretación técnica
Muy bajo	1.0 - 1.7	Combinación comparativamente baja de amenaza y vulnerabilidad dentro del rango metodológico. No implica riesgo aceptable.
Bajo	1.8 - 4.0	Combinación baja a moderada. Requiere mantener controles, reducir brechas y verificar consecuencias y capacidades.
Medio	4.1 - 9.0	Combinación intermedia que requiere medidas específicas de reducción de vulnerabilidad y fortalecimiento de capacidades.

51 Como el índice matemático no incorpora capacidad, se integrará de manera separada en la interpretación y toma de decisiones.

Nivel relativo	IAV (rango provisional)	Interpretación técnica
Alto	9.1 - 16.0	Combinación elevada que demanda intervención prioritaria, seguimiento intensivo y preparación reforzada.
Muy alto	16.1 - 25.0	Combinación crítica dentro del método de priorización. Requiere atención prioritaria, sin sustituir la evaluación independiente de consecuencias.

El IAV no será utilizado como disparador directo del Sistema de Alerta Temprana. Los disparadores operativos provienen del monitoreo, los criterios de desempeño, los controles críticos y el TARP del operador; la emisión o actualización de alertas públicas se realizará conforme a las competencias y mecanismos autorizados.

7.3. Interpretación integrada del riesgo territorial

La interpretación del riesgo territorial no se realizará a partir del IAV de forma aislada. Para cada escenario creíble se elaborará una ficha integrada que presente simultáneamente la amenaza, la exposición, la vulnerabilidad, la capacidad de afrontamiento, la consecuencia potencial, el tiempo crítico de respuesta y la incertidumbre. Esta lectura conjunta evita convertir una herramienta de priorización en una falsa estimación probabilística.

Tabla 31. Componentes para la interpretación integrada del riesgo territorial

Dimensión	Resultado mínimo	Función en la decisión	No debe interpretarse como
Escenario / modo de falla	Modo creíble, causas, controles y nivel de confianza.	Define el escenario que debe analizarse y actualizarse.	Consecuencia territorial.
Amenaza territorial	Profundidad, velocidad, intensidad, extensión, tiempo de llegada, duración y deposición, según corresponda.	Caracteriza intensidad y alcance físico.	Probabilidad de falla, salvo análisis formal.
Exposición	Población, viviendas, infraestructura, servicios, producción, patrimonio y receptores ambientales dentro de la huella modelada.	Identifica quién o qué puede ser afectado.	Vulnerabilidad.
Vulnerabilidad	Componentes físico, social, económico y ambiental, evitando variables duplicadas con capacidad.	Caracteriza susceptibilidad al daño.	Exposición o capacidad.
IAV	Rango 1 – 25 y nivel relativo.	Ordena comparativamente sectores o escenarios.	Riesgo legal completo o probabilidad.
Capacidad	Niveles institucional, comunitario y empresarial reportados por separado.	Identifica brechas de preparación y respuesta.	Reducción automática de amenaza o consecuencia.

Dimensión	Resultado mínimo	Función en la decisión	No debe interpretarse como
Consecuencia potencial	Clase de severidad derivada del escenario y los elementos expuestos.	Define severidad potencial y exigencia de preparación.	Probabilidad de ocurrencia.
Tiempo crítico	Comparación entre tiempo de llegada y tiempos de detección, decisión, comunicación y evacuación.	Determina factibilidad de acciones de protección.	Nivel de amenaza.
Incertidumbre	Fuentes, sensibilidad, confianza y decisión conservadora.	Condiciona el grado de precaución y necesidad de estudios.	Un error que pueda omitirse.

Como reglas de decisión, una consecuencia potencial alta o muy alta no podrá degradarse por un IAV menor ni por una capacidad de afrontamiento alta; una capacidad baja o muy baja aumentará la urgencia de preparación y respuesta sin modificar la huella física modelada; un tiempo de llegada menor que el requerido para advertir y evacuar exigirá medidas más conservadoras; y, ante incertidumbre alta combinada con consecuencias severas, se aplicará un criterio precautorio hasta contar con información suficiente.

7.4. Clasificación de consecuencias potenciales

La clasificación de consecuencias se determinará de forma independiente del IAV. Su finalidad es describir la severidad potencial de los efectos de un escenario de falla asumido, utilizando los resultados del análisis de rotura y la información de los elementos expuestos. Para cada escenario se evaluarán, como mínimo, la seguridad de las personas y la pérdida potencial de vidas; la salud y las condiciones sociales y culturales; el ambiente; la infraestructura y los servicios esenciales; y la economía y los medios de vida.

La población potencialmente en riesgo se estimará mediante la superposición de la huella modelada con información poblacional actualizada y verificación territorial. Se considerarán viviendas dispersas, lugares de trabajo, centros educativos y de salud, instalaciones turísticas o recreativas, vías, actividades temporales y cualquier concentración de personas dentro del área potencialmente afectable. Cuando corresponda estimar pérdida potencial de vidas, se documentarán los supuestos sobre profundidad, velocidad, tiempo de llegada, posibilidad de aviso, tiempo de evacuación, ocupación diurna/nocturna, movilidad y grupos de atención prioritaria.

La consecuencia ambiental se valorará considerando la extensión del receptor afectado, su sensibilidad ecológica o categoría de protección, la persistencia del daño, la posibilidad y plazo de restauración, la afectación a cuerpos de agua y suelos, la biodiversidad, las características geoquímicas de los relaves y la dependencia de las comunidades respecto de los servicios ecosistémicos. Esta evaluación no sustituye la determinación de cumplimiento ambiental ni las responsabilidades que correspondan a las autoridades competentes.

Las pérdidas económicas y de infraestructura se estimarán para el contexto y fecha base del análisis. Los umbrales monetarios contenidos en estándares internacionales podrán emplearse únicamente como referencias comparativas y no como umbrales normativos nacionales.

Tabla 32. Matriz referencial de clasificación por consecuencias

Clase	Población / vidas	Ambiente	Salud, social y cultural	Infraestructura y economía
Baja	Ninguna o exposición muy limitada; ninguna pérdida de vidas esperada.	Impactos menores, de corta duración y recuperables.	Efectos mínimos, sin alteración relevante de salud o patrimonio.	Infraestructura menor y pérdidas económicas limitadas.
Significativa	Población limitada o presencia ocasional; pérdida de vidas no esperada o muy poco probable según el escenario.	Impactos localizados; restauración factible en plazo corto a medio.	Interrupciones significativas pero acotadas; posibles efectos menores.	Afectación a instalaciones recreativas, trabajo estacional o rutas de uso poco frecuente.
Alta	Población relevante dentro de la huella; posible pérdida de vidas.	Pérdida significativa de hábitat o afectación relevante a agua/suelo; restauración difícil.	Interrupción importante de actividades y servicios; posibles efectos de salud.	Grandes pérdidas e impactos sobre transporte, instalaciones comerciales o empleo.
Muy alta	Población numerosa expuesta; pérdida de vidas probable en el escenario.	Daño importante, persistente y de difícil restauración; posibles efectos geoquímicos significativos.	Afectación prolongada de servicios, tejido social, patrimonio o salud.	Pérdidas muy grandes; afectación de infraestructura importante y posible reubicación de comunidades.
Extrema	Población muy numerosa o múltiples asentamientos/servicios críticos expuestos; potencial de numerosas pérdidas de vidas.	Daño catastrófico o de muy larga duración, con restauración muy difícil o inviable.	Efectos graves y prolongados en salud, tejido social y patrimonio.	Pérdidas extremas; afectación de infraestructura y servicios críticos; reubicación/ compensación de gran magnitud.

La clase final de consecuencia se sustentará mediante juicio técnico documentado. Cuando distintas dimensiones indiquen clases diferentes, no se promediarán de forma que se diluya una consecuencia severa; deberá identificarse expresamente la dimensión de mayor severidad y justificarse cualquier decisión que adopte una clase global inferior.

El producto final será una ficha de síntesis por escenario que incluya: modo de falla y escenario; plausibilidad o probabilidad cuando exista análisis formal; parámetros y resultados de modelación; elementos expuestos; vulnerabilidad; IAV; capacidad institucional, comunitaria y empresarial; consecuencia potencial por dimensión; tiempo crítico de respuesta; incertidumbres; controles existentes; brechas y medidas prioritarias. El resultado será un perfil técnico de riesgo territorial, no una cifra única de riesgo.

Sistemas de Alerta Temprana (SAT)

08

8.1. Definición y objetivos

El Sistema de Alerta Temprana (SAT) para presas de relaves se entiende como un sistema integrado de conocimiento del riesgo, monitoreo y detección, comunicación y preparación para la respuesta, orientado a proteger a la población potencialmente expuesta. En este marco debe distinguirse entre la detección y notificación técnica de condiciones anómalas por parte del titular u operador y la emisión o actualización de alertas públicas por la autoridad competente conforme al ordenamiento vigente.

El objetivo principal del SAT es reducir la pérdida de vidas y limitar las consecuencias mediante detección temprana, decisiones oportunas, comunicación efectiva y preparación para la respuesta.

Sus objetivos específicos son:

- Detectar oportunamente condiciones precursoras, desviaciones o eventos que puedan comprometer la seguridad de la instalación.
- Traducir la información técnica en acciones operativas mediante criterios previamente definidos, incluidos controles críticos y el TARP cuando correspondan.
- Asegurar la notificación y comunicación oportuna, redundante, accesible y comprensible entre operador, autoridades y población potencialmente expuesta.
- Activar las medidas de protección y evacuación que correspondan en tiempos compatibles con la evolución del escenario y con las competencias de decisión establecidas.

El SAT para presas de relaves se concibe como un enfoque integral orientado a reducir el riesgo mediante la articulación de capacidades técnicas, institucionales y comunitarias. Este enfoque permite, en primer lugar, la detección oportuna de condiciones precursoras de falla a través del monitoreo continuo de variables críticas; en segundo lugar, la traducción de los datos técnicos en decisiones operativas mediante procesos de análisis y validación; en tercer lugar, la garantía de una difusión efectiva de las alertas a través de canales claros, redundantes y comprensibles; y, finalmente, la activación de protocolos de evacuación en tiempos compatibles con la dinámica de propagación del flujo, asegurando que la información generada se convierta en acciones concretas para la protección de la población expuesta.

En presas de relaves pueden existir escenarios de rápida evolución y tiempos de reacción muy limitados. Por ello, el SAT deberá asegurar una cadena funcional y redundante entre el monitoreo técnico de la instalación, la activación de criterios de respuesta del operador, la notificación inmediata a las autoridades competentes, la toma de decisiones institucional y la comunicación accesible a las comunidades potencialmente afectadas.

Se debe identificar cuáles datos del PMA y RAAM son informativos o precursores (infiltraciones, caudal y calidad de drenajes, eventos de derrame) y qué protocolo los transforma, si corresponde, en una evaluación técnica del riesgo.

8.2. Estructura funcional del sistema

El SAT para presas de relaves se estructura con base en los cuatro componentes reconocidos por la iniciativa Early Warnings for All (EW4ALL): conocimiento del riesgo, monitoreo y pronóstico, comunicación de la alerta y capacidad de respuesta[52]. Estos componentes no deben entenderse como actividades aisladas ni como una simple secuencia técnica, sino como partes interdependientes de un sistema integrado cuyo propósito es anticipar condiciones críticas, emitir alertas oportunas y activar acciones de protección de la población aguas abajo.

52 United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR) & World Meteorological Organization (WMO). (2022). Early Warnings for All: Executive Action Plan 2023–2027. Geneva: United Nations.

La base jurídica de este parte comprende LOGIRD arts. 62–64 y el Reglamento General Arts. 62–65, señalando interoperabilidad con la red nacional.

Como requisitos transversales del SAT se considerarán: gobernanza, inclusión y accesibilidad, sostenibilidad financiera y operativa, interoperabilidad, personal profesional 24/7 en monitoreo y mecanismos de evaluación y mejora continua.

El conocimiento del riesgo constituye la base del sistema; permite identificar los escenarios de falla, las áreas potencialmente afectables, los elementos expuestos, las condiciones de vulnerabilidad y las capacidades existentes.

El componente de monitoreo y pronóstico permite observar la evolución de variables críticas de la presa y del entorno, así como anticipar condiciones que puedan activar o agravar un escenario de falla.

La comunicación de la alerta asegura que la información validada se traduzca en mensajes claros, oportunos y comprensibles para autoridades, instituciones y comunidades, y la capacidad de respuesta permite que la alerta se convierta en acciones concretas, mediante protocolos, evacuación, rutas seguras, puntos de encuentro, simulacros y mecanismos de coordinación.



Figura 6. Componentes del Sistema de Alerta Temprana

La efectividad del SAT depende de la articulación funcional entre estos cuatro componentes. Un buen sistema de monitoreo pierde valor si no se basa en un conocimiento adecuado del riesgo; una alerta técnicamente correcta puede fallar si no se comunica de manera oportuna y comprensible; y una alerta recibida por la comunidad no reduce el riesgo si no existen capacidades reales para responder[53]. Por ello, el SAT debe desarrollarse como una estructura unificada, donde cada componente fortalece a los demás y donde la debilidad de uno compromete la funcionalidad del sistema completo.

8.2.1. Conocimiento del riesgo

El componente de conocimiento del riesgo constituye la base estructural del SAT, en tanto proporciona los elementos técnicos necesarios para interpretar la información generada por el sistema y orientar la toma de decisiones. En el contexto de este documento, este componente se encuentra desarrollado en los capítulos previos, particularmente en la estimación de la amenaza, el análisis de la exposición y la evaluación de la vulnerabilidad.

El análisis integrado de estos factores permite definir los escenarios de riesgo asociados a fallas de presas de relaves, incluyendo la identificación de modos de falla, condiciones desencadenantes, intensidad y extensión potencial de los flujos, así como la localización de la población y los elementos expuestos.

Esta información es fundamental para el SAT, establece las bases para la delimitación de zonas de afectación, la identificación de áreas prioritarias de intervención y la definición de niveles de alerta.

Se mantendrá una matriz de correspondencia que vincule variable y umbral de presa → notificación del operador → validación institucional →nivel de alerta oficial → acciones del COE → mensaje a población → activación de evacuación.

En particular, el conocimiento del riesgo permite establecer los umbrales técnicos del sistema[54], a partir de la relación entre las variables de monitoreo y los escenarios de evolución de la amenaza[55].

Asimismo, permite determinar los tiempos de respuesta disponibles, en función de la dinámica de propagación de los flujos y la localización de las comunidades aguas abajo, lo cual es determinante para el diseño de protocolos de evacuación.

Este componente también orienta la definición de los elementos críticos del SAT, tales como la ubicación de puntos de monitoreo, la priorización de sectores para la comunicación de alertas y la planificación de rutas de evacuación y zonas seguras. En este sentido, el conocimiento del riesgo no es un insumo estático, sino un elemento dinámico que debe actualizarse en función de cambios en las condiciones de la presa, el territorio y la población.

En el marco del SAT, el conocimiento del riesgo cumple una función transversal, condiciona la efectividad de los demás componentes del sistema. Un monitoreo adecuado requiere conocer qué variables observar; una alerta efectiva depende de la comprensión de los escenarios de riesgo; y una respuesta oportuna se fundamenta en la identificación previa de las áreas y

53 International Strategy for Disaster Reduction (ISDR). (2006). Developing Early Warning Systems: A Checklist. Bonn: United Nations.

54 Los umbrales del Sistema de Alerta Temprana (SAT) para presas de relaves se establecen a partir del análisis integrado del comportamiento esperado de la presa, los modos potenciales de falla, las condiciones desencadenantes y los parámetros obtenidos mediante el monitoreo instrumental y operacional de la infraestructura. Estos umbrales corresponden a valores o condiciones de referencia que permiten identificar desviaciones respecto al comportamiento normal de la presa y reconocer niveles progresivos de criticidad asociados a posibles escenarios de inestabilidad. Su definición debe sustentarse en estudios geotécnicos, hidráulicos, estructurales y de riesgo, así como en el análisis histórico del desempeño de la presa, permitiendo vincular las condiciones observadas con procesos escalonados de alerta, respuesta y toma de decisiones.

55 Basado en Global Tailings Review. (2020). Global Industry Standard on Tailings Management. London: ICMM, UNEP and PRI. ANCOLD. (2019). Guidelines on Tailings Dams – Planning, Design, Construction, Operation and Closure. Australian National Committee on Large Dams.

poblaciones expuestas. Por tanto, este componente actúa como el soporte técnico que permite la integración y funcionamiento del sistema en su conjunto.

El componente de conocimiento del riesgo requiere un conjunto mínimo de insumos técnicos que permitan caracterizar los escenarios de amenaza, identificar los elementos expuestos, evaluar las condiciones de vulnerabilidad y analizar las capacidades de respuesta del territorio.

Para efectos operativos del SAT, se propone un checklist de verificación que permite evaluar el estado de este componente, identificar brechas de información y orientar acciones de fortalecimiento del sistema[56].

Tabla 33. Checklist componente conocimiento del riesgo

RESPONSABLES: Titular/operador minero, UGR del GAD competente, SNGR, autoridad minera, entidades adscritas, organismos técnicos científicos y otros según escenario.				
ÍTEM	**PREGUNTA DE VERIFICACIÓN**	**SI**	**NO**	**PARCIAL %**
1	¿Se cuenta con la caracterización técnica actualizada de la presa de relaves?			
2	¿Están identificados y documentados los modos de falla potenciales?			
3	¿Se han definido las condiciones desencadenantes asociadas a cada escenario de falla?			
4	¿Se dispone de escenarios de flujo modelados (extensión, velocidad, intensidad)?			
5	¿Se han delimitado las zonas de afectación aguas abajo?			
6	¿Está identificada y georreferenciada la población expuesta?			
7	¿Se han evaluado las condiciones de vulnerabilidad (física, social, económica y ambiental)?			
8	¿Se cuenta con un diagnóstico de capacidades institucionales y comunitarias?			
9	¿Se han definido umbrales técnicos para la activación de alertas?			
10	¿Se han estimado los tiempos de respuesta y evacuación en función de los escenarios de flujo?			

8.2.2. Monitoreo y pronóstico

El componente de monitoreo y pronóstico del SAT para presas de relaves tiene como propósito observar de manera continua el comportamiento de la presa y su entorno, identificar desviaciones respecto a condiciones normales de operación y anticipar la evolución de escenarios que puedan conducir a una falla. Este componente constituye el vínculo entre el conocimiento del riesgo y la activación de alertas, transformando la información técnica en señales tempranas de decisión.

56 Basado en la lista de chequeo de: International Strategy for Disaster Reduction (ISDR). (2006). Developing Early Warning Systems: A Checklist. Bonn: United Nations.

En este contexto, la instrumentación desempeña un papel fundamental, en tanto permite medir variables críticas asociadas a la estabilidad física e hidráulica de la presa[57]. No obstante, la selección, ubicación y tipo de instrumentación no deben responder únicamente a criterios operativos o de disponibilidad tecnológica, sino que deben estar directamente sustentados en la estimación del riesgo. En particular, el análisis de amenaza desarrollado en este documento, incluyendo modos de falla, condiciones desencadenantes, intensidad y extensión de los flujos, proporciona los criterios técnicos para definir qué variables monitorear, dónde hacerlo y con qué nivel de resolución.

De esta manera, el monitoreo se orienta a variables clave tales como presión de poros, niveles de agua, deformaciones, caudales de drenaje y condiciones externas como precipitaciones o actividad sísmica, en función de su relación con los mecanismos de falla identificados[58]. La ubicación de los puntos de monitoreo debe priorizar zonas críticas del sistema, como el cuerpo del dique, fundaciones, sistemas de drenaje y áreas con antecedentes de inestabilidad, así como sectores donde la evolución de una anomalía pueda tener mayor impacto en la generación de un flujo.

El componente de pronóstico complementa el monitoreo mediante el análisis de tendencias y la proyección del comportamiento de las variables en el tiempo. Esto implica la comparación sistemática de los datos observados con umbrales previamente definidos, así como la evaluación de escenarios de evolución en función de condiciones desencadenantes. En el caso de presas de relaves, donde los procesos pueden evolucionar de manera rápida y no lineal, el pronóstico no se limita a la extrapolación de datos, sino que requiere criterios técnicos para interpretar señales tempranas de inestabilidad.

La efectividad de este componente depende de la calidad de la instrumentación, la continuidad de los registros, la confiabilidad de los sistemas de transmisión de datos y la existencia de protocolos claros para el análisis y validación de la información. Asimismo, es fundamental que los resultados del monitoreo y pronóstico estén directamente vinculados con los niveles de alerta definidos en el sistema, de manera que la superación de umbrales o la identificación de tendencias críticas active de forma oportuna los mecanismos de comunicación y respuesta.

El operador dispondrá de una matriz del TARP que incluya variable, instrumento, frecuencia, valor esperado, umbral, nivel de acción, responsable, plazo máximo, canal de notificación y acción correctiva.

El TARP contemplará, además, escenarios específicos por pérdida de telemetría, sensor fuera de servicio, lecturas incoherentes o imposibilidad de inspección; incluir medidas compensatorias y plazo máximo de reposición.

En este sentido, el monitoreo y pronóstico no constituyen un fin en sí mismo, sino un componente funcional del SAT orientado a la toma de decisiones. Su diseño e implementación deben garantizar que la información generada sea pertinente, oportuna y accionable, permitiendo anticipar escenarios de riesgo y reducir la incertidumbre en la gestión de emergencias asociadas a presas de relaves.

El componente de monitoreo y pronóstico requiere la implementación de sistemas de observación y análisis que permitan detectar condiciones anómalas y anticipar escenarios de falla. Para evaluar su estado de desarrollo y funcionalidad dentro del SAT, se propone un checklist de verificación que permite identificar la pertinencia del monitoreo, la calidad de la información generada y su articulación con los procesos de toma de decisiones y activación de alertas[59].

57 Basado en Global Tailings Review. (2020). Global Industry Standard on Tailings Management. London: ICMM, UNEP and PRI.

58 Basado en ANCOLD. (2019). Guidelines on Tailings Dams – Planning, Design, Construction, Operation and Closure. Australian National Committee on Large Dams.

59 Basado en WMO. (2018). Multi-hazard Early Warning Systems: A Checklist.

Tabla 34. Checklist componente de monitoreo y pronóstico

RESPONSABLE Titular/operador minero				
ÍTEM	**PREGUNTA DE VERIFICACIÓN**	**SI**	**NO**	**PARCIAL %**
1	¿El diseño del sistema de monitoreo está basado en los modos de falla identificados en el análisis de amenaza?			
2	¿Se han definido las variables críticas a monitorear en función de las condiciones desencadenantes (operacionales, hidrometeorológicas y sísmicas)?			
3	¿La instrumentación está ubicada en puntos críticos de la presa (dique, fundación, drenajes, zonas inestables)?			
4	¿Se cuenta con sistemas de monitoreo continuo o con frecuencias de medición adecuadas para la dinámica del riesgo?			
5	¿Los datos generados por la instrumentación son confiables y cuentan con protocolos de control de calidad (QA[60]/ QC[61])?			
6	¿Existe un sistema de transmisión y disponibilidad de datos en tiempo oportuno para la toma de decisiones?			
7	¿Se han definido umbrales técnicos asociados a cada variable de monitoreo para la activación de alertas?			
8	¿Se realiza análisis de tendencias y evaluación de comportamiento de las variables en el tiempo?			
9	¿Existen protocolos técnicos para la interpretación y validación de anomalías detectadas?			
10	¿El sistema de monitoreo y pronóstico está articulado con los niveles de alerta y los protocolos de activación del SAT?			
11	¿Existe personal técnico profesional capacitado y operativo 24/7, con turnos, respaldo y protocolo de escalamiento documentado?			

8.2.3. Comunicación de la alerta

El componente de comunicación tiene como propósito asegurar que la información generada por el monitoreo y el análisis técnico sea transmitida de manera oportuna, clara y efectiva a las autoridades y, mediante los mecanismos autorizados, a la población potencialmente expuesta.

Las acciones de respuesta se activarán conforme a las condiciones técnicas observadas, el TARP y protocolos aplicables, el tiempo crítico disponible y las decisiones de la autoridad competente; el IAV no constituye un disparador de alerta.

En el contexto de presas de relaves, este componente adquiere una relevancia crítica debido a la rapidez con la que pueden evolucionar los escenarios de falla, lo que exige que las alertas sean

60 Quality Assurance (en español Aseguramiento de la Calidad): Se refiere al conjunto de actividades planificadas y sistemáticas implementadas dentro del sistema de gestión de la presa de relaves para garantizar que los procesos, procedimientos y estándares se cumplan correctamente. Su enfoque es preventivo: busca evitar que ocurran errores o desviaciones.

61 Quality Control (en español Control de Calidad): Se refiere a las técnicas y actividades operativas empleadas para verificar y cumplir con los requisitos de calidad. Su enfoque es detectivo: identifica y corrige defectos o no conformidades en los datos, productos o procesos ya generados.

comprensibles, inequívocas y directamente vinculadas con acciones específicas. En este sentido, la comunicación de la alerta no se limita a la difusión de información, sino que constituye un mecanismo de activación operativa del sistema.

Para evitar confusiones entre la gestión interna de la instalación y la alerta pública, se diferenciarán las condiciones técnicas de operación del titular de los estados de alerta establecidos por el marco nacional. Los umbrales de instrumentación, criterios de desempeño y el TARP permiten al operador reconocer desviaciones, aplicar acciones correctivas y escalar la notificación técnica; la emisión o actualización de una alerta pública corresponde a la autoridad competente y a los mecanismos autorizados.

Las condiciones técnicas internas se organizarán, como mínimo, en estados de operación normal, vigilancia reforzada y condición crítica o de emergencia. El cambio entre estas condiciones se sustentará en criterios y umbrales técnicamente definidos. Su superación activa las acciones del TARP, el escalamiento y la notificación correspondiente, sin sustituir el procedimiento público de alerta.

Antes de vincular información técnica con una eventual alerta pública, el operador aplicará su TARP interno: condición normal, detección de desviación, verificación o investigación, acción correctiva, escalamiento técnico, notificación institucional y, cuando corresponda, activación de sus procedimientos de emergencia.

En la divulgación pública se considerará mapas simplificados, escenarios de impacto, protocolos de alerta, resultados de simulacros y contactos, preservando información legalmente reservada o de seguridad.

En la evaluación se incluirá indicadores de interoperabilidad progresiva con el SAT nacional, homologación, accesibilidad de dispositivos y mecanismos visuales, sonoros o táctiles cuando corresponda.

Tabla 35. Condiciones técnicas de la instalación y escalamiento operativo

Condición técnica de la instalación	Criterio general	Acción principal
Normal	Variables dentro de rangos de diseño y desempeño esperado, sin tendencias anómalas relevantes.	Vigilancia rutinaria, mantenimiento y reporte conforme procedimientos.
Vigilancia reforzada	Desviaciones o tendencias que requieren verificación, aumento de frecuencia de monitoreo o aplicación de acciones preventivas.	Aplicar el TARP/plan de acciones, verificar instrumentos, comunicar técnicamente a responsables y preparar escalamiento si la condición evoluciona.
Crítica / emergencia	Superación de umbrales críticos, evidencia de inestabilidad o condición compatible con un escenario de falla inminente o en desarrollo.	Aplicar acciones de emergencia del operador, notificar inmediatamente a autoridades y ejecutar medidas territoriales y evacuación conforme protocolos y autoridad competente.

Una vez emitida o actualizada una alerta por la autoridad competente, se activarán los protocolos institucionales y comunitarios que correspondan. La secuencia de actuación incluirá coordinación, movilización de recursos, difusión de mensajes, sistemas de aviso y, cuando el escenario y el tiempo crítico lo exijan, evacuación preventiva o de emergencia hacia zonas seguras previamente definidas.

Para garantizar la efectividad de este componente, el sistema de comunicación debe contar con múltiples canales de difusión, asegurando redundancia en la transmisión de la alerta[62]. Estos pueden incluir sirenas, sistemas de radiocomunicación, telefonía móvil, perifoneo y otros mecanismos adaptados a las condiciones del territorio. Asimismo, los mensajes deben ser simples, consistentes y previamente socializados con la población, de manera que exista una comprensión clara de las acciones a seguir frente a cada nivel de alerta.

En este sentido, la comunicación de la alerta actúa como el elemento articulador entre la información técnica y la acción en territorio, permitiendo que el Sistema de Alerta Temprana cumpla su función principal de proteger la vida y reducir los impactos asociados a escenarios de falla en presas de relaves.

El componente de comunicación requiere protocolos estandarizados, responsabilidades claras, mensajes previamente preparados y mecanismos redundantes de difusión. La relación entre umbrales técnicos y alertas públicas se establecerá mediante un protocolo de escalamiento y validación institucional, evitando una equivalencia automática entre una lectura instrumental y una declaratoria pública.

La superación de umbrales activa el protocolo técnico y la elaboración y/o actualización del informe correspondiente; la declaratoria o cambio de estado de alerta se realizará por la autoridad competente conforme al procedimiento legal y reglamentario.

Los responsables se definirán por nivel territorial y competencia, incorporando los requisitos de informe técnico, resolución, notificación a la SNGR y difusión oficial que correspondan.

Tabla 36. Checklist componente de comunicación de la alerta

RESPONSABLE SNGR y/o GAD competente, según ámbito y competencia				
ÍTEM	**PREGUNTA DE VERIFICACIÓN**	**SI**	**NO**	**PARCIAL %**
1	¿Los niveles de alerta (verde, amarillo, rojo) están definidos y estandarizados en el sistema?			
2	¿Los niveles de alerta están claramente asociados a umbrales técnicos derivados del análisis de riesgo?			
3	¿La activación de cada nivel de alerta se basa en la información del sistema de monitoreo e instrumentación?			
4	¿Existen protocolos definidos para la emisión y validación de la alerta antes de su difusión?			
5	¿Se han establecido claramente los responsables institucionales para la emisión de alertas?			
6	¿Los mensajes de alerta están predefinidos, son claros y comprensibles para la población?			
7	¿El sistema cuenta con múltiples canales de comunicación para la difusión de la alerta (redundancia)?			
8	¿Las comunidades conocen el significado de cada nivel de alerta y las acciones asociadas?			

62 Basado en International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (IFRC). (2020). Early Warning Early Action Framework. Geneva: IFRC.

RESPONSABLE SNGR y/o GAD competente, según ámbito y competencia				
ÍTEM	**PREGUNTA DE VERIFICACIÓN**	**SI**	**NO**	**PARCIAL %**
9	¿La emisión de la alerta está directamente vinculada a la activación de protocolos institucionales y comunitarios?			
10	¿Se realizan pruebas periódicas, simulacros o ejercicios para validar el funcionamiento del sistema de alerta?			

8.2.4. Capacidad de respuesta

La capacidad de respuesta incluirá un inventario y análisis funcional de agua potable, salud, educación, energía, telecomunicaciones, vialidad, seguridad, abastecimiento y otras funciones críticas, con redundancias y tiempos de recuperación.

El componente de capacidad de respuesta del SAT tiene como propósito asegurar que las alertas emitidas se traduzcan en acciones efectivas de protección de la población, mediante la activación oportuna de protocolos de respuesta y evacuación. Este componente representa la fase operativa del sistema, en la que la información técnica y la comunicación de la alerta se convierten en decisiones y acciones en territorio.

Cada comunidad o territorio dispondrá de una ficha pública-operativa de emergencia con escenario, mapa, tiempos, profundidad, velocidad, mensajes, rutas, roles, contactos y procedimiento de notificación.

Como referencia de buena práctica se considerará al menos cada tres años para simulación integral en instalaciones con potencial pérdida de vidas, salvo que normativa nacional o análisis de riesgo exija mayor frecuencia.

La capacidad de respuesta se evaluará por fase del ciclo de vida y se establecerán convenios o contratos de disponibilidad de terceros para postcierre.

La capacidad de respuesta se sustenta en la existencia de protocolos claramente definidos para cada nivel de alerta, los cuales deben establecer responsabilidades, secuencia de acciones y tiempos de ejecución. Estos protocolos incluyen, de manera prioritaria, la evacuación de la población ubicada en zonas de afectación, la activación de mecanismos de coordinación institucional y la movilización de recursos para la atención de la emergencia.

La efectividad de la respuesta depende de un proceso previo de preparación, que comprende la identificación, diseño y señalización de rutas de evacuación, así como la definición de puntos seguros ubicados fuera de las zonas de riesgo[63]. Estas rutas deben ser funcionales, accesibles y coherentes con los escenarios de flujo definidos en el análisis de la amenaza, considerando además los tiempos disponibles para la evacuación en función de la dinámica del evento.

Asimismo, es fundamental que la población conozca y reconozca estas rutas y puntos seguros, mediante procesos de socialización, capacitación y ejercicios de simulación. La capacidad de respuesta no se limita a la existencia de infraestructura o planes, sino que depende de la apropiación de estos por parte de la comunidad y de su capacidad real para actuar bajo condiciones de emergencia. Se mantendrá un programa anual de entrenamiento y ejercicios parciales.

Un elemento central de este componente es la incorporación de enfoques de atención a poblaciones con necesidades diferenciadas, tales como personas con discapacidad, adultos ma-

63 United Nations Environment Programme (UNEP) & International Council on Mining and Metals (ICMM). (2001). APELL for Mining: Guidance for the Mining Industry in Raising Awareness and Preparedness for Emergencies at Local Level. Paris: UNEP.

yores, niños y otros grupos en condición de vulnerabilidad. Esto implica adaptar los protocolos de evacuación, los tiempos de respuesta y los mecanismos de asistencia para garantizar que todas las personas puedan acceder a condiciones de seguridad de manera oportuna.

La capacidad de respuesta también requiere una articulación efectiva entre las autoridades y la comunidad, basada en la coordinación, la claridad de roles y la confianza en el sistema[64]. En este sentido, la preparación para la respuesta debe ser entendida como un proceso continuo, que incluye acciones de sensibilización, fortalecimiento de capacidades, realización de simulacros y evaluación periódica del sistema. Así mismo, el mantener un mapeo de capacidades regionales que incluya maquinaria pesada, transporte, salud, comunicaciones, energía, combustible, búsqueda, rescate, logística y contratistas, con tiempos reales de movilización.

En el marco del SAT, este componente cierra la cadena operativa del sistema, asegurando que la alerta no solo sea recibida, sino que genere una respuesta efectiva. Su funcionamiento adecuado es determinante para reducir la pérdida de vidas humanas y minimizar los impactos asociados a escenarios de falla en presas de relaves.

Para evaluar su estado de desarrollo, se propone un checklist de verificación que permite identificar la capacidad real del territorio para responder de manera oportuna y efectiva frente a la activación del sistema de alerta temprana[65].

En la coordinación se considerará al COE-Nacional, COE-Provincial, COE-Municipal y Comité Parroquial de Emergencias (COPAE) según el ámbito territorial, con cadena de escalamiento, convocatoria, activación, responsables y flujo de información.

Tabla 37. Checklist componente capacidad de respuesta

RESPONSABLES Operador de la presa de relaves. SNGR y/o GAD competente, según ámbito y competencia. Comunidades.				
ÍTEM	**PREGUNTA DE VERIFICACIÓN**	**SI**	**NO**	**PARCIAL %**
1	¿Existen protocolos de respuesta y evacuación definidos para cada nivel de alerta?			
2	¿Los protocolos establecen claramente roles y responsabilidades institucionales?			
3	¿Se han identificado y delimitado las rutas de evacuación en función de los escenarios de amenaza?			
4	¿Las rutas de evacuación están señalizadas, son accesibles y funcionales en condiciones reales?			
5	¿Se han definido y validado puntos seguros fuera de las zonas de afectación?			
6	¿La población conoce y reconoce las rutas de evacuación y los puntos seguros?			

64 El GAD y COE son los encargados de la activación y coordinación territorial. Las entidades de respuesta son responsables de la ejecución según competencia. El titular/operador minero se encargara del soporte técnico y obligaciones de su Plan de Preparación y Respuesta ante Emergencias. La comunidad será responsable de la autoprotección, recepción de alertas y evacuación conforme a protocolos.

65 Basado en UNEP & ICMM. (2001). APELL for Mining.

RESPONSABLES Operador de la presa de relaves. SNGR y/o GAD competente, según ámbito y competencia. Comunidades.				
ÍTEM	**PREGUNTA DE VERIFICACIÓN**	**SI**	**NO**	**PARCIAL %**
7	¿Se han incorporado medidas específicas para poblaciones con necesidades diferenciadas (personas con discapacidad, adultos mayores, niños, etc.)?			
8	¿Se han realizado simulacros o ejercicios de evacuación para validar los tiempos de respuesta?			
9	¿Existe coordinación efectiva entre autoridades y comunidad para la activación de la respuesta?			
10	¿Se desarrollan procesos continuos de capacitación, sensibilización y fortalecimiento de capacidades comunitarias?			

8.2.5. Elementos transversales del SAT

Los elementos transversales del Sistema de Alerta Temprana (SAT) corresponden al conjunto de condiciones institucionales, operativas y sociales que permiten la sostenibilidad, continuidad y efectividad del sistema en el tiempo. Estos elementos no constituyen un componente independiente, sino un eje habilitador que atraviesa e integra los cuatro componentes funcionales del SAT, fortaleciendo su articulación y garantizando su funcionamiento continuo.

En el contexto de presas de relaves, donde la vigilancia debe ser permanente y los escenarios de riesgo pueden evolucionar a lo largo del tiempo, los elementos transversales adquieren una relevancia crítica, aseguran que el sistema se mantenga operativo, actualizado y apropiado por los actores involucrados.

Uno de los aspectos centrales es la coordinación técnica, institucional y comunitaria, la cual permite articular las funciones del titular de la presa, las autoridades de gestión del riesgo y las comunidades potencialmente expuestas. Esta coordinación debe sustentarse en la definición clara de roles y responsabilidades, en la existencia de canales de comunicación establecidos y en la implementación de mecanismos de toma de decisiones que eviten duplicidades o vacíos en la gestión del sistema.

Asimismo, la sostenibilidad del SAT depende de la asignación de recursos financieros, técnicos y humanos que permitan su operación continua. Esto incluye el mantenimiento de la instrumentación, la actualización de los sistemas de monitoreo, la revisión periódica de umbrales y la adecuación de los protocolos de respuesta en función de cambios en las condiciones de la presa o del territorio[66].

El mantenimiento del sistema constituye otro elemento clave, e implica no solo la conservación de los equipos de monitoreo y comunicación, sino también la verificación periódica de su funcionamiento, la reposición de componentes y la validación de los sistemas de transmisión de información. Un SAT sin mantenimiento adecuado pierde confiabilidad y puede generar fallas críticas en momentos de emergencia.

De igual forma, la generación y fortalecimiento de capacidades es fundamental para asegurar la efectividad del sistema. Esto incluye procesos continuos de capacitación dirigidos a actores institucionales y comunitarios, la realización de simulacros y ejercicios de evacuación, y la dotación de recursos necesarios para la respuesta. Estos procesos permiten consolidar el conocimiento del sistema, mejorar los tiempos de reacción y fortalecer la confianza de la población en los mecanismos de alerta.

66 ISO. (2018). ISO 22320: Security and resilience — Emergency management — Guidelines for incident management. Geneva: International Organization for Standardization.

En conjunto, los elementos transversales garantizan que el SAT no sea únicamente un sistema técnico, sino una herramienta funcional, sostenible y apropiada por el territorio. Su implementación adecuada permite mantener la coherencia entre los componentes del sistema y asegurar que la alerta temprana se traduzca en una reducción efectiva del riesgo asociado a presas de relaves.

Los elementos transversales del Sistema de Alerta Temprana garantizan su sostenibilidad, operatividad y articulación entre los diferentes actores involucrados. Para evaluar su estado de desarrollo, se propone un checklist de verificación orientado a identificar la solidez de la coordinación institucional, la disponibilidad de recursos, el mantenimiento del sistema y la generación continua de capacidades.

Tabla 38. Checklist componente de transversales

RESPONSABLES Operador de la presa de relaves. SNGR y/o GAD competente, según ámbito y competencia. Comunidades.				
ÍTEM	**PREGUNTA DE VERIFICACIÓN**	**SI**	**NO**	**PARCIAL %**
1	¿Existen mecanismos formales de coordinación entre el titular de la presa, las autoridades y la comunidad?			
2	¿Están definidos y documentados los roles y responsabilidades de los actores del SAT?			
3	¿Se cuenta con recursos financieros, técnicos y humanos asignados para la operación del SAT?			
4	¿Existe un plan de mantenimiento para los sistemas de monitoreo, comunicación y alerta?			
5	¿Se realizan verificaciones periódicas del funcionamiento de los equipos e infraestructura del SAT?			
6	¿Se actualizan periódicamente los umbrales, protocolos y escenarios de riesgo?			
7	¿Se ejecutó y evaluó al menos una simulación/simulacro anual, con plan de mejora y actualización de instrumentos?			
8	¿Se desarrollan programas de capacitación continua para actores institucionales y comunitarios?			
9	¿Se realizan simulacros y ejercicios periódicos para evaluar el funcionamiento del sistema?			
10	¿Se cuenta con mecanismos para la evaluación y mejora continua del SAT?			
11	¿El sistema promueve la participación de la comunidad en su operación y fortalecimiento?			

8.2.6. Gobernanza del SAT

La gobernanza del SAT para presas de relaves debe sustentarse en una estructura funcional claramente definida, donde las responsabilidades asociadas al conocimiento del riesgo, el monitoreo, la comunicación de alertas y la respuesta ante emergencias se encuentren diferenciadas y articuladas entre los actores competentes.

En el caso de las presas de relaves, la gobernanza del SAT requiere una integración permanente entre el operador de la presa, las instituciones de gestión del riesgo a nivel local y las comunidades potencialmente expuestas dentro de la zona de influencia del evento.

El operador de la presa es responsable principal de la gestión técnica de la infraestructura y del monitoreo instrumental, mientras que las instituciones de gestión del riesgo coordinan territorialmente los procesos de preparación, comunicación de alertas y respuesta ante emergencias. Por ello, se definirá un protocolo de ingreso de información del titular/operador minero a la Sala de Situación: parámetros críticos, estado de instrumentación, mapas, tiempo de llegada, población expuesta, afectaciones y evolución.

Se diferenciarán el PPRE, el MOMV, el OMS, plan de contingencias del operador, los planes territoriales públicos y los protocolos comunitarios. Las interfaces y la información por compartir se establecerán de forma expresa.

Por su parte, las comunidades constituyen un actor fundamental del sistema, debido a que la efectividad del SAT depende de su capacidad para comprender las alertas, activar mecanismos de autoprotección y ejecutar procesos de evacuación en tiempos compatibles con la dinámica del evento. Esta articulación resulta esencial para asegurar que la información técnica generada mediante el monitoreo pueda transformarse oportunamente en acciones efectivas de protección de la vida y reducción de consecuencias sobre la población expuesta.

La estructura funcional del SAT para presas de relaves puede organizarse conforme a la siguiente distribución general de responsabilidades:



Tabla 39. Actores y responsabilidades del SAT

Componente del SAT	Actores principales	Responsabilidades generales
Conocimiento del riesgo	Titular/operador minero; GAD competentes; SNGR; autoridades sectoriales y organismos técnico-científicos, según competencia.	• El operador aporta la caracterización técnica de la instalación, modos de falla y modelaciones exigibles[67]. • Los GAD y la SNGR integran la información territorial de exposición, vulnerabilidad y capacidades. • Las autoridades sectoriales ejercen sus competencias de control y regulación. • Los productos deben ser interoperables y compartidos conforme a protocolos.
Monitoreo y pronóstico	Titular/operador minero de la instalación; organismos técnicos-científicos; SNGR/ Centro Nacional de Alerta Temprana según competencia.	• El operador mantiene la instrumentación, vigilancia y evaluación técnica de condiciones precursoras, aplica sus niveles de acción/TARP y notifica oportunamente a las autoridades. • Los organismos competentes procesan la información que corresponda y la integran a los mecanismos nacionales de monitoreo y alerta.
Comunicación de alertas	SNGR y GAD competentes mediante mecanismos autorizados; operador como fuente de notificación técnica.	• La información técnica del operador no equivale por sí sola a una alerta pública[68]. • La emisión y difusión de alertas[69] se realizará mediante los mecanismos nacionales y locales autorizados, con mensajes claros, accesibles, redundantes y culturalmente pertinentes. • Los protocolos definirán validación, vocería y escalamiento.
Capacidad de respuesta	GAD[70], COE/COPAE según ámbito, entidades de respuesta, comunidades y titular/ operador minero	• Activar planes y protocolos, organizar evacuación, habilitar rutas y zonas seguras, movilizar recursos, atender población afectada y coordinar acciones conforme al Manual del COE vigente. • El operador ejecuta su PPRE y acciones internas, apoyando la respuesta territorial sin sustituir competencias públicas.
Gobernanza y mejora continua	SNGR, GAD, autoridades sectoriales, titular/ operador minero y comunidades.	• Mantener acuerdos de coordinación, recursos, ejercicios, revisión de desempeño, actualización de escenarios, gestión documental, evaluación de brechas y mejora continua del SAT.

Se estructurará una matriz de actores por competencias legales, funciones técnicas, información generada, decisiones posibles y límites de competencia.

La claridad en la distribución de responsabilidades constituye un elemento fundamental para garantizar la operatividad del SAT, especialmente en escenarios donde los tiempos de reacción son limitados y la coordinación entre actores resulta crítica para reducir las consecuencias potenciales asociadas a una falla de presa de relaves.

67 Modos de falla, modelación de rotura, zona de inundación, tiempos y variables hidráulicas.

68 Aviso técnico inmediato conforme a protocolo.

69 La Autoridad competente declarara y/o cambiara el estado de alerta.

70 Los GAD son responsables de la difusión oficial local y activación de medidas.

8.3. Tiempo crítico de respuesta en escenarios de falla de presas de relaves

En el contexto de presas de relaves, el tiempo crítico de respuesta constituye el factor determinante para la efectividad del SAT, en la medida en que los eventos de falla pueden evolucionar de manera súbita y con alta velocidad de propagación. A diferencia de otras amenazas, los flujos asociados a fallas de presas pueden alcanzar zonas pobladas en tiempos muy reducidos, limitando significativamente la ventana disponible para la toma de decisiones y la evacuación de la población.

8.3.1. Tiempo crítico

El tiempo crítico puede definirse como el intervalo total disponible entre la detección de una condición anómala o de falla y la llegada del flujo a las zonas expuestas. Este tiempo debe ser suficiente para permitir la activación de los mecanismos de alerta, la comunicación efectiva a la población y la ejecución de acciones de evacuación hacia zonas seguras.

El tiempo crítico se descompone en cuatro componentes operativos[71]:

- **Tiempo de detección:** Corresponde al intervalo requerido para identificar una condición anómala o crítica en la presa a partir del sistema de monitoreo. Este tiempo depende de la frecuencia de medición, la continuidad de los registros y la capacidad de los sistemas para generar alertas automáticas. En sistemas con monitoreo en tiempo real, este tiempo puede ser reducido a minutos; en sistemas manuales, puede extenderse significativamente, afectando la efectividad del SAT.
- **Tiempo de validación y toma de decisión:** Corresponde al intervalo necesario para analizar la información, validar la anomalía, aplicar el escalamiento técnico y emitir las recomendaciones o notificaciones institucionales que correspondan. La eventual declaratoria o actualización del estado de alerta se sujetará al procedimiento y a la autoridad competente. En escenarios críticos, este tiempo deberá reducirse al mínimo compatible con la seguridad y la trazabilidad de la decisión.
- **Tiempo de comunicación de la alerta:** Corresponde al tiempo requerido para emitir y difundir la alerta a las autoridades y a la población expuesta. Este componente depende de la eficiencia de los canales de comunicación, la redundancia de los sistemas y la cobertura territorial de los mecanismos de alerta. La existencia de sistemas automatizados y múltiples canales de difusión permite reducir significativamente este tiempo.
- **Tiempo de respuesta y evacuación:** Corresponde al tiempo necesario para que la población reaccione ante la alerta y se desplace hacia zonas seguras. Este tiempo está influenciado por factores como la distancia a los puntos seguros, la accesibilidad de las rutas de evacuación, el nivel de preparación de la comunidad y la presencia de poblaciones con necesidades diferenciadas.

8.3.2. Relación entre el tiempo crítico y la efectividad del SAT

La efectividad del SAT depende de que la suma de los tiempos operativos del sistema sea menor que el tiempo de llegada del flujo a las zonas expuestas. Esta relación puede expresarse de la siguiente manera[72]:

$$T_{Detección} + T_{Decisión} + T_{Comunicación} + T_{Evacuación} < T_{Llegada\ del\ flujo}$$

Cuando esta condición se cumple, el sistema tiene la capacidad de anticipar el evento y activar acciones de protección de manera oportuna. En caso contrario, el SAT pierde efectividad, la alerta

71 Basado en Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2013). Federal Guidelines for Dam Safety: Emergency Action Planning for Dams. Washington D.C.: FEMA.

72 Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2013). Federal Guidelines for Dam Safety: Emergency Action Planning for Dams. Washington D.C.: FEMA.

no logra traducirse en una evacuación efectiva antes de la llegada del flujo.

8.3.3. Implicaciones para el diseño del SAT

El análisis del tiempo crítico tiene implicaciones directas en el diseño e implementación del SAT. En particular:

- Determina la necesidad de monitoreo en tiempo real en presas con alta peligrosidad.
- Exige la definición de umbrales automáticos para reducir tiempos de decisión.
- Requiere la implementación de sistemas de alerta redundantes para minimizar tiempos de comunicación.
- Obliga a diseñar rutas de evacuación eficientes y a fortalecer la preparación comunitaria para reducir los tiempos de respuesta.

En escenarios donde el tiempo de llegada del flujo es extremadamente corto, el SAT debe priorizar mecanismos de alerta inmediata y estrategias de autoprotección, reconociendo que la ventana de evacuación puede ser limitada.

8.3.4. Importancia del tiempo crítico en la reducción del riesgo

El tiempo crítico constituye el elemento que articula los componentes del SAT, condiciona la capacidad del sistema para transformar información técnica en acciones efectivas. Su análisis permite identificar cuellos de botella en el sistema, optimizar los procesos operativos y orientar inversiones en monitoreo, comunicación y preparación.

Donde los eventos pueden tener consecuencias catastróficas, la gestión del tiempo crítico es determinante para la protección de la vida humana, siendo uno de los principales criterios para evaluar la viabilidad y efectividad del SAT.





Planes específicos de respuesta comunitaria

09

En este capítulo se presenta los aspectos más importantes de la planificación para la respuesta desde el punto de vista comunitario. Esto no quiere decir que la planificación de la respuesta ante eventos relacionados con la falla o colapso de presas de relave recaiga exclusivamente sobre la comunidad. Las responsabilidades y competencias institucionales están dadas de acuerdo con las normativas legales anteriormente analizadas.

Cuando se habla de planes de respuesta específicos comunitarios, se hace referencia a los instrumentos técnicos de gestión de emergencias elaborados para cada comunidad expuesta, que establecen procedimientos operativos, mecanismos de alerta, rutas de evacuación, roles y responsabilidades, recursos disponibles y coordinación interinstitucional, considerando las amenazas identificadas, condiciones territoriales, vulnerabilidades sociales y capacidad de respuesta local, con el fin de reducir impactos y proteger a la población ante eventos adversos.

Los planes y protocolos deberán mantener referencias cruzadas y compatibilidad respecto de mismos escenarios, niveles de avisos, rutas, directorios, responsabilidades y criterios de actualización.

La SNGR ha elaborado la "Guía de Gestión del Riesgo de Desastres para la Comunidad", que tiene como finalidad incrementar la conciencia pública acerca del impacto de los eventos peligrosos y fomentar una mejor preparación para hacer frente a emergencias y desastres dentro del territorio ecuatoriano, para reducir el impacto y los niveles de afectación en la población, considerando que la preparación es fundamental en la gestión de riesgos.

Esta guía está enfocada más hacia las amenazas naturales; es por ello por lo que en este apartado se aportan algunos aspectos importantes para la amenaza de inundación por flujos de relaves sobre las comunidades.

Por lo tanto, el plan específico por cada comunidad ubicada aguas abajo de una presa de relaves debe definir:

- Tiempo estimado de llegada de flujo en caso de falla.
- Rutas rápidas de evacuación en altura.
- Señales de alerta.
- Puntos de reunión seguros.
- Comunicación inmediata con autoridades.

Los comités comunitarios son un organismo comunitario del SNDGRD, participan activamente en la elaboración, validación, socialización y ejecución de los planes comunitarios; la responsabilidad institucional de preparación y respuesta corresponde a los GAD y demás actores competentes conforme a la Ley.

9.1. Formatos estándar por tipo de comunidad

Los formatos son un conjunto de modelos técnicos normalizados para la elaboración de planes de preparación, respuesta y recuperación ante emergencias, diseñados según las características territoriales, sociales y funcionales de cada tipo de comunidad. Estos establecen estructuras mínimas de diagnóstico de riesgos, organización comunitaria, protocolos de actuación, rutas de evacuación, recursos disponibles, mecanismos de comunicación y coordinación institucional, permitiendo adaptar la planificación a comunidades urbanas, rurales (indígenas), costeras, o de alta vulnerabilidad, con criterios homogéneos que faciliten su implementación, evaluación y actualización.

Estos formatos vienen dados por la Guía de Gestión del Riesgo de Desastres para la Comunidad[73], en donde se presenta de manera general, más no especifica el modelo de planificación. El presente documento aporta insumos para la especificidad dentro del plan.

73 https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/06/Gu%C3%ADa-de-GRD-para-la-comunidad.pdf

9.1.1. Comunidades urbanas: Protocolos de evacuación masiva

Los protocolos son una serie de procedimientos técnicos y operativos destinados a realizar la evacuación rápida, organizada y segura de asentamientos humanos localizados en áreas de influencia de las presas de relaves, frente a escenarios de colapso total, falla parcial, rebose o liberación no controlada.

Estos protocolos contemplan tiempos estimados de llegada del flujo, modelación de áreas inundables, rutas de evacuación vertical y horizontal, sistemas de alerta temprana, zonas seguras fuera del área de impacto, atención prioritaria a población vulnerable y coordinación entre instituciones competentes.

La evacuación se priorizará hacia zonas ubicadas fuera del área modelada de afectación. La evacuación vertical sólo se considerará cuando exista evaluación estructural y funcional específica, el tiempo disponible resulte insuficiente para una evacuación horizontal segura y el procedimiento haya sido validado por las autoridades competentes.

Los objetivos operativos de estos protocolos incluyen: salvaguardar la vida e integridad de la población expuesta, disminuir los tiempos de evacuación en áreas de alta amenaza, prevenir congestión vehicular y desorden social, asegurar la continuidad mínima de los servicios esenciales y promover una respuesta articulada entre las instituciones competentes.

Asimismo, se deberán incorporar los siguientes lineamientos

1. Activación del protocolo

La evacuación deberá ponerse en marcha a partir de alertas generadas por el monitoreo geotécnico, hidrológico o estructural, así como por la confirmación de técnicos incidentes operativos en la presa de relaves. Entre los criterios de activación se consideran: deformaciones anómalas del dique, filtraciones críticas o erosión interna, incremento excesivo del nivel de agua, sismos que afecten la estabilidad, ruptura confirmada o liberación de flujo.

Los disparadores técnicos definidos en el TARP activarán acciones preestablecidas, incluida evacuación preventiva cuando corresponda; paralelamente se aplicará el procedimiento de declaratoria y actualización de estado de alerta de la autoridad competente.

2. Sistema de alerta temprana urbana

La comunicación a la población deberá efectuarse mediante mecanismos múltiples y redundantes, tales como sirenas comunitarias, mensajería celular masiva, radio y televisión local, altoparlantes móviles y plataformas digitales oficiales. El mensaje deberá señalar claramente la amenaza existente, el área afectada, la ruta de evacuación y el punto seguro de concentración.

3. Sectorización de evacuación

El área urbana en riesgo deberá zonificarse previamente en sectores operativos, de acuerdo con el nivel de amenaza y el tiempo estimado de llegada del flujo. Como prioridad referencial se propone: sector A, amenaza alta con evacuación inmediata; sector B, amenaza media con evacuación controlada inmediata; y sector C, amenaza baja bajo alerta preventiva.

Se definirá sectores operativos a partir de polígonos modelados, tiempos de llegada, profundidad, velocidad, capacidad vial y población; documentar los criterios y versión del escenario.

4. Rutas de evacuación

Las rutas deberán planificarse fuera de cauces naturales, quebradas, pasos deprimidos o áreas con posible inundación por relaves, considerando los siguientes criterios técnicos: separación de vías peatonales y vehiculares, señalización permanente y provisional, rutas alternas ante bloqueos viales y prioridad de desplazamiento hacia zonas elevadas o áreas no expuestas al impacto.

5. Gestión de tránsito y movilidad

Durante la evacuación se deberán aplicar medidas como: habilitación de contraflujo en las vías principales, restricción de acceso a la zona de riesgo, prioridad de circulación para transporte público y unidades de emergencia, así como suspensión temporal del estacionamiento en corredores críticos.

Las medidas especiales de movilidad sólo se aplicarán cuando sean técnicamente viables y estén autorizadas por la autoridad de tránsito competente, conforme al plan de movilidad de emergencia y a simulacros previos.

6. Atención a población prioritaria

Se definirán procedimientos específicos para hospitales y centros de salud, escuelas y guarderías, personas adultas mayores, personas con discapacidad, así como centros penitenciarios e instituciones de régimen cerrado.

7. Puntos seguros y albergues temporales

Los puntos de concentración deberán localizarse fuera de la zona de afectación estimada y disponer de acceso seguro, agua potable, saneamiento básico, registro de personas evacuadas y atención médica inicial.

8. Coordinación institucional

La coordinación se realizará a través de las instancias previstas en la LOGIRD y los instrumentos vigentes del COE; cuando se utilice un esquema operativo de comando unificado, éste actuará subordinado a dicha estructura y a las competencias de cada institución.

9. Control de información pública

Toda comunicación oficial deberá centralizarse para evitar rumores, pánico y desinformación.

10. Retorno seguro

El retorno solo se autorizará tras completar: (i) la evaluación geotécnica de la estabilidad residual, (ii) la verificación estructural de las zonas urbanas, (iii) el control sanitario y ambiental, y (iv) el restablecimiento básico de los servicios esenciales.

Todas estas acciones en territorios urbanos tienen como responsable al GAD Municipal en coordinación con la SNGR. Toda directriz o disposición debe ser emitida por el GAD Municipal o si es un tema regional por la SNGR.

Tomar en cuenta que el GAD competente coordinará las acciones territoriales dentro de sus atribuciones, en articulación con SNGR, entidades sectoriales, COE, organismos de respuesta y operador. Cada acto o disposición será emitido por la autoridad legalmente competente.

9.1.2. Comunidades rurales e indígenas: Incorporación de conocimientos tradicionales.

Aplicable a pueblos y nacionalidades indígenas ubicados aguas abajo o dentro del área de influencia de presas de relaves, cuyos territorios mantienen vínculos culturales y productivos con el entorno natural. En estos contextos, la gestión del riesgo no debe limitarse a enfoques técnicos convencionales, sino integrar los conocimientos tradicionales como componente complementario para la prevención, preparación y respuesta ante emergencias.

La incorporación de conocimientos tradicionales consiste en reconocer, documentar e integrar prácticas ancestrales, sistemas propios de observación ambiental, formas de organización comunitaria y mecanismos culturales de toma de decisiones, con el fin de fortalecer la eficacia de los protocolos de alerta y evacuación, respetando la autonomía y pertinencia cultural de cada comunidad.

Es importante considerar que en muchas comunidades indígenas se conservan conocimientos ancestrales acumulados sobre: comportamiento histórico de ríos, quebradas y laderas; señales naturales previas a eventos extremos; rutas seguras utilizadas tradicionalmente; sitios elevados de resguardo; formas colectivas de movilización comunitaria; sistemas propios de autoridad y co-

municación interna; manejo de recursos hídricos y territoriales.

Considerar los siguientes componentes de integración

1. Diagnóstico participativo territorial

Los mapas comunitarios se elaborarán con participación de líderes locales y deberán identificar:

- Sitios sagrados.
- Zonas inundables históricas.
- Senderos ancestrales.
- Fuentes de agua sensibles.
- Áreas de refugio tradicional.

2. Sistemas propios de observación ambiental

Registrar indicadores utilizados por la comunidad, tales como:

- Cambios inusuales en caudales.
- Sonidos del terreno.
- Turbidez repentina del agua.
- Comportamiento atípico de fauna.
- Deslizamientos menores previos.

Estos indicadores no reemplazan monitoreo técnico, pero complementan.

3. Mecanismos culturales de comunicación

La alerta debe emitirse en idioma local y mediante canales aceptados socialmente: autoridades comunitarias, asambleas, campanas, pitos, tambores u otros medios locales, radios comunitarias, etc.

4. Organización para evacuación

La movilización debe respetar estructuras internas como: cabildos, consejos de ancianos, dirigencias territoriales, mingas comunitarias de apoyo, etc.

5. Protección integral del territorio

La respuesta no solo considera personas, sino también: fuentes de agua, chacras y cultivos, sitios ceremoniales, cementerios ancestrales, bienes comunitarios, etc.

En comunidades indígenas, la evaluación del riesgo y los protocolos de respuesta deberán incorporar conocimientos tradicionales relacionados con el comportamiento del territorio, la organización social, las rutas seguras y los mecanismos propios de alerta, complementando la información técnica especializada y garantizando pertinencia cultural en la gestión del riesgo; considerando lineamientos como: consulta y participación previa durante diseño del protocolo, validación comunitaria de rutas de evacuación, materiales en idioma local, respeto la gobernanza propia, inclusión de monitores comunitarios ambientales y recuperación postevento con enfoque cultural.

La validación comunitaria se documentará mediante actas y registros de acuerdos sobre rutas, mensajes y puntos seguros, considerando idioma, accesibilidad y participación de autoridades propias cuando corresponda.

Para las acciones en zonas rurales los responsables son los GAD Provinciales en conjunto con los GAD Parroquiales, siempre bajo las directrices de la SNGR. Y trabajando directamente con los Comités Comunitarios de Gestión de Riesgos.

En el ámbito rural, el fortalecimiento de comités comunitarios corresponde al GAD provincial conforme al art. 39 de la LOGIRD, sin perjuicio de las competencias concurrentes de los GAD municipales, parroquiales, SNGR y entidades sectoriales.

9.2. Kit de implementación rápida

Tomando en cuenta las características propias de una potencial emergencia o desastre por fallo de una presa de relaves, se propone la necesidad que las comunidades preparen un kit de imple-

mentación rápida para responder. Siempre en coordinación con las autoridades de los GAD provinciales y municipales.

El Kit de implementación rápida es el conjunto de herramientas, formatos, procedimientos y recursos operativos diseñados para facilitar la puesta en marcha inmediata de medidas básicas de preparación, respuesta y coordinación ante el riesgo. Su finalidad es acelerar la capacidad de actuación institucional y comunitaria en territorios expuestos, especialmente en zonas donde no existen planes consolidados o donde se requiere intervención prioritaria en plazos reducidos.

El kit de implementación rápida deberá permitir la aplicación inicial de acciones mínimas indispensables para la gestión del riesgo, sin reemplazar procesos posteriores de planificación integral, evaluación técnica detallada y fortalecimiento institucional.

Los componentes mínimos sugeridos, para el kit de implementación rápida:

1. Instrumentos técnicos básicos

- Formato simplificado de identificación de amenazas aguas abajo.
- Ficha rápida de comunidades expuestas.
- Matriz preliminar de vulnerabilidad y capacidad de respuesta.
- Guía para priorización de sectores críticos.

2. Herramientas operativas de respuesta

- Modelo de protocolo de evacuación inicial.
- Rutas temporales de salida y puntos seguros.
- Directorio de contactos institucionales y comunitarios.
- Procedimiento de activación de alertas.

3. Recursos de comunicación

- Plantillas de mensajes de alerta temprana.
- Material gráfico para difusión comunitaria.
- Señalética provisional para rutas de evacuación.
- Guiones para perifoneo y radio local.

4. Organización local

- Formato para conformación de brigadas comunitarias.
- Asignación rápida de roles y responsabilidades.
- Registro de población vulnerable.
- Listado de recursos locales disponibles.

5. Verificación y seguimiento

- Lista de chequeo para implementación en campo.
- Indicadores mínimos de operatividad.
- Cronograma inicial de simulacros y capacitación.
- Formato de reporte de avances.
- Criterios de aplicación

El kit deberá emplearse en comunidades o territorios con exposición identificada a la amenaza, priorizando zonas con alta vulnerabilidad, limitada capacidad institucional o ausencia de instrumentos formales de gestión del riesgo.

En conclusión, el Kit de implementación rápida constituye un mecanismo operativo de despliegue inicial que integra formatos, herramientas de coordinación y procedimientos básicos, orientado a habilitar en corto plazo capacidades mínimas de preparación y respuesta en áreas potencialmente afectadas por emergencias derivadas de la falla de la presa de relaves.

Los formularios y herramientas de implementación rápida son instrumentos auxiliares de preparación y no sustituyen los estudios, planes, autorizaciones, procedimientos obligatorios ni los actos emitidos por las autoridades competentes.

9.2.1. Formulario de evaluación

Es el conjunto de instrumentos técnicos normalizados diseñados para recopilar, registrar, verificar y analizar información relevante para la identificación, valoración y monitoreo de riesgos asociados a falla de presas de relaves. Esta propuesta intenta asegurar criterios homogéneos de levantamiento de datos, comparabilidad entre territorios evaluados y trazabilidad en los procesos de toma de decisiones dentro del Sistema Nacional de Gestión de Riesgos.

Este formulario permitirá reducir discrecionalidad técnica, evitar omisiones de información crítica y facilitar la priorización de medidas preventivas y correctivas en zonas potencialmente expuestas aguas abajo.

- Se deben tomar en cuenta los siguientes objetivos operativos:
- Unificar metodologías de recopilación de información.
- Estandarizar criterios de análisis de amenaza, exposición y vulnerabilidad.
- Facilitar evaluaciones comparables entre diferentes presas de relaves.
- Mejorar calidad, consistencia y trazabilidad de datos.
- Agilizar procesos de reporte técnico y toma de decisiones.

El formulario contiene lo siguiente:

1. Formulario de caracterización de la presa de relaves.

- Nombre de la instalación.
- Ubicación geográfica.
- Empresa operadora.
- Método constructivo.
- Altura del dique.
- Capacidad de almacenamiento.
- Estado operativo (activo, inactivo, cerrado).
- Historial de incidentes.

2. Formulario de evaluación de amenazas.

- Plausibilidad del modo de falla estructural; cuando exista análisis probabilístico formal, registrar también la probabilidad o frecuencia estimada.
- Condiciones y margen de seguridad frente a rebose, incluidos nivel de agua, borde libre, capacidad hidráulica y escenarios de precipitación.
- Filtraciones identificadas.
- Influencia sísmica.
- Lluvias extremas.
- Inestabilidad geotécnica.
- Condiciones de drenaje.

Tambien incluirá una sección de cumplimiento y desempeño sectorial con número/estado de licencia o registro; EIA y PMA; garantía; última auditoría; último monitoreo semestral de relavera; planes de acción; diseño aprobado; modificaciones; inspecciones; incidentes ambientales; cierre de hallazgos.

3. Formulario de exposición aguas abajo.

Contendrán campos obligatorios de metadatos y control de calidad; no se permitirá una calificación sin fuente o evidencia.

- Comunidades ubicadas en zona de impacto.
- Número estimado de habitantes.
- Infraestructura crítica expuesta.
- Vías de acceso y evacuación.
- Actividades productivas afectables.
- Fuentes de agua vulnerables.

4. Formulario de vulnerabilidad.

- Calidad constructiva de viviendas.
- Capacidad institucional local.
- Sistemas de alerta existentes.
- Nivel organizativo comunitario.
- Presencia de población prioritaria.
- Dependencia económica del territorio.

5. Formulario de capacidad de respuesta.

- Bomberos cercanos.
- Centros de salud disponibles.
- Equipos de comunicación.
- Brigadas comunitarias.
- Recursos logísticos.
- Tiempo estimado de atención externa.

6. Formulario postevento o incidente.

- Tipo de evento ocurrido.
- Hora de detección.
- Tiempo de respuesta.
- Daños observados.
- Fallas operativas del sistema.
- Lecciones aprendidas.
- Criterios técnicos de diseño.

El formulario se caracteriza por ser claro y sencillo de aplicar en campo, compatibles tanto con formatos digitales como físicos, con capacidad de georreferenciación, sujetos a auditoría y seguimiento, actualizables de manera periódica y apta para ser utilizados por personal técnico de distintas disciplinas.



Se incorporarán campos para fuente, emisor, vigencia, y nivel de confiabilidad.

Se propone el siguiente formulario que estará sujeto a ajuste y mejora.

FORMULARIO

EVALUACIÓN INICIAL DE RIESGO AGUAS ABAJO – PRESAS DE RELAVES

1. DATOS GENERALES

2. IDENTIFICACIÓN DE LA PRESA DE RELAVES

Nombre de la presa:	
Empresa operadora:	
Estado actual:	☐ Operativa ☐ Inactiva ☐ En cierre ☐ Abandonada
Método constructivo:	☐ Aguas arriba ☐ Línea central ☐ Aguas abajo ☐ No determinado
Altura aproximada del dique (metros):	
Capacidad estimada (metros cúbicos):	
Año de construcción (si se conoce):	
Última inspección técnica registrada:	

3. EVALUACIÓN DE AMENAZAS

Factor	Bajo	Medio	Alto	Observaciones
Filtraciones visibles				
Grietas / asentamientos				
Riesgo de rebose				
Lluvias intensas recientes				
Actividad sísmica reciente				
Sistema de drenaje deficiente				
Presión sobre el dique (sobrecarga)				

FORMULARIO

EVALUACIÓN INICIAL DE RIESGO AGUAS ABAJO – PRESAS DE RELAVES

4. EXPOSICIÓN AGUAS ABAJO

Comunidades expuestas:	
Distancia a la comunidad más cercana (kilómetros):	
Población estimada (personas):	
Infraestructura crítica:	Escuelas: ☐ Sí ☐ No Centro de salud: ☐ Sí ☐ No Puentes / vías principales: ☐ Sí ☐ No Sistemas de agua potable: ☐ Sí ☐ No
Uso del suelo predominante:	☐ Urbano ☐ Rural ☐ Agrícola ☐ Mixto

5. VULNERABILIDAD COMUNITARIA

Variable	Bajo	Medio	Alto
Calidad estructural de viviendas			
Nivel de organización comunitaria			
Presencia de grupos vulnerables			
Acceso vial limitado			
Dependencia del recurso hídrico local			

6. CAPACIDAD DE RESPUESTA

Sistema de Alerta Temprana:	☐ Sí ☐ No
Ruta de evacuación señalizada:	☐ Sí ☐ No
Brigadas comunitarias activas:	☐ Sí ☐ No
Cuerpo de bomberos cercano:	☐ Sí ☐ No
Tiempo estimado de respuesta externa (minutos):	
Cobertura de telecomunicaciones:	☐ Buena ☐ Regular ☐ Deficiente

FORMULARIO

EVALUACIÓN INICIAL DE RIESGO AGUAS ABAJO – PRESAS DE RELAVES

7. DETERMINACIÓN PRELIMINAR DEL RIESGO EN TERRENO

		VULNERABILIDAD (-) CAPACIDAD				
		Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
AMENAZA	Muy Bajo					
	Bajo					
	Medio					
	Alto					
	Muy Alto					

Justificación técnica:	

8. MEDIDAS INMEDIATAS RECOMENDADAS

☐ Inspección técnica detallada	☐ Actualización del plan de emergencia
☐ Implementación de SAT	☐ Señalización de rutas de evacuación
☐ Ejecución de simulacros comunitarios	☐ Monitoreo permanente de la presa
Otras medidas:	

9. FOTOGRAFÍA GEORREFERENCIADA

Descripción / referencia:

10. FIRMA DEL RESPONSABLE DE VALIDACION

Nombre:	
Cargo:	
Firma:	

9.2.2. Aplicación móvil para recolección de datos

Es una herramienta tecnológica diseñada para capturar, registrar, georreferenciar y transmitir información técnica en campo relacionada con la evaluación de riesgos y sus áreas potencialmente afectadas aguas abajo. Su finalidad es optimizar los procesos de levantamiento de datos, reducir errores de transcripción, estandarizar criterios de inspección y disponer de información en tiempo real para la toma de decisiones.

La aplicación móvil constituye un mecanismo operativo de apoyo para técnicos evaluadores, instituciones competentes, equipos territoriales y comunidades, permitiendo integrar información de amenaza, exposición, vulnerabilidad y capacidad de respuesta en una plataforma digital centralizada.

Entre los objetivos operativos se contemplan: optimizar la recopilación de información en campo, unificar los formularios de evaluación técnica, integrar la georreferenciación automática de datos, documentar evidencias fotográficas y audiovisuales, disminuir el uso de formatos impresos y la duplicación de registros, así como facilitar el análisis inmediato y la consolidación de información a nivel nacional, junto con las funcionalidades mínimas necesarias.

Formularios digitales estandarizados

La aplicación deberá incorporar formatos previamente estructurados para recopilar información sobre: caracterización de la presa de relaves, inspecciones visuales de la infraestructura, análisis de amenazas, identificación de comunidades expuestas, revisión de rutas de evacuación y evaluación de la capacidad institucional local.

- **Georreferenciación automática:** registro de coordenadas GPS, localización de puntos críticos, delimitación de zonas potencialmente afectadas y trazado de rutas de acceso y evacuación.
- **Registro multimedia:** incorporación de fotografías técnicas, videos de inspección, audios de entrevistas comunitarias y documentos anexos.
- **Funcionamiento sin conexión:** indispensable para sectores rurales o alejados, mediante modo offline, almacenamiento temporal en el dispositivo y sincronización automática al restablecer la señal.
- **Control y validación de datos:** campos obligatorios, rangos permitidos, alertas ante inconsistencias y firma digital del responsable de la evaluación.
- **Panel central de análisis**: consolidación de resultados, priorización de áreas críticas, mapas interactivos e historial de inspecciones.
- **Uso específico para la presa de relaves:** registrar filtraciones visibles, grietas o asentamientos en el dique, estado de drenajes, distancia hacia comunidades ubicadas aguas abajo, tiempo estimado de acceso, funcionamiento de sistemas de alerta y condiciones de las vías de evacuación.

La aplicación incluirá un bloque de gobernanza de información que defina responsable de dato, permisos, respaldo, ciberseguridad, trazabilidad de cambios, interoperabilidad y protección de datos personales.

Tambien incluirá campos estructurados y adjuntos para autorizaciones, resolución de diseño, garantía, auditorías, monitoreos, planes de acción, fecha de última inspección y responsable; incluir control de versión y fuente del dato.

Se espera que el ente rector de gestión de riesgos en conjunto con el ente rector de la minería trabaje en preparar una aplicación móvil para el levantamiento de la información con miras a unificar las inspecciones en campo, recopilar datos georreferenciados y centralizar información técnica en tiempo real, con el fin de fortalecer la prevención y mejorar la capacidad de respuesta institucional.

Se recomienda evaluar, mediante decisión y coordinación de las autoridades competentes, la factibilidad de una herramienta digital interoperable.

9.2.3. Plantillas de planes de emergencia

Son una serie de formatos técnicos unificados creados para apoyar la preparación, revisión y puesta en marcha de planes de emergencia ante la amenaza. Su finalidad es ofrecer una base común que facilite a entidades públicas, empresas mineras y comunidades elaborar herramientas operativas coherentes y ajustables a las características específicas de cada zona ubicada aguas abajo.

Estas plantillas ayudan a disminuir el tiempo de elaboración, garantizar la incorporación de elementos esenciales requeridos y fortalecer la coordinación entre los actores encargados de la prevención, preparación y atención frente a incidentes o escenarios de falla de presas de relaves.

Los formatos unificados toman como referencia la Guía de Gestión del Riesgo de Desastres para la comunidad y deberán complementarse con la información específica de escenarios de falla de presas de relaves desarrollada en este documento.

9.2.4. Protocolos de capacitación comunitaria

Serie de directrices técnicas, metodológicas y operativas destinadas a organizar, desarrollar y evaluar procesos de capacitación para comunidades asentadas aguas abajo de presas de relaves, con la finalidad de fortalecer sus capacidades locales de prevención, preparación, respuesta y recuperación frente a emergencias ocasionadas por fallas, desbordamientos o descargas no controladas de estas estructuras.

Estos protocolos tienen como objetivo igualar la formación comunitaria, garantizar la inclusión de contenidos esenciales y fomentar la participación de la población en la gestión del riesgo.

Si bien la SNGRD tiene sus estándares para la capacitación comunitaria aquí adjuntamos algunos componentes que deben ser incluidos cuando se capacita a comunidades ubicadas aguas abajo de la presa de relaves.





Acciones esperadas

10

Propuesta de componentes del protocolo

1. Diagnóstico previo de la comunidad

- Nivel de conocimiento existente.
- Idioma predominante.
- Grupos etarios.
- Población vulnerable.
- Acceso a medios de comunicación.
- Experiencias previas con emergencias.

2. Contenidos mínimos de capacitación

- Qué es una presa de relaves y riesgos asociados.
- Señales de alerta y niveles de emergencia.
- Rutas de evacuación y puntos seguros.
- Qué hacer antes, durante y después de una emergencia.
- Organización comunitaria y roles locales.
- Primeros auxilios básicos.
- Protección de agua, alimentos y salud postevento.

3. Metodología de enseñanza

- Talleres participativos.
- Simulacros prácticos al menos uno al año con evaluación y plan de mejora.
- Material visual sencillo.
- Lenguaje claro no técnico.
- Traducción a idioma local cuando corresponda.
- Aprendizaje basado en escenarios reales.

4. Frecuencia mínima

- Inducción inicial.
- Capacitación según la necesidad.
- Ejecución de simulacro anual con evaluación y plan de mejora.
- Capacitación adicional ante cambios operativos en la presa.
- Reentrenamiento posterior a incidentes o simulacros fallidos.

5. Inclusión de grupos prioritarios

- Mujeres.
- Adultos mayores.
- Niños y adolescentes.
- Personas con discapacidad.
- Líderes comunitarios.
- Docentes y personal de salud local.

6. Simulacros integrados

- Activación de alarma.
- Tiempo de reacción.
- Uso de rutas seguras.
- Registro de personas evacuadas.
- Evaluación de fallas detectadas.
- Informe de resultados donde se indique tiempos reales, brechas, acciones correctivas, responsable y fecha de cierre; y comunicar resultados a SNGR cuando corresponda.

7. Evaluación y mejora continua

- Asistencia.
- Comprensión de mensajes clave.
- Tiempo de evacuación.
- Participación comunitaria.
- Observaciones y lecciones aprendidas.

Es importante considerar que una capacitación aislada o la simple entrega de material informativo no garantizan una preparación efectiva. Sin prácticas recurrentes, simulacros y actualizaciones periódicas, es probable que la comunidad no recuerde los procedimientos adecuados al momento de una emergencia.

Debe contarse con un PPRE específico que defina responsables de largo plazo, recursos externos, acceso, energía, combustible, comunicaciones y pruebas periódicas.

Las principales acciones esperadas de todo lo presentado son los siguientes:

1. Estandarización metodológica nacional

Identificación y jerarquización de comunidades, infraestructura estratégica y ecosistemas que se encuentran expuestos a escenarios de falla, desbordamiento o descarga no controlada de relaves

2. Identificación de zonas críticas aguas abajo

Reevaluación cuando exista nueva población, vías, escuelas, hospitales, actividades económicas, cambios climáticos o alteración de capacidad de respuesta.

Identificación y establecimiento de prioridades respecto a comunidades, infraestructura estratégica y ecosistemas vulnerables ante escenarios de falla, rebose o liberación no controlada de relaves.

3. Mejora en la toma de decisiones

Producción de información técnica confiable y comparable que sirva de base para la adopción de medidas preventivas, correctivas y de ordenamiento territorial por parte de las instituciones competentes.

Establecimiento de una la línea base de biodiversidad y ecosistemas que se utilizará como insumo para consecuencias, diseño de cierre, restauración y uso postminero.

4. Fortalecimiento de sistemas de alerta y respuesta

Implementación de protocolos diferenciados para zonas urbanas, rurales y comunidades indígenas, mejorando tiempos de reacción, evacuación y coordinación interinstitucional.

5. Incremento de capacidades comunitarias

Ejecución de procesos de formación, organización comunitaria y simulacros orientados a fortalecer la preparación de la población potencialmente expuesta.

6. Modernización del levantamiento de información

Uso de formularios estandarizados, aplicaciones móviles y herramientas digitales para recopilar, actualizar y consolidar datos en tiempo real.

7. Reducción de vulnerabilidad territorial

Disminución progresiva de factores de exposición y vulnerabilidad mediante planificación preventiva, mejora de rutas de evacuación y fortalecimiento institucional local.

8. Integración interinstitucional

Fortalecimiento de la coordinación entre las entidades rectoras, los gobiernos autónomos descentralizados, los organismos de socorro, los operadores mineros y las comunidades.

9. Base técnica para políticas públicas

Disponibilidad de insumos técnicos para actualizar normativa, planes territoriales, controles regulatorios y estrategias nacionales de gestión del riesgo tecnológico minero.

10. Protección de vidas, bienes y ambiente

Reducción del potencial impacto humano, económico, social y ambiental ante emergencias relacionadas con inundaciones por flujos de relaves por falla de presas de relaves.

11. Preparación para la recuperación

Establecimiento de una línea base, evaluación de efectos e impactos, responsabilidades, restablecimiento y continuidad de servicios, recuperación de medios de vida, ambiente, patrimonio y enfoque de no reconstruir el riesgo.

12. Verificación de información

Verificación de la consistencia entre el plan de mina, producción de relaves, balance de agua, capacidad de almacenamiento, cronograma de recrecimientos y cierre progresivo.

13. Cierre y postcierre

El cierre y postcierre de la presa como una variable transversal que abarque el objetivo de uso futuro, estabilidad física y química de los relaves, agua, revegetación, comunidades, monitoreo, riesgo residual y PPRE.



Glosario de términos

11

Alto riesgo: Condición que afecta la estabilidad física o química del depósito de relaves.

Amenaza: Es el evento, fenómeno, actividad humana o condición latente que puede causarla muerte, lesiones, daños materiales, interrupción de la actividad social y económica, incremento de la vulnerabilidad, degradación ambiental, y pérdidas e impactos de diverso tipo.

Capacidad de afrontamiento: Hace referencia a la disponibilidad y uso de conocimientos, medios y sistemas de gestión en las instituciones, personas, comunidades, nacionalidades, pueblos o colectivos para manejar las condiciones adversas, tanto en períodos normales como durante crisis.

Capacidad de respuesta: Aptitud de instituciones, comunidades, operadores y demás actores para ejecutar oportunamente acciones destinadas a proteger vidas, bienes, infraestructura, servicios esenciales y ambiente frente a una emergencia.

Colapso: Falla estructural irreversible del depósito de relaves que involucra la liberación de masa de relave y que potencialmente puede producir un impacto humano, infraestructural, social, o ambiental.

Comité Comunitario de Gestión de Riesgos: Es el organismo comunitario del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Integral del Riesgo de Desastres, que se estructura y funciona en una comunidad y que tiene definida un área geográfica de acción específica.

Comunidad: Es el conjunto de personas que comparten un mismo territorio geográfico de residencia habitual y permanente. Ese territorio podrá según cada caso tener entre 80 y 1000 habitantes que son parte de un conglomerado de viviendas o soluciones habitacionales en zonas urbanas o rurales como comunas, manzanas, conjuntos habitacionales, condominios, barrios, y otros.

Depósito de relaves (relavera): Obra que permite almacenar los relaves provenientes de la fase de beneficio de toda actividad minera, contenidos en una obra estructurada en forma segura y de carácter permanente. El depósito de relaves será construido de tal forma que se impida que el relave fluya a otras áreas distintas a las del emplazamiento determinado y debe contar con un sistema de recirculación de agua y devolver la misma al sistema de producción o contar con un sistema u otras estructuras para la descarga del agua del depósito de relaves conforme a la normativa ambiental vigente.

Desastre: Es una interrupción muy grave en el funcionamiento de una o más circunscripciones territoriales que excede su capacidad para hacer frente a esta situación. Resulta de la interacción de eventos peligrosos o amenazas, con las condiciones de exposición y vulnerabilidad que conlleva pérdidas o impactos de tipo humano, material, económico o ambiental que requiere atención tanto de los gobiernos autónomos descentralizados como del Estado Central. El desastre puede ser desencadenado por una amenaza natural o antrópica.

Distancia de inundación: Distancia en kilómetros, que recorrería el relave en el caso del colapso del depósito de relaves.

Emergencia: Ocurrencia de una situación desencadenada por uno o más eventos adversos de origen natural o antrópico que afectan la seguridad, medios de vida y bienes de las personas, la continuidad del ejercicio de los derechos de las personas o el funcionamiento normal de una comunidad o zona y que requiere de acciones inmediatas y eficaces de los gobiernos autónomos descentralizados y de las demás entidades que integran el Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Integral del Riesgo de Desastres.

Evento adverso: Es una situación, suceso o hecho que produce alteración en la vida de las personas, de la economía, los sistemas sociales y el ambiente, causado por fenómenos de origen natural o provocado por los seres humanos.

Falla de presa de relaves: Pérdida parcial o total de la capacidad de una presa, dique o muro para cumplir su función de contención, pudiendo oca-

sionar una liberación no controlada del material almacenado.

Filtración: Movimiento de agua o fluidos a través del cuerpo, fundación o entorno de una presa. Puede constituir una condición normal controlada o, cuando presenta cambios anómalos, convertirse en indicador precursor de inestabilidad.

Freeboard / borde libre: Distancia vertical existente entre el nivel del agua o sobrenadante dentro del depósito y la coronación de la presa o dique. Constituye un parámetro relevante para prevenir el rebose.

Gobernanza del riesgo: Conjunto de mecanismos institucionales, normas, responsabilidades, procesos de coordinación, participación y toma de decisiones mediante los cuales los actores públicos, privados y comunitarios gestionan el riesgo.

Instalaciones: Se refiere en general al espacio físico ocupado por el depósito de relaves y sus obras anexas.

Instalación de almacenamiento de relaves: Sistema integral que comprende el depósito, presa, diques o muros de contención, obras hidráulicas y de drenaje, infraestructura de manejo de agua, instrumentación, sistemas de monitoreo y procesos operacionales necesarios para gestionar los relaves durante su ciclo de vida.

Intensidad: Grado de severidad física con el cual un flujo de relaves puede afectar un lugar determinado, considerando parámetros como profundidad, velocidad, energía, concentración y características del material.

Licuefacción: Fenómeno mediante el cual un material granular saturado experimenta una pérdida significativa de resistencia y rigidez debido al incremento de la presión de poros, pudiendo comportarse temporalmente como un fluido.

Magnitud: Dimensión global del evento potencial, relacionada con el volumen liberado, características del material, energía del flujo y alcance de sus efectos.

Medios de vida: Capacidades, activos, recursos y actividades mediante los cuales las personas y comunidades satisfacen sus necesidades y sostienen sus condiciones de vida.

Modo de falla: Mecanismo físico, geotécnico, hidráulico, estructural u operacional mediante el cual una presa o alguno de sus componentes puede perder su función de seguridad y contención.

Monitoreo en tiempo real: Sistema digital a partir del cual se realiza un seguimiento en el cambio de información, transferencia de datos de los titulares enlazados al sistema al mismo tiempo en que se produce la información, con el fin de generar alertas tempranas durante la construcción, operación y mantenimiento, cierre y postcierre del depósito de relaves.

Overtopping / rebose: Desbordamiento de agua o material sobre la coronación de una presa o dique, que puede ocasionar erosión y evolucionar hacia una falla de la estructura.

Piping / erosión interna: Proceso de arrastre progresivo de partículas del suelo debido al flujo de agua a través del cuerpo o fundación de una presa, pudiendo generar conductos internos, pérdida de material y eventualmente una falla.

Plausibilidad: Grado en que un escenario o modo de falla puede considerarse técnicamente creíble a partir de las condiciones observadas, antecedentes, evidencias y conocimiento disponible. No debe interpretarse automáticamente como una probabilidad cuantificada.

Presa, dique o muro de contención: Obra de ingeniería que forma parte del depósito de relaves y que, junto con la configuración natural del emplazamiento y las demás obras asociadas, permite contener los relaves y el agua de manera segura conforme al diseño aprobado.

Recrecimiento: Proceso mediante el cual se incrementa progresivamente la altura o capacidad de una presa o depósito de relaves durante su vida operacional.

Relaves: Es una mezcla de mineral molido con agua y otros compuestos generalmente en forma de lodo, que queda como resultado de haber extraído los minerales económicamente rentables en la fase de beneficio.

Resiliencia: Capacidad de una comunidad, sistema o territorio expuesto a amenazas para resistir, absorber, adaptarse, responder y recuperarse de sus efectos manteniendo o restableciendo sus funciones esenciales.

Riesgo de desastres asociado a presas de relaves: Posibilidad de daños y pérdidas sobre población, bienes, infraestructura, servicios esenciales, medios de vida y ambiente, derivados de la interacción entre una amenaza tecnológica, la exposición y vulnerabilidad del territorio y las capacidades disponibles.

Riesgo territorial: Expresión espacial del riesgo sobre un territorio determinado, considerando la propagación del flujo, elementos expuestos, vulnerabilidades, capacidades y consecuencias potenciales.

Ruta de evacuación: Trayecto previamente identificado, evaluado y señalizado para permitir el desplazamiento seguro de la población desde una zona potencialmente afectada hacia una zona segura.

Simulación: Ejercicio de análisis y toma de decisiones basado en un escenario hipotético de emergencia, generalmente realizado sin movilización física completa de recursos y población.

Simulacro: Ejercicio práctico que reproduce de manera controlada condiciones de una emergencia para evaluar procedimientos, tiempos, coordinación, comunicación, evacuación y capacidad de respuesta.

Sistema de Alerta Temprana (SAT): Sistema integrado de conocimiento del riesgo, monitoreo y detección, comunicación de alertas y preparación para la respuesta, orientado a proteger a la población potencialmente expuesta.

Suceso peligroso: Es la manifestación o materialización de una o varias amenazas en un periodo de tiempo específico. Los sucesos peligrosos graves pueden conducir a un desastre cuando se combina la existencia del peligro con otros factores de riesgo.

Tiempo crítico de respuesta: Intervalo disponible entre la detección o reconocimiento de una condición peligrosa y el momento en que los efectos del escenario alcanzan a la población o elementos expuestos, dentro del cual deben ejecutarse las acciones de alerta, protección y evacuación.

Umbral: Valor, condición o combinación de parámetros previamente establecidos que permite identificar una desviación respecto al comportamiento esperado y activar procesos progresivos de notificación, alerta, control o respuesta.

Vida útil del depósito de relaves: Plazo durante el cual el depósito de relaves será usado para el fin que se construyó.

Vulnerabilidad ante el riesgo de desastres: Son las características y circunstancias de las comunidades, territorios o infraestructura que los hace susceptibles a los efectos dañinos de un evento adverso. Estas características y circunstancias pueden ser físicas, económicas, culturales, sociales, entre otras.

Zona de afectación: Área territorial que, de acuerdo con la modelación de un escenario de falla, podría ser alcanzada por el flujo de relaves o por sus efectos asociados.

Zona de inundación: Porción de territorio aguas abajo de la presa que sería afectada por un colapso en la cual hay impactos y necesita una intervención de la autoridad competente ante una situación de emergencia.

Zona segura: Lugar previamente evaluado y localizado fuera del área de afectación esperada, destinado a recibir temporalmente a la población evacuada.

Lista de verificación técnica

12

Aplicación de los instrumentos de evaluación de la amenaza

Los instrumentos incluirán instrucciones de uso que definan: evidencia obligatoria, ponderación si aplica, regla de Parcial, responsable de verificación, fecha, firma, versión, revisión independiente y tratamiento de no conformidades.

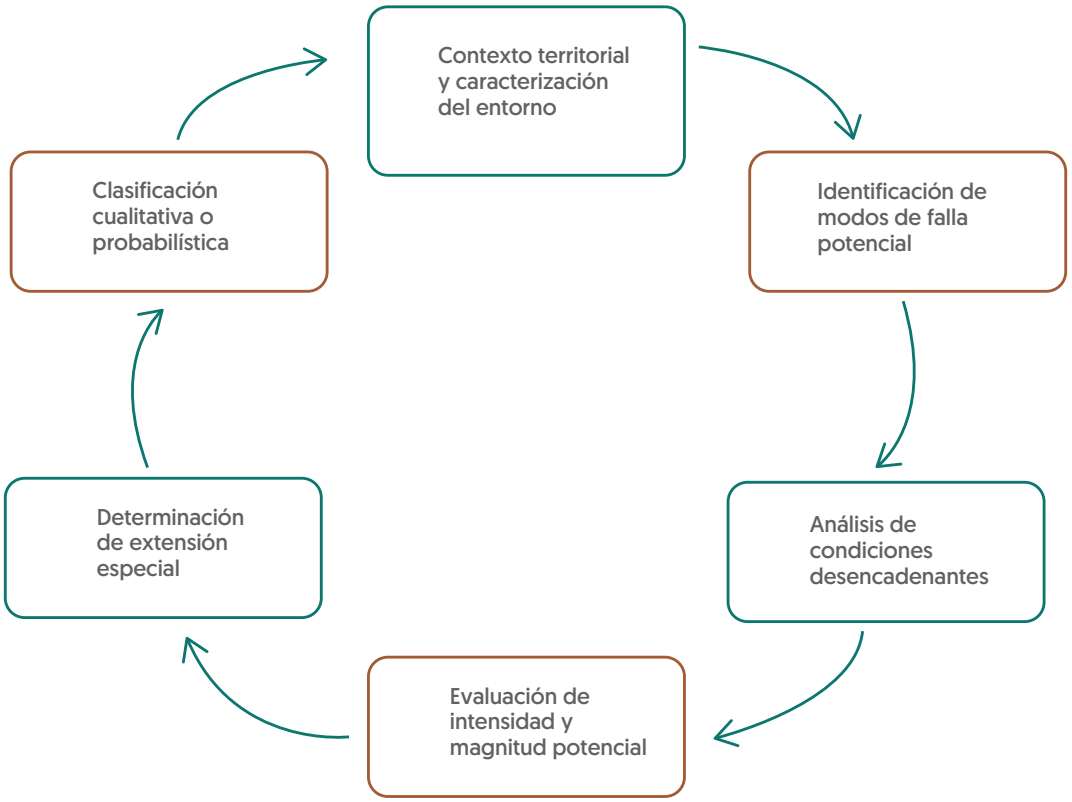
1. Enfoque general de aplicación

Los instrumentos desarrollados constituyen un sistema secuencial y estructurado para la evaluación técnica de la amenaza asociada a inundaciones por flujos de relaves por falla de presas de relaves.

No deben aplicarse de manera aislada, sino como componentes interdependientes de un proceso metodológico integral que avanza desde la comprensión territorial del entorno hasta la clasificación final del nivel de amenaza.

Su aplicación permite transformar información técnica dispersa en un análisis sistemático, documentado y trazable, facilitando la toma de decisiones técnicas e institucionales basadas en evidencia.

El proceso se organiza en seis etapas consecutivas:



Cada instrumento cumple una función específica dentro del análisis y alimenta al siguiente paso, garantizando coherencia metodológica.

2. Objetivo técnico de los instrumentos

Establecer una metodología estandarizada para identificar, analizar, modelar y clasificar la amenaza derivada de escenarios de falla de presas de relaves, asegurando consistencia técnica, transparencia metodológica y articulación con los sistemas de gestión del riesgo y alerta temprana.

De manera específica, los instrumentos permiten:

- Verificar que el análisis considere todas las variables críticas (físicas, hidráulicas, geotécnicas, sísmicas y operacionales).
- Identificar escenarios de falla potenciales.
- Determinar factores desencadenantes y umbrales críticos.
- Cuantificar parámetros físicos del evento potencial.
- Delimitar espacialmente el área afectable.
- Clasificar la amenaza con criterios técnicos definidos.
- Vincular el análisis con el Sistema de Alerta Temprana y la planificación territorial.

3. Forma de aplicación práctica

3.1 Aplicación interdisciplinaria

Los instrumentos deben ser aplicados por un equipo multidisciplinario que incluya:

- Especialistas en geotecnia.
- Ingenieros hidráulicos.
- Especialistas en hidrología.
- Especialistas en análisis sísmico.
- Técnicos en Sistemas de Información Geográfica.
- Representantes institucionales de gestión del riesgo.

Cada instrumento incorpora una columna de responsable, lo cual permite asignar funciones claras y garantizar trazabilidad del proceso.

3.2 Aplicación secuencial

La aplicación debe seguir estrictamente el orden metodológico:

- El Instrumento 1 define el marco territorial.
- El Instrumento 2 identifica cómo puede fallar la presa.
- El Instrumento 3 determina en qué condiciones puede fallar.
- El Instrumento 4 cuantifica cómo sería el evento.
- El Instrumento 5 delimita dónde impactaría.
- El Instrumento 6 clasifica la amenaza resultante.

Este enfoque evita análisis fragmentados y asegura que cada decisión técnica esté sustentada en información previa validada.

3.3 Validación y documentación

- Cada instrumento debe:
- Registrar fuentes de información.
- Documentar supuestos técnicos.
- Identificar brechas de información.
- Señalar niveles de incertidumbre.
- Dejar evidencia verificable del proceso.

La aplicación debe culminar con una revisión técnica interna y, cuando corresponda, validación institucional.

4. Producto final de la aplicación

La aplicación integral de los seis instrumentos debe generar como productos finales:

4.1 Productos técnicos

- Identificación documentada de modos de falla creíbles.

- Matriz de condiciones desencadenantes y umbrales críticos.
- Parámetros físicos cuantificados del evento potencial.
- Modelación hidrodinámica validada.
- Delimitación cartográfica del área potencialmente afectable.
- Clasificación técnica del nivel de amenaza.

4.2 Productos cartográficos

- Mapa de extensión máxima de inundación.
- Mapa de profundidad máxima.
- Mapa de velocidad máxima.
- Mapa de intensidad.
- Mapa final de amenaza clasificada (Alta, Media, Baja).

Unificar el número y nombre de categorías de amenaza en cuerpo, mapas, anexos, formularios y leyenda cartográfica.

4.3 Productos para gestión del riesgo

- Definición de umbrales técnicos y criterios de escalamiento del SAT.
- Identificación de puntos críticos para evacuación.
- Priorización de sectores de intervención preventiva.
- Insumos para el análisis de vulnerabilidad.
- Base técnica para la estimación del riesgo.

5. Valor agregado del sistema de instrumentos

El conjunto de instrumentos no constituye únicamente una lista de verificación, sino un sistema estructurado de evaluación que permite pasar de la comprensión técnica del fenómeno a su representación territorial y clasificación formal. Su aplicación adecuada garantiza que la evaluación de amenaza en presas de relaves se desarrolle con rigor técnico, coherencia metodológica y articulación institucional, constituyendo la base para una gestión preventiva eficaz.

La aplicación de estos instrumentos:

- Reduce la subjetividad en la evaluación de la amenaza.
- Mejora la trazabilidad técnica.
- Facilita auditorías y revisiones independientes.
- Integra el análisis ingenieril con la gestión territorial.
- Permite actualización periódica del análisis ante cambios operativos.
- Fortalece la gobernanza de la seguridad de la presa.

CHECKLIST PARA LA EVALUACIÓN EN PRESAS DE RELAVES

Contextualización territorial y caracterización del entorno

A. Condiciones físicas del entorno

Ítem de verificación	Sí	Parcial	No	Observaciones / Fuente	Responsable
Existe Modelo Digital de Terreno (MDT) actualizado y validado.	☐	☐	☐		
Se han identificado pendientes críticas del valle aguas abajo.	☐	☐	☐		
Se han identificado zonas de confinamiento natural.	☐	☐	☐		
Se han identificado zonas de expansión o abanicos aluviales.	☐	☐	☐		
Se ha analizado la conectividad con la red hidrográfica.	☐	☐	☐		
Se han identificado obstáculos que puedan modificar la trayectoria del flujo de relaves (puentes, vías, taludes artificiales).	☐	☐	☐		

Normalizar cada norma con denominación completa, número del acto, Registro Oficial, suplemento, fecha, artículo citado y estado de vigencia a la fecha de corte.

B. Condiciones hidrológicas y climáticas

Ítem de verificación	Sí	Parcial	No	Observaciones / Fuente	Responsable
Se ha delimitado la cuenca contributiva.	☐	☐	☐		
Se han identificado los cauces principales y secundarios.	☐	☐	☐		
Se dispone de información sobre lluvias extremas históricas.	☐	☐	☐		
Se han identificado crecidas extraordinarias registradas.	☐	☐	☐		
Se han identificado zonas con potencial presa, dique o muro de contención natural.	☐	☐	☐		
Se ha considerado variabilidad climática en el análisis preliminar y régimen de lluvias extremas.	☐	☐	☐		

C. Condiciones hidrogeológicas

Ítem de verificación	Sí	Parcial	No	Observaciones / Fuente	Responsable
Se ha identificado el nivel freático regional.	☐	☐	☐		
Se han identificado acuíferos locales relevantes.	☐	☐	☐		
Se han identificado surgencias o infiltraciones naturales.	☐	☐	☐		
Se cuenta con caracterización básica de permeabilidad del terreno.	☐	☐	☐		

D. Amenaza sísmica regional

Ítem de verificación	Sí	Parcial	No	Observaciones / Fuente	Responsable
Se ha identificado la clasificación sísmica del sitio.	☐	☐	☐		
Se dispone de registro de eventos sísmicos históricos relevantes.	☐	☐	☐		
Se ha identificado el PGA de referencia.	☐	☐	☐		
Se ha evaluado preliminarmente la amplificación local.	☐	☐	☐		

E. Exposición territorial preliminar

Ítem de verificación	Sí	Parcial	No	Observaciones / Fuente	Responsable
Se han identificado centros poblados aguas abajo.	☐	☐	☐		
Se ha inventariado infraestructura crítica (hospitales, escuelas, puentes, vías, etc.).	☐	☐	☐		
Se han identificado redes de servicios básicos.	☐	☐	☐		
Se han identificado actividades económicas relevantes.	☐	☐	☐		
Se han identificado comunidades rurales o indígenas.	☐	☐	☐		

F. Sensibilidad ambiental

Ítem de verificación	Sí	Parcial	No	Observaciones / Fuente	Responsable
Se han identificado áreas protegidas aguas abajo	☐	☐	☐		
Se han identificado fuentes de agua para consumo humano	☐	☐	☐		
Se han identificado ecosistemas frágiles	☐	☐	☐		
Se han identificado receptores ambientales estratégicos	☐	☐	☐		

IDENTIFICACIÓN DE MODOS DE FALLA POTENCIAL – PRESAS DE RELAVES

A. Revisión documental y técnica preliminar

Ítem de verificación	Sí	Parcial	No	Observaciones / Fuente	Responsable
Se dispone de planos de diseño originales y actualizaciones.	☐	☐	☐		
Se cuenta con información “as-built” de recrecimientos.	☐	☐	☐		
Se dispone de estudios geotécnicos actualizados.	☐	☐	☐		
Se dispone de estudios hidrológicos e hidráulicos vigentes.	☐	☐	☐		
Se cuenta con historial de inspecciones y auditorías.	☐	☐	☐		
Se dispone de registros de incidentes o eventos previos.	☐	☐	☐		
Se cuenta con registros de instrumentación (piezómetros, inclinómetros, etc.).	☐	☐	☐		

B. Identificación de modos de falla estructural y geotécnica

Ítem de verificación	Sí	Parcial	No	Observaciones / Fuente	Responsable
Se ha evaluado la posibilidad de falla estática de taludes.	☐	☐	☐		
Se ha evaluado susceptibilidad a licuefacción.	☐	☐	☐		
Se ha evaluado estabilidad bajo carga sísmica.	☐	☐	☐		
Se ha evaluado estabilidad de la fundación.	☐	☐	☐		
Se han identificado zonas con asentamientos diferenciales.	☐	☐	☐		
Se ha evaluado riesgo de deslizamiento progresivo.	☐	☐	☐		

C. Identificación de modos de falla hidráulica

Ítem de verificación	Sí	Parcial	No	Observaciones / Fuente	Responsable
Se ha evaluado riesgo de overtopping.	☐	☐	☐		
Se ha verificado capacidad de vertederos y decants.	☐	☐	☐		
Se ha evaluado estado de drenajes internos.	☐	☐	☐		
Se han identificado posibles obstrucciones en sistemas hidráulicos.	☐	☐	☐		
Se ha evaluado riesgo de erosión superficial.	☐	☐	☐		

D. Identificación de filtraciones y erosión interna

Ítem de verificación	Sí	Parcial	No	Observaciones / Fuente	Responsable
Se han identificado surgencias no controladas	☐	☐	☐		
Se ha evaluado riesgo de piping	☐	☐	☐		
Se han analizado registros históricos de caudales de drenaje	☐	☐	☐		
Se ha verificado calidad y continuidad de filtros	☐	☐	☐		

E. Identificación de fallas operacionales

Ítem de verificación	Sí	Parcial	No	Observaciones / Fuente	Responsable
Se ha evaluado el balance hídrico operativo.	☐	☐	☐		
Se ha verificado cumplimiento de diseño en recrecimientos.	☐	☐	☐		
Se cuenta con procedimiento formal de Gestión de Cambios (GC).	☐	☐	☐		
Se han identificado desviaciones operativas recurrentes.	☐	☐	☐		
Se cuenta con monitoreo continuo y análisis de tendencias.	☐	☐	☐		

F. Validación metodológica del análisis

Ítem de verificación	Sí	Parcial	No	Observaciones / Fuente	Responsable
Se aplicó metodología estructurada (FMEA, HAZOP o BowTie).	☐	☐	☐		
Se documentaron modos de falla potenciales.	☐	☐	☐		
Se identificaron causas raíz asociadas.	☐	☐	☐		
Se definieron escenarios prioritarios para modelación.	☐	☐	☐		
Se documentaron supuestos y limitaciones.	☐	☐	☐		

EVALUACIÓN DE INTENSIDAD Y MAGNITUD POTENCIAL – FLUJO DE RELAVES

A. Definición del escenario de falla modelado

Ítem de verificación	Sí	Parcial	No	Observaciones / Fuente	Responsable
Se ha definido el modo de falla a modelar.	☐	☐	☐		
Se ha definido el volumen potencial de liberación.	☐	☐	☐		
Se ha documentado la hipótesis de brecha (ancho, profundidad, tiempo de formación).	☐	☐	☐		
Se han definido condiciones iniciales del depósito.	☐	☐	☐		
Se han documentado supuestos técnicos utilizados.	☐	☐	☐		

B. Parámetros físicos estimados

Ítem de verificación	Sí	Parcial	No	Observaciones / Fuente	Responsable
Se ha estimado la altura inicial del flujo.	☐	☐	☐		
Se ha estimado la velocidad máxima del flujo.	☐	☐	☐		
Se ha estimado la profundidad máxima de inundación.	☐	☐	☐		
Se ha estimado la energía específica o intensidad del flujo.	☐	☐	☐		
Se ha estimado el tiempo de llegada a puntos críticos.	☐	☐	☐		

C. Modelación hidrodinámica

Ítem de verificación	Sí	Parcial	No	Observaciones / Fuente	Responsable
Se ha utilizado modelo hidrodinámico apropiado (1D o 2D).	☐	☐	☐		
Se ha validado el Modelo Digital de Terreno utilizado.	☐	☐	☐		
Se han considerado condiciones de rugosidad adecuadas.	☐	☐	☐		
Se han incorporado obstáculos relevantes (puentes, vías, edificaciones).	☐	☐	☐		
Se han realizado pruebas de sensibilidad del modelo.	☐	☐	☐		

D. Escenarios evaluados

Ítem de verificación	Sí	Parcial	No	Observaciones / Fuente	Responsable
Se ha modelado escenario crítico (peor caso posible).	☐	☐	☐		
Se ha modelado escenario intermedio.	☐	☐	☐		
Se ha evaluado escenario probable o más representativo.	☐	☐	☐		
Se han comparado resultados entre escenarios.	☐	☐	☐		

E. Integración con planificación territorial y SAT

Ítem de verificación	Sí	Parcial	No	Observaciones / Fuente	Responsable
Se han identificado puntos críticos con menor tiempo de llegada.	☐	☐	☐		
Se han identificado sectores con mayor energía del flujo.	☐	☐	☐		
Se han identificado zonas con potencial acumulación de material.	☐	☐	☐		
Los resultados permiten definir niveles de alerta.	☐	☐	☐		
Se ha documentado incertidumbre asociada a la modelación.	☐	☐	☐		

DETERMINACIÓN DE LA EXTENSIÓN ESPACIAL

A. Delimitación del área potencialmente afectable

Ítem de verificación	Sí	Parcial	No	Observaciones / Fuente	Responsable
Se ha delimitado el área máxima de inundación para cada escenario.	☐	☐	☐		
Se ha verificado coherencia entre modelación y topografía real.	☐	☐	☐		
Se han identificado trayectorias preferenciales del flujo.	☐	☐	☐		
Se han identificado zonas de expansión lateral del flujo.	☐	☐	☐		
Se han identificado zonas de acumulación potencial de relaves.	☐	☐	☐		

B. Análisis espacial diferencial de impacto

Ítem de verificación	Sí	Parcial	No	Observaciones / Fuente	Responsable
Se han identificado sectores con mayor profundidad de flujo.	☐	☐	☐		
Se han identificado sectores con mayor velocidad del flujo.	☐	☐	☐		
Se han identificado puntos de confinamiento que aumenten energía.	☐	☐	☐		
Se han identificado zonas donde el flujo pierde energía.	☐	☐	☐		
Se ha diferenciado espacialmente el nivel de intensidad.	☐	☐	☐		

C. Intersección con elementos expuestos

Ítem de verificación	Sí	Parcial	No	Observaciones / Fuente	Responsable
Se han identificado centros poblados dentro del área afectable.	☐	☐	☐		
Se ha identificado infraestructura crítica interceptada.	☐	☐	☐		
Se han identificado vías estratégicas afectadas.	☐	☐	☐		
Se han identificado redes de servicios básicos en zona afectable.	☐	☐	☐		
Se han identificado áreas ambientalmente sensibles dentro del polígono.	☐	☐	☐		

D. Validación cartográfica

Ítem de verificación	Sí	Parcial	No	Observaciones / Fuente	Responsable
Se ha validado el polígono de afectación con MDT actualizado.	☐	☐	☐		
Se han verificado posibles inconsistencias topográficas.	☐	☐	☐		
Se han documentado supuestos cartográficos utilizados.	☐	☐	☐		
Se han incorporado metadatos técnicos del análisis.	☐	☐	☐		

E. Vinculación con planificación y respuesta

Ítem de verificación	Sí	Parcial	No	Observaciones / Fuente	Responsable
Se han identificado puntos críticos para evacuación.	☐	☐	☐		
Se han identificado sectores con menor tiempo de llegada.	☐	☐	☐		
La delimitación permite priorizar intervención preventiva.	☐	☐	☐		
El mapa es comprensible para autoridades locales.	☐	☐	☐		

CLASIFICACIÓN CUALITATIVA O PROBABILÍSTICA DE LA AMENAZA

A. Integración de resultados técnicos

Ítem de verificación	Sí	Parcial	No	Observaciones / Fuente	Responsable
Se han integrado resultados de identificación de modos de falla.	☐	☐	☐		
Se han incorporado condiciones desencadenantes evaluadas.	☐	☐	☐		
Se han incorporado resultados de modelación de intensidad.	☐	☐	☐		
Se ha considerado la extensión espacial delimitada.	☐	☐	☐		
Se ha documentado el nivel de incertidumbre asociado.	☐	☐	☐		

B. Definición de criterios de clasificación

Ítem de verificación	Sí	Parcial	No	Observaciones / Fuente	Responsable
Se han definido criterios técnicos para amenaza Alta.	☐	☐	☐		
Se han definido criterios técnicos para amenaza Media.	☐	☐	☐		
Se han definido criterios técnicos para amenaza Baja.	☐	☐	☐		
Los criterios consideran intensidad y extensión espacial.	☐	☐	☐		
Los criterios consideran probabilidad o credibilidad del escenario.	☐	☐	☐		

C. Enfoque probabilístico (si aplica)

Ítem de verificación	Sí	Parcial	No	Observaciones / Fuente	Responsable
Se dispone de datos para estimación de frecuencia o probabilidad.	☐	☐	☐		
Se ha aplicado metodología probabilística documentada.	☐	☐	☐		
Se han documentado supuestos estadísticos utilizados.	☐	☐	☐		
Se ha realizado análisis de sensibilidad.	☐	☐	☐		

Tomar en cuenta que la selección del método deberá quedar documentado. El enfoque cualitativo se utilizará como herramienta de cribado cuando la información sea limitada; el análisis probabilístico formal se aplicará cuando existan datos suficientes y modelos técnicamente sustentados. En cada caso se especificarán los datos mínimos, productos, incertidumbres y forma de integración con la evaluación territorial.

D. Validación técnica e institucional

Ítem de verificación	Sí	Parcial	No	Observaciones / Fuente	Responsable
La clasificación ha sido revisada por especialista técnico.	☐	☐	☐		
La clasificación ha sido socializada con autoridades competentes.	☐	☐	☐		
Se ha documentado la trazabilidad del proceso.	☐	☐	☐		
Se han identificado limitaciones del análisis.	☐	☐	☐		

E. Vinculación con instrumentos de gestión

Ítem de verificación	Sí	Parcial	No	Observaciones / Fuente	Responsable
La clasificación permite elaborar el mapa técnico de amenaza susceptible de validación/adopción por la autoridad competente conforme al procedimiento aplicable.	☐	☐	☐		
La clasificación permite definir niveles de alerta del SAT.	☐	☐	☐		
La clasificación orienta priorización de medidas preventivas.	☐	☐	☐		
La clasificación es coherente con planificación territorial.	☐	☐	☐		



Evaluación del riesgo asociado a falla de presas de relaves de minería de mediana y gran escala

Financiado por
la Unión Europea
Ayuda Humanitaria

AVSF
AGRONOMES & VÉTÉRINAIRES SANS FRONTIÈRES

Protos Andes