

PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO - PHI

PLAN DE GESTIÓN DEL RIESGO

2. CONOCIMIENTO DEL RIESGO

2.2.5 Evaluación de vulnerabilidad

MARZO, 2022

LISTA DE DISTRIBUCIÓN

DESTINATARIO	No. DE COPIAS
EPM	Documento original

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

ÍNDICE DE REVISIÓN	CAPÍTULO MODIFICADO	FECHA DE MODIFICACIÓN	OBSERVACIONES

ESTADO DE REVISIÓN Y APROBACIÓN

TÍTULO DEL DOCUMENTO:		PLAN DE GESTIÓN DEL RIESGO – CONOCIMIENTO DEL RIESGO				
DOCUMENTO No.:						
APROBACIÓN	NÚMERO DE LA REVISIÓN		0	1	2	3
	RESPONSABLE DE LA ELABORACIÓN	Nombre:	Consortio Generación Ituango			
		Firma:				
		Fecha:	15/03/2022			
	RESPONSABLE POR REVISIÓN Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD	Nombre:	B. Hernández A.			
		Firma:				
		Fecha:	15/03/2022			
	Vo. Bo. DIRECTOR DEL PROYECTO	Nombre:	L. F. Restrepo			
		Firma:				
		Fecha:	15/03/2022			

TABLA DE CONTENIDO

2	CONOCIMIENTO DEL RIESGO	3
2.2	VALORACIÓN DEL RIESGO	3
2.2.5	Evaluación de vulnerabilidad	3

LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1	Vulnerabilidad de los elementos expuestos ante amenaza sísmica y por movimientos sísmicos inducidos por el embalse.....	3
Tabla 2-2	Vulnerabilidad de los elementos expuestos ante movimientos en masa	5
Tabla 2-3	Vulnerabilidad de los elementos expuestos ante modos de falla de la presa.....	7
Tabla 2-4	Vulnerabilidad de los elementos expuestos ante socavación y procesos erosivos.....	9
Tabla 2-5	Vulnerabilidad de los elementos expuestos ante derrames de sustancias peligrosas.....	11
Tabla 2-6	Vulnerabilidad de los elementos expuestos ante avenidas torrenciales ...	13
Tabla 2-7	Vulnerabilidad de los elementos expuestos ante modificaciones extremas de caudales por riesgo tecnológico.....	15
Tabla 2-8	Vulnerabilidad de los elementos expuestos ante fenómenos climáticos extremos	16
Tabla 2-9	Análisis de vulnerabilidad.....	19
Tabla 2-10	Nivel de consecuencias estimado para cada instalación.	24
Tabla 2-11	Vulnerabilidad poblacional en el PHI.	25
Tabla 2-12	Población vulnerable a los incendios forestales en el PHI.....	25

Tabla 2-13 Vulnerabilidad ecológica del tipo de cobertura y su área (ha) correspondiente, a los incendios forestales en el PHI.....	28
Tabla 2-14 Áreas de importancia patrimonial probablemente afectada por incendios forestales en el PHI.	35
Tabla 2-15 Vulnerabilidad económica a los incendios forestales de las coberturas presentes en el PHI.....	38
Tabla 2-16 Vulnerabilidad institucional a los incendios forestales en el PHI.....	42
Tabla 2-17 Vulnerabilidad de la infraestructura a los incendios forestales.....	45
Tabla 2-18 Infraestructuras con mayor vulnerabilidad de incendios en el PHI.	45
Tabla 2-19 Vulnerabilidad total a los incendios forestales por hectárea (ha) del PHI	49
Tabla 2-20 Vulnerabilidad de los elementos expuestos ante emergencias sanitarias.....	52
Tabla 2-21 Vulnerabilidad de los elementos expuestos ante alteraciones de orden público y social.....	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 Vulnerabilidad poblacional a los incendios forestales en el área de afectación del PHI	27
Figura 2-2 Uso del suelo del área de afectación del PHI.....	30
Figura 2-3 Vulnerabilidad territorial (sumatoria de la vulnerabilidad ecológica y vulnerabilidad física a los incendios forestales en el área de afectación del PHI.	32
Figura 2-4 Vulnerabilidad territorial a los incendios forestales en el área de afectación del PHI.	33
Figura 2-5 Vulnerabilidad patrimonial a los incendios forestales en el área de afectación del PHI.	37
Figura 2-6 Vulnerabilidad económica a los incendios forestales en el área de afectación del PHI.	40

Figura 2-7 Vulnerabilidad institucional a los incendios forestales en el área de afectación del PHI.	44
Figura 2-8 Vulnerabilidad de la infraestructura a los incendios forestales en el área de afectación del PHI.....	47
Figura 2-9 Vulnerabilidad total a incendios forestales en el área de afectación del PHI.	50



1 INTRODUCCIÓN

2 CONOCIMIENTO DEL RIESGO

2.2 VALORACIÓN DEL RIESGO

2.2.5 Evaluación de vulnerabilidad

Los análisis permitieron definir el grado de vulnerabilidad de los elementos expuestos de carácter poblacional, de infraestructura, medios de vida, personas y ambiente ante la ocurrencia de los diferentes fenómenos amenazantes.

2.2.5.1 Vulnerabilidad por amenaza sísmica y por movimientos sísmicos inducidos por el embalse

La vulnerabilidad ante la ocurrencia de un fenómeno sísmico y de un movimiento sísmico desencadenado por el embalse se evaluó para cada uno de los elementos expuestos que hacen parte del área de afectación (Tabla 2-1).

En los planos M-PHI-111-TRA-SN-G-020 y M-PHI-111-TRA-SE-G-020 se observan los resultados del análisis de vulnerabilidad para estas amenazas.

Tabla 2-1 Vulnerabilidad de los elementos expuestos ante amenaza sísmica y por movimientos sísmicos inducidos por el embalse

Elementos expuestos	Amenaza sísmica y por movimientos sísmicos inducidos por el embalse		
	Baja 1	Media 3	Alta 5
Asentamientos humanos (Viviendas aisladas, centros nucleados, campamentos)	n.a.	n.a.	Todas, incluye campamentos
Infraestructura pública vías (carreteras, caminos puentes, garruchas), líneas vitales (líneas de transmisión, oleoductos, poliductos, subestaciones de energía), equipamientos, infraestructura PHI, etc.	Infraestructura del proyecto y demás	Demás vías, puentes, caminos, senderos	Líneas vitales, vías principales
Infraestructura productiva (áreas de pesca, plantaciones forestales, actividad comercial, actividades pecuarias, títulos mineros en etapa de explotación y minería de hecho).	Demás	Explotaciones mineras, actividad comercial	n.a.

3

Elementos expuestos	Amenaza sísmica y por movimientos sísmicos inducidos por el embalse		
	Baja 1	Media 3	Alta 5
Cultivos de pancoger	Todos	n.a.	n.a.
Bienes de interés cultural	Demás	Sitios de alto valor patrimonial	n.a.
Empresas e infraestructura que manejan sustancias peligrosas (estaciones de combustible, oleoductos, subestaciones, almacenamiento de abonos y sustancias para el control de plagas)	n.a.	Todas	n.a.
Sitios de captación de agua (pozos, bocatomas, sistemas de riego)	n.a.	Todos	n.a.
Áreas ambientalmente sensibles (áreas protegidas y áreas ambientalmente sensibles), ecosistemas acuáticos (ciénagas y cuerpos de agua con algún grado de protección)	Demás	Áreas ambientalmente sensibles	n.a.

Fuente: Consorcio Generación Ituango, 2022.

Se identificó que los asentamientos humanos en el área de afectación en general tienen un grado de **vulnerabilidad alto**, principalmente aquellos con recursos limitados, lo que los hace más frágiles. La mayoría de estos debido a su desarrollo informal en terrenos inadecuados limita su capacidad de adaptación y respuesta ante un fenómeno sísmico que puede ocasionar daños a la integridad de las personas.

La infraestructura pública relacionada a vías, líneas vitales, equipamientos e infraestructura del PHI presentan diferentes grados de vulnerabilidad, en donde la infraestructura del proyecto y demás, debido a sus elevados y rigurosos criterios de diseño y construcción sismo resistente la hace acreedora a un grado de **vulnerabilidad bajo**, adicionalmente, las demás vías, puentes, caminos y senderos del área de afectación presentan un grado de **vulnerabilidad medio** por eventuales daños, agrietamientos u obstrucciones que se puedan generar ante un evento sísmico, por ultimo las vías principales y líneas vitales por su nivel de importancia debido a la conectividad que brindan en las diferentes municipalidades del área de afectación presentan un grado de **vulnerabilidad alto** en caso de que se materialice un evento sísmico, ya que este, eventualmente podría presentar cortes en la prestación de servicios o en la conectividades y desplazamientos en la región.

La infraestructura productiva relacionada áreas de pesca, cultivos, plantaciones forestales y actividades pecuarias presentan un grado de **vulnerabilidad bajo** en caso de materializarse un evento sísmico, ya que, este eventualmente no ocasionaría alteraciones en el normal desarrollo de la producción, sin embargo, las explotaciones mineras y actividades comerciales ante un evento sísmico, se verían expuestas y obligadas a suspender operaciones mientras la situación se normaliza para evitar posibles daños o pérdidas irreparables, a causa de posibles

desprendimientos de materiales en el caso de las explotaciones mineras y caídas o daños de objetos relevantes para la actividad comercial, por ende su grado de **vulnerabilidad es medio**.

Para el caso de los cultivos de pan coger en el área de afectación, debido a que se encuentran levemente expuestos ante un evento sísmico, no se generarían afectaciones en su normal desarrollo, por ende, el grado de **vulnerabilidad relacionado es bajo**. Los bienes de interés cultural relacionados a sitios de alto valor patrimonial dentro del área de afectación tienen un grado de **vulnerabilidad medio** ante la exposición de evento sísmico, debido a que las unidades y fragmentos que lo definen podrían verse afectados, sin embargo, los demás sitios de interés cultural presentan una **vulnerabilidad baja**.

Las empresas e infraestructuras que manejan sustancias peligrosas dentro del área de afectación tienen un grado de **vulnerabilidad medio** ante la materialización de un evento sísmico, esto debido a que si bien, estos operan bajo estrictos controles de manejo y prevención de accidentes, un evento sísmico de gran magnitud (escenario más desfavorable) podría generar fugas, derrames, o daños que afecten su normal desarrollo.

Los sitios de captación de agua (pozos, bocatomas y sistemas de riego) que se encuentran dentro del área de afectación ante la materialización de un evento sísmico están bajo un grado de **vulnerabilidad medio**, debido a que se podrían presentar fallas o averías, en el sistema que desencadenen una suspensión en el servicio ante un sismo de gran magnitud.

Para el caso de las áreas ambientalmente sensibles, ante un evento sísmico de gran magnitud dentro del área de afectación, se podrán ocasionar pérdidas de cobertura vegetal, además, de alteraciones en la resistencia y firmeza de los suelos, por ende el grado de **vulnerabilidad asociado es medio**, sin embargo la exposición ante un evento sísmico de las áreas asociadas a ecosistemas acuáticos, tales como ciénagas y cuerpos de agua con algún grado de protección presentan un grado de **vulnerabilidad bajo**.

2.2.5.2 Vulnerabilidad por movimiento en masa

La vulnerabilidad de los elementos expuestos dentro del área de afectación ante movimientos en masa en laderas naturales se consideró para escenarios de lluvia y sismos (Tabla 2-2).

En los planos M-PHI-111-TRA-MMP-G-020 y M-PHI-111-TRA-MMS-G-020 se observan los resultados del análisis de vulnerabilidad.

Tabla 2-2 Vulnerabilidad de los elementos expuestos ante movimientos en masa

Elementos expuestos	Movimientos en masa		
	Baja 1	Media 3	Alta 5
Asentamientos humanos (Viviendas aisladas, centros nucleados, campamentos)	Viviendas aisladas, centros nucleados	Campamentos	n.a.
Infraestructura pública vías (carreteras,	Demás	Vías, líneas de	n.a.

Elementos expuestos	Movimientos en masa		
	Baja 1	Media 3	Alta 5
caminos puentes, garruchas), líneas vitales (líneas de transmisión, oleoductos, poliductos, subestaciones de energía), equipamientos, infraestructura PHI, etc.		transmisión	
Infraestructura productiva (áreas de pesca, plantaciones forestales, actividad comercial, actividades pecuarias, títulos mineros en etapa de explotación y minería de hecho).	Demás	Minería de explotación	n.a.
Cultivos de pancoger	Todos	n.a.	n.a.
Bienes de interés cultural	Todos	n.a.	n.a.
Empresas e infraestructura que manejan sustancias peligrosas (estaciones de combustible, oleoductos, subestaciones, almacenamiento de abonos y sustancias para el control de plagas)	n.a.	Todas	n.a.
Sitios de captación de agua (pozos, bocatomas, sistemas de riego)	n.a.	Sitios de captación de agua	n.a.
Áreas ambientalmente sensibles (áreas protegidas y áreas ambientalmente sensibles), ecosistemas acuáticos (ciénagas y cuerpos de agua con algún grado de protección)	Demás	Áreas ambientalmente sensibles	n.a.

Fuente: Consorcio Generación Ituango, 2022.

Los asentamientos humanos relacionados a viviendas aisladas y centros nucleados que se encuentran dentro del área de afectación, debido a su localización presentan un grado de **vulnerabilidad bajo** ante movimientos en masa, sin embargo, en algunas zonas donde se encuentran ubicados los campamentos se presenta un grado de **vulnerabilidad medio**.

Las vías y líneas de transmisión ante la materialización de una amenaza por movimientos en masa presentan un grado de **vulnerabilidad medio**, debido a que su localización los hace más expuestos, con relación a la demás infraestructura pública dentro del área de afectación, la cual tienen un grado de **vulnerabilidad bajo**.

La infraestructura productiva relacionada a minería de explotación se encuentra con un grado de **vulnerabilidad medio** ante movimientos en masa, debido a que su localización la hace más expuesta a la amenaza, con relación a los demás componentes de la infraestructura productiva, los cuales presentan un grado de **vulnerabilidad bajo**.

Los cultivos de pancoger que satisfacen las necesidades alimentarias de la población y el patrimonio conformado por los bienes de interés cultural presentan un grado de exposición

bajo ante la materialización de una amenaza por movimientos en masa, por ende, su grado de **vulnerabilidad es bajo**.

Las empresas e infraestructuras que manejan y controlan sustancias peligrosas, tales como, estaciones de combustible, subestaciones, oleoductos, entre otras, que se encuentran dentro del área de afectación, presentan un grado de **vulnerabilidad medio**, debido a la exposición de una amenaza por movimientos en masa, ya que ante un escenario muy desfavorable, se podrían generar derrames o fugas de sustancias y daños en las estructuras de almacenamiento que puedan afectar el normal desarrollo de la operación.

Los pozos, bocatomas y sistemas de riego que componen los sistemas de captación de agua que se encuentran dentro del área de afectación, podrían verse medianamente expuestos ante un escenario de movimientos en masa, ya que se podrían generar daños, averías o suspensión del servicio, dependiendo de la magnitud del evento amenazante, por esta razón la vulnerabilidad asociada para estos elementos es **media**.

Ante movimientos en masa, las áreas ambientalmente sensibles podrían sufrir alteraciones o cambios en la resistencia de los suelos y pérdidas de cobertura vegetal, encontrándose así bajo un grado de exposición considerable y por ende su vulnerabilidad asociada es **media**, sin embargo, la exposición de las demás áreas ambientales como los ecosistemas acuáticos bajo algún grado de protección presentan un grado de **vulnerabilidad bajo**.

2.2.5.3 Vulnerabilidad por modos de falla de la presa

Para el análisis de la vulnerabilidad por modos de falla de la presa se tuvieron en cuenta los factores relacionados a la operación, ya que pueden contribuir a materializarse dicha amenaza, además, aquellos que la puedan afectar indirectamente, en donde se obtuvieron resultados favorables, ya que es baja la probabilidad de falla (Tabla 2-3).

En los planos M-PHI-111-TRA-MFP-G-020 y M-PHI-111-TRA-MFA-G-020 se observan los resultados del análisis de vulnerabilidad.

Tabla 2-3 Vulnerabilidad de los elementos expuestos ante modos de falla de la presa

Elementos expuestos	Modos de falla de la presa		
	Baja 1	Media 3	Alta 5
Asentamientos humanos (Viviendas aisladas, centros nucleados, campamentos)	Todos	n.a.	n.a.
Infraestructura pública vías (carreteras, caminos puentes, garruchas), líneas vitales (líneas de transmisión, oleoductos, poliductos, subestaciones de energía), equipamientos, infraestructura PHI, etc.	Vías	Infraestructura del proyecto: presa y túneles	n.a.
Infraestructura productiva (áreas de pesca, plantaciones forestales, actividad comercial,	Demás	Áreas de pesca	n.a.

Elementos expuestos	Modos de falla de la presa		
	Baja 1	Media 3	Alta 5
actividades pecuarias, títulos mineros en etapa de explotación y minería de hecho).			
Cultivos de pancoger	n.a.	n.a.	Todos
Bienes de interés cultural	n.a.	n.a.	n.a.
Empresas e infraestructura que manejan sustancias peligrosas (estaciones de combustible, oleoductos, subestaciones, almacenamiento de abonos y sustancias para el control de plagas)	Todas	n.a.	n.a.
Sitios de captación de agua (pozos, bocatomas, sistemas de riego)	n.a.	Sitios de captación	n.a.
Áreas ambientalmente sensibles (áreas protegidas y áreas ambientalmente sensibles), ecosistemas acuáticos (ciénagas y cuerpos de agua con algún grado de protección)	Demás	Áreas ambientalmente sensibles	Ecosistemas acuáticos

Fuente: Consorcio Generación Ituango, 2022.

Los asentamientos humanos relacionados a los centros nucleados, viviendas aisladas y campamentos espacializados dentro del área de posible afectación ante la materialización de un evento de falla de presa, en general presentan un grado de exposición bajo, en donde, se consideraron las bajas probabilidades de falla, por ende, la **vulnerabilidad asociada es baja**.

La infraestructura pública relacionada a las vías dentro del área de afectación presenta una baja exposición ante algún modo posible de falla de la presa, arrojando así, una vulnerabilidad baja, sin embargo, considerando un evento potencialmente desfavorable relacionado a algún modo de falla, la infraestructura del proyecto asociada a los túneles y presa se encontrarían bajo una **vulnerabilidad media** debido al grado de exposición en estos elementos.

Las áreas de pesca dentro del área de afectación ante algún modo de falla de la presa se encontrarían bajo un grado exposición capaz de modificar las dinámicas del sistema productivo, por ende, la **vulnerabilidad asociada es media**, sin embargo, los demás componentes de la infraestructura productiva como los cultivos, plantaciones forestales, actividades pecuarias y comerciales dentro del área de afectación, obtuvieron una calificación de **vulnerabilidad baja** ante algún modo de falla de la presa.

Los cultivos de pancoger dentro del área de afectación ante algún modo de falla de la presa, se encuentran bajo un grado de exposición considerable debido a sus ubicaciones, por lo tanto, el grado de **vulnerabilidad es medio**.

Las empresas e infraestructuras que almacenan y transportan sustancias peligrosas (estaciones de combustible, oleoductos, subestaciones, almacenamiento de abonos y sustancias para el control de plagas) dentro del área de afectación, ante algún modo de falla de la presa

presentan un bajo grado de exposición dentro de dicha área, garantizando así, un **grado de vulnerabilidad bajo**, sin embargo, no se debe limitar la verificación de su normal desarrollo una vez ocurrido el evento.

Los sitios de captación de agua ubicados dentro del área de afectación ante algún modo de falla de la presa se encuentran bajo un grado de exposición considerable, ya que eventualmente podrían darse daños o suspensiones del servicio de agua, según la magnitud de la falla, por esta razón la vulnerabilidad asociada para estos elementos es **media**.

Ante algún modo de falla de presa, los ecosistemas acuáticos como las ciénagas y cuerpos de agua con algún grado de protección, ubicados dentro del área de afectación, se verían altamente expuestos debido a las posibles alteraciones dadas en las dinámicas de dichos sistemas, una vez se materialice la falla, por esto, el análisis arroja un grado de **vulnerabilidad alto**, además, las áreas ambientalmente sensibles se encuentran bajo una **vulnerabilidad media** ante una falla de presa debido a la baja exposición de dichas áreas

2.2.5.4 Vulnerabilidad por socavación y procesos erosivos

La vulnerabilidad de los elementos expuestos asociada a procesos amenazantes de socavación y erosión dentro del área de afectación se analizó mediante la identificación y caracterización de dicha amenaza, en donde se tuvieron en cuenta las características geológicas y geotécnicas necesarias para una comprensión integral de la vulnerabilidad asociada (Tabla 2-4).

En los planos M-PHI-111-TRA-SCV-G-020 y M-PHI-111-TRA-SPE-G-020 se observan los resultados del análisis de vulnerabilidad.

Tabla 2-4 Vulnerabilidad de los elementos expuestos ante socavación y procesos erosivos

Elementos expuestos	Socavación y procesos erosivos		
	Baja 1	Media 3	Alta 5
Asentamientos humanos (Viviendas aisladas, centros nucleados, campamentos)	Todos	n.a.	n.a.
Infraestructura pública vías (carreteras, caminos puentes, garruchas), líneas vitales (líneas de transmisión, oleoductos, poliductos, subestaciones de energía), equipamientos, infraestructura PHI, etc.	Demás	Infraestructura del proyecto: cuenco del vertedero	n.a.
Infraestructura productiva (áreas de pesca, plantaciones forestales, actividad comercial, actividades pecuarias, títulos mineros en etapa de explotación y minería de hecho).	Demás	Actividad minera	n.a.
Cultivos de pancoger	n.a.	n.a.	Todos
Bienes de interés cultural	Todos	n.a.	n.a.
Empresas e infraestructura que manejan sustancias peligrosas (estaciones de	n.a.	n.a.	n.a.

Elementos expuestos	Socavación y procesos erosivos		
	Baja 1	Media 3	Alta 5
combustible, oleoductos, subestaciones, almacenamiento de abonos y sustancias para el control de plagas)			
Sitios de captación de agua (pozos, bocatomas, sistemas de riego)	Todos	n.a.	n.a.
Áreas ambientalmente sensibles (áreas protegidas y áreas ambientalmente sensibles), ecosistemas acuáticos (ciénagas y cuerpos de agua con algún grado de protección)	n.a.	Demás ecosistemas acuáticos y áreas ambientalmente sensibles	Río Cauca y quebradas

Fuente: Consorcio Generación Ituango, 2022.

Los asentamientos humanos asociados a viviendas aisladas, centros nucleados y campamentos localizados dentro del área de afectación de posibles procesos de socavación y erosión, presentan una baja exposición de llegar a materializarse dicha amenaza, por tal razón, el grado de vulnerabilidad de estos elementos es **bajo**.

Dentro del área de afectación por procesos erosivos y de socavación, el cuenco del vertedero se vería expuesto considerablemente de llegar presentarse anomalías en la operación recomendada, por ende, el grado de vulnerabilidad asociado a dicha amenaza es **medio**, sin embargo, los demás elementos que integran la infraestructura pública como las vías, líneas vitales y demás infraestructura del PHI están bajo un grado de **vulnerabilidad bajo**, ya que no se encuentran bajo una exposición considerable, una vez se

La infraestructura productiva asociada a la actividad minera dentro del área de afectación presenta un grado de exposición considerable ante procesos erosivos, arrojando así, una **vulnerabilidad media**, sin embargo, las áreas de pesca, plantaciones forestales, actividades pecuarias y demás elementos que integran la infraestructura productiva no presentan una exposición dentro del área de afectación que pueda afectarlas significativamente, por ende, la **vulnerabilidad es baja**.

Los cultivos de pancoger se encuentran altamente expuestos ante la activación de procesos erosivos y de socavación, dejándolos bajo un grado de **vulnerabilidad alto**, ya que, se verían alteradas sus características y por ende sus capacidades productivas, siendo más complejo satisfacer las necesidades alimenticias que cubren dichos cultivos.

El patrimonio dentro del área de afectación asociado a los bienes de interés cultural tiene un grado de **vulnerabilidad bajo** ante la materialización de procesos erosivos y de socavación, en donde, gracias a la localización de estos su grado de exposición es bajo, por lo que no sufrirían deterioros o daños de gran impacto.

La exposición de los pozos, bocatomas y sistemas de riego que componen los sistemas de captación de agua se encuentran con un grado de **vulnerabilidad bajo** ante la activación de procesos erosivos y de socavación, dejando así remota la posibilidad de presentarse daños o suspensiones del servicio de agua dentro del área de afectación.

El río Cauca y quebradas dentro del área de afectación por procesos de socavación y erosión, presentan un alto grado de exposición, dadas las dinámicas de flujo de estos cuerpos de agua, además, se debe tener en cuenta que estos procesos tienen una relación directa con las propiedades cohesivas de los suelos, en donde, también las condiciones climáticas de un tiempo determinando pueden influenciar en la magnitud de los caudales y por ende en la magnitud de dichos procesos, debido a esto, su grado de **vulnerabilidad es alto**. Los demás ecosistemas acuáticos (ciénagas y cuerpos de agua con algún grado de protección) y áreas ambientalmente sensibles ubicados dentro del área de afectación presentan un grado de vulnerabilidad medio.

2.2.5.5 Vulnerabilidad por derrames de sustancias peligrosas

La vulnerabilidad asociada a derrames de sustancias peligrosas dentro del área de afectación se analizó teniendo en cuenta las caracterizaciones de cada uno de los puntos de almacenamiento de sustancias dentro de dicha área, en donde los tipos de sustancias almacenadas, volúmenes y sistemas de contención implementados fueron fundamentales para la definición de la vulnerabilidad asociada a cada uno de los elementos expuestos (Tabla 2-5).

En el plano M-PHI-111-TRA-DER-P-020 se observa los resultados del análisis de vulnerabilidad.

Tabla 2-5 Vulnerabilidad de los elementos expuestos ante derrames de sustancias peligrosas

Elementos expuestos	Derrames de sustancias peligrosas		
	Baja 1	Media 3	Alta 5
Asentamientos humanos (Viviendas aisladas, centros nucleados, campamentos)	n.a.	n.a.	n.a.
Infraestructura pública vías (carreteras, caminos puentes, garruchas), líneas vitales (líneas de transmisión, oleoductos, poliductos, subestaciones de energía), equipamientos, infraestructura PHI, etc.	n.a.	n.a.	n.a.
Infraestructura productiva (áreas de pesca, plantaciones forestales, actividad comercial, actividades pecuarias, títulos mineros en etapa de explotación y minería de hecho).	Las demás	n.a.	Áreas de pesca, actividad minera
Cultivos de pancoger	n.a.	n.a.	Todos
Bienes de interés cultural	n.a.	n.a.	n.a.
Empresas e infraestructura que manejan sustancias peligrosas (estaciones de combustible, oleoductos, subestaciones,	n.a.	n.a.	Todas

11

Elementos expuestos	Derrames de sustancias peligrosas		
	Baja 1	Media 3	Alta 5
almacenamiento de abonos y sustancias para el control de plagas)			
Sitios de captación de agua (pozos, bocatomas, sistemas de riego)	n.a.	n.a.	Todas
Áreas ambientalmente sensibles (áreas protegidas y áreas ambientalmente sensibles), ecosistemas acuáticos (ciénagas y cuerpos de agua con algún grado de protección)	Ecosistemas terrestres (vegetación riparia)	n.a.	Ecosistemas acuáticos

Fuente: Consorcio Generación Ituango, 2022.

Las áreas de pesca y de actividad minera que se encuentran dentro del área de afectación, ante un eventual derrame están bajo un grado de exposición considerable que se asocia a un grado de **vulnerabilidad alto**, ya que, dicha infraestructura productiva podría verse impactada en caso de materializarse el derrame, a diferencia de los demás elementos (plantaciones forestales, actividades pecuarias y comerciales) que la componen dentro del área de afectación, estos cuentan con un grado de **vulnerabilidad bajo** que se relaciona a la exposición asociada ante un derrame o fuga.

En cuanto a los cultivos de pancoger asociados dentro del área de afectación por derrames o fugas de sustancias peligrosas, se encontró que su grado de exposición ante dicha amenaza es alto, en donde, estos sufrirían alteraciones en sus características físico-químicas que afectaría su cosecha, lo que permite identificar una **vulnerabilidad alta** para este elemento.

Con relación a las empresas e infraestructuras que manejan y controlan sustancias peligrosas, debido a la sinergia que existe entre el control y prevención de dicha amenaza, en caso de materializarse un escenario desfavorable de derrame o fuga, estos elementos expuestos se verían altamente impactados, por ende, presentan un grado de **vulnerabilidad alto**.

Igualmente, los sitios de captación de agua son propensos a sufrir alteraciones y afectaciones ante la exposición de dicha amenaza, en donde se podrían ver escenarios de suspensión del servicio o deficiencias en su funcionamiento que permiten asociar estos elementos a una **alta vulnerabilidad**.

Por último, los ecosistemas acuáticos dentro del área de afectación sufrirían alteraciones considerables en las características físico-químicas del agua debido a su grado de exposición ante la materialización de la amenaza, por ende, **la vulnerabilidad es alta**. La exposición de los demás ecosistemas terrestres que componen las áreas ambientales dentro del área de afectación por derrames de sustancias peligrosas indica un grado de **vulnerabilidad bajo**.

2.2.5.6 Vulnerabilidad por avenidas torrenciales

Para el análisis de la vulnerabilidad ante avenidas torrenciales se tuvieron en cuenta las áreas delimitadas ante esta amenaza y los elementos expuestos localizados (Tabla 2-6).

En el plano M-PHI-111-TRA-AT-P-020 se observa los resultados del análisis de vulnerabilidad.

Tabla 2-6 Vulnerabilidad de los elementos expuestos ante avenidas torrenciales

Elementos expuestos	Avenidas torrenciales		
	Baja 1	Media 3	Alta 5
Asentamientos humanos (Viviendas aisladas, centros nucleados, campamentos)	n.a.	n.a.	Todos
Infraestructura pública vías (carreteras, caminos puentes, garruchas), líneas vitales (líneas de transmisión, oleoductos, poliductos, subestaciones de energía), equipamientos, infraestructura PHI, etc.	n.a.	n.a.	Todos
Infraestructura productiva (áreas de pesca, plantaciones forestales, actividad comercial, actividades pecuarias, títulos mineros en etapa de explotación y minería de hecho).	n.a.	Demás	Áreas de pesca y cultivos
Cultivos de pancoger	n.a.	n.a.	Todos
Bienes de interés cultural	n.a.	Sitios de interés cultural	n.a.
Empresas e infraestructura que manejan sustancias peligrosas (estaciones de combustible, oleoductos, subestaciones, almacenamiento de abonos y sustancias para el control de plagas)	n.a.	Todas	n.a.
Sitios de captación de agua (pozos, bocatomas, sistemas de riego)	n.a.	n.a.	Todos
Áreas ambientalmente sensibles (áreas protegidas y áreas ambientalmente sensibles), ecosistemas acuáticos (ciénagas y cuerpos de agua con algún grado de protección)	Demás	Áreas ambientalmente sensibles	Ecosistemas acuáticos

Fuente: Consorcio Generación Ituango, 2022.

Inicialmente el análisis considero los asentamientos humanos ubicados dentro del área de afectación por la amenaza, en donde se identificó que se encuentran altamente expuestos debido a que gran parte de los asentamientos están establecidos en entornos de pendientes considerables, lo que facilita la materialización de la amenaza de llegar a darse fuertes precipitaciones y por ende el grado de **vulnerabilidad es alto**.

Igualmente, la infraestructura pública espacializada dentro del área de afectación se encuentra bajo una **vulnerabilidad alta**, debido a que están significativamente expuestos, en vista del

efecto destructivo de las avenidas torrenciales, las cuales pueden generar pérdidas o daños potenciales sobre la infraestructura pública.

En cuanto a la infraestructura productiva, el análisis de vulnerabilidad indicó que las áreas de pesca y cultivos localizados en el área de afectación están **altamente vulnerables**, debido al grado de exposición encontrado, en donde una vez se materialice la amenaza se alterarían según la magnitud del evento amenazante, dejando cuantiosas pérdidas. Las demás áreas productivas en términos generales se encuentran bajo un grado de **vulnerabilidad medio**, en donde no necesariamente se verían afectadas la totalidad de las zonas productivas.

Los cultivos de pancoger amenazados por avenidas torrenciales cuentan con un grado de **vulnerabilidad alto**, ya que una vez se materialice la amenaza estos cultivos sufrirán alteraciones que afectarán su productividad en función de la magnitud la avenida torrencial.

En cuanto a los bienes de interés cultural asociados a sitios de alto valor patrimonial localizados dentro del área de afectación, en general, presentan un grado de exposición ante la amenaza que permite identificar un grado de **vulnerabilidad medio**, ya que, las unidades y fragmentos que lo definen podrían verse dañados, según la magnitud del evento.

Las empresas e infraestructuras que manejan sustancias peligrosas dentro del área de afectación tienen un grado de **vulnerabilidad medio** ante avenidas torrenciales, esto debido a que si bien, estos operan bajo estrictos controles de manejo y prevención de accidentes, una avenida torrencial de gran magnitud podría generar alteraciones en las infraestructuras de almacenamiento de sustancias o modificaciones en su control y manejo.

El análisis de los ecosistemas acuáticos como las ciénagas y cuerpos de agua con algún grado de protección, ubicados dentro del área de afectación por avenidas torrenciales, indicó un grado de **vulnerabilidad alto**, debido al nivel de exposición ante dicha amenaza, la cual puede generar alteraciones en las dinámicas de los sistemas. Además, las áreas ambientalmente sensibles presentaron un grado de **vulnerabilidad medio**, en relación con el nivel de exposición frente a la amenaza, por último las demás áreas presentes arrojaron resultados de **baja vulnerabilidad** ante avenidas torrenciales, debido a su localización en el área de afectación, en donde este tendría bajas posibilidades de perjudicarlos.

2.2.5.7 Vulnerabilidad por modificaciones extremas de caudales por riesgo tecnológico

Al presentarse fallas técnicas y operativas de las diferentes compuertas de las estructuras de evacuación de agua del embalse, ya sea impidiendo la evacuación de esta o descargando un caudal mayor al esperado o al que naturalmente se presenta en el río, se pueden presentar diferentes afectaciones sobre los elementos expuestos tanto aguas arriba como aguas abajo del embalse. En la Tabla 2-7, se presenta la calificación de vulnerabilidad para los diferentes elementos expuestos.

En los planos M-PHI-111-TRA-DI-P-020, M-PHI-111-TRA-DSA-P-020, M-PHI-111-TRA-DSB-P-020 y M-PHI-111-TRA-CV-P-020 se presentan los análisis de vulnerabilidad por cada escenario de riesgo.

Tabla 2-7 Vulnerabilidad de los elementos expuestos ante modificaciones extremas de caudales por riesgo tecnológico

Elementos expuestos	Modificaciones extremas de caudales por riesgo tecnológico		
	Baja 1	Media 3	Alta 5
Asentamientos humanos (Viviendas aisladas, centros nucleados, campamentos)	n.a.	n.a.	Todos
Infraestructura pública vías (carreteras, caminos puentes, garruchas), líneas vitales (líneas de transmisión, oleoductos, poliductos, subestaciones de energía), equipamientos, infraestructura PHI, etc.	n.a.	n.a.	Todos
Infraestructura productiva (áreas de pesca, plantaciones forestales, actividad comercial, actividades pecuarias, títulos mineros en etapa de explotación y minería de hecho).	n.a.	Demás	Áreas de pesca y cultivos
Cultivos de pancoger	n.a.	n.a.	Todos
Bienes de interés cultural	n.a.	Sitios de interés cultural	n.a.
Empresas e infraestructura que manejan sustancias peligrosas (estaciones de combustible, oleoductos, subestaciones, almacenamiento de abonos y sustancias para el control de plagas)	n.a.	Todas	n.a.
Sitios de captación de agua (pozos, bocatomas, sistemas de riego)	n.a.	Todos	n.a.
Áreas ambientalmente sensibles (áreas protegidas y áreas ambientalmente sensibles), ecosistemas acuáticos (ciénagas y cuerpos de agua con algún grado de protección)	Demás	Áreas ambientalmente sensibles	Ecosistemas acuáticos

Fuente: Consorcio Generación Ituango, 2022.

Una de estas afectaciones corresponde con inundaciones sobre centros urbanos, por lo que los asentamientos humanos adquieren una **vulnerabilidad alta**, asociado con su exposición en zonas ribereñas y cambios abruptos en los flujos.

Asimismo, durante la operación del proyecto, pueden presentarse fallas en los equipos electromecánicos en alguna de las estructuras que permite realizar regulaciones del agua que entra el embalse y que, finalmente, es descargada aguas abajo del proyecto. Por lo que podría verse afectada la infraestructura del proyecto asociada con el vertedero, la descarga intermedia y

túneles de desviación (túnel de desviación derecho y galería auxiliar de desviación). Si bien, se han mantenido criterios de seguridad y monitoreo sobre la infraestructura, los elementos tienen una **vulnerabilidad alta**, dado que no se puede descartar la probabilidad de ocurrencia de un evento contingente debido a las modificaciones extremas de los caudales. Igualmente, elementos como vías, equipamientos y líneas vitales podrían verse afectadas por condiciones de inestabilidad o fallos estructurales.

En cuanto a la infraestructura productiva, las áreas de pesca y cultivos presentan una **vulnerabilidad alta**, debido a su exposición directa a la amenaza y su susceptibilidad a ser alterados por modificaciones extremas de caudal. Los demás elementos expuestos relacionados, se clasifican con **vulnerabilidad media** dada la extensión del área de afectación.

Las instalaciones con presencia de sustancias peligrosas y los sitios de captación de agua se les asignan una **vulnerabilidad media**, en función de su exposición ante el área de afectación de la amenaza y sus implicaciones en la operatividad del proyecto en caso de verse alterados.

Finalmente, los elementos expuestos ambientales relacionados con los ecosistemas acuáticos presentan una **vulnerabilidad alta**, debido a que cambios bruscos en el caudal pueden alterar las condiciones de oxígeno, calidad de agua, temperatura y biodiversidad de la fauna existente. Por su parte, las áreas ambientalmente sensibles tienen una **vulnerabilidad media** y los demás elementos ambientales **vulnerabilidad baja**.

2.2.5.8 Vulnerabilidad por fenómenos climáticos extremos: crecientes y sequías (Río Cauca)

Si bien el diseño del embalse del proyecto hidroeléctrico se considera a filo de agua, por lo que no se generaría un amortiguamiento importante con el paso de la creciente y no modificaría los efectos aguas abajo del embalse, los niveles de flujo pueden verse modificados por efectos del cambio climático, lo que haría a los elementos expuestos susceptibles ante la ocurrencia de crecientes y sequías.

El resultado de los análisis de vulnerabilidad se presenta por cada escenario de riesgo en los planos M-PHI-111-TRA-CNA-P-020, M-PHI-111-TRA-CNB-P-020, M-PHI-111-TRA-CNC-P-020, M-PHI-111-TRA-CND-P-020 y M-PHI-111-TRA-SNO-P-020.

Tabla 2-8 Vulnerabilidad de los elementos expuestos ante fenómenos climáticos extremos

Elementos expuestos	Fenómenos climáticos extremos		
	Baja 1	Media 3	Alta 5
Asentamientos humanos (Viviendas aisladas, centros nucleados, campamentos)	n.a.	n.a.	Todos
Infraestructura pública vías (carreteras, caminos puentes, garruchas), líneas vitales (líneas de transmisión, oleoductos, poliductos, subestaciones de energía), equipamientos, infraestructura PHI, etc.	n.a.	n.a.	Todos

Elementos expuestos	Fenómenos climáticos extremos		
	Baja 1	Media 3	Alta 5
Infraestructura productiva (áreas de pesca, plantaciones forestales, actividad comercial, actividades pecuarias, títulos mineros en etapa de explotación y minería de hecho).	n.a.	Demás	Áreas de pesca y cultivos
Cultivos de pancoger	n.a.	n.a.	Todos
Bienes de interés cultural	n.a.	Sitios de interés cultural	n.a.
Empresas e infraestructura que manejan sustancias peligrosas (estaciones de combustible, oleoductos, subestaciones, almacenamiento de abonos y sustancias para el control de plagas)	n.a.	Todas	n.a.
Sitios de captación de agua (pozos, bocatomas, sistemas de riego)	n.a.	Todos	n.a.
Áreas ambientalmente sensibles (áreas protegidas y áreas ambientalmente sensibles), ecosistemas acuáticos (ciénagas y cuerpos de agua con algún grado de protección)	Demás	Áreas ambientalmente sensibles	Ecosistemas acuáticos

Fuente: Consorcio Generación Ituango, 2022.

De acuerdo con la Tabla 2-8, se considera una **vulnerabilidad alta** sobre las personas, dado la ubicación de cascos urbanos en áreas próximas al río Cauca y otras fuentes hídricas, puesto que ante eventos de crecientes o sequías se verían afectadas algunas viviendas, tanto por la exposición como por su dependencia al recurso hídrico.

De igual manera, la infraestructura del proyecto e infraestructura pública próxima a las diferentes fuentes hídricas podrían sufrir afectaciones ante las fluctuaciones en los caudales, velocidades altas de flujo podrían generar inestabilidad y fallos en las estructuras.

En cuanto a la infraestructura productiva las áreas de pesca y cultivos (incluyendo los cultivos de pancoger) tienen una **vulnerabilidad alta**, debido a su dependencia con el recurso hídrico y las afectaciones que podría presentarse por aumento o disminución de los niveles del río y afluentes. Esto podría modificar la productividad y las dinámicas piscícolas y agrícolas del sector.

Las instalaciones con almacenamiento y manipulación de sustancias peligrosas cercanas a fuentes hídricas podrían verse afectadas frente a eventos de inundación, por lo que tienen una **vulnerabilidad media**.

Igualmente, los sitios de captación de agua presentan una **vulnerabilidad media** ante las fluctuaciones en los caudales, dada su dependencia del recurso y proximidad a las fuentes.

Los elementos ambientales, presentan una **vulnerabilidad alta** para los ecosistemas acuáticos, dada su directa exposición a la amenaza, **vulnerabilidad media** para las áreas ambientalmente sensibles dadas las condiciones de susceptibilidad en las que se encuentra una cuenca en la actualidad, y la posibilidad que tienen los terrenos de generar un mayor aporte o disminución del fenómeno de la inundación. Los demás elementos ambientales poseen una **baja vulnerabilidad**.

2.2.5.9 Vulnerabilidad por incendios y explosiones en instalaciones

En la Tabla 2-9 se analizan los elementos que están expuestos ante la ejecución de cada uno de los escenarios de riesgo analizado y sus posibles consecuencias sobre la población, la infraestructura, los medios de vida y los servicios ecosistémicos para cada una de las zonas identificadas.

En el plano M-PHI-111-TRA-ISP-M-020, se presentan los análisis del resultado de vulnerabilidad.

Tabla 2-9 Análisis de vulnerabilidad

ID	ZONA	Tipo de Material	Tipo de afectación	Nivel alto	Radio	Nivel medio	Radio	Nivel bajo	Radio	Consecuencias / Elementos expuestos
1	Polvorín El Palmar	Indugel, Emulind – E y cordón detonante.	Vapor tóxico	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	En caso de una sobrepresión por explosión, el radio de afectación máximo es de 255,20 m, sin embargo no compromete las instalaciones aledañas, al encontrarse una distancia prudente
			Inflamabilidad	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
			Radiación térmica	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
			Sobrepresión	8 psi	66,45 m	3,5 psi	106,21 m	1 psi	255,20 m	
2	Planta de asfalto	N/A	Vapor tóxico	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	El riesgo analizado es muy bajo para representar consecuencias para la población, instalaciones o medio ambiente
			Inflamabilidad	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
			Radiación térmica	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
			Sobrepresión	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
3	Subestación 500 kVA	Aceite transformador	Vapor tóxico	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	El riesgo analizado es muy bajo para representar consecuencias para la población, instalaciones o medio ambiente
			Inflamabilidad	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
			Radiación térmica	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
			Sobrepresión	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
4	Casa de máquinas	Igol denso (1440kg), Igol imprimante (192kg), Antisol blanco (400kg), Sika látex (200kg), Antisol (200kg), ácido nítrico (40kg), entre otros.	Vapor tóxico	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	El riesgo analizado es muy bajo para representar consecuencias para la población, instalaciones o medio ambiente
			Inflamabilidad	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
			Radiación térmica	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
			Sobrepresión	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
5	Caverna de transformadores	Aceite transformador	Vapor tóxico	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	El riesgo analizado es muy bajo para representar consecuencias para la población, instalaciones o medio ambiente
			Inflamabilidad	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
			Radiación térmica	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
			Sobrepresión	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
6	Subestación 44 kVA	Aceite transformador	Vapor tóxico	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	El riesgo analizado es muy bajo para representar
			Inflamabilidad	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	

ID	ZONA	Tipo de Material	Tipo de afectación	Nivel alto	Radio	Nivel medio	Radio	Nivel bajo	Radio	Consecuencias / Elementos expuestos
			Radiación térmica	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	consecuencias para la población, instalaciones o medio ambiente
			Sobrepresión	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
7	Estación de gas casino campamento Cuní	Gas natural (Metano)	Vapor tóxico	PAC-3 = 400000 ppm	20 m	PAC-2 = 230000 ppm	27 m	PAC-1 = 65000 ppm	50 m	No se observan afectaciones a fuentes de agua o zonas boscosas. Se observan afectaciones en las estructuras cercanas en eventos de sobrepresión con ruptura de vidrios. En caso de un incendio del tanque se esperan afectaciones a las estructuras cercanas hasta un radio de 55m.
			Inflamabilidad	100% LEL = 50000 ppm	81 m	60% LEL = 30000 ppm	105 m	10% LEL = 5000 ppm	245 m	
			Radiación térmica	10 kW/m ²	24 m	5 kW/m ²	35 m	2 kW/m ²	55 m	
			Sobrepresión	8 psi	N/A	3,5 psi	N/A	1 psi	101 m	
8	Taller ATB – Zona Villaluz	Propano	Vapor tóxico	AEGL-3 = 33000 ppm	11 m	AEGL-2 = 17000 ppm	16 m	AEGL-1 = 5500 ppm	31 m	Se observa una afectación por nube tóxica en la zona concentrada en el almacenamiento. En caso de un incendio se evidencian afectaciones a la totalidad de la zona del taller, incluyendo a zonas con arbustos en el perímetro del taller. En caso de una sobrepresión por explosión, el radio de afectación no supera los 31m. Por lo cual, no compromete las instalaciones del taller.
			Inflamabilidad	100% LEL = 21000 ppm	13 m	60% LEL = 12600 ppm	20 m	10% LEL = 2100 ppm	54 m	
			Radiación térmica	10 kW/m ²	84 m	5 kW/m ²	118 m	2 kW/m ²	185 m	
			Sobrepresión	8 psi	N/A	3,5 psi	14 m	1 psi	31 m	
9	Estación de combustible	Diésel	Vapor tóxico	PAC-3 = 110 ppm	N/A	PAC-2 = 18 ppm	N/A	PAC-3 = 1.7 ppm	N/A	El único escenario que sería posible es el de un incendio tipo pool fire, para el cual se tiene un dique de
			Inflamabilidad	100% LEL	N/A	60% LEL	N/A	10% LEL	N/A	
			Radiación térmica	10 kW/m ²	10 m	5 kW/m ²	11 m	2 kW/m ²	15 m	

ID	ZONA	Tipo de Material	Tipo de afectación	Nivel alto	Radio	Nivel medio	Radio	Nivel bajo	Radio	Consecuencias / Elementos expuestos
			Sobrepresión	8 psi	N/A	3,5 psi	N/A	1 psi	N/A	derrames y un sistema de hidrantes y extintores portátiles. Por lo anterior, no se observan afectaciones a otros elementos por fuera de las instalaciones de la estación de combustible.
10	Taller de mantenimiento – Plazoleta casa de máquinas	Thinner (tolueno)	Vapor tóxico	AEGL-3 = 3700 ppm	10 m	AEGL-2 = 560 ppm	23 m	AEGL-1 = 67 ppm	75 m	Se observa una afectación a las instalaciones del taller de mantenimiento dentro de los primeros 30m, tanto para una nube posiblemente inflamable como para radiación térmica producto de un incendio del químico analizado. El riesgo más grande es el de una fuga del químico almacenado, debido a que se verían afectados la zona del taller en un radio máximo de 75m. No se observan afectaciones a las zonas boscosas ni a fuentes hídricas cercanas al sitio de almacenamiento.
			Inflamabilidad	100% LEL = 11000 ppm	N/A	60% LEL = 6600 ppm	N/A	10% LEL = 1100 ppm	N/A	
			Radiación térmica	10 kW/m2	10 m	5 kW/m2	14 m	2 kW/m2	23 m	
			Sobrepresión	8 psi	N/A	3,5 psi	N/A	1 psi	N/A	
11	Taller industrial	Acetileno	Vapor tóxico	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	El riesgo analizado es muy bajo para representar consecuencias para la población, instalaciones o medio ambiente
			Inflamabilidad	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
			Radiación térmica	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
			Sobrepresión	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
12	Estación de gas GLP – Campamento	GLP	Vapor tóxico	AEGL-3 = 33000 ppm	63 m	AEGL-2 = 17000 ppm	93 m	AEGL-1 = 5500 ppm	179 m	En caso de un incendio se verían afectadas tanto la zona de almacenamiento de

ID	ZONA	Tipo de Material	Tipo de afectación	Nivel alto	Radio	Nivel medio	Radio	Nivel bajo	Radio	Consecuencias / Elementos expuestos
	Villaluz		Inflamabilidad	100% LEL = 21000 ppm	82 m	60% LEL = 12600 ppm	112 m	10% LEL = 2100 ppm	314 m	químicos para la limpieza, como las habitaciones del personal y las zonas de bosque aledañas. En caso de una explosión, la sobrepresión afectaría con ruptura de vidrios y afectación a los edificios en un radio de hasta 133m. En caso de una fuga del químico almacenado, se presentarían afectaciones en la totalidad de las zonas habitacionales del campamento Villaluz.
			Radiación térmica	10 kW/m2	31 m	5 kW/m2	44 m	2 kW/m2	68 m	
			Sobrepresión	8 psi	N/A	3,5 psi	66 m	1 psi	133 m	
14	Planta diésel – Plazoleta casa de máquinas	Diésel	Vapor tóxico	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	El riesgo analizado es muy bajo para representar consecuencias para la población, instalaciones o medio ambiente
			Inflamabilidad	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
			Radiación térmica	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
			Sobrepresión	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
17	Planta diésel – Campamento Tacuí	Diésel	Vapor tóxico	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	El riesgo analizado es muy bajo para representar consecuencias para la población, instalaciones o medio ambiente
			Inflamabilidad	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
			Radiación térmica	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
			Sobrepresión	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
18	Subestación 44 kVA Plazoleta casa de máquinas	Aceite transformador	Vapor tóxico	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	El riesgo analizado es muy bajo para representar consecuencias para la población, instalaciones o medio ambiente
			Inflamabilidad	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
			Radiación térmica	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
			Sobrepresión	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
19	Planta de concreto	Amoniaco	Vapor tóxico	AEGL-3 = 1100 ppm	251 m	AEGL-2 = 160 ppm	685 m	AEGL-1 = 30 ppm	1600 m	Si bien se pueden evidenciar afectaciones en algunas zonas de la planta por eventos de inflamabilidad o radiación
			Inflamabilidad	100% LEL =	12 m	60% LEL = 90000	20 m	10% LEL = 15000	61 m	

ID	ZONA	Tipo de Material	Tipo de afectación	Nivel alto	Radio	Nivel medio	Radio	Nivel bajo	Radio	Consecuencias / Elementos expuestos
				150000 ppm		ppm		ppm		<p>térmica, El riesgo más alto presentado en este escenario es por una fuga de amoníaco, con un radio de afectación de hasta 1600m para riesgo bajo. En caso de darse este escenario se verían afectadas todas las operaciones y el personal que se encuentra en la planta de concreto.</p>
			Radiación térmica	10 kW/m ²	10 m	5 kW/m ²	12 m	2 kW/m ²	20 m	
			Sobrepresión	8 psi	N/A	3,5 psi	N/A	1 psi	N/A	

Fuente: Consorcio Generación Ituango, 2022

A partir de la calificación anterior, se definen los niveles de consecuencias para cada instalación analizada como se observa en la Tabla 2-10.

Tabla 2-10 Nivel de consecuencias estimado para cada instalación.

ID	ZONA	NC	Nivel de consecuencias
1	Polvorín El Palmar	25	Grave
2	Planta de asfalto	10	Leve
3	Subestación 500 kVA	10	Leve
4	Casa de máquinas	25	Grave
5	Caverna de transformadores	25	Grave
6	Subestación 44 kVA	25	Grave
7	Estación de gas casino campamento Cuní	25	Grave
8	Taller ATB – Zona Villaluz	10	Leve
9	Estación de combustible	25	Grave
10	Taller de mantenimiento – Plazoleta casa de máquinas	10	Leve
11	Taller industrial	10	Leve
12	Estación de gas GLP – Campamento Villaluz	25	Grave
14	Planta diésel – Plazoleta casa de máquinas	10	Leve
17	Planta diésel – Campamento Tacuí	10	Leve
18	Subestación 44 kVA Plazoleta casa de máquinas	25	Grave
19	Planta de concreto	25	Grave

Fuente: Integral S.A., 2022.

2.2.5.10 Vulnerabilidad por incendios forestales

Para evaluar la vulnerabilidad se realizó el álgebra de mapas de acuerdo al protocolo de incendios forestales del IDEAM, (2011), que permitió analizar e interpretar la vulnerabilidad poblacional, la vulnerabilidad territorial (ecológica y física), la vulnerabilidad patrimonial, la vulnerabilidad económica, la vulnerabilidad institucional y vulnerabilidad de la infraestructura.

2.2.5.10.1 Identificación de elementos

Los resultados se obtuvieron a partir de la superposición de mapas de amenazas con la cartografía temática disponible para el PHI complementada con fuentes secundarias (estaciones hidrometeorológicas del IDEAM, coberturas de vegetación, cartografía base del IGAC, áreas de protección regional de Corantioquia, áreas de protección nacional de la ANLA, entre otros), incluyendo criterios como presencia de personas, medios de subsistencia, servicios ambientales y recursos económicos y sociales, bienes culturales e infraestructura que por su localización pueden ser afectados por la manifestación de una amenaza.

2.2.5.10.2 Vulnerabilidad poblacional

Interpreta la vulnerabilidad de la población a partir de los tres indicadores siguientes: ocupación, colindancia y dispersión que por integración determinan la vulnerabilidad poblacional (IDEAM, 2011).

La vulnerabilidad poblacional es baja para la mayoría de la población, seguida de muy baja y media (Véase Tabla 2-11):

Tabla 2-11 Vulnerabilidad poblacional en el PHI.

Área (ha)	Vulnerabilidad poblacional (Categoría)	Vulnerabilidad poblacional (Calificación)
14344,25	Muy Baja	1
18351,3626	Baja	2
3223,34375	Media	3
1651,21875	Alta	4
24,359375	Muy Alta	5

Fuente: Consorcio Generación Ituango, 2022

Dentro de los municipios que registran mayor población vulnerable a los incendios forestales están: Campamento Villa Luz con 1.650 habitantes, Campamento Tacuí y San Andrés de Cuerquia con 1070. Los demás habitantes por municipio se describen en la Tabla 2-12.

Tabla 2-12 Población vulnerable a los incendios forestales en el PHI.

Municipio	Población vulnerable
Campamento Villa Luz	1650
Sabanalarga	409
Ituango	356
Toledo	730
Liborina	0
Campamento Tacuí	1070
Buriticá	152
Peque	45
Briceño	43
Santafé de Antioquia	3
San Andrés de Cuerquia	1070
Valdivia	1033
Olaya	3
Yarumal	4

Fuente: Consorcio Generación Ituango, 2022

La Figura 2-1 representa la vulnerabilidad poblacional por incendios forestales en el área de afectación del proyecto.

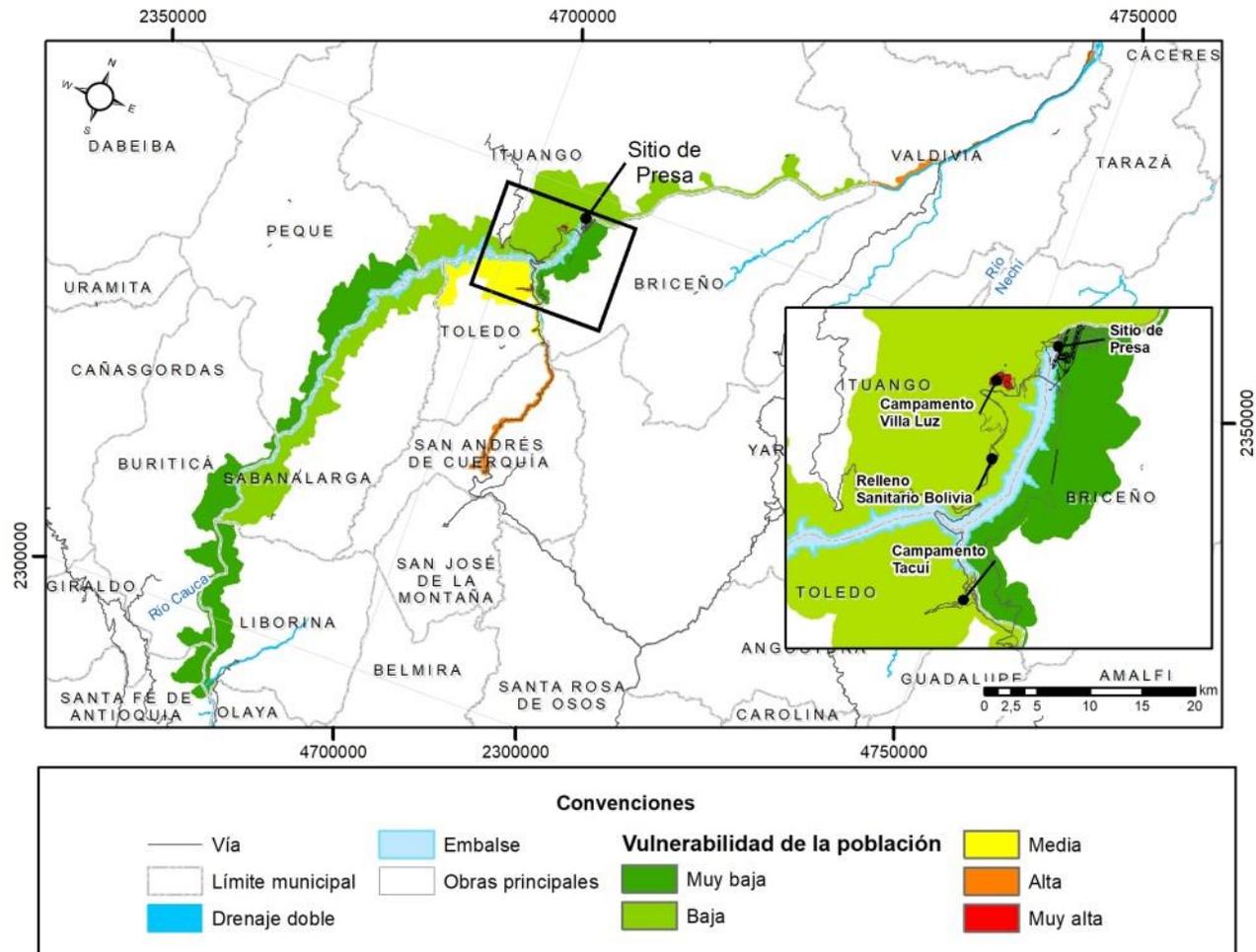




Figura 2-1 Vulnerabilidad poblacional a los incendios forestales en el área de afectación del PHI

Fuente: Consorcio Generación Ituango, 2022

2.2.5.10.3 Vulnerabilidad territorial: ecológica y física

Se entiende como los cambios físicos del suelo, las dinámicas de los asentamientos humanos y las dinámicas socioeconómicas que degradan el territorio o el paisaje, así como el medio ambiente natural y urbano, disminuyendo su nivel de protección frente a las amenazas a que están expuestos. De acuerdo con esto se toman en cuenta la vulnerabilidad física (conflictos de uso del suelo, factor que una amenaza de incendios puede potencializar) y ecológica (regímenes del fuego a los cuales se encuentran sometidos los biomas y ecosistemas colombianos y que los hacen más o menos adaptados a la ocurrencia de un evento) (IDEAM, 2011).

A. Vulnerabilidad ecológica

La Tabla 2-13 registra la vulnerabilidad ecológica del tipo de cobertura y el área (ha) vulnerable a los incendios forestales dentro del PHI; se presenta la categoría y calificación de acuerdo con los cálculos de vulnerabilidad. Dentro de las coberturas con muy alta vulnerabilidad a los incendios forestales está el Bosque denso, Bosque de galería y/o ripario, Bosque abierto, Bosque fragmentado, Arbustal, Pastos arbolados, Pastos enmalezados y Herbazal. Los tipos de cobertura faltantes se encuentran en las demás categorías de vulnerabilidad.

Tabla 2-13 Vulnerabilidad ecológica del tipo de cobertura y su área (ha) correspondiente, a los incendios forestales en el PHI.

Tipo de cobertura	Área (ha)	Vulnerabilidad Ecológica (Categoría)	Vulnerabilidad Ecológica (Calificación)
Vegetación secundaria o en transición	11.048,81	Alta	4
Bosque de galería y/o ripario	8.627,56	Muy alta	5
Herbazal	7.265,86	Muy alta	5
Pastos enmalezados	2.346,35	Muy alta	5
Cuerpos de agua artificiales	2.121,84	Muy baja	1
Pastos limpios	1.496,75	Media	3
Bosque denso	1.278,56	Muy alta	5
Tierras desnudas y degradadas	733,10	Baja	2
Ríos (50 m)	612,74	Muy baja	1
Bosque abierto	401,61	Muy alta	5
Pastos arbolados	355,06	Muy alta	5
Arbustal	253,70	Muy alta	5
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	167,55	Alta	4
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	161,70	Muy baja	1
Zonas de disposición de residuos	91,40	Muy baja	1
Zonas arenosas naturales	78,87	Muy baja	1
Afloramientos rocosos	75,90	Muy baja	1

Tipo de cobertura	Área (ha)	Vulnerabilidad Ecológica (Categoría)	Vulnerabilidad Ecológica (Calificación)
Obras hidráulicas	75,51	Muy baja	1
Mosaico de pastos y cultivos	74,08	Media	3
Zonas industriales o comerciales	59,67	Muy baja	1
Cultivos permanentes arbustivos	57,85	Media	3
Tejido urbano discontinuo	41,76	Baja	2
Zonas de extracción minera	33,67	Muy baja	1
Mosaico de cultivos	28,34	Media	3
Tejido urbano continuo	20,70	Muy baja	1
Cultivos permanentes arbóreos	15,58	Media	3
Mosaico de cultivos y espacios naturales	14,90	Alta	4
Cultivos permanentes herbáceos	14,17	Media	3
Plantación forestal	6,01	Media	3
Mosaico de pastos con espacios naturales	5,58	Alta	4
Otros cultivos transitorios	2,55	Media	3
Bosque fragmentado	2,14	Muy alta	5
Instalaciones recreativas	1,34	Alta	4

Fuente: Consorcio Generación Ituango, 2022

B. Vulnerabilidad física

En la Figura 2-2 se representa los conflictos de uso de suelo del proyecto. Se observa que las tierras sin conflicto de uso o uso adecuado registran la mayor área con 30.223,30 ha, seguido de sobreutilización severa con 3.743,13 ha, sobreutilización moderada con 1.291,43 ha, subutilización severa con 1.254,53 ha, subutilización moderada con 764,49 ha, sobreutilización ligera con 176,17 ha y subutilización ligera con 141,48 ha.

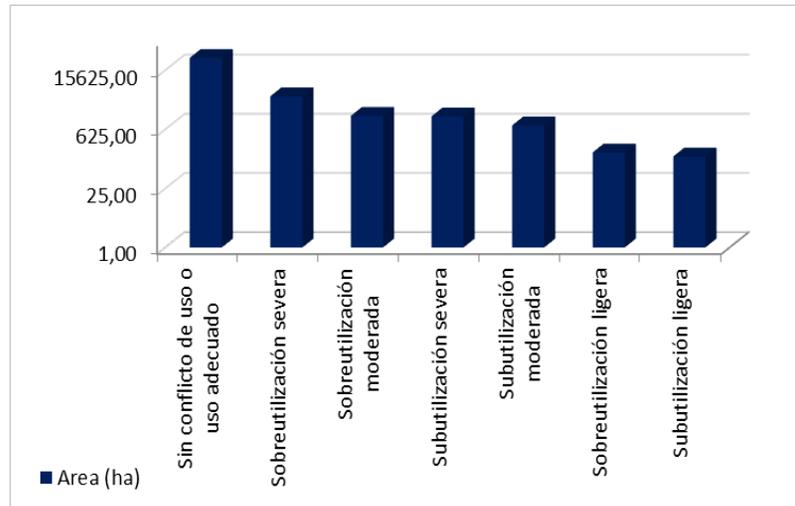


Figura 2-2 Uso del suelo del área de afectación del PHI.

Fuente: Consorcio Generación Ituango, 2022

La Figura 2-3 representa la sumatoria de la vulnerabilidad ecológica y la vulnerabilidad física en el área de afectación del PHI y la Figura 2-4 representa la vulnerabilidad territorial total del área probable de afectación.

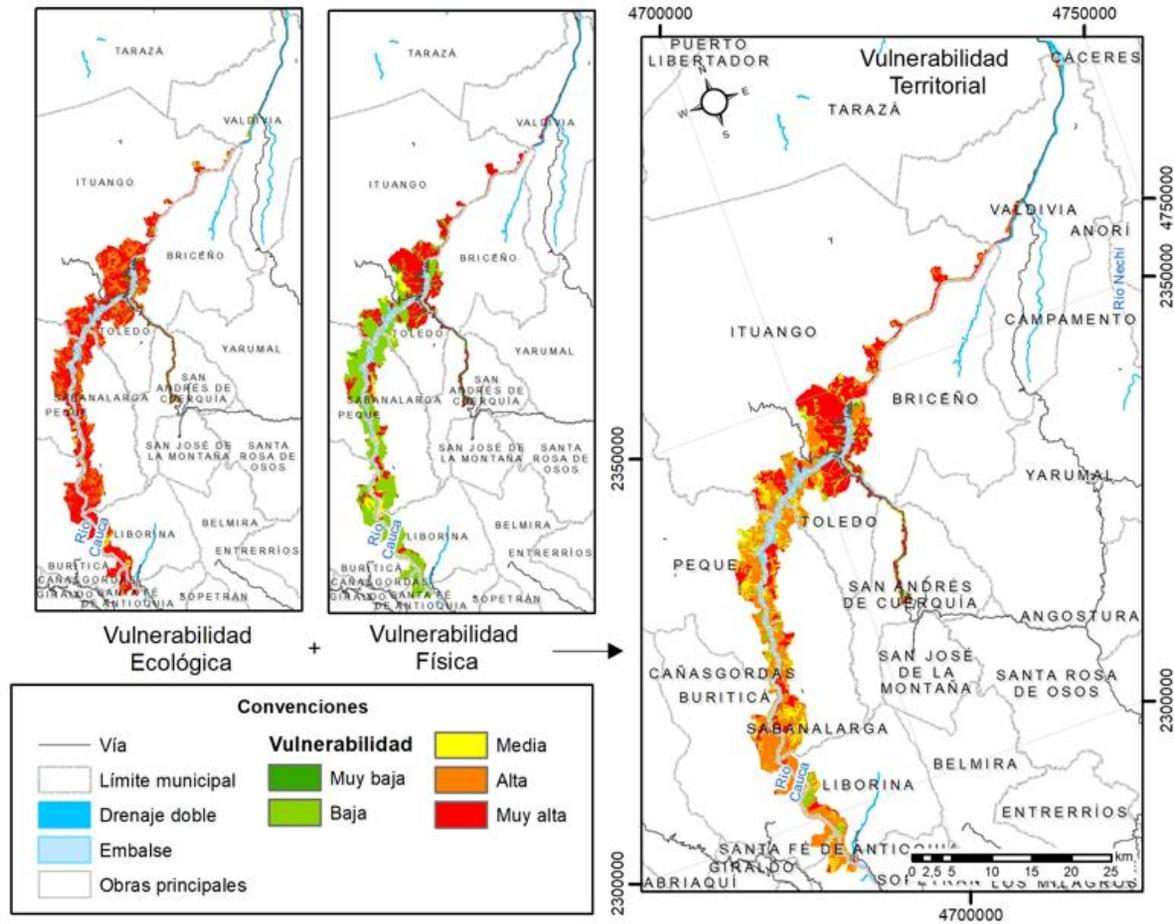




Figura 2-3 Vulnerabilidad territorial (sumatoria de la vulnerabilidad ecológica y vulnerabilidad física a los incendios forestales en el área de afectación del PHI.

Fuente: Consorcio Generación Ituango, 2022

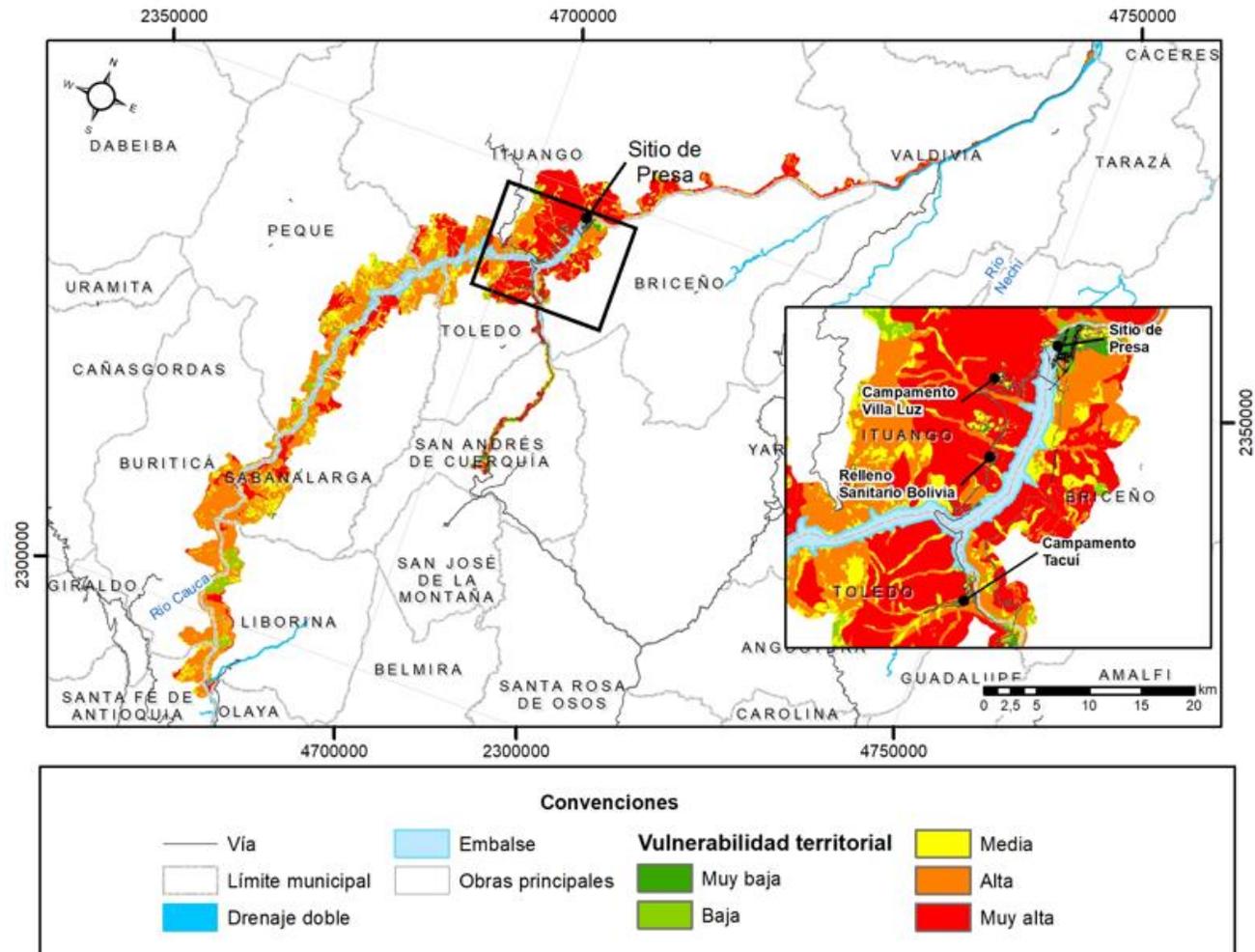


Figura 2-4 Vulnerabilidad territorial a los incendios forestales en el área de afectación del PHI.



Fuente: Consorcio Generación Ituango, 2022

2.2.5.10.4 Vulnerabilidad patrimonial

Se refiere a los posibles efectos que pudiesen ocasionar los incendios sobre áreas de importancia patrimonial ya sea de patrimonio natural (parques nacionales y reservas, áreas de páramo, cuencas abastecedoras, ecosistemas estratégicos, reservas de la biosfera), o sobre áreas de valor patrimonial histórico, artístico, cultural y religioso (parques arqueológicos, monumentos, entre otros) (IDEAM, 2011).

Teniendo en cuenta la descripción anterior se tiene que para el área de afectación por incendios forestales se estimó un área total probablemente afectada por incendios forestales de 22.948,90 ha donde la mayor vulnerabilidad la presentó el Bioma del Bosque Seco Tropical con 20.339,21 ha probablemente afectada (Véase Tabla 2-14).

Tabla 2-14 Áreas de importancia patrimonial probablemente afectada por incendios forestales en el PHI.

Áreas de importancia patrimonial	Área (ha)	Categoría	Calificación
Bioma bosque seco tropical	20.339,21	Muy alta	5
Zona Ribereña del Rio Cauca	2.598,30	Media	4
Cuchilla Ituango - Valdivia	11,39	Media	4
Área no declarada suelo de protección	14645,63	Sin vulnerabilidad	0

Fuente: Consorcio Generación Ituango, 2022

Dentro de la vulnerabilidad patrimonial se destaca la registrada sobre el relleno sanitario Bolivia (Véase Figura 2-5), ubicado en el área de inherencia del proyecto.

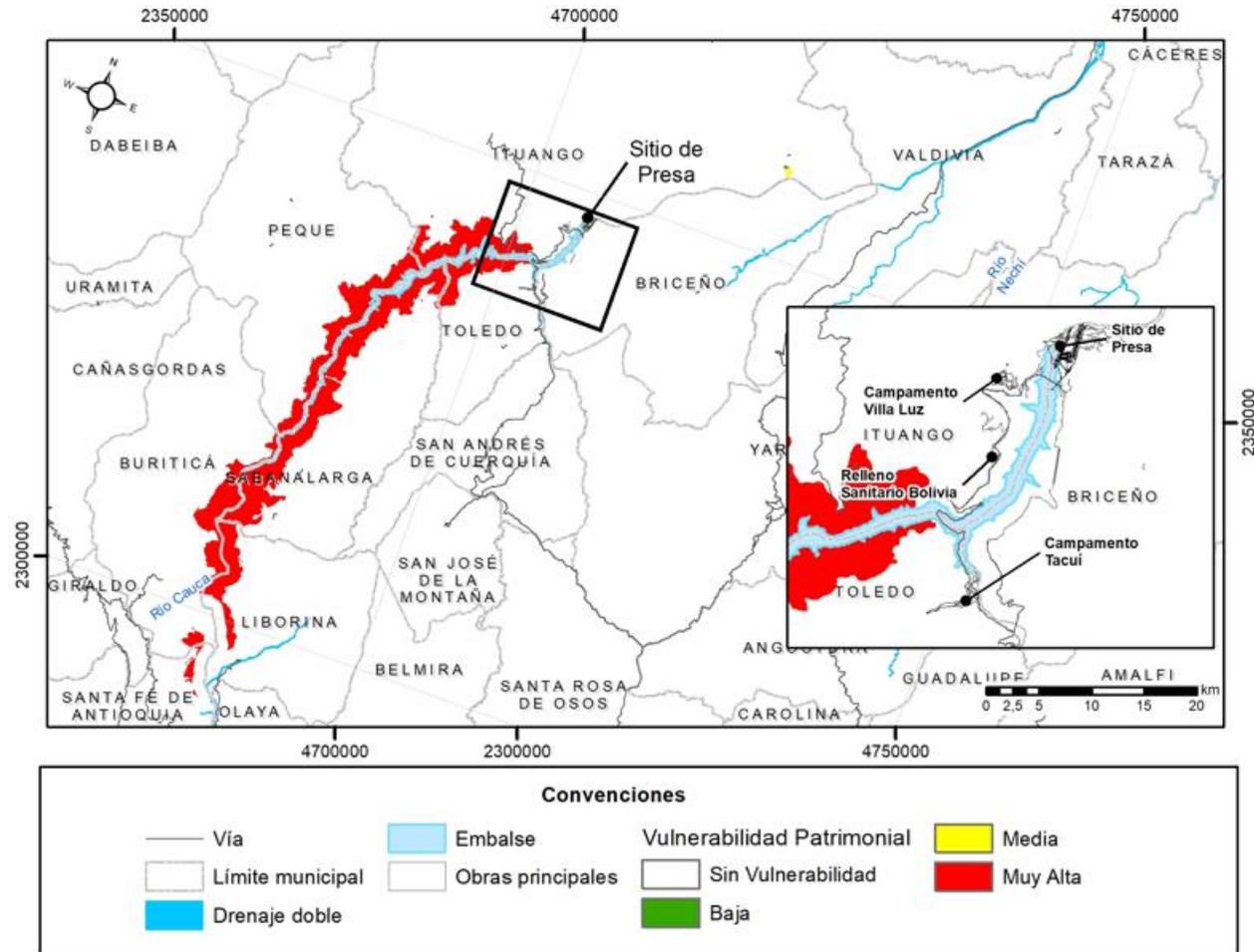




Figura 2-5 Vulnerabilidad patrimonial a los incendios forestales en el área de afectación del PHI.

Fuente: Consorcio Generación Ituango, 2022

2.2.5.10.5 Vulnerabilidad económica

Expresada como las áreas de importancia en la producción de bienes y servicios que pudiesen ser afectadas por la incidencia de incendios de la cobertura vegetal (áreas de producción agrícola, ganadera, forestal, minera, entre otras.) (IDEAM, 2011).

En la Tabla 2-15 se presenta la vulnerabilidad económica de los tipos de cobertura del PHI. La vulnerabilidad muy alta (5) la registran las plantaciones forestales, mosaicos de cultivo, zonas industriales o comerciales, zonas de extracción minera, cultivos permanentes arbustivos, cultivos permanentes arbóreos, cultivos permanentes herbáceos y otros cultivos transitorios, sin embargo es importante aclarar que estas coberturas no presentan áreas (ha) considerables, comparada con la cobertura de vegetación secundaria o en transición que registra vulnerabilidad media (3) con 11.129,80 ha.

Tabla 2-15 Vulnerabilidad económica a los incendios forestales de las coberturas presentes en el PHI

Tipo de cobertura	Área (ha)	Vulnerabilidad económica (Categoría)	Vulnerabilidad económica (Calificación)
Vegetación secundaria o en transición	11.129,80	Media	3
Bosque de galería y/o ripario	8.676,23	Baja	2
Herbazal	7.265,86	Baja	2
Pastos enmalezados	2.473,59	Alta	4
Cuerpos de agua artificiales	2.121,84	Muy baja	1
Pastos limpios	1.993,61	Alta	4
Bosque denso	1.297,22	Baja	2
Tierras desnudas y degradadas	733,10	Muy baja	1
Ríos (50 m)	614,79	Muy baja	1
Bosque abierto	401,61	Baja	2
Pastos arbolados	358,53	Alta	4
Arbustal	253,70	Baja	2
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	167,55	Alta	4
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	161,70	Alta	4
Zonas de disposición de residuos	91,40	Alta	4
Bosque fragmentado	81,93	Baja	2
Mosaico de pastos y cultivos	80,31	Media	3
Zonas arenosas naturales	78,87	Muy baja	1
Afloramientos rocosos	75,90	Muy baja	1
Obras hidráulicas	75,51	Alta	4
Zonas industriales o comerciales	59,67	Muy alta	5
Mosaico de pastos con espacios naturales	58,53	Alta	4

Cultivos permanentes arbustivos	57,85	Muy alta	5
Tejido urbano discontinuo	41,76	Muy baja	1
Zonas de extracción minera	33,67	Muy alta	5
Mosaico de cultivos	28,34	Muy alta	5
Tejido urbano continuo	22,61	Muy baja	1
Mosaico de cultivos y espacios naturales	15,84	Alta	4
Cultivos permanentes arbóreos	15,58	Muy alta	5
Cultivos permanentes herbáceos	14,17	Muy alta	5
Plantación forestal	6,01	Muy alta	5
Otros cultivos transitorios	2,55	Muy alta	5
Instalaciones recreativas	1,34	Alta	4

Fuente: Consorcio Generación Ituango, 2022

En la Figura 2-6 se representan la vulnerabilidad económica de los tipos de cobertura a los incendios forestales en el PHI; los colores representan las categorías de vulnerabilidad como muy baja, baja, media, alta y muy alta.

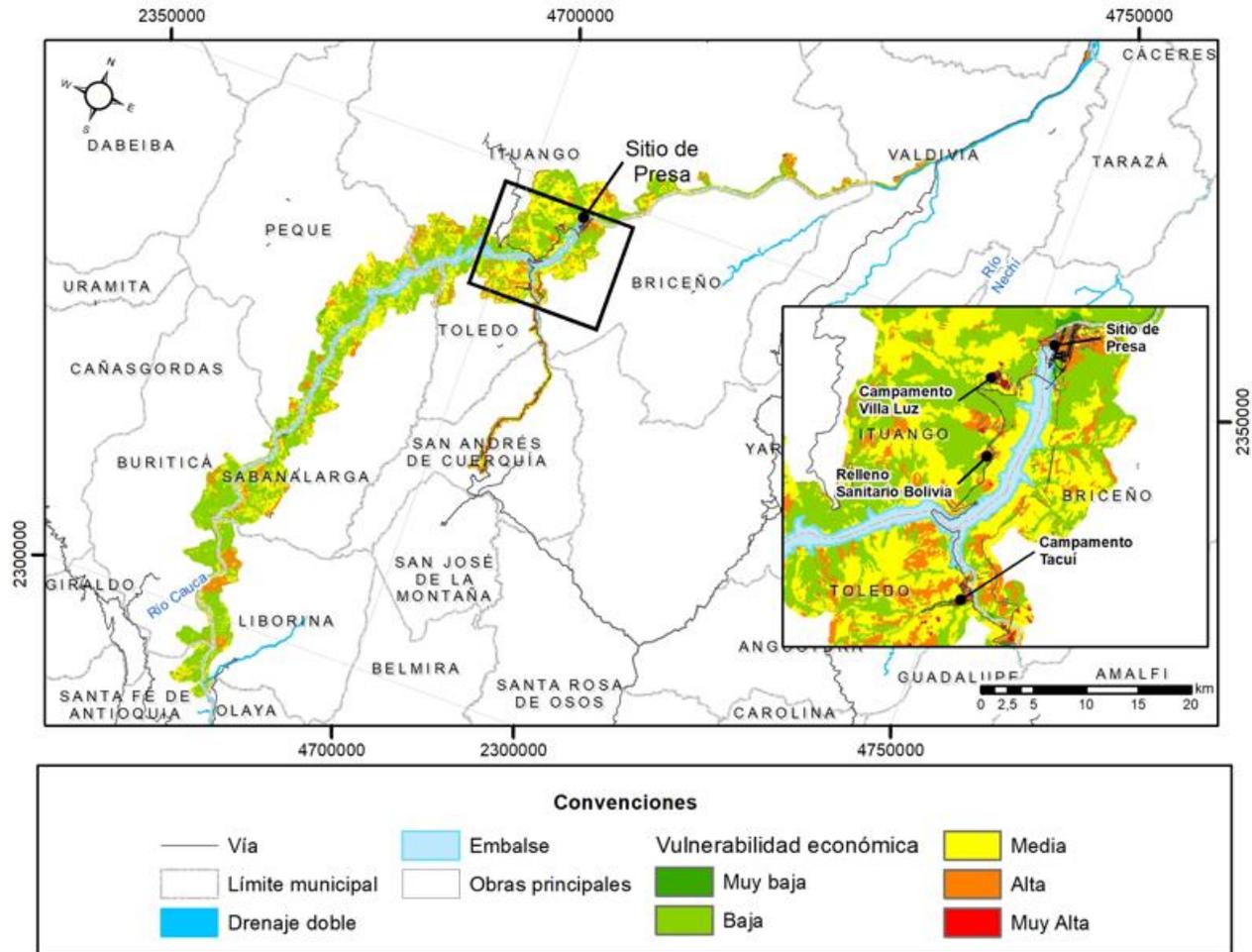


Figura 2-6 Vulnerabilidad económica a los incendios forestales en el área de afectación del PHI.



Fuente: Consorcio Generación Ituango, 2022

2.2.5.10.6 Vulnerabilidad institucional

Está relacionado con las debilidades institucionales para la atención de contingencias en incendios de la cobertura vegetal, las cuales pueden relacionarse con la falta de organización y eficiencia de las instituciones a cargo de la gestión de riesgo a nivel regional o local, con la deficiente cobertura de organismos de control y asistencia de desastres, así como por la falta de dotación de equipos especializados para la atención de emergencias (IDEAM, 2011).

La vulnerabilidad institucional se calculó a partir de un raster de isocronas, el cual mide el tiempo de llegada desde las cabeceras municipales. El raster de isocronas es normalizado siguiendo la propuesta del IDEAM 2011, el cual se basa en los propuestos por la lógica difusa (fuzzy) utilizando la Ecuación 1.

$$\text{Factor normalizado} = \frac{(x - \text{Min})}{(\text{Max} - \text{Min})}$$

Ecuación 1. Basada en los propuestos de la lógica difusa (fuzzy).

Fuente: IDEAM, 2011

Donde:

X, valor que adquiere puntualmente en el espacio el factor

Min, Valor mínimo del factor en toda el área de estudio

Max, Valor máximo presentado por el factor en toda el área de estudio

La Tabla 2-16 presenta el área (ha) con vulnerabilidad institucional a los incendios. Se observa que la vulnerabilidad baja (2) presenta mayor área (ha), seguida de la vulnerabilidad media (3) y finalmente la vulnerabilidad muy baja (1).

Tabla 2-16 Vulnerabilidad institucional a los incendios forestales en el PHI.

Área (ha)	Vulnerabilidad institucional (Categoría)	Vulnerabilidad institucional (Calificación)
1669,48	Muy Baja	1
3247,86	Baja	2
5481,39	Media	3
8332,22	Alta	4
18863,58	Muy Alta	5

Fuente: Consorcio Generación Ituango, 2022

En la Figura 2-7 se representa la vulnerabilidad institucional a los incendios forestales en el proyecto, indicando que la mayor parte del área (ha) se registra en vulnerabilidad baja (verde claro), seguido de la vulnerabilidad media (amarillo) y muy baja (verde oscuro).

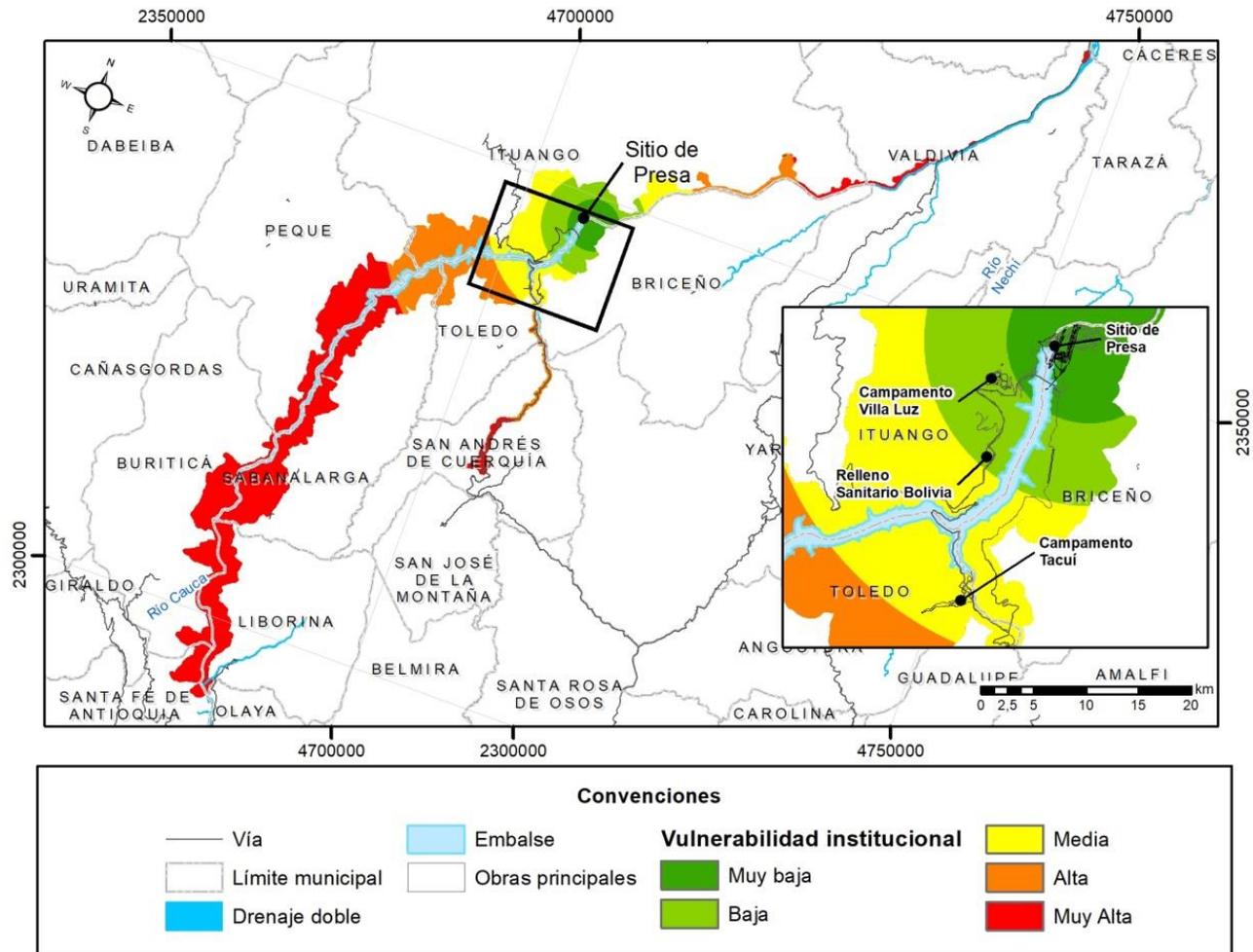




Figura 2-7 Vulnerabilidad institucional a los incendios forestales en el área de afectación del PHI.

Fuente: Consorcio Generación Ituango, 2022

2.2.5.10.7 Vulnerabilidad de la infraestructura

Los probables peligros para instalaciones, edificaciones e infraestructuras que influyen en la mayor o menor gravedad potencial que puede alcanzar un incendio forestal, se interpretan a través de la presencia o no de determinados elementos tales como vías férreas, aeropuertos, helipuertos, instalaciones de comunicaciones, poliductos, líneas eléctricas y zonas de recreación (IDEAM, 2011).

De acuerdo con la distancia de los sitios, la vulnerabilidad de la infraestructura con mayor área (ha) se registra en categoría muy baja (2), seguida de la categoría baja (1) y muy alta (5) (Véase Tabla 2-17, Figura 2-8).

Tabla 2-17 Vulnerabilidad de la infraestructura a los incendios forestales.

Distancia (m)	Área (ha)	Vulnerabilidad de la infraestructura (Categoría)	Vulnerabilidad de la infraestructura (Calificación)
0-500	7.335,03	Muy alta	5
500 – 1000	3.799,83	Alta	4
1000 – 1500	5.868,56	Media	3
1500 – 2000	8.232,78	Baja	1
Más de 2000	12.358,33	Muy baja	2

Fuente: Consorcio Generación Ituango, 2022

Por su parte dentro de las infraestructuras más vulnerables a incendios forestales en el área del PHI de acuerdo con su frecuencia (a mayor frecuencia, mayor vulnerabilidad) están las viviendas, construcciones del PHI, otras construcciones, puente vehicular, construcción anexa, construcciones PHI, tanque PHI, torre de energía, tubería y demás infraestructuras detalladas en la Tabla 2-18.

Tabla 2-18 Infraestructuras con mayor vulnerabilidad de incendios en el PHI.

Tipo de Infraestructura	Frecuencia	Tipo de Infraestructura	Frecuencia
Viviendas	1.189	Líneas de Transmisión	3
Construcciones PHI	340	Helipuerto PHI	2
Otras construcciones	323	Puente peatonal	2
Puente vehicular	159	PTAP	2
Construcción anexa	118	Vivero El palmar	2
Construcciones PHI	104	Cementerio	1
Tanque PHI	57	Helipuerto	1
Torre de energía	54	Monumento	1
Tubería	37	Pozo	1
Tipo de vía 3	22	Almacén PHI	1
Poste	13	Laboratorio de Calidad PHI	1
Comercial	10	Oficinas ATB	1
Tipo de vía 5	10	Oficinas de vivero	1
Equipamiento	5	Plazoleta de Virolas	1
Otras construcciones	5	Prueba de esferas	1

PTAR	5	Subestación 44kV	1
Planta trituradora de Asfalto	4	Taller ATB	1
Polvorín CCC	4	Taller de forja de hierro de CCC	1
Red alta tensión	4	Taller de Madera de CCC	1
Tipo de vía 1	4	Taller Industrial PHI	1
Oficinas CCC	3	Tanque de agua Industrial PHI	1
Taller de mantenimiento PHI	3		

Fuente: Consorcio Generación Ituango, 2022

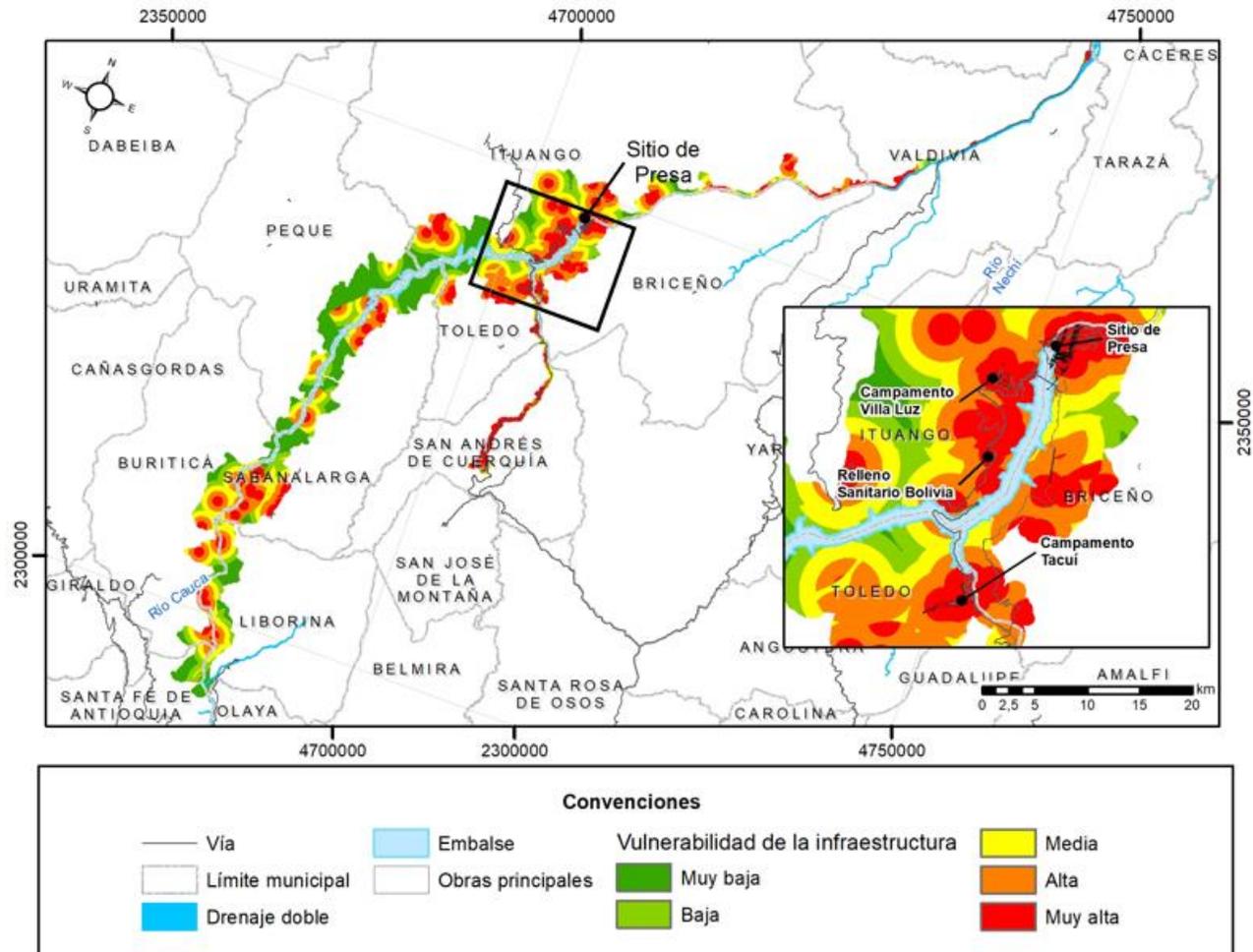


Figura 2-8 Vulnerabilidad de la infraestructura a los incendios forestales en el área de afectación del PHI.



Fuente: Consorcio Generación Ituango, 2022

2.2.5.10.8 Vulnerabilidad total a incendios forestales

La Tabla 2-19 y la Figura 2-9 relaciona la vulnerabilidad total a los incendios forestales por hectárea. Nótese que se registra mayor área con vulnerabilidad media, seguida de vulnerabilidad alta y vulnerabilidad baja.

Tabla 2-19 Vulnerabilidad total a los incendios forestales por hectárea (ha) del PHI

Vulnerabilidad total		
Área ha	Categoría	Calificación
934,003982	Muy baja	1
4557,86111	Baja	2
10876,3983	Media	3
18705,7985	Alta	4
2520,47262	Muy alta	5

Fuente: Consorcio Generación Ituango, 2022

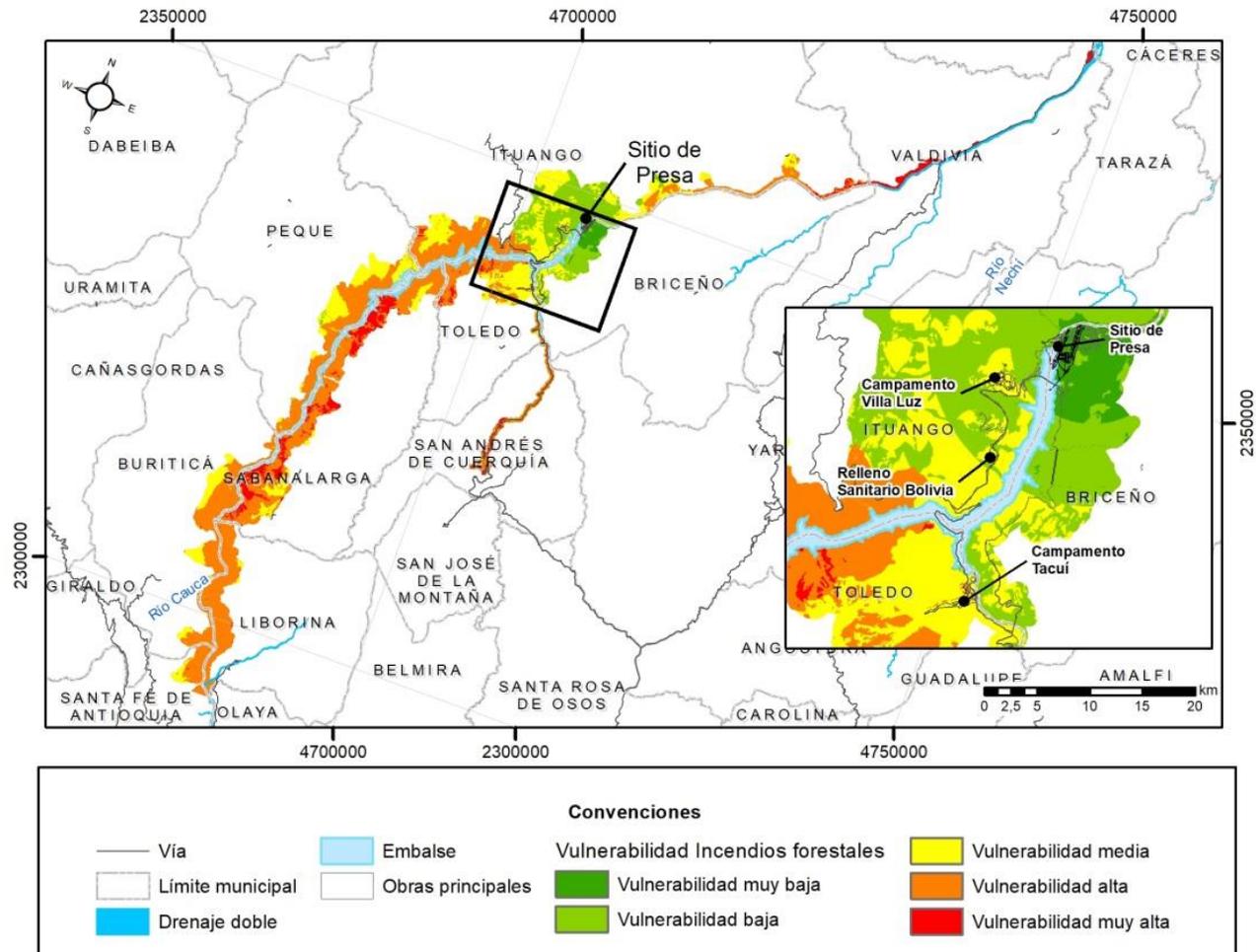


Figura 2-9 Vulnerabilidad total a incendios forestales en el área de afectación del PHI.



Fuente: Consorcio Generación Ituango, 2022

2.2.5.11 Vulnerabilidad por emergencias sanitarias

El análisis de vulnerabilidad por emergencias sanitarias considera los elementos expuestos relacionados con personas y las instalaciones propensas a generar emergencias principalmente, debido a la posibilidad de propagación de vectores biológicos. En la Tabla 2-20 se presenta la calificación por elemento expuesto.

En el plano M-PHI-111-TRA-ES-X-020 se presenta el análisis de vulnerabilidad.

Tabla 2-20 Vulnerabilidad de los elementos expuestos ante emergencias sanitarias

Elementos expuestos	Emergencias sanitarias		
	Baja 1	Media 3	Alta 5
Asentamientos humanos (Viviendas aisladas, centros nucleados, campamentos)	Los demás	n.a.	Campamentos, frentes de obra que estén activos
Infraestructura pública vías (carreteras, caminos puentes, garruchas), líneas vitales (líneas de transmisión, oleoductos, poliductos, subestaciones de energía), equipamientos, infraestructura PHI, etc.	n.a.	n.a.	n.a.
Infraestructura productiva (áreas de pesca, plantaciones forestales, actividad comercial, actividades pecuarias, títulos mineros en etapa de explotación y minería de hecho).	n.a.	n.a.	n.a.
Cultivos de pancoger	n.a.	n.a.	n.a.
Bienes de interés cultural	n.a.	n.a.	n.a.
Empresas e infraestructura que manejan sustancias peligrosas (estaciones de combustible, oleoductos, subestaciones, almacenamiento de abonos y sustancias para el control de plagas)	Todas	n.a.	n.a.
Sitios de captación de agua (pozos, bocatomas, sistemas de riego)	n.a.	n.a.	Todos
Áreas ambientalmente sensibles (áreas protegidas y áreas ambientalmente sensibles), ecosistemas acuáticos (ciénagas y cuerpos de agua con algún grado de protección)	n.a.	n.a.	n.a.

Fuente: Consorcio Generación Ituango, 2022.

De acuerdo con la calificación anterior, los asentamientos humanos relacionados con los campamentos y áreas con frentes de obra activo tanto superficiales como subterráneos representan una **vulnerabilidad alta**.

La presencia de personas en estos escenarios facilita las vías de dispersión de agentes biológicos, bien sea como portadores, mediante aerosoles, agua o comida contaminada con

52

patógenos, el contacto con fuentes o animales contaminados, entre otros. Por tanto, la vulnerabilidad de las personas subyace en los impactos sobre la salud humana, la cual puede variar según el grado de tiempo de exposición, infectividad y letalidad ante los agentes.

No obstante, se considera que las personas que habiten viviendas aisladas y centros nucleados poseen una **vulnerabilidad baja** ante esta emergencia, debido a su ubicación dispersa y la adaptación al medio que poseen.

Considerando que la amenaza también puede darse producto de déficits en la operación del proyecto se consideran las instalaciones con manejo de sustancias peligrosas con vulnerabilidad baja y los sitios de captación de agua con **vulnerabilidad alta**. Esta calificación obedece a que la infraestructura con almacenamiento o manejo de materiales y sustancias peligrosas podría estar propensa a la exposición de vapores tóxicos o bajos niveles de oxígeno, sin embargo, dado los procedimientos y sistemas de contención por los que se rigen estos procesos se considera un nivel bajo de vulnerabilidad.

Por su parte, los sitios de captación de agua son más propensos a verse afectados por la amenaza debido a deficiencias en los sistemas de tratamiento del agua y la posibilidad de transmisión de patógenos o toxinas a través de agua contaminada destinada para el consumo humano.

2.2.5.12 Vulnerabilidad por orden público y social

La mayoría de los elementos expuestos identificados presentan algún grado de vulnerabilidad ante la amenaza por orden público y social, esto se debe a la naturaleza socio-natural y antrópica de la amenaza que puede desencadenar múltiples afectaciones, bien sean directas o indirectas (Tabla 2-21).

En el plano M-PHI-111-TRA-OPS-X-020 se presenta el análisis de vulnerabilidad.

Tabla 2-21 Vulnerabilidad de los elementos expuestos ante alteraciones de orden público y social

Elementos expuestos	Orden público y social		
	Baja 1	Media 3	Alta 5
Asentamientos humanos (Viviendas aisladas, centros nucleados, campamentos)	n.a.	n.a.	Todos
Infraestructura pública vías (carreteras, caminos puentes, garruchas), líneas vitales (líneas de transmisión, oleoductos, poliductos, subestaciones de energía), equipamientos, infraestructura PHI, etc.	n.a.	n.a.	Todos
Infraestructura productiva (áreas de pesca, plantaciones forestales, actividad comercial, actividades pecuarias, títulos mineros en etapa	Demás	Minería de explotación	n.a.

Elementos expuestos	Orden público y social		
	Baja 1	Media 3	Alta 5
de explotación y minería de hecho).			
Cultivos de pancoger	n.a.	Todos	n.a.
Bienes de interés cultural	n.a.	Sitios de alto valor patrimonial histórico, arqueológico, artístico y cultural	n.a.
Empresas e infraestructura que manejan sustancias peligrosas (estaciones de combustible, oleoductos, subestaciones, almacenamiento de abonos y sustancias para el control de plagas)	n.a.	n.a.	Todos
Sitios de captación de agua (pozos, bocatomas, sistemas de riego)	n.a.	n.a.	Todos
Áreas ambientalmente sensibles (áreas protegidas y áreas ambientalmente sensibles), ecosistemas acuáticos (ciénagas y cuerpos de agua con algún grado de protección)	Demás	Áreas ambientalmente sensibles	n.a.

Fuente: Consorcio Generación Ituango, 2022.

Los elementos expuestos asociados con asentamientos humanos poseen una alta vulnerabilidad, dado que ante la ocurrencia de eventos relacionados con enfrentamientos, homicidios, asaltos, retenciones y demás, podría atentarse directamente sobre la integridad y vida humana, tanto de los participantes del proyecto como la comunidad aledaña.

Asimismo, esto podría afectar la infraestructura pública relacionada con el bloqueo o inseguridad sobre las vías, atentados, robos o afectaciones sobre líneas vitales, equipamientos e infraestructura del proyecto, por lo que le atribuye una vulnerabilidad alta a estos elementos.

En cuanto a la infraestructura productiva se asigna una **vulnerabilidad media** a la minería de explotación, debido a la susceptibilidad que tienen estas actividades y a que afectaciones sobre sus instalaciones interrumpiría el desarrollo de actividades del proyecto. De igual manera, los cultivos de pancoger presentan una **vulnerabilidad media**, debido a su importancia en la provisión de alimentos. La demás infraestructura productiva se considera con **vulnerabilidad baja**, dado que podrían sufrir efectos indirectos relacionados con el desarrollo de las actividades, el transporte de productos, entre otros.

Los bienes de interés cultural se clasifican dentro de una **vulnerabilidad media** dado que los sitios de alto valor patrimonial histórico, arqueológico, artístico y cultural, pueden tener efectos producto de enfrentamientos sociales y alteraciones de orden público. Estos sitios son más

sensibles dada la importancia de su estado de conservación y demás condiciones que determine sus respectivas declaratorias.

Por su parte, las empresas o infraestructura con manejo de sustancias y/o materiales peligrosos, presentan una **vulnerabilidad alta**, dado que afectaciones sobre las instalaciones del proyecto o vehículos que la transporten podría dar origen a amenazas tecnológicas dada la naturaleza contaminante y nociva de estas sustancias.

Asimismo, los sitios de captación de agua presentan una **alta vulnerabilidad** ante esta amenaza, debido a la importancia del manejo del recurso hídrico y los efectos relacionados con el agua destinada para consumo humano.

Finalmente, las áreas ambientalmente sensibles se califican con una **vulnerabilidad media**, debido a su relación con otros elementos expuestos, el manejo inadecuado de sustancias peligrosas, detonaciones o incineraciones que afecten las condiciones ambientales más sensibles. Los demás elementos ambientales, tienen una **vulnerabilidad baja**, ya que se espera que los impactos recibidos sobre estos se den de manera indirecta ante eventos de orden público importantes.