



**ACTUALIZACIÓN DE LOS PLANES DE CONTINGENCIAS
GENERAL Y ESPECÍFICOS DE LAS CENTRALES
HIDROELÉCTRICAS DE EMGESA S.A. E.S.P.**

CENTRAL HIDROELÉCTRICA BETANIA

WSP COLOMBIA
CARRERA 19 N. 93A - 45
BOGOTÁ D.C.

TEL: +57-1-756-2989



**ACTUALIZACIÓN DE LOS PLANES DE
CONTINGENCIAS GENERAL Y ESPECÍFICOS DE
LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS DE EMGESA
S.A. E.S.P.**

CAPÍTULO 1. CONOCIMIENTO DEL RIESGO.



(VERSIÓN 0.0)
24/04/2019

WSP
CARRERA 19 # 93ª - 45
BOGOTÁ, COLOMBIA

TELÉFONO:+57 (1) 756 29 89
WSP.COM

GESTIÓN DE CALIDAD

IMPRESIÓN/ REVISIÓN	PRIMERA IMPRESIÓN	REVISIÓN 1	REVISIÓN 2	REVISIÓN 3
Preparado por	Fernando Ramirez			
	Alejandro Logreira			
	Diana Carolina Santos			
	Guillermo Mejía			
	José Joaquín Lozano			
	Jaime Patiño			
	Andrea Rodriguez			
	Miguel Jimenez			
	Carlos Asprilla			
	Camilo Botero			
Revisado por	Javier Pava			

TABLA DE CONTENIDO

1	CONOCIMIENTO DEL RIESGO.....	1
1.1	Establecimiento del contexto.....	2
1.1.1	<i>Información general de la actividad ..</i>	2
1.1.2	<i>Contexto externo</i>	3
1.1.3	<i>Contexto interno</i>	37
1.1.4	<i>Contexto del proceso de gestión del riesgo.....</i>	49
1.1.5	<i>Criterios del riesgo</i>	51
1.2	Valoración del riesgo.....	63
1.2.1	<i>Identificación del riesgo</i>	63
1.2.2	<i>Análisis del riesgo</i>	76
1.2.3	<i>Evaluación del riesgo</i>	135
1.3	Monitoreo del riesgo.....	272
1.3.1	<i>Sistemas de monitoreo e instrumentación instalada.....</i>	272

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Área de Estudio a nivel departamental y municipal	3
Tabla 1-2 Área de Estudio unidades territoriales menores	4
Tabla 1-3 Instrumentos de planificación territoriales	8
Tabla 1-4 Población total y distribución de la población en los municipios del área de estudio. Proyecciones 2019	11
Tabla 1-5 Distribución de la población por género en los municipios del área de estudio. Proyecciones 2019	11
Tabla 1-6 Principales características de los servicios públicos a nivel departamental	13
Tabla 1-7 Principales características de los servicios públicos a nivel municipal	13
Tabla 1-8 Aseguramiento en salud a nivel departamental	15
Tabla 1-9 Aseguramiento en salud a nivel municipal	16
Tabla 1-10 Tasa de cobertura bruta por nivel educativo en Huila y Tolima	17
Tabla 1-11 Tasa de cobertura bruta por nivel educativo en los municipios del área de estudio	17
Tabla 1-12 Número de viviendas censadas a nivel departamental	18
Tabla 1-13 Número de viviendas censadas a nivel departamental	18
Tabla 1-14 Producción pecuaria en el área de estudio	21
Tabla 1-15 Categorías de índice estandarizado de precipitación	29
Tabla 1-16 Coberturas presentes en el entorno de la central.	33
Tabla 1-17 Características de resistencia de los materiales de la presa	41
Tabla 1-18 Cota de las coronas y altura de los diques	42
Tabla 1-19 Características básicas de las compuertas del vertedero	43
Tabla 1-20 Características generales de las compuertas de la captación	45
Tabla 1-21 Características de las turbinas	47
Tabla 1-22 Características generales de los transformadores de potencia de las unidades ...	48
Tabla 1-23 Características básicas de los generadores	49
Tabla 1-24. Amenazas potenciales durante la operación de las Centrales Hidroeléctricas Quimbo - Betania	51
Tabla 1-25 Probabilidad del Incidente.....	58
Tabla 1-26 Daño a la infraestructura (Vulnerabilidad física)	59

Tabla 1-27 Afectación de la operación (Vulnerabilidad Operacional)	60
Tabla 1-28 Víctimas (Vulnerabilidad Humana).....	60
Tabla 1-29 Daño Ambiental (Vulnerabilidad Ambiental)	60
Tabla 1-30 Pérdidas Económicas (Vulnerabilidad Económica)	60
Tabla 1-31 Daño a la imagen (Vulnerabilidad Institucional)	60
Tabla 1-32 Valores relativos de Riesgo y Vulnerabilidad	61
Tabla 1-33 Criterios de calificación de amenaza de inundación por rotura de presa	62
Tabla 1-34 Listado de Riesgos considerados inicialmente para valoración	63
Tabla 1-35 Histórico de eventos	66
Tabla 1-36 Eventos registrados y pérdidas	69
Tabla 1-37 Recurrencia y magnitud	70
Tabla 1-38 Recurrencia - Clasificación en alta, media y baja	70
Tabla 1-39 Magnitud - Calificación por tipo de evento	71
Tabla 1-40 Magnitud - Prioridad / Importancia para el análisis	72
Tabla 1-41 Registros histórico de inundaciones aguas debajo de la central posterior a la entrada en operación	73
Tabla 1-42. Historial de fallas	73
Tabla 1-43 Análisis de frecuencia y consecuencias para la priorización de riesgos (fenómenos o tipos de eventos)	74
Tabla 1-44 Recopilación de los principales sismos ocurridos en el Departamento del Huila	77
Tabla 1-45 Recopilación de eventos históricos de PRM en la zona de influencia de Betania	79
Tabla 1-46 Mapas Temáticos empleados para la elaboración del modelo	81
Tabla 1-47 Categorías y valores de susceptibilidad para el análisis de las variables.	82
Tabla 1-48 Valores de susceptibilidad a la inestabilidad por litología	83
Tabla 1-49 Valores de susceptibilidad a la inestabilidad por geomorfología	84
Tabla 1-50 Valores de susceptibilidad a la inestabilidad por hidrogeología.	87
Tabla 1-51 Valores de susceptibilidad a la inestabilidad por pendientes.	89
Tabla 1-52 Valores de susceptibilidad a la inestabilidad por uso actual y cobertura vegetal del suelo.	90
Tabla 1-53 Intervalos para categorizar la densidad de drenajes	91
Tabla 1-54 Valores de susceptibilidad a la inestabilidad por amenaza sísmica.	92

Tabla 1-55 . Valores de susceptibilidad a la inestabilidad por precipitación	93
Tabla 1-56. Áreas de coberturas de la tierra en la zona de análisis para análisis de incendio forestal	96
Tabla 1-57 Categorización de amenaza de Tipo, duración, carga del combustible	97
Tabla 1-58 Categorización tipo de combustible....	98
Tabla 1-59 Categorización duración de combustible	98
Tabla 1-60 Categorización carga de combustible...	98
Tabla 1-61 Rangos para categoría de amenaza.....	99
Tabla 1-62 Especies ícticas de importancia económica en el área de influencia	113
Tabla 1-63 Especies ícticas con categoría de amenaza a nivel regional y mundial.	113
Tabla 1-64 Combinación de causas y eventos que podrían desencadenar en Rotura de Presa	117
Tabla 1-65 Combinación de causas y eventos que podrían afectar Casa de máquinas	118
Tabla 1-66 Combinación de causas y eventos que podrían afectar los Túneles y tuberías de carga y descarga de agua	119
Tabla 1-67 Análisis de riesgos internos	120
Tabla 1-68 Análisis e riesgo por componente de la central	121
Tabla 1-69 Priorización de riesgos de la fase de análisis del entorno a la Central e internos .	134
Tabla 1-70 Priorización de riesgos de la fase de análisis de la Central al entorno	134
Tabla 1-71 Localización de sitios donde se calcularon los Espectros de Amenaza Uniforme .	136
Tabla 1-72 Coordenadas de los vértices, área de trabajo - Betania	138
Tabla 1-73 Resumen parámetros de recurrencia - Hidroeléctrica Betania	153
Tabla 1-74 Probabilidad de excedencia - Betania .	158
Tabla 1-75 Categorización del Nivel de Amenaza Sísmica según AIS 2009. Tr=475 años	159
Tabla 1-76 Clasificación de la presa en función de la capacidad del Embalse	160
Tabla 1-77 Factor de riesgo por arcos eléctricos	168
Tabla 1-78 Decisiones y acciones para controlar el riesgo	169
Tabla 1-79 Fórmulas para determinar el caudal pico.	197
Tabla 1-80 Características rotura de presa	198
Tabla 1-81 Fórmulas para determinar el tiempo de rotura.	198
Tabla 1-82 Zonificación de amenaza por inundación	208
Tabla 1-83 Calificación establecidas para el análisis de la vulnerabilidad socioambiental .	210
Tabla 1-84 Categorías establecidas para el análisis de la vulnerabilidad socioambiental	210
Tabla 1-85 Nivel de exposición y fragilidad factor físico - Departamento del Huila	216

Tabla 1-86 Nivel de exposición y fragilidad factor físico en el Tolima	218
Tabla 1-87 Nivel de exposición y fragilidad factor físico en las cabeceras urbanas de Huila y Tolima	222
Tabla 1-88 Grados de sensibilidad por fragilidad para las coberturas analizadas	224
Tabla 1-89 Nivel de exposición y fragilidad factor ambiental	225
Tabla 1-90 Tamaño de predios y fragilidad asociada	234
Tabla 1-91 Nivel de vulnerabilidad económica de las unidades territoriales del departamento del Huila	235
Tabla 1-92 Nivel de vulnerabilidad económica de las unidades territoriales del departamento del Tolima	236
Tabla 1-93 Nivel de exposición y fragilidad factor social- Departamento del Huila	241
Tabla 1-94 Nivel de exposición y fragilidad factor social- Departamento del Tolima	246
Tabla 1-95 Nivel de exposición y fragilidad factor social- Cabeceras municipales	249
Tabla 1-96 Resguardos localizados en el área de estudio	251
Tabla 1-97 Calificación de vulnerabilidad	254
Tabla 1-98 Riesgo en función de amenaza y vulnerabilidad	255
Tabla 1-99 Criterios para la zonificación de riesgo de inundación por rotura de presa o descargas	256
Tabla 1-100 Resumen de costo estimado de inversión de la central hidroeléctrica de Betania	257
Tabla 1-101 Resumen de costo estimado de equipos electromecánicos de la central hidroeléctrica de Betania	258
Tabla 1-102 Función de distribución de severidad de daños por amenazas sísmicas	259
Tabla 1-103 Función de distribución de severidad de daños por amenaza de avenidas torrenciales ...	260
Tabla 1-104 Función de distribución de probabilidad de ocurrencia de eventos de daño	260
Tabla 1-105 Función de distribución de severidad de daños por amenaza de avenidas torrenciales ...	260
Tabla 1-106 Función de distribución de probabilidad de ocurrencia de eventos de remoción en masa .	261
Tabla 1-107 Función de distribución de severidad de daños por amenaza de remoción en masa	261
Tabla 1-108 Estimación de pérdidas de infraestructura y equipamiento físico de la central hidroeléctrica de Betania	262
Tabla 1-109 Estimación de costo de energía hidroeléctrica	263
Tabla 1-110 Función de distribución de suspensión de generación	263

Tabla 1-111 Estimación de pérdidas por no operación	264
Tabla 1-112 Inventario de activos expuestos de terceros	264
Tabla 1-113 Función de distribución de probabilidad de ocurrencia de eventos de daño a terceros ..	265
Tabla 1-114 Función de distribución de severidad de daños a terceros	265
Tabla 1-115 Estimación de pérdidas por daño a terceros	266
Tabla 1-116 Consolidado del análisis de riesgos del entorno a la central	267
Tabla 1-117 Evaluación de la probabilidad, gravedad y riesgo interno de la central	269
Tabla 1-118. Evaluación de la probabilidad, gravedad y riesgo de la central al entorno	271
Tabla 1-119 Priorización de riesgos	272
Tabla 1-120 Características acelerógrafos Betania	273

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Línea de tiempo de construcción de la central	2
Figura 1-2 Municipios del área de estudio	8
Figura 1-3 Pirámide poblacional municipios área de estudios para la evaluación del riesgo de la Central al Entorno	12
Figura 1-4 Principales cultivos transitorios según producción en los municipios del área de estudio, 2017	20
Figura 1-5 Principales cultivos permanentes según producción en los municipios del área de estudio, 2017	21
Figura 1-6 Hidrografía del área de influencia del embalse.	27
Figura 1-7, Análisis de Caudales estación Paicol (río Páez)	27
Figura 1-8 Análisis de Caudales estación Hacienda el Jardín (río Yaguará)	28
Figura 1-9 Series mensuales promedio de SPI-1 y SPI-12 a nivel Nacional	29
Figura 1-10, Afectación por sequía durante 2016 ..	30
Figura 1-11 Mapa de Amenaza Sísmica de Colombia ..	31
Figura 1-12 Coberturas de la tierra presentes al entorno de la Central Hidroeléctrica de Betania	34
Figura 1-13 Cambios en la precipitación debido a efectos del cambio climático - Escenarios 2011-2044, 2041-2070 y 2070-2100.	35
Figura 1-14, alteraciones en la precipitación y temperatura durante los envenos de ENOS	36

Figura 1-15 Esquema del diseño de los túneles de desviación	39
Figura 1-16 Esquema del diseño de la presa	41
Figura 1-17 Planta Vertedero de Compuertas	44
Figura 1-18 Esquema en planta del diseño de la casa de máquinas de la Central Betania	47
Figura 1-19 Amenazas principales y efectos más importantes en la central hidroeléctrica de Betania	50
Figura 1-20 Análisis de riesgo	53
Figura 1-21 Esquemático de la priorización de riesgos	54
Figura 1-22 Estructura de Cadena de Causas, eventos y escenario de riesgo de mayor afectación.	55
Figura 1-23 Árbol de fallas de los componentes de la central	56
Figura 1-24 Cadena de consecuencias	57
Figura 1-25 Metodología de evaluación de riesgo de la central	58
Figura 1-26 Metodología de Evaluación de riesgos .	62
Figura 1-27 Localización de la zona de estudio ...	66
Figura 1-28 Eventos registrados 1970-2017	67
Figura 1-29 Daños y pérdidas 1970-2017	68
Figura 1-30 Resultados del análisis de priorización	75
Figura 1-31 Localización de los sismos históricos del Departamento del Huila, cercanos la Hidroeléctrica Betania	78
Figura 1-32 Localización de deslizamientos históricos - Embalse Betania	79
Figura 1-33 Esquema Metodológico para la Zonificación de Amenaza por Procesos de Remoción en Masa (PRM)	81
Figura 1-34 Mapa de zonificación por litología. ..	84
Figura 1-35 Valores de susceptibilidad a la inestabilidad por geomorfología	87
Figura 1-36 Mapa de zonificación por hidrogeología.	88
Figura 1-37 Mapa de zonificación por pendientes. .	89
Figura 1-38 Mapa de zonificación por uso actual y cobertura vegetal del suelo.	91
Figura 1-39 Mapa de susceptibilidad de drenajes ..	92
Figura 1-40 Metodología para identificar la amenaza por incendios forestales	94
Figura 1-41. Coberturas de la tierra del área de análisis en la Central hidroeléctrica de Betania	95
Figura 1-42. Categorización por duración del combustible	99
Figura 1-43. Categorización por tipo de combustible	100
Figura 1-44. Categorización por carga de combustible	100
Figura 1-45. Categorización de amenazas por el factor climático de precipitación	101

Figura 1-46. Categorización de Amenazas por el factor climático de temperatura	102
Figura 1-47. Categorización de Amenazas por el factor climático de velocidad del viento	103
Figura 1-48. Categorización de Amenazas por el factor climático Brillo solar	104
Figura 1-49. Categorización de amenaza por tipo de relieve	105
Figura 1-50 Déficit de oxígeno aguas abajo de la represa Betania	111
Figura 1-51 Vulnerabilidad por potencial rotura de la represa Betania (dentro de la represa)	114
Figura 1-52, Susceptibilidad a inundación en el área de estudio	115
Figura 1-53. Cadena de fenómenos causantes de posibles afectaciones al componente embalse - presa	116
Figura 1-54. Cadena de fenómenos causantes de posibles afectaciones al componente de Casa de máquinas	118
Figura 1-55. Cadena de fenómenos causantes de posibles afectaciones de los componentes del sistema de conducción	119
Figura 1-56 Cadena de Falla - Escenario Explosión	125
Figura 1-57 Cadena de falla - Escenario Incendio	126
Figura 1-58 Cadena de falla - Escenario Fuga	127
Figura 1-59 Cadena de Falla - Escenario Derrame .	128
Figura 1-60 Consecuencias en el entorno por rotura de presa	130
Figura 1-61. Tipos y procesos de descarga del embalse	131
Figura 1-62 Cadena de consecuencias por descargas del embalse de Betania	132
Figura 1-63 Cadena de causas y consecuencias para la Disminución del caudal ambiental mínimo / sequías	133
Figura 1-64 Delimitación del área de trabajo - Betania	138
Figura 1-65 Localización de las franjas de análisis, con sus respectivos eventos sísmicos para el área de estudio	139
Figura 1-66 Verificación de la completitud del catálogo	140
Figura 1-67 Distribución de sismos en las franjas - Betania. (a) Franja 1, (b) Franja 2, (c) Franja 3, (d) Franja 4, (e) Franja 5	141
Figura 1-68 Distribución de sismos en las franjas - Betania (a) Franja 6, (b) Franja 7, (c) Franja 8, (d) Franja 9, (e) Franja 10	142
Figura 1-69 Eventos sísmicos asignados a el Sistema de la Falla Frontal de la Cordillera Oriental. (a) Vista en Planta; (b) Profundidad sísmica; (c) Magnitud de onda superficial (Ms)	143

Figura 1-70	Eventos sísmicos asignados a Falla Magdalena. (a) Vista en Planta; (b) Profundidad sísmica; (c) Magnitud de onda superficial (Ms)	144
Figura 1-71	Eventos sísmicos asignados a Falla Ibagué. (a) Vista en Planta; (b) Profundidad sísmica; (c) Magnitud de onda superficial (Ms)	145
Figura 1-72	Eventos sísmicos asignados a Falla Romeral. (a) Vista en Planta; (b) Profundidad sísmica; (c) Magnitud de onda superficial (Ms)	146
Figura 1-73	Eventos sísmicos asignados a Falla Cauca. (a) Vista en Planta; (b) Profundidad sísmica; (c) Magnitud de onda superficial (Ms)	147
Figura 1-74	Eventos sísmicos asignados para la zona de Benioff - Profundidad Intermedia. (a) Vista en Planta; (b) Profundidad sísmica; (c) Magnitud de onda superficial (Ms)	148
Figura 1-75	Eventos sísmicos asignados para la zona de Benioff Profunda. (a) Vista en Planta; (b) Profundidad sísmica; (c) Magnitud de onda superficial (Ms)	149
Figura 1-76	Curva de Recurrencia de Magnitudes - Sistema de la Falla Frontal Cordillera Oriental. (a) Logaritmo de eventos vs Ms; (b) Número de eventos vs Ms	150
Figura 1-77	Curva de Recurrencia de Magnitudes - Fallas del Valle del Magdalena. (a) Logaritmo de eventos vs Ms; (b) Número de eventos vs Ms	150
Figura 1-78	Curva de Recurrencia de Magnitudes - Falla Ibagué. (a) Logaritmo de eventos vs Ms; (b) Número de eventos vs Ms	151
Figura 1-79	Curva de Recurrencia de Magnitudes - Falla Romeral. (a) Logaritmo de eventos vs Ms; (b) Número de eventos vs Ms	151
Figura 1-80	Curva de Recurrencia de Magnitudes - Falla Romeral. (a) Logaritmo de eventos vs Ms; (b) Número de eventos vs Ms	152
Figura 1-81	Curva de Recurrencia de Magnitudes - Zona de Benioff Lejana. (a) Logaritmo de eventos vs Ms; (b) Número de eventos vs Ms	152
Figura 1-82	Curvas de atenuación para el modelo de amenaza sísmica - Betania	154
Figura 1-83	Curvas de Amenaza Sísmica por fuente - Betania. (a) Tiempo de Exposición 50 años; (b) Tiempo de Exposición 100 años	155
Figura 1-84	Mapa de amenaza sísmica en condición de operación, ICOLD. Tr=2400 años, Probabilidad de excedencia del 2.06% en 50 años	156
Figura 1-85	Mapa de amenaza sísmica en condición de operación, ICOLD. Tr=475 años, Probabilidad de excedencia del 10% en 50 años	157
Figura 1-86	Espectro de Amenaza Uniforme con 5% de Amortiguamiento - Betania. (a) Presa; (b) Casa de Máquinas; (c) Vertedero Libre; (d) Vertedero Principal; (e) Subestación	159

Figura 1-87 Proporción de tipo de daños en 236 presas de tierra, durante el sismo de Wenchuan en China	161
Figura 1-88 Relación entre el nivel de daño de presas en tierra en función de la intensidad del sismo, para varias relaciones de aspecto	163
Figura 1-89 Nivel de daño en presas de tierra con diferentes relaciones de aspecto para diferentes intensidades.	163
Figura 1-90 Relación entre el nivel de daño de presas en tierra en función de la intensidad del sismo, para varias relaciones de pendiente aguas arriba	164
Figura 1-91 - Nivel de daño en presas de tierra con diferentes pendientes aguas arriba en función para diferentes intensidades	164
Figura 1-92 Potenciales hidrogramas de salida de la rotura de presa	199
Figura 1-93 Mancha de inundación en un escenario de rotura de presa Betania	202
Figura 1-94 Velocidad de la corriente en un escenario de rotura de presa en Betania	203
Figura 1-95 Ancho superficial de las secciones en un escenario de rotura de presa en Betania ...	203
Figura 1-96 Mancha de inundación en un escenario de rotura de presa simultánea	204
Figura 1-97 Velocidad de la corriente en un escenario de rotura de presa simultánea	205
Figura 1-98 Ancho superficial de las secciones en un escenario de rotura de presa simultánea ...	205
Figura 1-99 Mancha de inundación en un escenario por descargas	206
Figura 1-100 Velocidad de la corriente en un escenario de inundación para un caudal de 5000 m ³ /s.	207
Figura 1-101 Ancho superficial de las secciones en un escenario de inundación para un caudal de 5000 m ³ /s.	207
Figura 1-102 Zonificación de amenaza por inundación	209
Figura 1-103 Zonificación de la vulnerabilidad Física	223
Figura 1-104 Zonificación de la vulnerabilidad ambiental	233
Figura 1-105 Zonificación de la vulnerabilidad económica	239
Figura 1-106 Resguardos Indígenas ubicados en el área de estudio	252
Figura 1-107 Zonificación de la vulnerabilidad social	253
Figura 1-108 Zonificación de vulnerabilidad total	255
Figura 1-109 Riesgo de inundación por rotura de presa o descarga	256
Figura 1-110 Localización de los acelerógrafos - Hidroeléctrica Betania	273

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1-1 Túneles de desviación	38
Fotografía 1-2 Vista general de la presa principal	40
Fotografía 1-3 Taludes de la presa principal, aguas abajo.	41
Fotografía 1-4 Panorámica del dique 1	42
Fotografía 1-5 Vista panorámica del vertedero de compuertas	43
Fotografía 1-6 Descarga por el vertedero de compuertas	43
Fotografía 1-7 Vista del vertedero de borde libre o vertedero auxiliar	45
Fotografía 1-8 Casa de máquinas de la Central Betania	46
Fotografía 1-9 Materiales de las viviendas en Prado, Tolima	212
Fotografía 1-10 Materiales de las viviendas en Campoalegre, Huila	212
Fotografía 1.11 Características físicas de las viviendas, vereda Río Frio, Rivera	212
Fotografía 1.12 Características físicas de las viviendas, vereda El Patá, Aipe.	212
Fotografía 1.13 Características físicas de las viviendas, vereda Cuisinde, Palermo	213
Fotografía 1.14 Características físicas de las viviendas, vereda La Manga, Aipe	213
Fotografía 1.15 Área de socavación, erosión e inestabilidad de márgenes en Corregimiento El Caguan, vereda Isla Gaitana, Neiva	213
Fotografía 1.16 Área de socavación, erosión e inestabilidad de márgenes en Corregimiento El Caguan, vereda Isla Gaitana, Neiva	213
Fotografía 1.17 Áreas de socavación del Río Magdalena, vereda Conchal, Prado.	214
Fotografía 1.18 Áreas de socavación del Río Magdalena, vereda Conchal, Prado.	214
Fotografía 1-19 Cultivo de arroz, vereda Llano Sur - municipio de Campoalegre, Huila	234
Fotografía 1-20 Cultivo de plátano vereda Buenavista- municipio de Purificación, Huila .	234
Fotografía 1-21 Subestación de Policía - Corregimiento Fortalecilla, Neiva	244
Fotografía 1-22 Institución educativa El Juncal, sede El Juncal-Corregimiento Juncal, Palermo .	244
Fotografía 1-23 Parque Santander, Neiva-Huila ...	250
Fotografía 1-24 glesia, Prado-Tolima	250

INTRODUCCIÓN

La actualización o complementación del Plan de Contingencia de la central hidroeléctrica de Betania se constituye en adelante en el Plan de Gestión del Riesgo de Desastres de la cadena Pagua (PGRD), en cumplimiento a lo solicitado en la Resolución 1314 de 2016 y en el Auto 4324 de 2017 expedidos por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA y se enmarca en el ordenamiento jurídico nacional dado por la política nacional de gestión del riesgo de desastres, Ley 1523 de 2012, mediante el cual se busca garantizar, “en el área de influencia afectada por la entidad, la protección de las personas y sus bienes, salud, medios de vida y bienes de producción, así como los activos culturales y ambientales, además de conocer, reducir y manejar la capacidad de la entidad pública y privada para soportar su operación relacionada con la continuidad de negocio”¹. El Decreto 2157 de 2017 reglamentario de la Ley establece la obligación de incluir un análisis específico de riesgo que considere los posibles efectos de eventos naturales sobre la infraestructura expuesta y aquellos que se deriven de los daños a la misma en su área de influencia, así como los que se deriven de su operación y con base en este análisis diseñarán e implementarán las medidas de reducción del riesgo y planes de emergencia y contingencia.

Además de cumplir con los requerimientos de la autoridad ambiental, la normatividad establece la obligación de adoptar el PGRD de acuerdo con lo definido en el sector e integrar con los sistemas de gestión de la Emgesa, implantar un plan de inversiones con las medidas de conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y manejo de desastres, realizar una armonización con los Planes de Gestión del riesgo de desastres y Estrategia de respuesta de las Entidades Territoriales del área de influencia.

El presente documento consta de 4 capítulos, que siguen las directrices generales para la elaboración del plan de gestión del riesgo de desastres de las entidades públicas y privadas definidas en el Decreto 2157 de 2017, que reglamenta el artículo 42 de la ley 1523 de 2012.

Capítulo 1: Conocimiento del riesgo

Capítulo 2: Reducción del riesgo

Capítulo 3: Manejo de desastres

Capítulo 4: Plan de inversión

El capítulo de Conocimiento de Riesgos incluye la descripción de la actividad, la información de contexto interno y externo y la valoración de riesgo que incluye identificación, análisis y evaluación del riesgo para estimar daños y pérdidas potenciales, con el propósito de priorizar las medidas de intervención para la reducción del riesgo y el manejo del desastre.

El capítulo de reducción de riesgos contiene las medidas de intervención prioritarias clasificadas de acuerdo con las estrategias de intervención y una descripción del objeto y actividades para cada una de ellas.

¹ Considerando del Decreto 2157 de 2017, por medio del cual se adoptan las directrices generales para la elaboración del plan de gestión del riesgo de desastres de entidades públicas y privadas en el marco del artículo 42 de la Ley 1523 de 2012.

En el capítulo 3 Manejo de desastres se presentan los componentes de preparativos y respuesta a desastres propuestos para la central hidroeléctrica de Betania que recoge los protocolos y procedimientos existentes y formula la transición a la estrategia de respuesta corporativa.

Finalmente, en el capítulo 4 se presenta el plan de inversión que incluye los costos estimados para el conocimiento y reducción de riesgos y manejo de desastres.

OBJETIVO GENERAL

Identificar, priorizar, formular, programar y hacer seguimiento a las acciones necesarias para conocer y reducir las condiciones de riesgo (actual y futuro) de sus instalaciones y de aquellas derivadas de su propia actividad u operación que pueden generar daños y pérdidas a su entorno, así como dar respuesta a los desastres que puedan presentarse, permitiendo además su integración con los sistemas de gestión de la entidad y el sector energético y articulación con el Sistema Nacional de gestión del riesgo de desastres.

OBJETIVO ESPECIFICO

- Identificar, analizar y evaluar los posibles efectos de eventos de origen natural, socio-natural, tecnológico, biosanitario o humano no intencional sobre la infraestructura expuesta, los que se deriven de su propia actividad u operación y los que generen una alteración intensa, grave y extendida en las condiciones normales de funcionamiento de la sociedad.
- Formular las medidas correctivas y prospectivas para la reducción de riesgo.
- Definir la planeación, organización, funcionamiento y recursos necesarios para garantizar la eficiencia de los procesos de preparativos y respuesta ante desastres, con el fin de proteger la población, mejorar la seguridad, el bienestar y sostenibilidad de la entidad.
- Establecer el plan de inversiones para la gestión de riesgos para la central hidroeléctrica de Betania.

ALCANCE

La elaboración del plan se basa principalmente en el análisis de información secundaria, complementa con la información general obtenida en visitas de reconocimiento a la Central y su entorno, y la aplicación de procedimientos metodológicos de uso reconocido.

El Plan de Gestión del Riesgo de Desastres de la Central Hidroeléctrica del Betania, corresponde a la fase de operación e incluye las áreas y actividades propias de su operación, el área de influencia de la evaluación de impacto ambiental aguas arriba del vaso del embalse y el área de estudio de potencial afectación aguas abajo de la central.

El área de influencia del plan de manejo ambiental de la central hidroeléctrica de Betania corresponde, de acuerdo con la metodología del Anla 2018, al área hasta donde se manifiestan los impactos directos generados por las actividades de la central y donde se ejecutan las medidas de manejo ambiental acordadas y definidas, establecidas por diferentes actos administrativos.

El área de estudio del plan de gestión del riesgo de desastres de la central incluye:



- Un área donde se identifican las amenazas del entorno a la central, la cual es mayor al área del plan de manejo ambiental.
- El área de afectación de los riesgos internos de los componentes de la central.
- Un área de potencial afectación por los eventos que se pueden generar de los distintos componentes de la central al entorno.

Teniendo en cuenta que el objeto misional de Emgesa corresponde a la generación de energía, el Plan consideran los riesgos internos de la operación de la Central que puedan generar una alteración intensa, grave y extendida en las condiciones normales de funcionamiento de la sociedad en todas sus áreas y actividades previas a la Subestación.

El plan tiene una duración a corto, mediano y largo plazo (2 año, 4 años, 8 años respectivamente), junto con el plan de inversión.

Este Plan es específico para los escenarios de riesgo de la central hidroeléctrica de Betania, pero requiere ser complementado con las medidas transversales o corporativas definidas en el Plan General.

Para la implementación del plan se requiere su adopción interna y articulación con los entes territoriales y para su seguimiento y evaluación se requiere la definición de indicadores y puesta en marcha de las medidas, los cuales corresponderán a la siguiente fase de este plan.

1 CONOCIMIENTO DEL RIESGO

1.1 ESTABLECIMIENTO DEL CONTEXTO

El desarrollo del contexto permite visualizar de forma general un panorama del funcionamiento de la Central Hidroeléctrica de Betania e interacciones con el entorno que se presenta durante el proceso de operación, para esto se desarrolla una identificación general del funcionamiento, características externas e internas. Información que a su vez se tendrá en cuenta en la valoración del riesgo frente a la capacidad instalada y resiliencia tanto del central como de las entidades territoriales y servirá de base para la estrategia de articulación y comunicación.

1.1.1 INFORMACIÓN GENERAL DE LA ACTIVIDAD

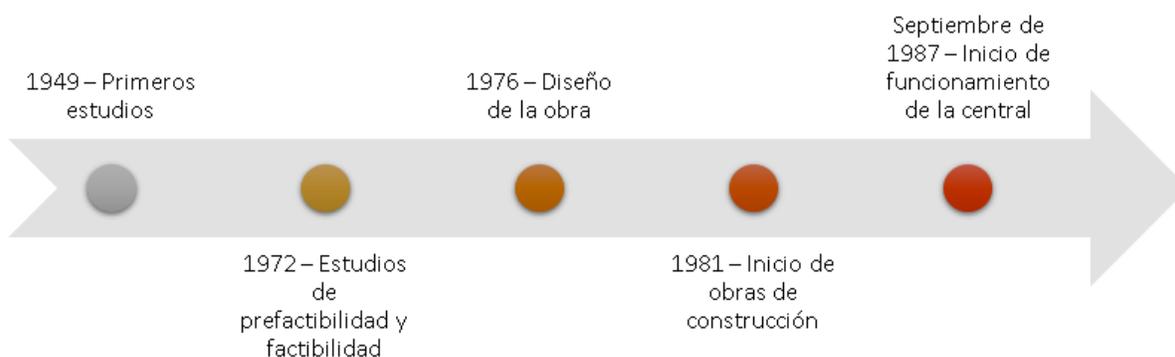
La Central Hidroeléctrica de Betania está ubicada en el departamento de Huila, a 35km de la ciudad de Neiva sobre la cuenca alta del río Magdalena, con un área de drenaje de 13.572 Km², conformando el embalse más grande de Colombia, con un área del orden de las 7.400 ha. Entra en operación la central con una capacidad de generación de 510 MW, por medio de tres (3) unidades turbogeneradoras de 170 MW. A partir de 1996, cuando la central se privatizó y fue adquirida por el grupo ENDESA, se aumentó la capacidad a 540 MW. Esta capacidad de generación corresponde aproximadamente al 5% de la capacidad instalada del país.²

1.1.1.1 LINEA DE TIEMPO DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN

Con base al capítulo 1 del plan de manejo ambiental de Betania, los primeros estudios proceso de construcción se realizaron en el año 1949, posteriormente se diseñó en 1976 y se dio inicio a su construcción en 1981 y comenzó operaciones a partir del mes de junio de 1987 (Ver Figura 1-1).

La Central Betania se proyectó para una vida útil (en conjunto del embalse, obras civiles, eléctricas y mecánicas) de 50 años, dado tanto el mantenimiento correctivo y preventivo de los elementos mecánicos y eléctricos como el buen comportamiento de las obras civiles y del embalse ante grandes eventos (como el sismo del Quindío y la avalancha del Páez), esta vida útil se mantiene vigente.³

Figura 1-1 Línea de tiempo de construcción de la central



Fuente: Emgesa, 2018⁴

² EMGESA. 2018. Plan de manejo ambiental de Betania en Operación. Central hidroeléctrica de Betania, Capitulo 1.

³ EMGESA. 2018. Plan de manejo ambiental de Betania en Operación. Central hidroeléctrica de Betania, Capitulo 2.

⁴ Ibidem, Pag 2-3.

1.1.1.2 GENERACIÓN HISTÓRICA DE ENERGÍA

La central está diseñada para la generación de 540.9 MW de energía y un registro histórico promedio de generación bruta anual de 2202,5 GWh-año (2011-2018).

1.1.1.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INFRAESTRUCTURA

La central Betania cuenta con tres (3) turbinas tipo Francis (cada una genera 180 MW), una presa principal con dos galerías de drenaje y sus respectivas galerías de acceso, seis diques, dos túneles de desviación, tres túneles de conducción, un vertedero principal de compuertas y uno auxiliar de borde libre, la casa de máquinas, la subestación eléctrica y las vías internas.

1.1.1.4 DESCRIPCIÓN GENERAL DE FUNCIONAMIENTO

Los componentes principales de la central corresponden al embalse, el sistema de conducción, el sistema de generación y el sistema de descarga. La central aprovecha las aguas superficiales provenientes de la cuenca del Alto Magdalena (subcuencas de los ríos Magdalena, Yaguará, Guarapas, Suaza y Páez, cuyas áreas conforman la cuenca receptora del embalse).

1.1.2 CONTEXTO EXTERNO

El contexto externo hace referencia al ambiente exterior de la central tanto del área de influencia directa del embalse como el área de estudios para la evaluación del riesgo de la Central al Entorno. Lo que requiere del análisis del entorno y para ello se desagrega en la identificación del contexto institucional, poblacional, físico y biótico.

1.1.2.1 CONTEXTO INSTITUCIONAL

El contexto institucional permite la identificación de aspectos político-administrativos, los instrumentos de planificación territorial, sectorial, ambiental y de gestión de riesgos de los municipios que hacen parte del área de estudio del plan.

1.1.2.1.1 Aspectos político-administrativos

El área de estudio para el Plan de gestión de riesgo de desastres incluye dos departamentos y catorce (14) municipios. (Ver Tabla 1-1).

Tabla 1-1 Área de Estudio a nivel departamental y municipal

Departamento	Municipio	Área (m ²)
Huila	Aipe	39224787, 48
	Campoalegre	91044964, 6
	Neiva	41445124, 28
	Palermo	82637262, 19
	Rivera	29018663
	Tello	9836047, 282
	Villavieja	72157087, 56
	Yaguará	6548734, 882
	Hobo	142000000

Departamento	Municipio	Área (m2)
	Gigante	626000000
Tolima	Coyaima	31641737,91
	Natagaima	127136419,7
	Prado	50728477,35
	Purificación	49093779,08
Total		1398513085

Fuente: WSP, 2019

En lo relacionado con las unidades territoriales menores del área de estudio se identificaron doscientos veintiocho (228) unidades territoriales menores, (veredas, corregimientos y barrios) y catorce (14) cabeceras municipales (Aipe, Campoalegre, Gigante, Hobo, Neiva, Rivera, Tello, Villavieja, Yaguará y Palermo del departamento del Huila, y los municipios de Coyaima, Natagaima, Prado y Purificación del municipio del Tolima). (Ver Tabla 1-2).

Tabla 1-2 Área de Estudio unidades territoriales menores

Departamento	Municipio	Vereda	Área Vereda Total M2	Área Vereda Afectada (m2)
Huila	Aipe	Arrayan	11083449,74	683273,038
		Dindal	10440366,05	4643997,556
		La manga	17865861,07	3827876,329
		Pata	47765660,89	5720245,473
		Rio Aipe	29675704,69	5977492,405
		San Antonio	15353860,86	6951813,762
		Ventanas	29917706,85	3119671,156
	Campoalegre	Bejucal bajo	17960956,06	1430619,865
		El Rincón	15287477,61	14656907,48
		El viso	14507293,34	5130938,353
		La Esperanza	10859045,29	4722662,865
		La Vuelta	2577982,117	714461,2558
		Llano Norte	50376481,46	19027813,44
		Llano Sur	7840680,14	3237497,16
Tolima	Coyaima	Piravante Bajo	4637065,596	274387,2556
		Vega de Oriente	46892197,28	7635562,219
		Acevedo y Gómez	6914957,373	181175,1335
		Bellavista	5279802,528	2044805,043
		Buenos aires bocas de Hilarco	9743003,25	41659,3582
		Cascabel	7780925,714	4196930,904
		Chili	4228657,911	1503867,688
		Coyarco	18596058,45	16208216,02
		El rosario	14165374,55	3388214,154
		Hilarco Guayaquil	9808728,088	470374,4412

Departamento	Municipio	Vereda	Área Vereda Total M2	Área Vereda Afectada (m2)
		La Arenosa	11322063,84	10409210,67
		La Nueva Esperanza	12497744,18	3555234,835
		Lomas Mesas de San Juan	88188423,16	8753779,343
		Lusitania	52445682,21	15179819,11
		Mesas de Inca	27044551,41	718680,3806
		Mesas de San Juan	11642623,97	12214887,67
		San Miguel	11482939,32	8368628,873
		Tambo Guayarco	26481173,82	360276,2335
Huila	Gigante	86 unidades territoriales menores	626000000	626000000
	Hobo	17 unidades territoriales menores	142000000	142000000
Tolima	Natagaima	Anacarco	24220327,96	280591,4268
		Baloca	42546957,34	24743550,66
		Balsillas	9498918,164	9498918,164
		Guasimal	13076768,47	7178246,362
		Guasimal Mesas	9351220,578	2357707,334
		La Molana	4469922,129	734382,4409
		La Palmita	7261680,639	4969645,212
		Mercadillo	7803094,537	5238170,989
		Morro La María	12404600,44	3996225,28
		Palmalta	25348480,82	9559824,297
		Pocharco	19660565,2	8565827,749
		Pueblo nuevo	17157138,64	10900027,72
		Rincón	23380817,84	6783782,556
		San miguel	19316491,39	4935438,628
		Tamirco	7062307,816	2460015,887
		Tinajas	3504203,757	177337,717
		Velu	14688213,44	42878,38207
		Yaco	7066353,43	15870,64301
Yari	3346591,403	1854525,582		
Huila	Neiva	Caguán	31756875,5	22033,4442
		El Centro Sur	4808399,803	4096942,887
		Fortalecilla	18309570,16	1318548,078
		Guacirco - San Jorge	24096681,23	132413,9285
		La Jagua	29365269,48	10896414,51
		La Mata	9776023,718	4137597,11
		Peñas Blancas	14078596,57	4806168,968
		San Andrés de Busiraco	20755424,21	2393548,191
		Venado	13552929,85	9173375,029

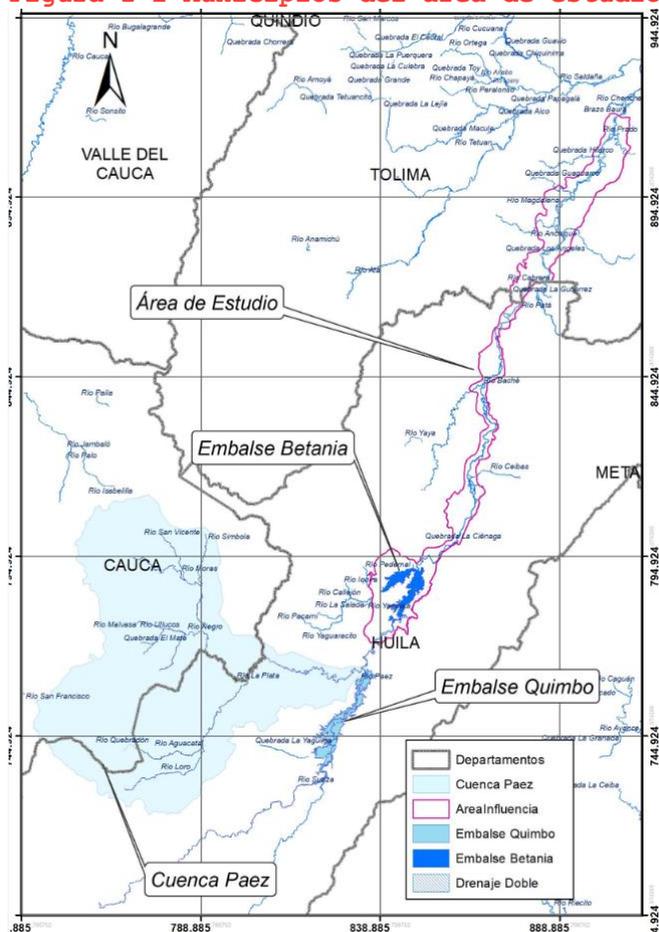
Departamento	Municipio	Vereda	Área Vereda Total M2	Área Vereda Afectada (m2)		
	Palermo	Amborco	3961854,302	3898858,303		
		Betania	48877661,53	12067654,27		
		Cuisinde	18122797,84	6274649,207		
		El juncal	2179629,391	141797,2208		
		Orquídea	5453555,658	1717686,736		
		San miguel	21067000,03	3098410,451		
		Sardinata	57928427,16	931231,6075		
Tolima	Prado	Catalán	30413088,17	29313499,56		
		Chenchito	73778400,79	31672607,86		
		Conchal	13039464,03	5260338,345		
		La Chica	5580820,984	1347,952305		
		Las Brisas	1918552,592	1234434,522		
		Peñon Alto	59496277,33	15107504,19		
		Primavera	23712116,28	1082267,939		
		Tortugas	6289362,07	1079215,047		
		Virginia	4975946,497	1940601,659		
	Purificación	Baura	37859968,33	147997,5797		
		Buenavista	1725292,484	427479,7598		
		Cairo brisas	44419643,99	18984130,92		
		Cairo Leticia	7043293,461	7043293,46		
		Cairo socorro	31682523,18	5178,738417		
		Cairo Santa Helena	49098005,31	11873177,87		
		El consuelo	1866776,312	10,963634		
		El tambo	17258700,28	244958,9294		
		El tigre	14486257,4	7019198,53		
		Hilarco	16013035,13	906847,1231		
		Holanda	37208496,31	6333281,966		
		La Mata	34375924,88	14407325,75		
		Las Damas	19659477,64	5163537,764		
		Madrono	2462061,944	113632,0962		
		Penones Altos	9517542,762	892254,4449		
		Remolinos	37075129,78	6595410,239		
		Sabaneta	2198409,771	328681,9189		
		Salitre	5401100,217	4686876,944		
		San Francisco	4681905,978	1915687,294		
		Santa Lucia Baja	4244236,381	305696,8743		
		Tamarindo	3487903,835	1643586,448		
		Huila	Rivera	Arenoso	36536947,45	5401387,55

Departamento	Municipio	Vereda	Área Vereda Total M2	Área Vereda Afectada (m2)
		El Albadan	20470966,32	9864241,953
		El Dinde	12357650,71	3553386,988
		Río Frío	2712293,66	2382546,462
		Riverita	19508328,73	4967683,112
	Tello	Cucharito	35465423,57	1878074,666
		Mesa Redonda	10892515,35	1103510,075
	Villavieja	El Cusco	39826365,43	10510925,74
		Golondrinas	18738743,56	137,195169
		Hato Nuevo	44771786,85	18664891,45
		La Calera	13711492,28	4528419,802
		La Victoria	46144458,17	411614,3127
		Líbano	6060132,504	699545,1864
		Polonia	3562038,142	41292,09109
		Potosí	26892334,93	7026057,271
		San Alfonso	60537911,11	9010920,391
		San Juanito	59853704,32	8397704,446
		San Nicolás Gaviotas	1459055,696	224169,4859
	Yaguará	Jagual	15556102,23	77980,74494
		Letrán	39952082,36	16833812,83
Vilu		10583032,54	2488834,754	
Tolima	Natagaima	Cabecera Municipal	671468,2018	433313,4993
Huila	Neiva	Cabecera Municipal	153567976,1	3407446,049
Tolima	Prado	Cabecera Municipal	16659793,89	4249848,413
	Purificación	Cabecera Municipal	16408202,41	3084026,325
Huila	Villavieja	Cabecera Municipal	23391583,04	3174915,873

Fuente: WSP, 2019

En la Figura 1-2 se presentan los municipios, cabeceras municipales y centros poblados que hacen parte del área de estudio del plan. Esta área incluye tanto el área aferente al embalse de Betania y el área que podría ser afectada aguas debajo de la presa.

Figura 1-2 Municipios del área de estudio



Fuente: DANE, 2017. Adaptado por WSP, 2019.

1.1.2.1.2 Instrumentos de planificación territorial y ambiental y sectorial

De acuerdo con la información secundaria, los municipios que se encuentran dentro del área de estudio cuentan con los instrumentos de planificación reflejados en la Tabla 1-3.

Tabla 1-3 Instrumentos de planificación territoriales

D/to	Municipio	POT
Huila	Neiva	Por medio del Acuerdo 26 de 2009, se ajusta el Plan de Ordenamiento Territorial de Neiva.
	Aipe	Por medio del Decreto 068 de 2011 se revisa y ajusta el Esquema de Ordenamiento Territorial de Aipe Huila
	Campoalegre	Plan Básico de Ordenamiento Territorial de Campoalegre Huila 2016
	Hobo	Por medio del Acuerdo 05 de 2000 se adopta el Esquema de Ordenamiento territorial para el Municipio de Hobo.
	Palermo	Diagnóstico del Esquema de Ordenamiento Territorial Municipio de Palermo, Huila,

D/to	Municipio	POT
	Rivera	Formulación Esquema de Ordenamiento Territorial Municipio de Rivera, Huila. - Acuerdo 23 de 1999 por el cual se adopta el Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio de Rivera, Huila.
	Tello	Formulación Ajustes Plan de Ordenamiento Territorial Municipio de Tello, 2008
	Yaguará	Por medio del Acuerdo 031 de 1999 se adopta el Esquema de ordenamiento Territorial del Municipio de Yaguara, Huila.
	Gigante	Esquema de Ordenamiento Territorial. Acuerdo 048 de 2000.
Tolima	Coyaima	Diagnóstico – Plan Básico de Ordenamiento Territorial, Municipio de Coyaima, Tolima. 2000
	Natagaima	Formulación del Esquema de Ordenamiento Territorial Municipio de Natagaima, Tolima. 2003
	Prado	Proyecto de Acuerdo por el cual se adopta el Esquema de Ordenamiento Territorial municipal de Prado, Tolima- 2002
	Purificación	Por medio del Acuerdo 015 de 2001 se adopta el Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de Prado, Tolima.

Fuente: WSP, 2019. Basado en los documentos públicos de los departamentos y municipios.

1.1.2.1.3 Sistema departamental y municipal de gestión de riesgos de desastres

De acuerdo con la información secundaria, los municipios que cuentan con instrumentos de gestión de riesgo corresponden a:

- Neiva
 - ✓ Plan Integral de Emergencia y Contingencias INVIMA Neiva, Huila, 20158
 - ✓ Plan de Prevención; Preparación y Respuesta ante Emergencias UNINAVARRA Neiva Huila 2017
 - ✓ Plan de Prevención y Atención en Emergencias Universidad Sur Colombiana Sede Central Neiva- Huila 2016
 - ✓ Plan de Emergencias y Contingencias Instituto Colombiano de Bienestar Familiar Regional Huila, Zona Neiva 2017
- Rivera
 - ✓ Programa de Prevención y Atención de Desastres en el Archivo Central de la alcaldía Rivera – 2016
 - ✓ Plan de Contingencia Primera Temporada de Lluvias, municipio de Rivera Huila, 2017
 - ✓ Plan de Contingencia Segunda Temporada de Lluvias Municipio de Rivera, Huila, 2017

- Gigante
 - ✓ Plan de Gestión del Riesgo, Gigante, Huila 2012

- Hobo
 - ✓ Plan de Municipal Gestión del Riesgo de Desastres, Hobo, Huila 2017

1.1.2.2 CONTEXTO POBLACIONAL Y SOCIOECONOMICO

El desarrollo del departamento del Huila ha estado asociado tradicionalmente con la producción agropecuaria y con la extracción de hidrocarburos. Sin embargo, dadas sus ventajas competitivas y estratégicas, sectores como el comercio, la agricultura y la construcción son significativos. Existe una gran vocación agroalimentaria, generadora de importantes volúmenes de producción en renglones como la caficultura, los frutales, y la piscicultura. Cuenta además con un potencial hidroenergético capaz de generar el 43% de la producción del país y posee importantes yacimientos de roca fosfórica, mármoles y arcillas⁵. Adicionalmente, el sector turístico tiene una oferta representativa de recursos y de servicios e infraestructura.

El departamento del Tolima cuenta con una ubicación estratégica, dada su cercanía tres de las principales centralidades Bogotá, Medellín y Cali, que concentran gran parte de la actividad económica, productiva y poblacional del país. La economía de departamental se sustenta en las actividades agropecuarias, los servicios y la industria. La agricultura está altamente tecnificada y se destacan los cultivos de arroz, ajonjolí, sorgo, café, algodón, caña panelera, soya, maíz, tabaco, yuca y frutales. Los servicios son comerciales, de transporte y comunicaciones. La industria se desarrolla en la producción de alimentos, bebidas, jabones, textiles, cemento y algunos materiales para construcción. La minería esta poco desarrollada, se extrae petróleo y se explota oro en algunas zonas.

El área de estudio se encuentra conformada por catorce (14) municipios de los departamentos del Huila y Tolima, cuyas principales características socioeconómicas y organizativas se presentan a continuación en tres secciones: la primera describe las principales características demográficas de la población que incluye la distribución por edad, género y área. La segunda presenta los indicadores relacionados con acceso a servicios públicos, educación, salud y vivienda y en la tercera sección se analizan las principales actividades económicas a nivel municipal.

1.1.2.2.1 Demografía

Según datos reportados por el Departamento Nacional de Estadística (DANE), la población proyectada a 2019 en los municipios del área de potencial afectación alcanzó un total de 629.382 habitantes, de los cuales el 77% se localizan en las cabeceras municipales (486.321 habitantes) y el 23% restante en las zonas rurales (143.061 personas). Los municipios que concentran una mayor proporción de la población en las cabeceras son Neiva (94%), Yaguará (85%), Hobo (77%) y Campoalegre (76%), mientras que en Coyaima (83%), Villavieja (66%) y Prado (57%) más del 60% de la población se asienta en zonas rurales. La Tabla 1-4 presenta los datos de población teniendo en cuenta los porcentajes de cabecera y resto para los municipios del área de estudio.

⁵ GOBERNACIÓN DEL HUILA. Huila en contexto. En: Plan Huila 2050. [en línea]. Consultado el 7 de febrero de 2019. Disponible en: <http://planhuila2050.com/huila-en-contexto#seccion-63>.

Tabla 1-4 Población total y distribución de la población en los municipios del área de estudio. Proyecciones 2019

Departamento	Municipio	Población total	Cabecera		Resto	
			Total	%	Total	%
Huila	Aipe	29.177	18.501	63	10.676	37
	Campoalegre	34.923	26.549	76	8.374	24
	Neiva	348.964	329.369	94	19.595	6
	Palermo	34.987	16.999	49	17.988	51
	Rivera	19.566	11.241	57	8.325	43
	Tello	14.536	6.969	48	7.567	52
	Villavieja	7.309	2.462	34	4.847	66
	Yaguará	9.410	7.983	85	1.427	15
	Gigante	35.498	19.369	55	16.129	45
	Hobo	7.043	5.451	77	1.592	23
Tolima	Coyaima	28.443	4.896	17	23.547	83
	Natagaima	22.320	15.158	68	7.162	32
	Prado	7.429	3.160	43	4.269	57
	Purificación	29.777	18.214	61	11.563	39
Total	629.382	486.321	77	143.061	23	

Fuente: WSP, 2019, basado en DANE – Estimaciones de población 1985-2005 y proyecciones de población 2005-2020 total municipal por área

La distribución de la población por género señala un número ligeramente mayor de mujeres que de hombres, con un porcentaje de 51% y 49% respectivamente.

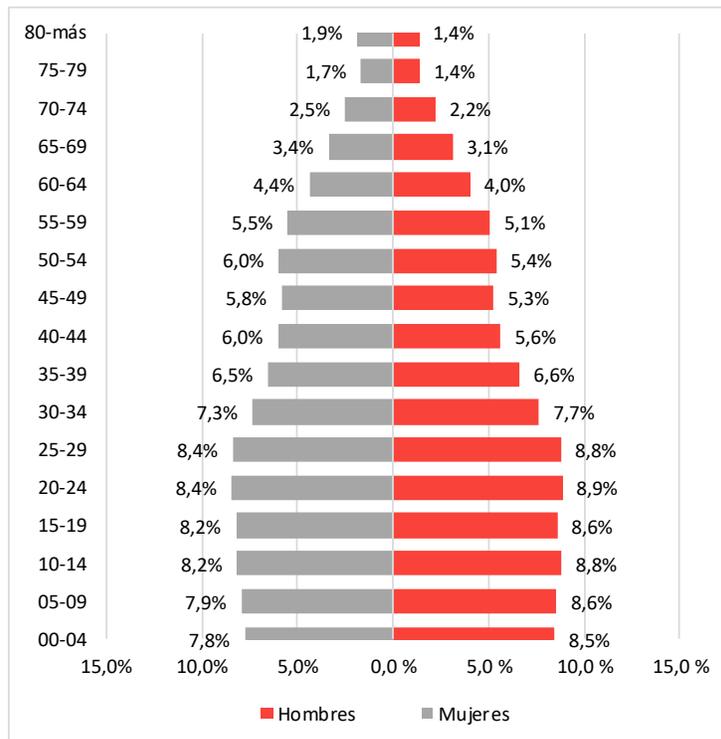
Tabla 1-5 Distribución de la población por género en los municipios del área de estudio. Proyecciones 2019

Departamento	Municipio	Población total	Hombres		Mujeres	
			Total	%	Total	%
Huila	Aipe	29.177	14.727	50	14.450	50
	Campoalegre	34.923	17.399	50	17.524	50
	Neiva	348.964	166.896	48	182.068	52
	Palermo	34.987	17.889	51	17.098	49
	Rivera	19.566	9.843	50	9.723	50
	Tello	14.536	7.466	51	7.070	49
	Villavieja	7.309	3.686	50	3.623	50
	Yaguará	9.410	4.689	50	4.721	50
	Gigante	35.498	17.993	51	17.505	49
	Hobo	7.043	3.640	52	3.403	48
Tolima	Coyaima	28.443	14.910	52	13.533	48
	Natagaima	22.320	11.160	50	11.160	50
	Prado	7.429	3.716	50	3.713	50
	Purificación	29.777	14.887	50	14.933	50
Total	629.382	308.901	49	320.524	51	

Fuente: DANE – Estimaciones de población 1985-2005 y proyecciones de población 2005-2020 total municipal por área. Adaptado por WSP, 2019.

La distribución por edades muestra que la población entre los 0 a 9 años representan el 14,68% del total, mientras la población entre los 10 a 24 años representan el 25,09% y las personas en el rango de edad de 60 años y más se observa que representan el 12,52% de la población total. Ver Figura 1-3.

Figura 1-3 Pirámide poblacional municipios área de estudios para la evaluación del riesgo de la Central al Entorno



Fuente: WSP, 2019, basado en DANE – Estimaciones de población 1985-2005 y proyecciones de población 2005-2020 total municipal por área

1.1.2.2.2 Equipamiento y cobertura de servicios

En los catorce (14) municipios que componen el área de estudio del proyecto, se reconocen grupos poblacionales que hacen uso de servicios públicos y sociales como parte de su cotidianidad y por tanto se convierten en un suministro fundamental para el desarrollo de las actividades de la población que allí reside. A continuación, se presenta el panorama general de la cobertura de estos servicios a nivel departamental y municipal.

Se define los servicios públicos como las “instalaciones indispensables para el desarrollo y funcionamiento normal, que atiende a las necesidades colectivas de higiene, comodidad, seguridad, saneamiento básico (agua potable, alcantarillado, energía eléctrica, aseo y gas domiciliario) de la comunidad, suministradas o no por el Estado”⁶.

Por lo anterior, contar con servicios de calidad es fundamental para toda estrategia competitiva o de desarrollo económico local. En este sentido, en la Tabla 1-6 y Tabla 1-7 se presentan las principales

⁶ Alcaldía municipal de Facatativá. Esquema de Ordenamiento Territorial. (2002). [en línea]. [consultado 3 abril. 2019]. Disponible en <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/5eot%20-%20esquema%20de%20ordenamiento%20territorial%20-%20glosario%20-%20facatativ%C3%A0%20-%20cundinamarca%20-%202002.pdf>

características de los servicios públicos existentes a nivel departamental (Huila y Tolima) y a nivel municipal.

Tabla 1-6 Principales características de los servicios públicos a nivel departamental

Departamento	Acueducto	Alcantarillado	Energía	Aseo	Gas	Internet
Huila	73,1	63,4	96,55	53,12	89,0	8,4
Tolima	62,0	55,6	95,61	64,89	76,60	5,2

Fuente: WSP, 2018, basado en DNP Departamento Nacional de Planeación⁷, La Unidad de Planeación Minero-Energética - UPME⁸ y los documentos oficiales consignados en las páginas web de las Gobernaciones de Huila y Tolima⁹

A nivel departamental, se puede observar que los porcentajes de las coberturas de los servicios públicos de los dos (2) departamentos son relativamente homogéneos en tanto cada uno de estos no difiere en más de 10 puntos porcentuales. En ambos el servicio que más altos niveles de cobertura muestra es el de energía eléctrica, el cual resulta favorable para la población porque supera el 95%, mientras que el servicio que muestra menores coberturas es el de internet que no supera el 10%. Si bien los demás servicios públicos como acueducto, alcantarillado, aseo y gas domiciliario no superan el 90% de cobertura, tampoco se encuentran por debajo del índice considerado como deficiente.

Por su parte, respecto a los municipios que conforman el área de estudio, los porcentajes de cobertura tienden a comportarse de la misma forma que a nivel departamental, es decir que el servicio de energía eléctrica también registra los porcentajes más altos mientras los más bajos los registra el servicio de internet. En la Tabla 1-7 se dan a conocer las coberturas de estos servicios de manera detallada.

Tabla 1-7 Principales características de los servicios públicos a nivel municipal

Depto.	Municipio	Acueducto	Alcantarillado	Energía	Aseo	Gas	Internet
Huila	Aipe	52,9%	40,7%	95,9%	100%	88,9%	1,4%
	Campoalegre	73,9%	71,6%	99,5%	96,0%	92,5%	7,0%
	Neiva	81,5%	70,0%	98,0%	100%	82,9%	21,0%
	Palermo	58,8%	58,8%	93,9%	94,3%	83,6%	2,2%
	Rivera	74,9%	74,9%	99,0%	98,23%	90,0%	1,7%
	Tello	72,2%	72,2%	98,8%	93,0%	85,4%	0,2%
	Villavieja	66,1%	66,1%	98,7%	95,35%	88,4%	0,4%
	Yaguará	91,7%	76,3%	95,4%	100%	87,7%	0,7%
	Gigante	87,0%	66,0%	93,0%	95%	93%	20,0%
Tolima	Hobo	86,6%	81,8%	97,6%	92%	77%	1,9%
	Coyaima	40,4%	18,5%	95,3%	100%	5,4%	2,1%
	Natagaima	37,8%	25,8%	94,6%	95,0%	76,4%	3,3%
	Prado	58,3%	36,1%	97,5%	99,5%	16,8%	3,9%
	Purificación	92,4%	61,7%	94,3%	95,0%	17,2%	5,2%

⁷ Colombia. Departamento Nacional de Planeación. Base de datos TerriData [Base de datos en Línea]. [Consultado 31 marzo. 2019]. Disponible en <https://terridata.dnp.gov.co/#/perfiles/25001>

⁸ Unidad de Planeación Minero-Energética -UPME-. Plan Indicativo de Expansión de Cobertura de Energía Eléctrica. 2013-2017. [Consultado 5 abril. 2019]. Disponible en: http://www.upme.gov.co/Siel/Siel/Portals/0/Piec/Libro_PIEC.pdf

⁹ Ministerio de Minas y Energía. Cobertura del Servicio de gas Natural. Segundo Trimestre del 2017. [Base de datos en Línea]. [Consultado 31 marzo. 2019]. Disponible en https://www.minenergia.gov.co/documents/10192/23883779/140917_reporte_consolidado_GN_2017_II.pdf/bc1b6661-7647-4ac3-a489-957e38b4e4d0

Fuente: WSP, 2018, basado en DNP Departamento Nacional de Planeación¹⁰, La Unidad de Planeación Minero-Energética -UPME-¹¹ y los documentos oficiales consignados en las páginas web de las Gobernaciones de Huila y Tolima¹²; Alcaldía Municipal de Coyaima¹³, Alcaldía municipal de Natagaima¹⁴, Alcaldía Municipal de Prado¹⁵, Gobernación del Tolima¹⁶

Al observar la información consignada en la Tabla 1-7, se puede establecer que la cobertura del servicio de aseo en los municipios de Aipe, Neiva, Yaguará y Coyaima registra el 100%, cada uno. Asimismo, el servicio de energía eléctrica en los municipios de Campoalegre y Rivera resulta significativamente favorable porque son los únicos que registran un 99,5% y 99,0% respectivamente.

Entre otras coberturas sobresalientes, se encuentra el servicio de acueducto en Yaguará, Purificación y Suárez porque son los únicos que superan el 90%, mientras que en los demás municipios los porcentajes se ubican a partir del 37%, constituyéndose este como el más bajo reportado por el municipio de Natagaima.

En cuanto a diferencias regionales entre Huila y Tolima a nivel municipal, es difícil establecer cuál de los dos grupos presenta un escenario más desfavorable, ya que los porcentajes son dispersos y no marcan una tendencia clara que permita determinar cuál departamento cuenta con mejores condiciones, excepto por el servicio de gas domiciliario que si muestra una cobertura más alta en los municipios de Huila.

El servicio de energía eléctrica en los municipios del área de estudio es prestado por las empresas Enertolima y Electrificadora del Huila -Electrohuila-. El servicio de acueducto, alcantarillado y aseo es prestado por las empresas administradoras locales o incluso en ocasiones es la administración municipal la entidad que se encarga de prestar estos servicios. Cabe destacar que las empresas administradoras locales usualmente prestan el servicio a nivel de cabecera municipal y algunos centros poblados aledaños, por lo que las comunidades que no cuentan con esta cobertura deben utilizar formas alternativas para satisfacer la necesidad.

También, se hace importante mencionar que las coberturas reportadas por las entidades oficiales ocasionalmente hacen referencia al panorama urbano y no a todo el territorio municipal, por lo que es común que sirva como referente, pero quede un margen de incertidumbre frente al panorama real de la cobertura de los servicios públicos.

En cuanto al servicio de gas domiciliario, las cifras a nivel de los municipios del departamento de Huila son más alentadoras que en los municipios del departamento de Tolima, lo cual se podría atribuir a un tema de gestión por parte de las administraciones municipales y departamentales, y por otro lado a la pertinencia

¹⁰ Colombia. Departamento Nacional de Planeación. Base de datos TerriData [Base de datos en Línea]. [Consultado 5 abril. 2019]. Disponible en <https://terridata.dnp.gov.co/#/perfiles/25001>

¹¹ Unidad de Planeación Minero-Energética -UPME-. Plan Indicativo de Expansión de Cobertura de Energía Eléctrica. 2013-2017. [Consultado 31 marzo. 2019]. Disponible en: http://www.upme.gov.co/Siel/Siel/Portals/0/Piec/Libro_PIEC.pdf

¹² Ministerio de Minas Y Energía. Cobertura del Servicio de gas Natural. Segundo Trimestre del 2017. [Base de datos en Línea]. [Consultado 5 abril. 2019]. Disponible en https://www.minenergia.gov.co/documents/10192/23883779/140917_reporte_consolidado_GN_2017_II.pdf/bc1b6661-7647-4ac3-a489-957e38b4e4d0

¹³ Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de Coyaima. Tomo I. Diagnóstico. [Consultado 5 abril. 2019]. Disponible en: <http://www.coyaima-tolima.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionYControl/Diagn%C3%B3stico%20PBOT.pdf>

¹⁴ Alcaldía Municipal de Natagaima. Programa Nacional de Capacitación Municipal Convenio ESAP – Unión Europea. Bogotá. 2010. [Consultado 31 marzo. 2019]. Disponible en: http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/informe%20de%20consultor%C3%ADa_correcciones%20reactivaci%C3%B3n%20econ%C3%B3micas_natagaima_tolima_2002.pdf

¹⁵ Alcaldía Municipal de Prado. Caracterización Municipal. [Consultado 5 abril. 2019]. Disponible en: <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/pd%20-%20prado%20-%20tolima%20-%2004%20-%2007.pdf>

¹⁶ Gobernación del Tolima. Plan Departamental de Agua del Tolima. EDAT S.A., E.S.P. [Consultado 5 abril. 2019]. Disponible en: <http://www.edat.gov.co/wp-content/uploads/2018/12/PGEI-2016-2019.pdf>

por parte de la empresa en abastecer el territorio. La empresa prestadora del servicio en todo el territorio es Alcanos de Colombia S.A., E.S.P.

En cuanto a telefonía e internet, se presenta como un reto, el aumento de los niveles de cobertura de servicio de internet, enmarcado en la era de las Tecnologías de la Información y las Telecomunicaciones (TICs)¹⁷. En el tema de telefonía, la tendencia se encuentra orientada hacia el uso de telefonía móvil dadas las tarifas y comodidad que esta tecnología presenta.

1.1.2.2.2.1 Servicios sociales

Los servicios sociales son aquellos relacionados fundamentalmente con el bienestar de las personas en sectores como la salud, la educación y la vivienda, por lo que a continuación se desarrollaran de manera general mostrando las coberturas sobre el tema.

1.1.2.2.2.2 Salud

De acuerdo con el Sistema de Estadísticas Nacionales -TerriData-, del Departamento Nacional de Planeación -DNP-, las coberturas establecidas para el sistema de salud se encuentran clasificadas en tres (3) categorías a saber: Régimen Contributivo, Régimen Subsidiado y Régimen Especial. A partir de esta clasificación, las 622.745¹⁸ personas que habitan en jurisdicción de los 14 municipios que hacen parte del área de estudio se encuentran adscritas a alguno de ellos¹⁹. Las cifras que dan cuenta de la afiliación de la población al régimen en salud a nivel departamental y municipal se encuentran consignadas en la Tabla 1-8 y Tabla 1-9.

Tabla 1-8 Aseguramiento en salud a nivel departamental

Departamento	Contributivo	Régimen Subsidiado	Especial	Total
Huila	28,57%	69,10%	2,33%	100%
Tolima	39,59%	58,22%	2,19%	100%

Fuente: WSP, 2018, basado en DNP Departamento Nacional de Planeación²⁰

Para iniciar, la cifra poblacional del departamento de Huila es de 1.211.129 y del departamento de Tolima es de 1.423.724, según el DANE²¹. En ambos, el régimen subsidiado reporta los porcentajes más altos de cobertura, siendo estos de más del 50% en cada caso; mientras que el régimen que presenta menor cobertura es el especial, en tanto los dos departamentos presentan resultados que giran en torno al 2%.

Por otro lado, frente a los consolidados a nivel municipal, se destaca que sigue la tendencia porcentual que se tiene a nivel departamental, es decir que los valores tienden a puntuar más alto en el régimen subsidiado tanto en los municipios de Huila como en los municipios de Tolima (Ver Tabla 1-9).

¹⁷ RED ORMET. Diagnóstico socioeconómico y del mercado del trabajo. 2012. p 20. [Consultado el 7 de diciembre de 2018 100%]. 2017. Disponible en <http://hacienda.cartagena.gov.co/images/papers/Diagnostico-socioeconomico-y-del-mercado-de-trabajo.pdf>

¹⁸ Departamento Administrativo Nacional de Estadística -DANE-. Estimación y Proyección de Población Nacional Departamental y Municipal Total por Área 1985 – 2020. 2005. [Consultado el 05 de abril de 2019]. 2019. Disponible en <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>

¹⁹ Colombia. Departamento Nacional de Planeación. Base de datos TerriData [Base de datos en Línea]. [Consultado 04 marzo. 2019]. Disponible en <https://terridata.dnp.gov.co/#/perfiles/25001>

²⁰ Ibidem, Consultado 31 marzo. 2019

²¹ Departamento Administrativo Nacional de Estadística -DANE-. Estimación y Proyección de Población Nacional Departamental y Municipal Total por Área 1985 – 2020. 2005. [Consultado el 05 de abril de 2019]. 2019. Disponible en <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>

Tabla 1-9 Aseguramiento en salud a nivel municipal

Departamento	Municipio	Régimen			Total
		Contributivo	Subsidiado	Especial	
Huila	Aipe	17,68%	81,40%	0,92%	100%
	Campoalegre	22,85%	75,82%	1,33%	100%
	Neiva	53,64%	43,10%	3,26%	100%
	Palermo	15,81%	83,21%	0,98%	100%
	Rivera	15,44%	83,67%	0,90%	100%
	Tello	8,29%	91,16%	0,54%	100%
	Villavieja	7,50%	91,46%	1,04%	100%
	Yaguará	25,90%	72,52%	1,59%	100%
	Gigante	17,72%	79,48%	2,80%	100%
	Hobo	17,37%	81,82%	0,81%	100%
Tolima	Coyaima	3,36%	94,99%	1,65%	100%
	Natagaima	7,68%	89,36%	2,96%	100%
	Prado	12,33%	85,69%	1,98%	100%
	Purificación	19,19%	78,69%	2,12%	100%

Fuente: WSP, 2018, basado en DNP Departamento Nacional de Planeación²²

De acuerdo con la información consignada en la Tabla 1-9, se destaca que los municipios de Coyaima, Villavieja y Tello poseen los porcentajes más altos de población afiliada al régimen subsidiado con el 94,99%, 91,46% y 91,16%, respectivamente. El resto de los municipios registran una cobertura que va desde el 43,10% y el 89,50%, donde el primer porcentaje en mención corresponde a la ciudad de Neiva donde se evidencia que la mayor cobertura corresponde al régimen contributivo y por esto refleja esta brecha porcentual. Por otro lado, los municipios con mayor representación del régimen contributivo después de la Ciudad de Neiva (53,64%) son en su orden: Yaguará (25,90%), Campoalegre (22,85%) y Purificación (19,19%), lo cual podría estar asociado con la fuerte presencia de entidades tipo privado que se dedican a la explotación del recurso hídrico y explotación de hidrocarburos, así como también la presencia de empresas dedicadas a la producción y procesamiento de productos agrícolas que permiten una vinculación de personal más formal, en términos laborales.

En cuanto al porcentaje remanente, este corresponde, aunque en mínima proporción a la población que se encuentra afiliada al régimen especial, entendido como aquel dirigido a sectores de la población cuyas normas legales aplican pese a la vigencia de la Ley 100 de 1993; es decir, las Fuerzas Militares, la Policía Nacional, Ecopetrol, Magisterio y Universidades Públicas²³. Dicho porcentaje no supera el 3,5% en cualquiera de los casos.

Respecto a las coberturas, la fuente oficial consultada no reporta personas que se encuentre bajo la categoría de no afiliados, lo cual se considera positivo porque da a entender que toda la población tiene acceso al servicio de salud, pese a que este no sea indicador de la calidad.

Durante los recorridos de campo, se pudo establecer que en todos los municipios existe al menos una entidad prestadora del servicio de salud, cuyos niveles de prestación del servicio varían de I a III. Si bien durante las visitas a los hospitales, sus representantes reportaron déficit en términos de recursos físicos y de personal, destacaron que se procura dar atención a toda la población que llega a las instituciones a menos que el nivel de complejidad del caso requiera el traslado a un hospital de un nivel de atención superior.

²² Ibidem, Consultado 31 marzo. 2019

²³ Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. Red Prestadora de Servicios de Salud. 2016 – 2020. [Consultado el 05 de abril de 2019]. Disponible en http://www.saludcapital.gov.co/Documents/Red_prestadora_Ser_Salud_2017.pdf

1.1.2.2.2.3 Educación

Según la información consignada en el Sistema de Estadísticas Nacionales -TerriData-, del Departamento Nacional de Planeación -DNP- las coberturas (tasa bruta) de educación en los departamentos de Huila y Tolima superan el 75% incluyendo los datos desde el grado transición hasta el grado de educación media, lo cual indica que existe una proporción considerable de población acudiendo a las instituciones educativas, independientemente de si su edad es la esperada para el nivel escolar que se encuentra cursando. Los únicos niveles que sobrepasan una tasa del 100% es el de secundaria y el nivel de primaria oscila entre el 99% y el 100%, es decir también se considera un resultado favorable. La Tabla 1-10, da a conocer con más detalle las cifras de la tasa de cobertura bruta.

Tabla 1-10 Tasa de cobertura bruta por nivel educativo en Huila y Tolima

Departamento	Tasa de cobertura (bruta)				Total
	Transición	Primaria	Secundaria	Media	
Huila	85,56	99,64	101,08	76,94	95,17
Tolima	77,3	99,77	99,37	79,47	94,39

Fuente: WSP, 2018, basado en DNP Departamento Nacional de Planeación²⁴

Por su parte, a nivel municipal las cifras de cobertura bruta resultan ser ligeramente superiores en la mayoría de los casos, en los niveles de primaria y secundaria; incluso existen municipios donde la tasa supera el 100%, tal es el caso de los municipios de Neiva, Rivera y Prado. En el nivel de transición y en el nivel de educación media, los datos se encuentran dispersos y pueden variar desde el 50% hasta casi el 112% de cobertura. Estos datos se reflejan de manera más detallada en la Tabla 1-11.

Tabla 1-11 Tasa de cobertura bruta por nivel educativo en los municipios del área de estudio

Departamento	Municipio	Tasa de cobertura (bruta)				Total
		Transición	Primaria	Secundaria	Media	
Huila	Aipe	50,96%	54,53%	62,16%	60,82%	57,78%
	Campoalegre	76,24%	92,58%	94,89%	61,05%	86,8%
	Neiva	116,27%	118,88%	117,63%	92,5%	113,7%
	Palermo	75,88%	86,48%	88,96%	66,31%	83,16%
	Rivera	111,99%	126,86%	142,68%	105,99%	127,72%
	Tello	59,94%	73,17%	71,37%	54,1%	68,68%
	Villavieja	63,58%	80,34%	69,41%	80,29%	75,24%
	Yaguará	74%	77,52%	89,52%	74,43%	80,7%
	Gigante	57,22%	70,77%	88,1%	72,83%	75,81%
	Hobo	88,32%	109,28%	100,55%	67,47%	98,07%
Tolima	Coyaima	60,12%	97,8%	85,97%	72,13%	86,56%
	Natagaima	55,07%	76,73%	78,77%	69,8%	74,54%
	Prado	107,26%	131,7%	131,97%	86,78%	122,58%
	Purificación	71,25%	85,56%	83,95%	75,11%	82,18%

²⁴ Colombia. Departamento Nacional de Planeación. Base de datos TerriData [Base de datos en Línea]. [Consultado 31marzo. 2019]. Disponible en <https://terridata.dnp.gov.co/#/perfiles/25001>

En cuanto a las diferencias en los totales de los municipios de cada uno de los departamentos, se puede establecer que son relativamente homogéneos ya que al promediarlos, los del municipio de Tolima reportan el 86,72% y los municipios de Huila reportan el 86,77%; por supuesto considerando que existen algunas particularidades por municipio y por nivel escolar que posiblemente se encuentran vinculadas con las condiciones socioeconómicas de la población que permiten que se obtengan estas cifras en términos de cobertura (Bruta) de la educación.

1.1.2.2.2.4 Vivienda

De acuerdo con la información consignada en los documentos oficiales del DANE (2005)²⁶, en los departamentos objeto de análisis existen 601.792 viviendas de las cuales el 59% se localizan en Tolima y el 41% en Huila. A continuación, en la Tabla 1-12 se dan a conocer las cifras exactas del número de viviendas en cada departamento disgregadas por las categorías rural, urbano y total.

Tabla 1-12 Número de viviendas censadas a nivel departamental

Departamento	No. de viviendas		
	Rural	Urbano	Total
Huila	93.658	155.810	249.468
Tolima	107.453	244.871	352.324
Total	201.453	400.681	601.792

Fuente: WSP, 2018, basado en la base de datos del DANE

Por su parte, de acuerdo con la misma fuente (DANE, 2005), en los 14 municipios jurisdicción del área de posible afectación existen 147.742 viviendas tanto en la zona rural como urbana que equivalen al 25% del total de viviendas registradas en los dos (2) departamentos. La Tabla 1-13, da cuenta del total de viviendas existentes en cada uno de los municipios, objeto de análisis.

Tabla 1-13 Número de viviendas censadas a nivel departamental

Departamento	Municipio	No. de viviendas		
		Rural	Urbano	Total
Huila	Aipe	1.971	2.908	4.879
	Campoalegre	2.005	6.245	8.250
	Neiva	5.023	79.103	84.126
	Palermo	4.126	2.783	6.909
	Rivera	1.966	2.356	4.322
	Tello	1.942	1.039	2.981
	Villavieja	1.300	667	1.967
	Yaguará	359	1.798	2.157
	Gigante	3.555	3.771	7.326
Hobo	404	1.287	1.691	
Tolima	Coyaima	5.224	993	6.217
	Natagaima	1.787	3.639	5.426
	Prado	1.437	1.000	2.437
	Purificación	3.313	4.183	7.496
Total		34.412	111.772	146.184

²⁵ Ibidem.

²⁶ Departamento Nacional de Estadística -DANE-. Censo de Vivienda, Déficit de Vivienda. 2005 [Base de datos en Línea]. [Consultado 5 abril. 2019]. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/pobreza-y-condiciones-de-vida/deficit-de-vivienda>

Al igual que en los departamentos, la cantidad de vivienda ubicadas en las zonas urbanas es considerablemente superior al número registrado en las registradas en las zonas rurales; este fenómeno de alguna manera se atribuye a que allí existe una oferta más amplia de recursos, oferta de bienes y servicios básicos, sociales y administrativos más amplios que permiten la supervivencia de la población en un territorio.

De manera general, llama la atención que existen municipios con un número exacerbado de viviendas como por ejemplo Neiva que registra un total de 84.126, es decir el 57% de toda el área de estudio, hecho que se atribuye a que este municipio se constituye como la ciudad principal del departamento de Huila. En segundo orden y con unas cifras más homogéneas al resto de los municipios, se encuentra Purificación con 7.496 viviendas y Gigante con 7.326 viviendas que equivalen cada uno al 5% del total de los 14 municipios.

Por otro lado, entre los municipios con menor cantidad de viviendas se encuentran en su orden: Suárez con 1.196, Villavieja con 1.967 y Hobo con 1.691, municipios relativamente pequeños en términos poblacionales.

Dentro de los programas de beneficio de vivienda, los Departamentos de Tolima y Huila se encuentran incluidos en La Comisión Intersectorial de Vivienda de Interés Social Rural, en cabeza del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, la cual para el año 2018 aprobó aproximadamente 128.477 millones de pesos para proyectos de vivienda, incluida su construcción y mejoramiento. A partir de este proyecto, se infiere que algunos habitantes de los municipios incluidos en el área de estudio de la presente caracterización se encuentran incluidos como beneficiarios²⁷.

1.1.2.3 Aspectos económicos

El desarrollo del departamento del Huila ha estado asociado tradicionalmente con la extracción de hidrocarburos. Sin embargo, dadas sus ventajas competitivas y estratégicas, sectores como el comercio, la agricultura y la construcción son significativos. Existe una gran vocación agroalimentaria, generadora de importantes volúmenes de producción en renglones como la caficultura, los frutales, y la piscicultura, así mismo, cuenta con un potencial hidro energético capaz de generar el 43% de la producción del país y posee importantes yacimientos de roca fosfórica, mármoles, arcillas²⁸. Adicionalmente, el sector turístico tiene una oferta representativa de recursos y de servicios e infraestructura.

Entre tanto, el departamento del Tolima cuenta con una ubicación estratégica, dada su cercanía tres de las principales centralidades Bogotá, Medellín y Cali, que concentran gran parte de la actividad económica, productiva y poblacional del país. La economía de departamental se sustenta en las actividades agropecuarias, los servicios y la industria. La agricultura está altamente tecnificada y se destacan los cultivos de arroz, ajonjolí, sorgo, café, algodón, caña panelera, soya, maíz, tabaco, yuca y frutales. Los servicios son comerciales, de transporte y comunicaciones. La industria se desarrolla en la producción de alimentos, bebidas, jabones, textiles, cemento y algunos materiales para construcción. La minería esta poco desarrollada, se extrae petróleo y se explota oro en algunas zonas.

A continuación, se describen las principales actividades económicas de los municipios de área de estudio.

²⁷ Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Programa de Vivienda de Interés Rural. 2018. [Consultado 5 abril. 2019]. Disponible en <https://www.minagricultura.gov.co/Paginas/vivienda-rural.aspx>

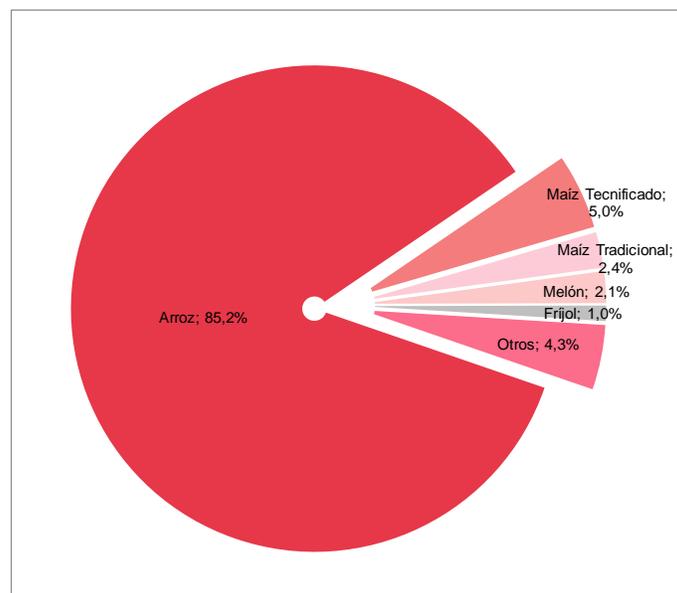
²⁸ Gobernación del Huila. Huila en contexto. En: Plan Huila 2050. [en línea]. Consultado el 7 de febrero de 2019. Disponible en: <http://planhuila2050.com/huila-en-contexto#seccion-63>

▪ Agricultura

De acuerdo con los datos presentados en la Base Agrícola Agropecuaria, entre los principales cultivos permanentes se encuentran el plátano, café, banano, maracuyá y la yuca. En los municipios del área de estudio se destaca como principal actividad productiva el cultivo y procesamiento de arroz, caracterizado por utilizar procesos tecnológicos mecanizados, aportando a la cadena productiva del arroz.

Los mayores niveles de producción de arroz se concentran en los municipios de Campoalegre, Palermo, Villavieja y Yaguará, que registraron 103.601, 56.831, 26,331 y 20.257 toneladas durante el 2017, mientras que, en el departamento del Tolima, se destaca en menor proporción la producción de maíz tecnificado y tradicional, que se concentra principalmente en los municipios de Neiva con 7.672 toneladas y Campoalegre con 5.141 toneladas. Así mismo, hay cultivos de melón, fríjol y otros cultivos como sorgo, tabaco, algodón, patillas, pimentón, pepino, y cebolla en menor proporción (Ver Figura 1-4).

Figura 1-4 Principales cultivos transitorios según producción en los municipios del área de estudio, 2017



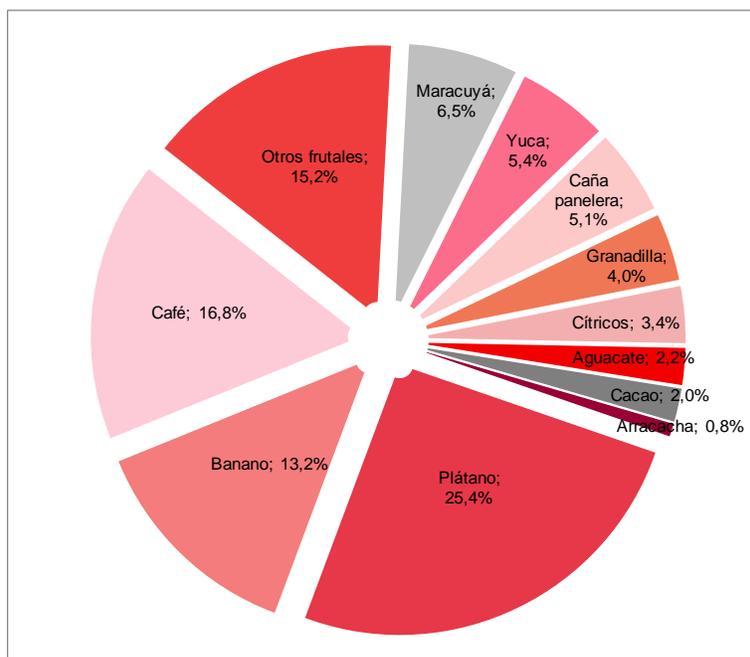
Fuente: Agronet, Adaptado por WSP, 2019.

Respecto a los cultivos permanentes y anuales, el más representativo por volumen de producción es el plátano con 19.989 toneladas (t), que equivale al 25,4% del total de la producción en el área de estudio, ocupando un total de 5.046 ha sembradas, de las cuales los municipios de Tello, Gigante y Neiva registran la producción más alta con 5.628 toneladas en total.

Al plátano, le sigue el cultivo de café, con 14.255 toneladas (18,8%) distribuidas en 11.612 ha, destacándose la producción del municipio de Neiva con 4.008 toneladas, Tello 3,244 toneladas y Palermo con 2.446 toneladas. Después se encuentra la siembra de banano cuya producción fue de 10.367 toneladas (13,2%), distribuidas principalmente en Tello, Neiva y Rivera. A continuación, en la se encuentra el maracuyá, cuya producción se concentra en los municipios de Rivera y Neiva y que equivalen al 6,5% de la producción total de cultivos permanentes del área de estudio.

Adicionalmente cabe señalar la producción de frutales como aguacate, badea, cholupa, curuba, guanábana, guayaba, gulupa, lulo, mango, papaya y piña, entre otras y que en conjunto suman el 18,6% de la producción de cultivos permanentes. En menor proporción se encuentra los cultivos de yuca, caña panelera, cacao, granadilla y arracacha. En la Figura 1-5 se muestran los principales cultivos permanentes en el área de estudio

Figura 1-5 Principales cultivos permanentes según producción en los municipios del área de estudio, 2017



Fuente: Agronet, Adaptado por WSP, 2019.

▪ Pecuario

Se destaca la producción avícola registrada en los municipios de Rivera y Palermo y que corresponde al 57,5% y al 24,3% del total de la producción avícola en el área de estudio, como se observa en la Tabla 1-14. Le sigue en importancia la producción avícola en los municipios de Neiva y Yaguará con el 11,0% y el 1,2% del total de la producción.

En cuanto al nivel de producción bovina, al interior del área de estudio, los municipios de Gigante (30.326), Villavieja (27.227), Tello (22.892) y Campoalegre (20.455) tienen la mayor población de ganado vacuno. Respecto a la actividad porcícola, en términos del número de cabezas en inventario se destaca la producción de los municipios de Neiva con el 30,18% del total de la producción del área de estudio, Campoalegre con el 11,94% y Gigante con el 8,24%.

Adicionalmente, existe la cría de otras especies pecuarias como caballos y ovejas, que presentan una baja participación a nivel regional. Según el número de cabezas reportadas sobresale la producción caprina de Villavieja como las más representativa en el área de estudio, como se observa en la Tabla 1-14.

Tabla 1-14 Producción pecuaria en el área de estudio

Departamento	Municipio	Aves	Bovinos	Porcinos	Caprinos
Huila	Aipe	6.760	9.775	4.125	47

Departamento	Municipio	Aves	Bovinos	Porcinos	Caprinos
	Campoalegre	3.570	20.455	5.635	32
	Neiva	161.270	12.201	14.248	89
	Palermo	354.910	8.691	4.272	63
	Rivera	840.650	11.830	2.118	137
	Tello	1.940	22.892	1.551	39
	Villavieja	4.210	27.277	1.649	1.002
	Yaguará	17.020	12.213	4.056	23
	Gigante	14.000	12.345	3.970	11
	Hobo	1.590	4.703	1.727	67
Neiva	Coyaima	0	11.240	860	29
	Natagaima	2.000	14.157	1.500	25
	Prado	0	17.168	885	26
	Purificación	1	15.319	1.580	18

Fuente. ICA, 2017.

▪ **Industria, comercio y servicios**

Con relación a las tendencias de los sectores industria, comercio y servicios se observa que la economía de la ciudad de Neiva está constituida por microempresas y nuevos emprendimientos, que se caracterizan por agruparse en el sector de servicios (comercio, educación, salud y alojamiento). La ciudad se destaca como el principal polo de desarrollo del departamento del Huila y de la región sur del país. Además, su posición estratégica, facilita la integración entre el sur y el centro del país y representa una oportunidad para establecer relaciones de oferta y demanda de servicios con la ciudad de Bogotá.

En los municipios restantes, en el sector terciario, sobresalen las actividades comerciales, de servicios y las turísticas, especialmente en los municipios de Gigante, Villavieja y Rivera. El sector comercial se desarrolla principalmente en las cabeceras municipales y se fundamenta en el intercambio de bienes de consumo diarios que abastecen la población urbana y rural, al tiempo que representa un canal estratégico para los productores locales y los distribuidores de bienes y servicios.

Las estrategias de competitividad y productividad de los municipios del área de estudio, acorde con la vocación productiva de la región le apuntan al fortalecimiento de la agroindustria entre las que se destacan: acuicultura, industrias, frutícola y hortícola, cafés especiales, arroz y cárnicos y lácteos. Así mismo, se apunta al fortalecimiento del turismo natural y cultural.

1.1.2.4 CONTEXTO FÍSICO Y BIÓTICO

A continuación, se describe el contexto físico biótico rente a las características geológicas, geomorfológicas, hidrológicas, tectónicas y bióticas.

1.1.2.4.1 Contexto geológico

La descripción geológica que se expone a continuación fue realizada con base en la revisión del capítulo de geología para Ingeniería presentado en la etapa de diseño, el Plan de Contingencia existente, el PGRMV, y la memoria explicativa de la plancha 345 de Servicio Geológico de Colombia SGC

La litología del sitio se definió con base a un marco local, que se obtuvo con base en los estudios realizados para el embalse; en dicho marco, se identificaron las siguientes unidades

- Formación Caballos: Fue definida originalmente por *Corrigan (1967)*, en el departamento del Tolima, y posteriormente, *Beltrán et al. (1968)*, implementó esta denominación en la subcuenca de Neiva, subdividiéndola en 3 unidades litológicas, en las cuales la parte superior e inferior consiste en arenitas, mientras que la zona media está compuesta por Shale con intercalaciones de arenitas.

En la zona de estudio, la Formación está compuesta por conglomerados y arenitas cuarzosas de grano fino en capas de espesor medio a grueso, tabulares y lenticulares, con intercalaciones de lodolitas silíceas grises. Las arenitas tienen estratificación cruzada y son granosoportados con granos subredondeados a subangulares, intercaladas con pequeños estratos de shales de color grises.

A continuación, se describen las unidades litológicas de esta formación en la zona de estudio:

- ✓ *Inferior*: Secuencia de arenitas líticas con alto contenido de cuarzo y cuarzofeldespatos de grano fino a grueso, con intercalaciones delgadas de lodolitas.
 - ✓ *Intermedio*: Capas gruesas de Arcillolita y lodolitas negras fosilíferas, intercaladas con capas de caliza y estratos delgados de arenisca.
 - ✓ *Superior*: Areniscas de grano grueso hasta conglomeráticos.
- Formación Villeta (Kv): Rocas originadas en el Cretáceo que componen principalmente de secuencias de arcillolitas negras, con alto contenido de microfósiles, restos de peces y piritas; así mismo, se encuentran intercalaciones de limolitas y calizas negras. Esta formación tiene un espesor aproximado de 600m en la subcuenca de Neiva.
 - Grupo Guadalupe (KTg): Rocas provenientes de Cretáceo superior y aflora en el extremo noroccidental del área de la central, hacia la margen izquierda del río Magdalena. Estratigráficamente está conformado por tres formaciones.

La formación Guadalupe Inferior está compuesta por calizas potentes, estratificaciones de lutitas y calizas. La Formación Guadalupe medio está conformado por lutitas arcillosas y silíceas con delgadas intercalaciones de lutitas, con espesor cercano a 150m. Finalmente, la Formación Guadalupe Superior es un conjunto sedimentario de areniscas con espesores entre 0.30m y 0.50m, con interestratificaciones de capas delgadas de lutitas y niveles fosfáticos.

- Formación Gualanday: Fue definida por *Scheibe*²⁹ (1934) y está compuesta por una secuencia de conglomerados, areniscas y arcillolitas. Esta formación tiene un alto porcentaje del contenido total a los conglomerados, los cuales son de color rojo o violeta, con clastos de jaspes de diversos colores, granitos y neises; por otra parte, las arcillolitas que conforman esta formación tienen tonos grises y azules.

²⁹ Notas Geológicas: Algunas anotaciones sobre la Formación Gualanday; Galvis, J., Tamara A. (1985)

Dada la variabilidad en las intercalaciones de arcillolitas y conglomerados, la Formación Gualanday se subdividió en tres grupos importantes que se describen a continuación:

- ✓ *Inferior*: Compuesta por conglomerados con clastos de cuarzo y chert. El tamaño de los clastos comprende desde grava fina hasta gruesa; por otro lado, la matriz es arenosa y arcillosa de la misma composición de los fragmentos gruesos. Se tienen intercalaciones menores de arcillolitas, limolitas y areniscas.
 - ✓ *Medio*: Conjunto de arcillolitas con pequeñas intercalaciones de limolitas, areniscas y lentes conglomeráticos.
 - ✓ *Superior*: Bancos potentes de conglomerados, que esta soportada por una matriz arenosa con fragmentos de la misma naturaleza; en menor proporción se tienen capas delgadas de arcillolitas y areniscas.
- Formación Guaduas: Esta formación proveniente del cenozoico, aflora en la margen izquierda del río Magdalena, en el bloque este de la falla Betania. Su presencia pudo originarse al hundimiento relativo del bloque que contiene esta formación, por efecto del sistema de fallas locales. Por otro lado, esta formación está constituida por lodolitas con algunos lentes y lentejones de areniscas con cambios faciales a limolitas.

Como tipos constituyentes de rocas se tienen las lodolitas rojizas que son las que predominan en la zona de la central, de rigidez moderadamente dura a dura; adicionalmente, presenta micro plegamientos, laminaciones y lisos de falla a causa de los esfuerzos de corte ocasionados por la falla Betania. Superficialmente presenta tonalidades cafés por la oxidación y efectos de la intemperización, los que, a su vez, generan una alteración importante. Así mismo, se destaca que estas rocas pierden resistencia al entrar al contacto con el agua, sin embargo, al secarse recuperan sus propiedades iniciales.

El segundo tipo de rocas presente en la zona son denominadas areniscas grises, y se encuentran en lentes y lentejones distribuidos aleatoriamente en el interior de las lodolitas rojizas. La granulometría de estas areniscas es de grano medio a fino, esporádicamente guijosas, en matriz limo-arcillosa, y tienen un nivel importante de fracturamiento por los esfuerzos de corte generados por la falla Betania, que en algunos sitios, destruyen la cementación y la cohesión de estas rocas.

- Formación Honda: Suprayace discordantemente la Formación Gualanday Superior. Por otro lado, se encuentra en el 50% del área de la central, sirviendo como fundación de los Diques 2,3,5 y 6, así como de un sector de los vertederos de compuertas y borde libre. Esta formación se dividió en tres miembros, que se exponen a continuación:
 - ✓ *Miembro Inferior*: Está compuesta por areniscas de grano grueso a medio, algunas veces conglomeráticas, principalmente hacia la base de los estratos, moderadamente duras, silíceas; se encuentran en matriz limo-arcillosa y morfológicamente conforma las serranías bajas, con longitud de varios kilómetros. Adicionalmente se encuentran areniscas de grano fino a muy

fino, moderadamente duras y masivas, en matriz arcillosa. Así mismo, presenta niveles de lodolitas blandas a moderadamente duras, de plasticidad importante y con susceptibilidad a la meteorización por agentes atmosféricos.

- ✓ *Miembro Medio:* Está conformado por un gran estrato conglomerático, friable a moderadamente duro, con presencia de gravas de 5cm de diámetro en promedio, en matriz areno-limosa y con permeabilidad muy baja. Por otro lado, se encuentran intercalaciones delgadas de lodolita, limolita y areniscas de grano fino a muy fino, moderadamente duras.
- ✓ *Miembro Superior:* Suprayace concordantemente a la formación Honda Medio, y se encuentra compuesta de una secuencia de areniscas de grano grueso a muy grueso, en ocasiones conglomeráticas, moderadamente dura a friable, en matriz areno-limosa, con intercalaciones de limolitas y lodolitas.

Para complementar esta litología, se utilizó la plancha 345 del SGC30, incluyendo las siguientes unidades geológicas

- Formación Saldaña (Js): Esta unidad data del Mesozoico y su nombre fue designado por *Cediel et al. (1980,1981)*. Está conformada por tobas vítreas a cristalinas y líticas, con ligeras variaciones texturales. En las tobas cristalinas hay predominancia de cristales de biotita, plagioclasa y anfíboles. Adicionalmente, se encuentran aglomerados volcánicos con algunas trazas de limolita tobáceas. Así mismo, en algunos sectores se encuentran diques andesíticos a dacíticos con fenocristales de hornblenda y plagioclasa y eventualmente pirita diseminada; con frecuencia se hallan asociadas venas de cuarzo.
- Grupo Olini (Ko): Fue introducido por *Petters (1954)* y extendido al Valle superior del Magdalena por *Hubach (1957)*. Posterior a esto, *De Porta (1965)* subdividió esta unidad en dos niveles silíceos, denominados Lidita Inferior y Lidita Superior, separado por un nivel de lutitas.

Esta formación se encuentra constituida por una secuencia de lodolitas silíceas con foraminíferos, limolitas blancas grisáceas, niveles de chert en el tope y en la base, mientras que en la parte media se encontraron intercalaciones de shales grises oscuros con arenitas de grano fino a medio. En la estratigrafía de esta unidad se han identificado además arenitas fosfáticas, restos de peces y conchas, cemento silíceo y calcáreo. Por otra parte, en la mayoría de los afloramientos, los niveles de liditas están fracturados y plegados.

- Formación La Tabla (Kt): Fue definida por *De Porta (1965)*, en el camino Piedras-La Tabla en el Departamento del Tolima, y consta de arenitas cuarzosas, predominantemente hacia la base de la formación, mientras que el tope se alterna con lutitas grises y la zona media consta principalmente de lutitas con pequeñas intercalaciones de arenitas.

³⁰ Plancha 345, Municipio Campoalegre

Detallando la litología de la formación, se tienen arenitas blancas, grises y amarillentas, cuarzosas a veces arcillosas de grano fino a medio, dispuestas en capas medias a muy gruesas, friables, con restos de peces, pellets fosfáticos y venas calcáreas; tiene estratificación plana paralela, laminación interna ondulosa con lentes claros y oscuros ricos en materia orgánica.

- Formación Seca (KPgs): Fue definida por *De Porta (1965)*, y su sección típica se halla en la quebrada Seca, al sur de Cambao (Cundinamarca); esta unidad aflora desde el sur oeste del campo petrolero Los Mongos, hasta el norte de Yaguará. Parte de esta unidad fue cubierta por las aguas del embalse.

Esta unidad está compuesta en la parte inferior por lodolitas rojizas y verdosas, con desarrollo de venillas de yeso entre capas. Por otro lado, en la parte superior se encuentran capas de arenitas líticas de grano fino a medio. Así mismo, están intercaladas por lentes de conglomerados de tamaño medio con cantos de chert y rocas volcánicas, en matriz arenosa, dispuesto en capas medias y gruesas con estratificación cruzada. También se tienen intercalaciones de arcillolitas rojizas y moteadas que varían entre 50 y 80cm de espesor.

- Formación Gigante (NgOgi): Definido por primera vez por los geólogos de la Richmond Petroleum Company (*Beltrán & Gallo, 1968*), refiriéndose a depósitos tobáceos que se encuentran en la quebrada

Finalmente, en la zona se identificaron depósitos cuaternarios distribuidos en la zona de interés conformado por depósitos aluviales, depósitos de terrazas y abanicos aluviales antiguos.

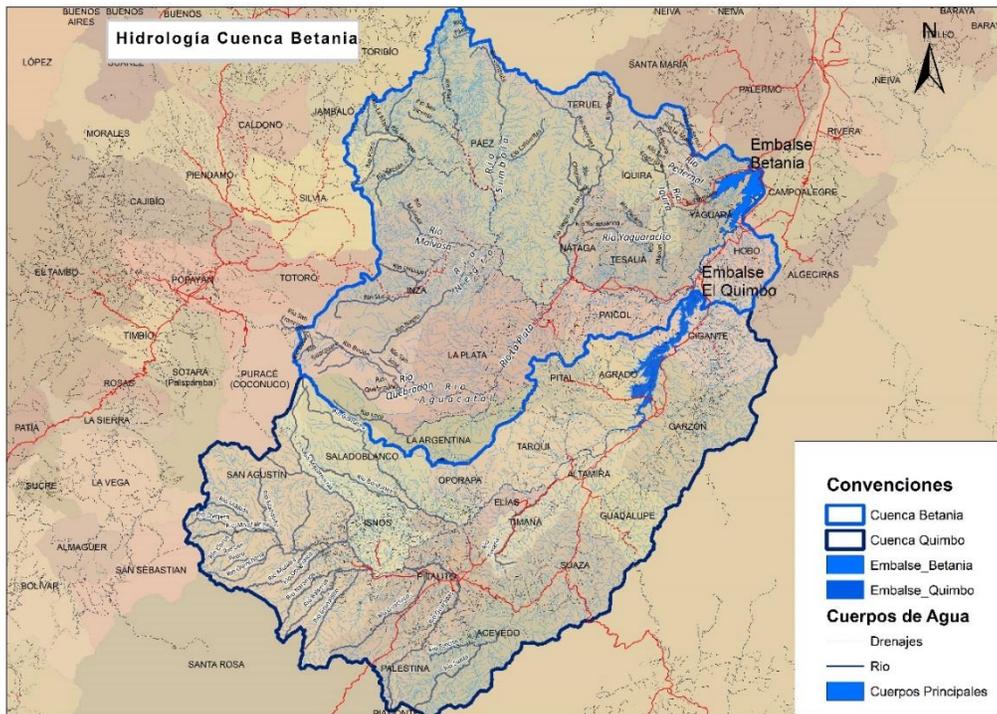
1.1.2.4.2 Contexto geomorfológico

Geomorfológicamente en el área de estudio se encuentran unidades formadas por procesos de tipo Fluvial, Denudacional y Estructural, predominando estos últimos. Las pendientes de las unidades de origen estructural mayoría son fuertemente inclinadas a ligeramente empinadas, las laderas tienen formas rectas a convexas y son de longitud corta a larga. Las unidades de origen fluvial corresponden a geoformas en general de relieve plano a ondulado asociados a la dinámica de los ríos y quebradas. Las unidades denudacionales son minoritarias en la zona, tienen relieve colinado, pendientes moderadamente inclinadas y laderas con forma cóncavo-convexa.

1.1.2.4.3 Contexto hidrológico

El área de influencia del embalse Betania, se encuentra ubicada dentro de la cuenca alta del río Magdalena, los principales tributarios del embalse son el Río Yaguará y el Río Magdalena, también recibe aporte de los ríos Páez, Suaza y Guarapas. El área de drenaje del embalse es de 13.572 Km² y cubre un área de 7400 ha. El caudal promedio descargado de la represa es de 407 m³/s.

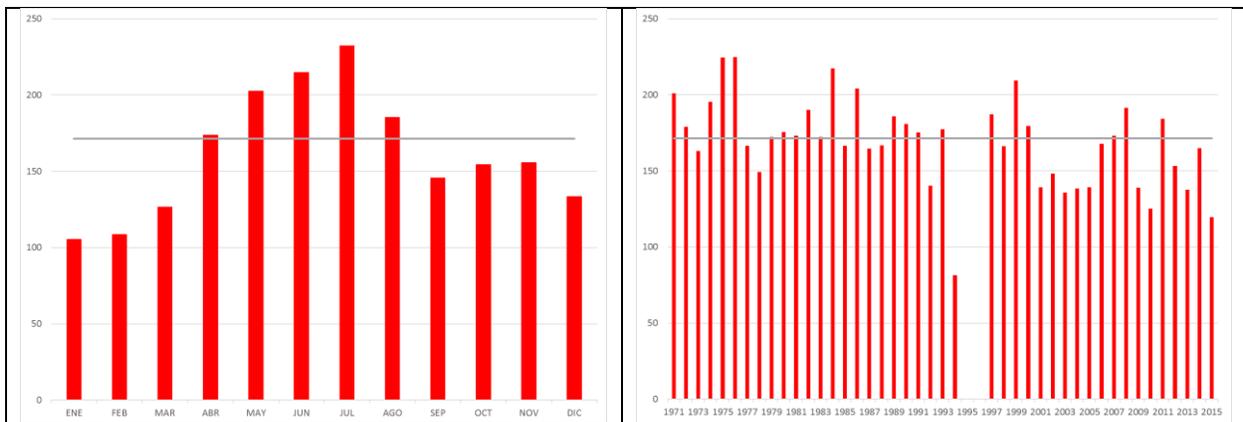
Figura 1-6 Hidrografía del área de influencia del embalse.

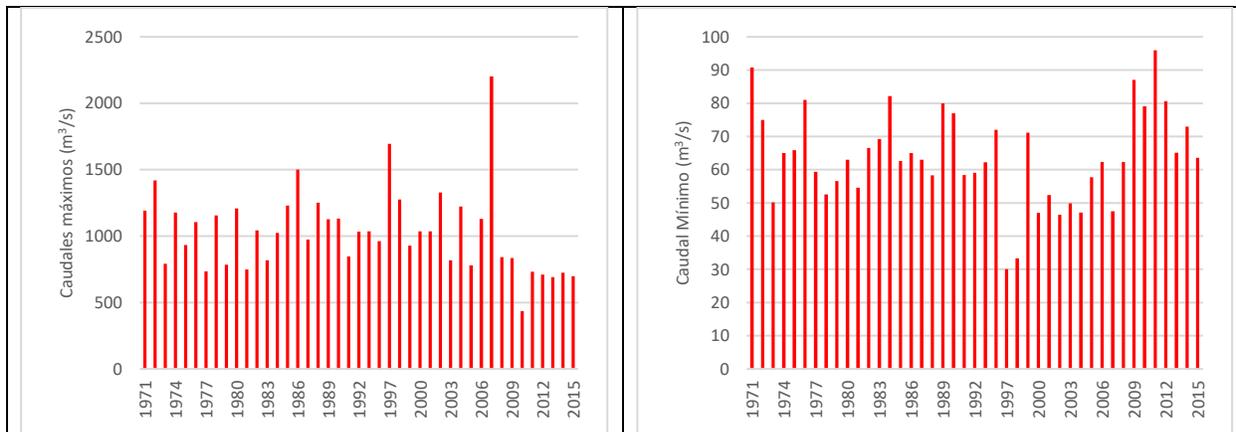


Fuente: WSP, 2019

Con respecto a los tributarios al embalse diferentes al Magdalena, se analizaron las series de caudales que aportan al embalse provenientes de los ríos Yaguará y Páez, obteniendo que los caudales se comportan de una manera unimodal, con un periodo húmedo entre abril y agosto (En el caso del río Páez, para el Yaguará el comportamiento es unimodal pero con el periodo húmedo entre noviembre y mayo), donde el mes de julio es el de mayor caudal, mientras que el más seco es el mes de enero. En la Figura 1-7, se presentan los caudales característicos del río Páez en la estación más cercana al embalse (Paicol Automática). Se puede observar, que esta cuenca ha aportado caudales superiores a 2000 m³/s.

Figura 1-7, Análisis de Caudales estación Paicol (río Páez)

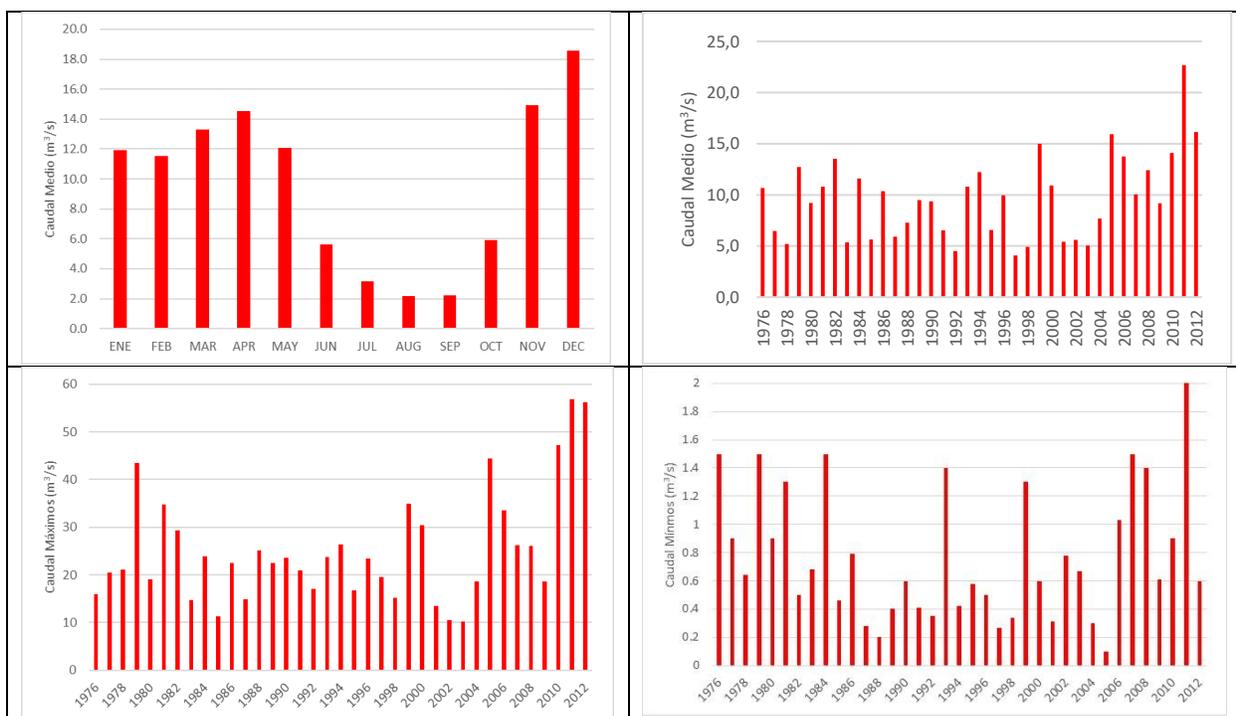




Fuente: WSP, 2019

Con respecto a los aportes del río Yaguará, se acudió a la información de la estación Hacienda el Jardín, con el fin de determinar el comportamiento de los caudales que llegan al embalse. Allí se puede observar que los caudales mayores se presentan en el mes de diciembre (Figura 1-8), mientras que los menores en agosto. Debido al tamaño de la cuenca, los aportes al embalse incluyendo las crecientes, son menores que los que provienen del Magdalena y el Páez.

Figura 1-8 Análisis de Caudales estación Hacienda el Jardín (río Yaguará)



Fuente: WSP, 2019

1.1.2.4.3.1 Sequia por déficit de agua

El Estudio Nacional del Agua (ENA, 2018) reporta los periodos secos extremos en el país, identificando las sequías meteorológicas a través del cálculo del índice estandarizado de precipitación (SPI, sigla en inglés

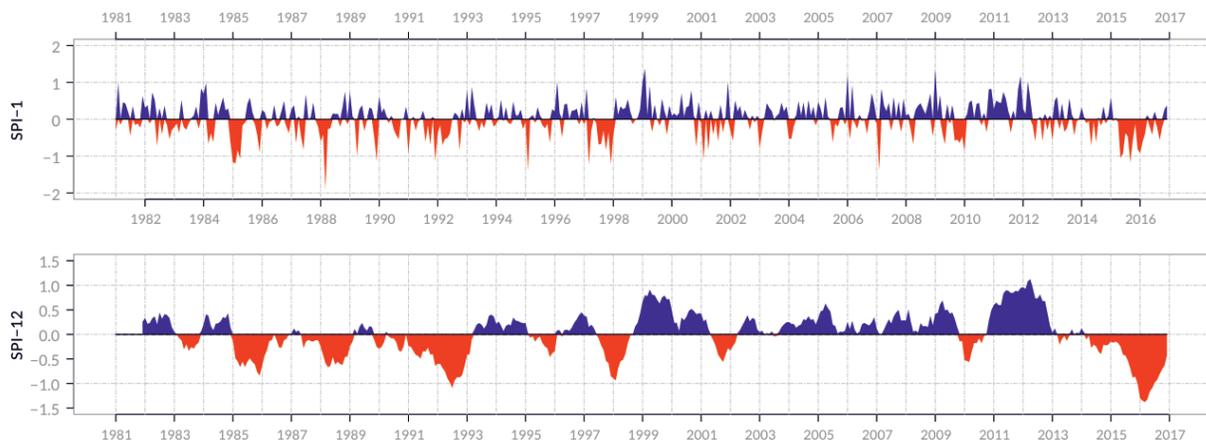
de Standard Precipitation Index) (OMM, 2012), el cual también es un indicador de los eventos húmedos. El SPI se calcula usando los datos estandarizados (normalizados) de series de precipitación acumuladas a diferentes escalas temporales (p. ej. 1, 3, 6, 12, 24, etc. meses), y clasificando los periodos mensuales como se indica en la Tabla 1-15³¹. Se resalta una larga duración y gran porcentaje de afectación en área en el periodo 2015–2016 (ver Figura 1-9), coincidente con un fuerte evento de El Niño (considerado como uno de los más fuertes en la historia registrada, con un valor promedio del ONI³² de +1,50), que llevó a temperaturas por encima de la media y una gran disminución en el nivel de varios ríos y embalses en el norte de Sudamérica.

Tabla 1-15 Categorías de índice estandarizado de precipitación

Rango	Categoría
$SPI \geq 2,00$	Extremadamente húmedo
$1,50 \leq SPI < 2,00$	Muy húmedo
$1,00 \leq SPI < 1,50$	Moderadamente húmedo
$-1,00 < SPI < 1,00$	Normal
$-1,50 < SPI \leq -1,00$	Moderadamente seco
$-2,00 < SPI \leq -1,50$	Muy seco
$SPI \leq -2,00$	Extremadamente seco

Fuente: ENA, 2018

Figura 1-9 Series mensuales promedio de SPI-1 y SPI-12 a nivel Nacional



Fuente: ENA, 2018

³¹ IDEAM. Estudio Nacional del agua, 2018.

³² (ONI, sigla del inglés para índice oceánico de El Niño)

De acuerdo con los mapas semestrales del SPI-12, en el periodo 2015-2016, se muestra una sequía severa prolongada, iniciando en mayo de 2015 sobre las regiones Caribe y Pacífico y propagándose sobre la cordillera de los Andes. Adicionalmente, iniciando el primer semestre de 2016 aparece la incidencia de otro fenómeno climático que inicia un periodo seco sobre la Amazonía, la cual afectó grandes porciones del territorio hasta mediados del 2016.

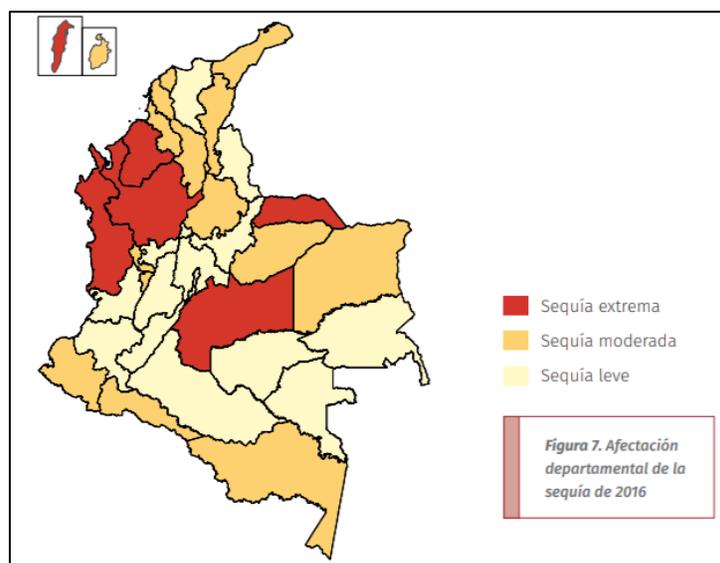
Las regiones más vulnerables que concentran déficit de agua en se localizan en el Caribe, y en las regiones cerca a grandes ciudades como Cali, Neiva, Bogotá, Montería, Cartagena, Tunja, Cúcuta y Bucaramanga, que presentan condiciones moderadas a deficitarias; no obstante, esto representa menos de un 3 % del territorio nacional³³.

El informe del IDEAM precisa que las áreas Magdalena-Cauca, Caribe y Pacífico están más expuestas a sufrir eventos extremos de sequía correlacionada con la fase cálida del ENSO, lo que corresponde a su alta variabilidad en oferta.

Para el segundo periodo del año 2017 la región sur de Colombia de acuerdo con información del IDEAM y reportes de medios de comunicación Nacional era una de las zonas con más sequía en el país. En el Alto Magdalena, parte del Huila y algunas zonas de Tolima y Valle del Cauca se registraron pocas precipitaciones, escasa nubosidad y alto nivel de radiación y temperatura presentando alerta naranja en el mes de septiembre.

Adicionalmente, se revisaron las sequías históricas de la región, en donde se observa que estas no han sido muy severas. En la Figura 1-10, se muestra la afectación durante 2016, en donde se presentó una sequía categorizada como leve. Es importante también destacar que, a pesar de la ausencia o disminución de la precipitación, el embalse actúa como elemento de regulación, lo cual altera el efecto de la amenaza por este fenómeno.

Figura 1-10, Afectación por sequía durante 2016



Fuente: IDEAM, adelanto ENA 2018

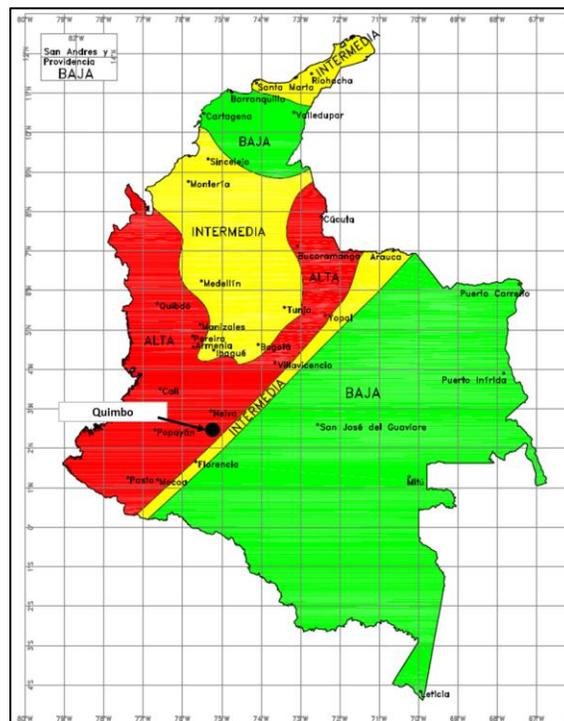
³³ IDEAM. Op cit. p.77

1.1.2.4.4 Contexto tectónico

1.1.2.4.4.1 Tectónica regional

El territorio colombiano se encuentra localizado en la parte suroccidental del continente americano, en la zona del Cinturón del Pacífico, donde se encuentra sometido a la confluencia de tres placas tectónicas; estas son la placa Caribe, la placa de Nazca y la placa suramericana. Estas se encuentran en constante dinamismo y son las que producen los principales eventos sísmicos y volcánicos del país. Para el estudio de la amenaza sísmica de las diferentes regiones del país se destacan tres tipos de amenaza. La amenaza sísmica alta donde habita el 39.7 % de la población, la amenaza intermedia con un 47.3% y la amenaza baja con un 13 % de los habitantes. Figura 1-11 se pueden observar la división de Colombia según el nivel de amenaza sísmica, donde se destaca que la zona de la central se encuentra en Amenaza Sísmica Alta.

Figura 1-11 Mapa de Amenaza Sísmica de Colombia



Fuente: Estudio de Amenaza Sísmica de Colombia, AIS 2009³⁴

La Placa Caribe tiene un movimiento E-SE, mientras que la Placa de Nazca tiene un movimiento en dirección al Este y el norte de los Andes corresponde a un bloque con movimiento al NE, respecto a una Placa Suramericana estática. Esta convergencia de placas en el sector NW de Suramérica crea una zona de deformación continental definida por cabalgamientos en dirección NE-SE y fallas de rumbo (*Corredor, 2003*³⁵ y *Cortes et al 2005*³⁶).

³⁴ Asociación Sísmica Colombiana. Estudio de Amenaza Sísmica de Colombia 2009. Comité AIS-300: Amenaza Sísmica. Bogotá: 2010, 226p.

³⁵ Corredor, F. 2003. Seismic strain rates and distributed continental deformation in the northern Andes and three-dimensional seismotectonics of northwestern South America. *Tectonophysics*, 372: 147-166.

³⁶ Cortés, M., and Angelier, J. 2005. Current states of stress in the northern Andes as indicated by focal mechanisms of earthquakes. *Tectonophysics*, 403: 29-58.

La historia tectónica de Colombia corresponde a diferentes fases de deformación, que originaron el levantamiento de tres cordilleras, La cordillera Oriental, Central y Occidental (Cortes et al 2005³⁶). El basamento colombiano puede ser dividido en tres zonas separadas por Mega-Suturas al E el Macizo de Guyana, La provincia central definida por las cordilleras Oriental, Valle del Magdalena y la parte Este de la Cordillera Central y al Oeste afloran rocas con afinidad de la corteza oceánica acrecionada al continente (Cooper et al. 1995³⁷). La falla de Romeral es el límite entre rocas de afinidad continental al Este y rocas de afinidad oceánica al Oeste (Barrero, 1979³⁸; Gómez, 2001³⁹). La acreción de bloques de corteza oceánica de edad Cretácico Superior dan origen al levantamiento de la Cordillera Occidental (Barrero, 1979). Diferentes fases de deformación han actuado en la provincia central, los pulsos de levantamiento de la Cordillera Oriental inician en el Paleógeno y finalizan en el Plioceno Pleistoceno con una fase de mayor deformación, caracterizada por la inversión de antiguas fallas normales (Cooper 1994, Cortes et al 2005).

1.1.2.5 CONTEXTO BIÓTICO

El entorno de la Central Hidroeléctrica Betania (que incluye el embalse) están constituidos por áreas de bosque seco tropical, una importante formación que presenta una cobertura boscosa continua y que se distribuye entre los 0-1000 m de altitud; presenta temperaturas superiores a los 24° C (piso térmico cálido) y precipitaciones entre los 700 y 2000 mm anuales, con uno o dos periodos marcados de sequía al año⁴⁰. Este tipo de bosque es propio de tierras bajas con suelos bien drenados y en Colombia se localiza en seis regiones entre las que se encuentra la del valle interandino del río Magdalena localizado en las partes planas del departamento del Huila⁴¹.

La formación vegetal del Bosque seco tropical está compuesta por árboles, arbustos, plantas trepadoras, epífitas y hierbas, que se desarrollan en regiones tropicales de piso cálido, donde anualmente las lluvias se concentran en uno o dos períodos cortos —mayo a junio y octubre a noviembre—, mientras que el resto del año prevalecen condiciones de sequía. La característica más sobresaliente de estos bosques es que la mayor parte de su vegetación arbórea pierde el follaje durante una parte del año, a raíz de lo cual cambia radicalmente la apariencia del paisaje⁴². De acuerdo al documento zonas de vida del Huila elaborado por la CAM Las especies arbóreas y arbustivas que predominan en este tipo de bosque son Payande (*Pithecellobium dulce*) Pela (*Acacia farnesiana*), Caracolí (*Anacardium excelsum*), Igua (*Albizia guachapele*), Piñon de oreja (*Enterolobium cyclocarpum* Griseb), Samán (*Samanea samán*), Sembè (*Xyloptia americana*), vara santa (*Triplaris americana* L.); caracterizándose por estar adaptadas al déficit de agua con estrategias como la pérdida de hojas durante la época de sequía, modificaciones físicas en su estructura como hojas compuestas pequeñas, cortezas de troncos lisas y presencia de agujones o espinas⁴³. Sin embargo, las condiciones de suelos relativamente fértiles de estas áreas han permitido desde épocas precolombinas el desarrollado de actividades agrícolas, ganaderas y mineras sin ningún tipo de control

³⁷ Cooper, M. A., Addison, F. T., Álvarez, R., Coral, M., Graham, R. H., Hayward, S. H., Martínez, J., Naar, J., Peñas, R., Pulham, A. J., y Taborda, A. 1995. Basin development and tectonic history of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 79 (10): 1421-1443.

³⁸ Barrero, D. (1979). Geology of the Central Western Cordillera, West of Buga and Roldanillo, Colombia. Publicaciones Geológicas Especiales del Ingeominas. Vol. 4. 1-75pp. Bogotá.

³⁹ Gómez, E. (2001). Tectonic controls on the late Cretaceous to Cenozoic sedimentary fill of the Middle Magdalena Valley Basin, Eastern Cordillera and Llanos Basin, Colombia. Cornell university. PhD thesis. Vol 1. 616pp. New York.

⁴⁰ Humboldt, I. A. (1998). El Bosque Seco Tropical (Bs-T) en Colombia. programa de inventario de la biodiversidad, Grupo de Exploraciones y Monitoreo Ambiental GEMA.

⁴¹ CIAT. (2011). Memoria técnica, medio natural del Departamento del Huila.

⁴² Merlano, J. M. (2006). Bosque Seco Tropical de Colombia. Cali, Colombia: Editorial banco de Occidente

⁴³ Humboldt, I. A. (1998). Ibid.

provocando que su cobertura original este prácticamente agotada y que actualmente las áreas de bosques originales estén cubiertas por grandes extensiones de pastizales y matorrales⁴⁴.

En Colombia originalmente este ecosistema cubría más de millón y medio de hectáreas las cuales existían a lo largo de una franja adyacente al río Magdalena, sobre llanuras de desborde y sectores de terrazas en pendientes cortas y fuertes⁴⁵, actualmente según Etter citado por Humboldt 2012 se estima que la cobertura del bosque seco del país es del 1,5 % de su cobertura original. Dicho remanente estaría presente en áreas de intenso uso agropecuario, como es el caso de la región Caribe y los valles interandinos (Cauca y Magdalena); Merlano⁴⁶ expresa que quedan entre 50 y 200 hectáreas concentradas en la parte norte del departamento del Tolima y otros fragmentos mucho más pequeños, riparios y aislados, que no sobrepasan una hectárea en terrenos muy inclinados y a lo largo de cañadas de fincas ganaderas en los departamentos de Cundinamarca, Caldas, Tolima y Huila. Sin embargo, en el país no existen datos recientes acerca del porcentaje de cobertura real de estos bosques que determinen aras exactas.

Debido al grado de intervención que ha sufrido durante décadas es uno de los ecosistemas más amenazados en el país, situación que pone en peligro la diversidad única de plantas y animales que se han adaptado a condiciones de estrés hídrico y que presentan altos niveles de endemismo⁴⁷

Los programas de reforestación desarrollados por Emgesa en áreas aledañas al Embalse y en la carretera que conduce de Yaguará a Neiva han propiciado de manera importante al establecimiento de una cobertura vegetal de gran porte contribuyendo con el mejoramiento paisajístico, ambiental y ecológico de la región⁴⁸.

La existencia del embalse ha propiciado un aumento de la humedad en las zonas de menor pendiente, lo cual ha permitido el desarrollo de vegetación de porte alto; lo anterior se expresa tomando como base de observación la vegetación actual, con respecto a lo reportado para épocas anteriores⁴⁹.

En la Tabla 1-16 y Figura 1-12 se presentan las coberturas vegetales presentes en el entorno de la Central Hidroeléctrica de Betania.

Tabla 1-16 Coberturas presentes en el entorno de la central.

CODIGO	COBERTURA	AREA_HA	%
322	Arbustal	1551,7	3,9%
314	Bosque de galería y ripario	284,4	0,7%
212	Cereales	2346,9	5,9%
514	Cuerpos de agua artificiales	6004,1	15,1%
321	Herbazal	3671,1	9,2%
242	Mosaico de pastos y cultivos	1085,8	2,7%
232	Pastos arbolados	81,2	0,2%
233	Pastos enmalezados	1364,6	3,4%
231	Pastos limpios	6837,7	17,2%
511	Ríos (50 m)	163,0	0,4%

⁴⁴ Humboldt, I. A. (1998). Ibid.

⁴⁵ Merlano, J.M. Ibid

⁴⁶ Merlano, J. M. (2006). Bosque Seco Tropical de Colombia. Cali, Colombia: Editorial banco de Occidente.

⁴⁷ Humboldt, I. A. (1998). Ibid.

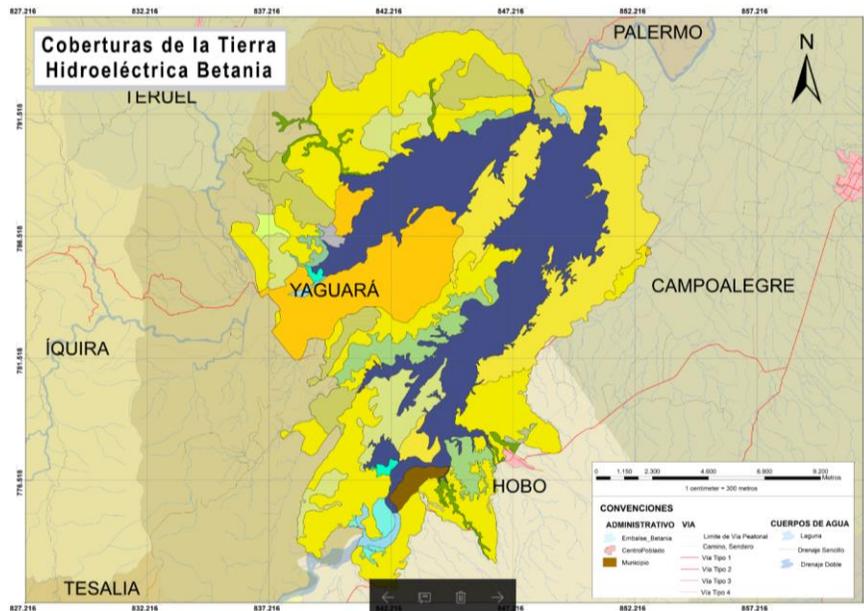
⁴⁸ EMGESA. Plan de manejo ambiental de Betania en Operación. Central hidroeléctrica de Betania. 2018

⁴⁹ Ibid.

CODIGO	COBERTURA	AREA_HA	%
111	Tejido urbano continuo	60,5	0,2%
413	Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	63,4	0,2%
331	Zonas arenosas naturales	174,2	0,4%
131	Zonas de extracción minera	0,0	0,0%
411	Zonas Pantanosas	143,1	0,4%
	TOTAL	39.792	100,0%

Fuente: WSP, 2019

Figura 1-12 Coberturas de la tierra presentes al entorno de la Central Hidroeléctrica de Betania



COBERTURAS DE LA TIERRA	
	Cuerpos de agua artificiales
	Ríos (50 m)
	Vegetación acuática sobre cuerpos de agua
	Zonas pantanosas
	Zonas arenosas naturales
	Arbustal
	Herbazal
	Bosque de galería y/o ripario
	Mosaico de pastos con espacios naturales
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales
	Mosaico de pastos y cultivos
	Pastos enmalezados
	Pastos arbolados
	Pastos limpios
	Cereales
	Zonas de extracción minera
	Tejido urbano continuo

Fuente: WSP, 2019

En cuanto a la fauna terrestre el área de operación del embalse de Betania, corresponde a un sistema sometido a fuerte intervención humana debido a la capacidad productiva de sus suelos; esta situación genera la instalación de sistemas productivos con alto nivel de transformación de paisaje que incluye la eliminación de los sistemas boscosos, así como de los estadios iniciales y tardíos de la sucesión, los cuales representan los hábitats disponibles para la fauna silvestre. Además, la caza forma parte de las actividades cotidianas de las personas (suministro de proteína, comercialización de pieles) y ejerce fuerte presión sobre la fauna

silvestre, de tal forma que la combinación de la caza con el alto grado de transformación de los ecosistemas acarrea la desaparición de numerosos grupos de organismos en sectores sometidos a tan alta presión.

El listado de especies de mamíferos reportados y observados es pequeño y en algunos casos se relaciona con organismos de caza menor como el borugo (*Agouti paca*), el ñeque (*Dasyprocta sp*) y el tigrillo (*Felis spp*). Se observaron zarigüeyas (*Didelphys marsupialis*), ratones de campo (*Orizomys sp*), conejos silvestres (*Silvilagus spp*) y murciélagos (Familia Phyllostomidae). Los armadillos (*Dasypus sp*) y los tigrillos son reportados como organismos que habitan en el sector de Tierradentro en donde la transformación de los ecosistemas es menor. Los reportes sobre reptiles también son escasos, se observaron iguanas (*Iguana iguana*) lagartos pertenecientes al género *Anolis* los cuales presentan un amplio rango de distribución.

Las aves (informe realizado por la UMA) aprovechan las áreas reforestadas y los rastrojos altos para anidar y alimentarse, en los sectores aledaños al embalse se observan grupos característicos de humedales (*Jacana jacana*, *Egretta alba*) que utilizan las orillas para forrajear en donde son abundantes los crustáceos (pulgas de agua) y moluscos (caracoles), otras como el Martín pescador y las gaviotas aprovechan las zonas de aguas abiertas para pescar.

Los loros, cardenales y halcones se ubican cerca a la casa de máquinas en donde la presión de las personas es menor, por otra parte, la presencia de aves de presa (familia Accipitridae y Falconidae), refleja la abundante oferta de mamíferos y aves pequeñas⁵⁰.

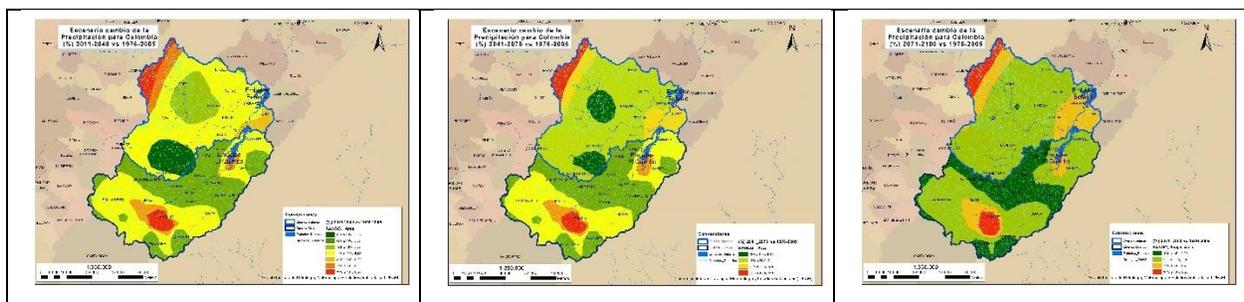
El recurso hidrobiológico hace parte de la actividad económica más importante en el Embalse de Betania alrededor de 200 pescadores basan el sustento familiar en esta actividad, según el plan nacional para el desarrollo de la acuicultura sostenible de Colombia, 2014, la represa Betania es el principal aporte a la producción piscícola nacional.

1.1.2.6 CONTEXTO DE CAMBIO CLIMÁTICO

Según el análisis nacional sobre cambio climático, el 21.3 % del territorio presenta una sensibilidad muy alta y alta, bien sea por baja gestión en la calidad de vida de los habitantes, o una alta presión de transformación antropogénica. La región del Huila se encuentra en el grado de sensibilidad media.

A continuación, se presentan los cambios esperados para la precipitación debido a los efectos del cambio climático. En la Figura 1-13, se presentan los cambios en la precipitación, para los diferentes escenarios presentados por el IDEAM, en ellos se puede concluir que se espera un aumento en esta variable cercano al 20 %.

Figura 1-13 Cambios en la precipitación debido a efectos del cambio climático - Escenarios 2011-2044, 2041-2070 y 2070-2100.

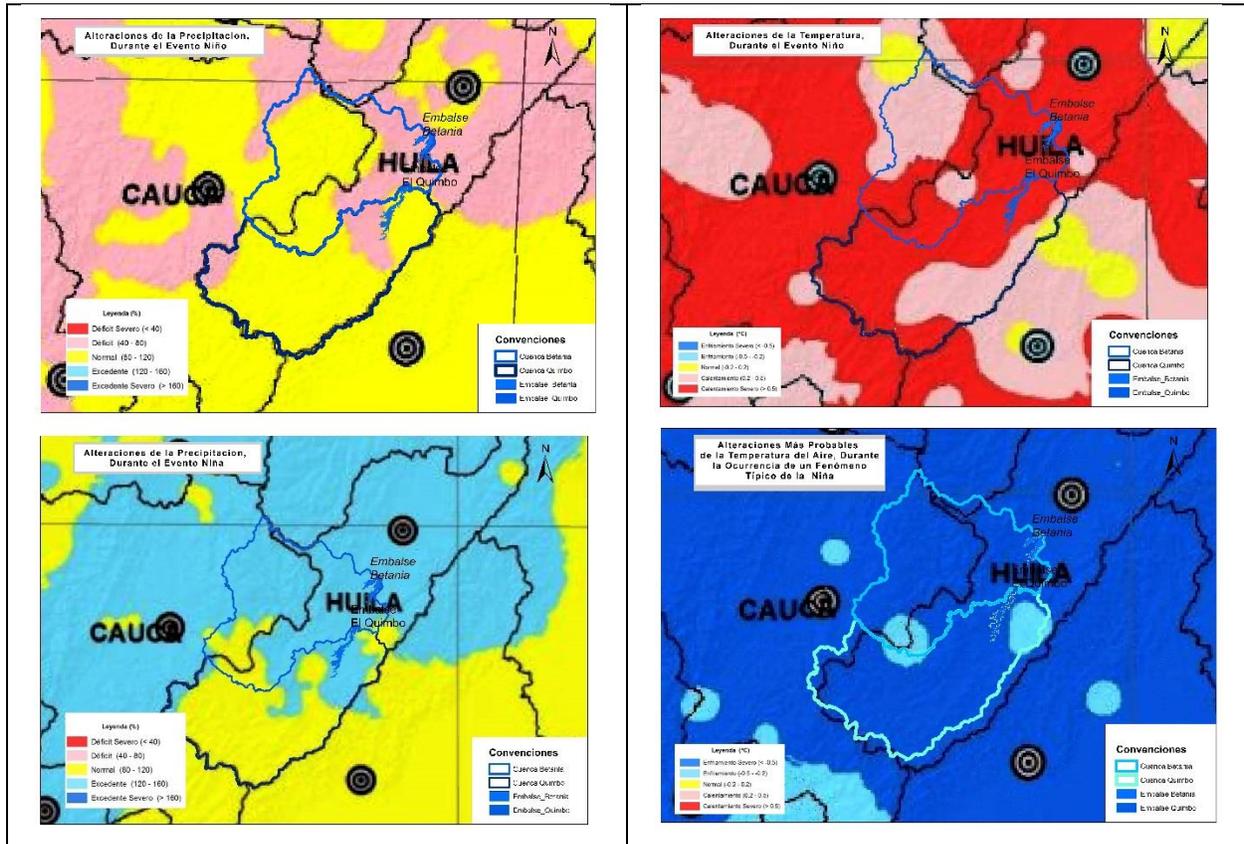


Fuente: WSP, 2019 (Adaptado de IDEAM)

⁵⁰ Ibid.

Con respecto a las alteraciones debido a la variabilidad climática, se observaron las correspondientes a las presentadas durante periodos de fase seca y húmeda del ENSO. A continuación, se muestran los resultados en la cuenca del embalse de Betania. En general, durante un evento Niño, se presenta un ligero aumento de la temperatura y un descenso en la precipitación, lo opuesto a lo esperado durante el periodo niña. Esto es coherente con lo que pasa en la mayoría del país durante este tipo de eventos. (Ver Figura 1-14).

Figura 1-14, alteraciones en la precipitación y temeperatura durante los envenos de ENOS



Fuente: WSP, 2019 (Adaptado de IDEAM)

De acuerdo con los escenarios de cambio climático 2011 – 2040 – 2070 – 2100 las precipitaciones se incrementarán en 20% con periodos de lluvia. Y también se esperan periodos secos más intensos. EL aumento en las precipitaciones sobre la cuenca, generaría aumentos del volumen embalsado y posiblemente aumentos en la frecuencia de las descargas por el vertedero. La zonificación de amenaza no se modificaría sino tendría efectos en los daños y pérdidas acumuladas.

El área de estudios para la evaluación del riesgo de la Central al Entorno por sequía hidrológica tendrá un mayor impacto debido al aumento de temperatura entre 0,5°C lo que implicará un aumento de daños y pérdidas debido al cambio de las condiciones climáticas de toda la región. Para escenarios futuros de variabilidad climática asociados a fenómenos ENOS las precipitaciones, caudales y descargas tienden a aumentar para el fenómeno de la niña y a disminuir con el fenómeno del niño en relación con los datos históricos de variabilidad climática.

1.1.3 CONTEXTO INTERNO

De acuerdo con el decreto 2157 de 2017, el contexto interno hace referencia a las condiciones intrínsecas de la central. Para ello se establece la misión, objetivos y estrategias, estructura organizacional y sus sistemas e instrumentos de operaciones relacionadas a los riesgos laborales, control de calidad, responsabilidad social y la descripción detallada de sus procesos y procedimientos de operación.

1.1.3.1 SISTEMAS E INSTRUMENTOS DE OPERACIÓN

1.1.3.1.1 Sistemas de riesgos laborales

EMGESA empresa del grupo Enel, desarrolla sus actividades de Generación y Comercialización de energía eléctrica, comprometida con la seguridad y la Salud de sus empleados y contratistas, la protección del medioambiente y la satisfacción de sus clientes. Para lograrlo ha establecido acciones encaminadas al mejoramiento continuo, prevención de los riesgos y de la contaminación, cumpliendo los requisitos legales aplicables y otros que haya suscrito, garantizando los recursos necesarios, el desarrollo integral de sus trabajadores y la rentabilidad de sus accionistas.

EMGESA cuenta con los procedimientos internos encaminados a la preservación de la seguridad y la salud en el trabajo que se describen a continuación:

- Política N° 290: Directrices Generales para la Seguridad, Salud, Medio Ambiente y Calidad
- ANEXO 3.C IO1089: Requerimientos de seguridad y salud laboral para especificaciones técnicas en contratos clasificados como nivel de riesgo II.
- PL99. Norma general para atención de crisis e incidentes.

1.1.3.1.2 Sistemas de control de calidad

EMGESA hace un aseguramiento de la calidad mediante el procedimiento interno IN967 plan de calidad en el cual se le hace control a todos sus contratistas sobre temas como:

- a) Actividades de la Obra y/o Servicio Contratado
- b) Plan de control de calidad
- c) Informes
- d) Reuniones
- e) Competencias del personal
- f) Control de Dispositivos de Medición
- g) Medición y Seguimiento.

De tal forma que se garanticen que todos los trabajos que se realicen dentro de la central se hagan con altos estándares de calidad.

1.1.3.1.3 Responsabilidad social y otros

EMGESA comprometida con la sostenibilidad ambiental define dentro de sus procesos internos manejos ambientales los cuales están estipulados en el procedimiento PC 216 requisitos ambientales para la contratación de viene y servicios en el cual se exigen controles para las empresas colaboradoras.

1.1.3.1.4 Descripción de los componentes o áreas/actividades de la Central hidroeléctrica.

A continuación, se describe cada uno de los componentes principales de la Central Betania.

1.1.3.1.5 Componente de embalse y presa

1.1.3.1.5.1 Túneles de desviación

Para la desviación del río Magdalena durante la etapa de construcción, se hicieron dos (2) túneles, de 10 m de diámetro y 606 m de longitud cada uno, recubiertos en concreto reforzado (ver Fotografía 1-1) Para el llenado del embalse, uno de estos túneles fue sellado con concreto simple y el otro se adecuó para utilizarse como compuerta de fondo. En la Figura 1-15 se presenta el esquema del diseño de estas obras.

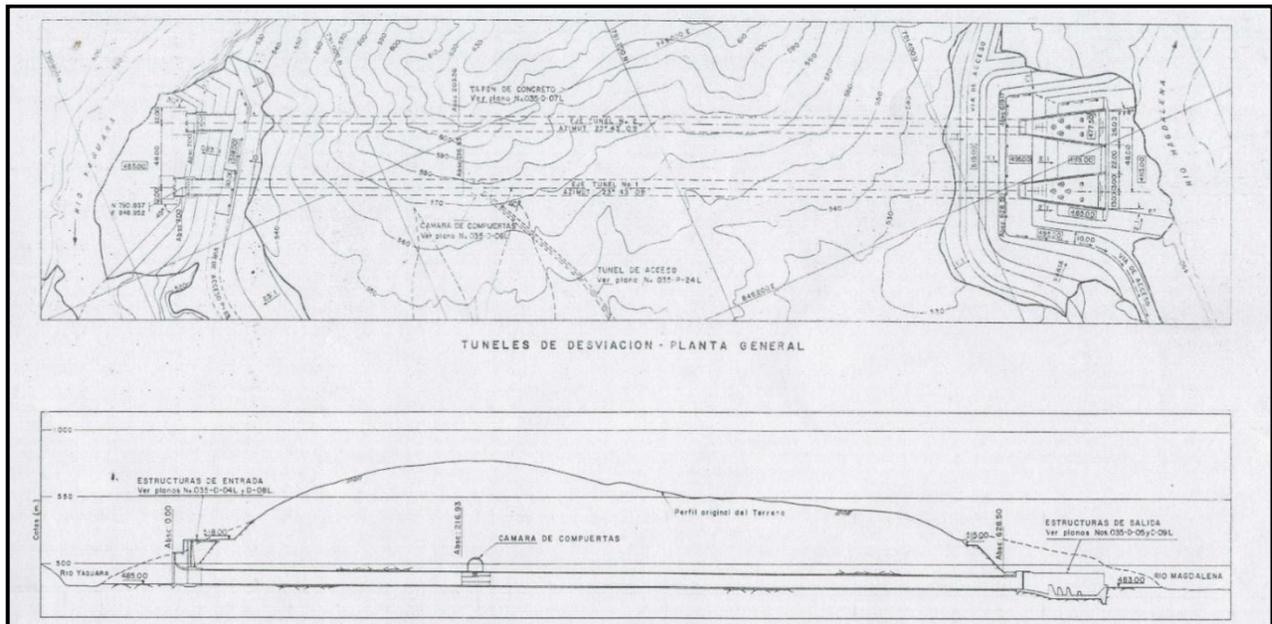
Fotografía 1-1 Túneles de desviación



Fuente: Emgesa, 2018⁵¹.

⁵¹ EMGESA. 2018. Plan de manejo ambiental de Betania en Operación. Central hidroeléctrica de Betania, Capítulo 2.

Figura 1-15 Esquema del diseño de los túneles de desviación



Fuente: Emgesa, 2018⁵²

1.1.3.1.5.2 Presa principal

Es una estructura de lleno homogéneo, compactado, con una altura máxima de 91 m, una longitud de 680 m, una base promedio de 600 m y 10 m de corona, para un total de 7 millones de m³ de material, cuya base se encuentra entre las cotas 500 y 474 msnm y su cresta en la cota 571 msnm; esta estructura está fundada sobre rocas sedimentarias de la formación Gualanday Superior, constituidas por areniscas y conglomerados, mejoradas con inyecciones de cemento. En la Fotografía 1-2 se puede apreciar una vista general de la presa, aguas arriba.

⁵² Ibidem, Pag 2-2.

Fotografía 1-2 Vista general de la presa principal

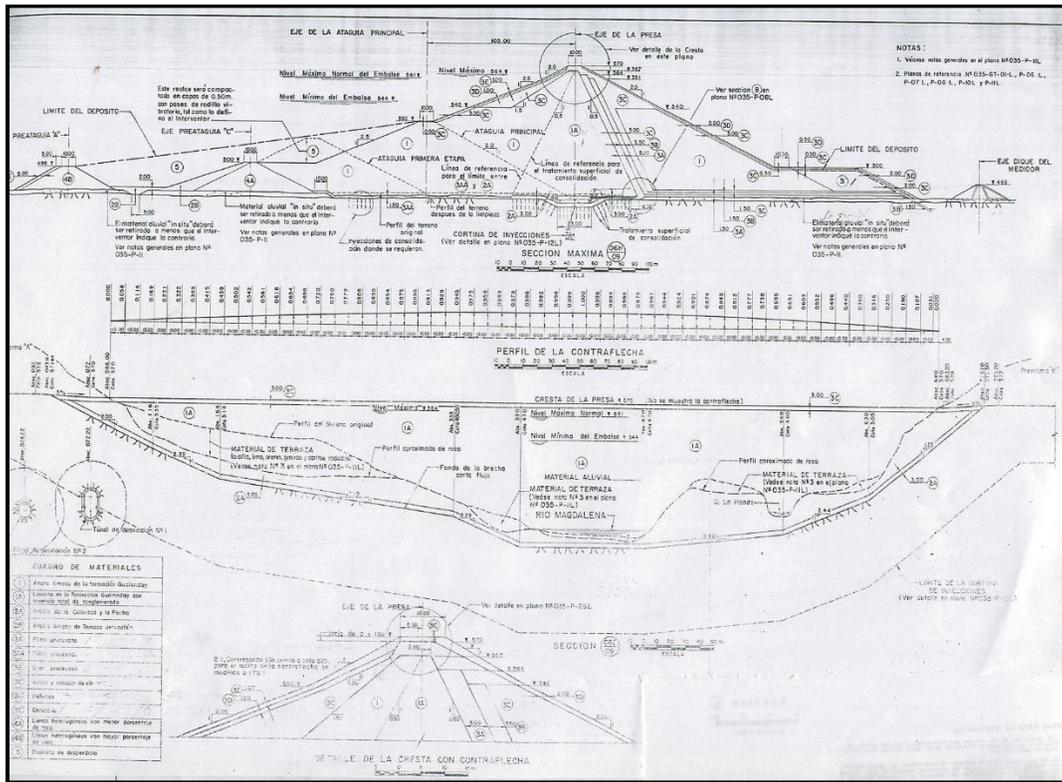


Fuente: WSP, 2019

En la Figura 1-16 se presenta un esquema del diseño de esta obra. Los taludes que se adoptaron son 2.5 horizontal por 1.0 vertical para la cara aguas arriba y 2.0 horizontal por 1.0 vertical para la cara aguas abajo (ver Fotografía 1-3); las características de resistencia de los materiales utilizados en su construcción se presentan en la Tabla 1-17.

Debido a que la erosión superficial puede afectar la arena limosa (arenisca de la Formación Gualanday), que es el principal componente de la presa, se dispusieron capas de gravas de río y enrocado en el talud de aguas arriba y gravas arenosas de río en el talud aguas abajo (ver Fotografía 1-3), con espesores variables.

Figura 1-16 Esquema del diseño de la presa



Fuente: Emgesa, 2018⁵³

Fotografía 1-3 Taludes de la presa principal, aguas abajo.



Fuente: Emgesa, 2018⁵⁴

Tabla 1-17 Características de resistencia de los materiales de la presa

Material	Localización	Cohesión (Kg/Cm ²)	Fricción (°)
Arenisca Gualanday	Lleno compactado	0	35

⁵³ Ibidem, Pag 2-4

⁵⁴ Ibidem, Pag 2-5

Material	Localización	Cohesión (Kg/Cm ²)	Fricción (°)
Arcilla la Colorada	Capa impermeabilizante entre la fundación y la presa	0.5	0
Arena y Cascajo	Filtro Chimenea	0	38

Fuente: Emgesa,2018⁵⁵

1.1.3.1.5.3 Diques

El número total de diques es seis (6), cinco (5) en el costado oriental y uno (1) en el occidental, sumando en total una longitud de 3.5 Km; la cota de la corona y la altura promedio de cada uno de los diques se presentan en la Fotografía 1-4 se presenta una panorámica del dique 1.

Fotografía 1-4 Panorámica del dique 1



Fuente: Emgesa,2018⁵⁶

Tabla 1-18 Cota de las coronas y altura de los diques

Dique	Cota De La Corona (Msnm)	Altura Promedia(M)
1	570	82
2 y 3	568	20
5	568	14
6	568	18
7	568	6

Fuente: Emgesa,2018⁵⁷

1.1.3.1.5.4 Vertedero de compuertas o vertedero principal

El vertedero de compuertas (ver Fotografía 1-5) está construido en concreto, provisto de cuatro (4) compuertas radiales de acero (Ver características de la Tabla 1-18); el esquema del diseño se presenta en la Figura 1-17. La longitud total de la estructura es aproximadamente 350 m y consta principalmente de un canal de aducción al rebosadero, la cresta, la rápida, un pozo de impacto y un canal de conducción final que descarga las aguas al río Magdalena (ver Fotografía 1-6). El canal de aducción tiene 106.5 m de ancho en

⁵⁵ Ibidem, Pag 2-5

⁵⁶ Ibidem, Pag 2-5

⁵⁷ Ibidem, Pag 2-6

la cota 541.0 msnm y terraplenes construidos mediante un afirmado hasta la cota 600 msnm, antes de llegar a las compuertas tiene un enrocado y una losa de protección; la cresta sube hasta la cota 546.60 msnm La rápida del rebosadero llega hasta la cota 531.26 msnm y recorre una longitud de 200 m, obteniéndose una pendiente de 8.33%; la longitud horizontal de la estructura del rebosadero es aproximadamente 45 m. Después de la rápida se encuentra el pozo de impacto de dimensiones de 80 m X 125 m que termina con un salto de sky, con un ángulo de inclinación de 30°, subiendo hasta la cota 507.24 msnm.

Fotografía 1-5 Vista panorámica del vertedero de compuertas



Fuente: Emgesa,2018⁵⁸

Fotografía 1-6 Descarga por el vertedero de compuertas



Fuente: Emgesa,2018⁵⁹

Tabla 1-19 Características básicas de las compuertas del vertedero

Fabricante	MAGRINI GALILEO / GIE
Cantidad	4
Tipo	Compuerta radial no contrapesada
Altura	15.90m
Ancho	10.50m
Peso	120t
Sistema de operación	Electromecánico
Mecanismo de accionamiento	Motoreductores y cadenas
Fuente de alimentación	Red 13.8 kV desde S/E
Grupo de emergencia principal	Generador diesel 85 kW
Fuente SSAA emergencia 1	Motor a gasolina 9.5 KW
Fuente SSAA emergencia 2	Motor a gasolina 9.5 KW

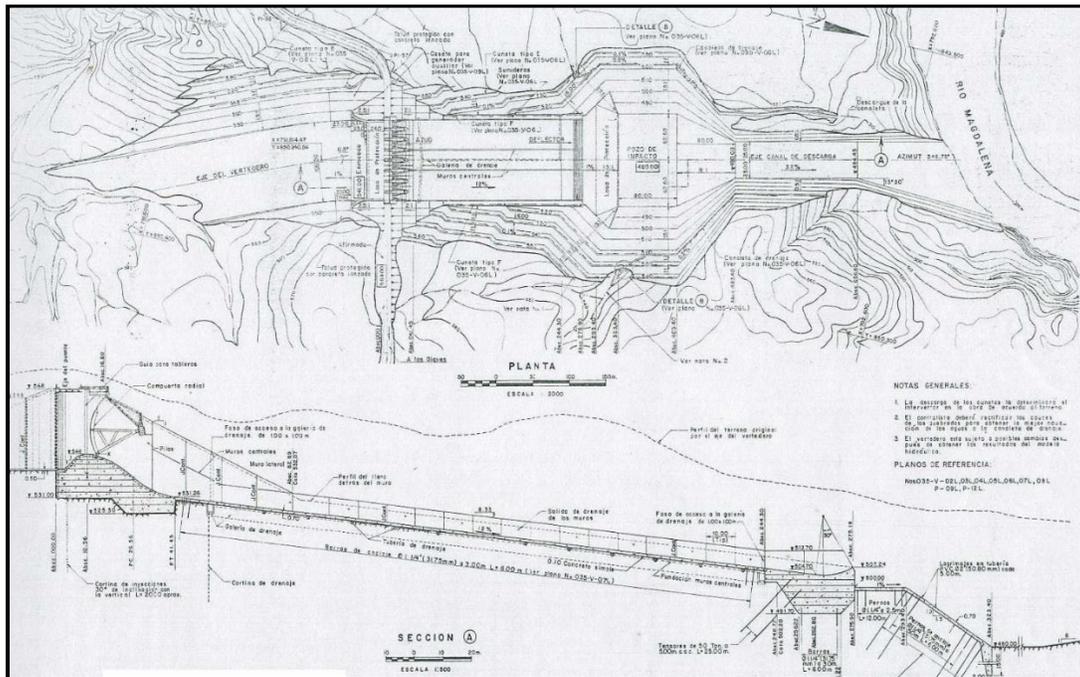
Fuente: Emgesa,2018⁶⁰

⁵⁸ Ibidem, Pag 2-6

⁵⁹ Ibidem, Pag 2-7

⁶⁰ Ibidem, Pag 2-7

Figura 1-17 Planta Vertedero de Compuertas



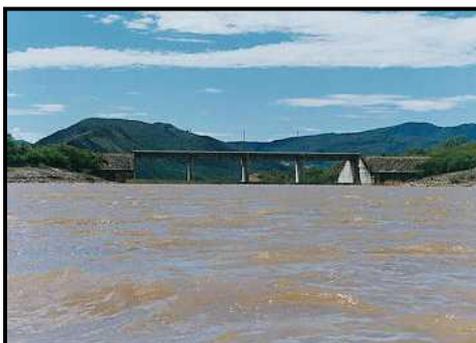
Fuente: Emgesa, 2018⁶¹

1.1.3.1.5.5 Vertedero de borde libre o vertedero auxiliar

Este vertedero tiene un ancho de 82 m y posee 3 pilas (ver Fotografía 1-7), construido en concreto. Tiene una longitud total del orden de los 1.400 m; consta de un canal de aducción, rebosadero, rápida y un canal de descarga. El canal de aducción tiene un ancho de 85 m y una longitud de 110 m, y entrega las aguas en la cresta del vertedero; la cresta se encuentra en la cota 561.20 msnm, la rápida baja hasta la cota 490 msnm aproximadamente a lo largo de 630 m llegando al canal de descarga que conduce las aguas hasta el río Magdalena en la cota 600 msnm. La capacidad máxima de descarga es de 3.600 m³/s.

⁶¹ Ibidem, Pag 2-8

Fotografía 1-7 Vista del vertedero de borde libre o vertedero auxiliar



Fuente: Emgesa,2018⁶²

1.1.3.1.6 Componente del sistema de conducción

1.1.3.1.6.1 Bocatomas y túneles de conducción

Se construyeron cuatro bocatomas con sus respectivas compuertas (ver características en la Tabla 1-20). Las bocatomas son estructuras de concreto reforzado con forma rectangular de 13 m de ancho por 10.7 m de alto protegidas por rejas coladeras, a lo largo de 29.1 m se hace la transición de esta sección a la del túnel que es circular con diámetro 8.5 m. Se construyó un canal de aducción en la cota 528 msnm que luego baja por un terraplén 1.5 H: 1.0 VI hasta la cota 520.3 msnm y se mantiene por 10 m en la misma cota hasta que llega a las bocatomas. La cota de la base de la bocatoma es 523.3 msnm, dando 3.0 m de diferencia entre la base del canal de conducción y la base de las bocatomas de los túneles de conducción. La fundación de las bocatomas se mejoró mediante inyección de mortero simple de 10 cm de espesor, y por encima de estas se colocó un lleno de areniscas de la formación Gualanday. Las compuertas poseen un pozo que permite su funcionamiento.

Tabla 1-20 Características generales de las compuertas de la captación

Fabricante	RIVA CALZONI / GIE
Cantidad	4
Tipo	Compuerta de ruedas
Altura	6.6 m
Ancho	8.5 m
Peso	59.5 t
Sistema de operación	Electrohidráulico
Accionamiento	Servomotor

Fuente: Emgesa,2018⁶³

1.1.3.1.6.2 Descarga de fondo

El portal de entrada está ubicada en la cota 605 msnm, aproximadamente 24 m sobre el lecho del río. La estructura de salida se encuentra en la cota 587,65 msnm, donde se ubica la cota de disparo del salto de esquí que entrega el agua al río.

⁶² Ibidem, Pag 2-9

⁶³ Ibidem, Pag 2-9

La descarga de fondo está compuesta por un túnel que trabaja en su primer tramo a presión con una longitud aproximadamente 237,74 m y una pendiente de 4,22% hasta conectarse con la cámara de compuertas. Posteriormente sigue el tramo a superficie libre que tiene una pendiente de 3,98% y una longitud de 175,25 m. El túnel tiene una sección de excavación en herradura, paredes curvas, de 3,40 m de diámetro.

La cámara de compuertas tiene una longitud de 12,95 m, con una sección en herradura, paredes rectas, de diámetro 10,16 m y altura de 14.55 m. En esta cámara se alojan las compuertas para la descarga de fondo de la central.

Para acceso a la cámara de compuertas se construyó una galería de acceso, de una longitud de 205,60 m, con pendiente descendente hacia la cámara del 3,0% y con una sección de excavación en herradura, paredes rectas, de 2,80 m de ancho y 2,65 m de altura. El portal y la galería parten de una de las bermas en la zona del vertedero, costado derecho.

La descarga de fondo tiene un pozo de toma, con una longitud de 39,70 m y un diámetro de excavación de 3,40 m, con una plataforma ubicada a la elevación 645 msnm, localizado dentro de la zona del embalse. La capacidad de la descarga de fondo depende de dos factores fundamentales: primero el porcentaje de apertura de las compuertas, que para las simulaciones realizadas ha sido restringida para evacuar como máximo un caudal de 42 m³/s y segundo el nivel del embalse. La descarga de fondo hoy en día está inoperativa.

1.1.3.1.6.3 Plataforma de los pozos de compuertas

De acuerdo con los requerimientos de espacios para la construcción de las estructuras de compuertas de los túneles de carga, así como para el montaje de instalaciones y maniobra de equipos durante la etapa de excavación de los pozos de compuertas, se dejó una plataforma de trabajo sobre la elevación 726 msnm, alcanzando una altura de entre 19 m y 21 m, garantizando así, el adecuado funcionamiento de la compuerta, para el nivel máximo normal de operación en la elevación 720 msnm, y un nivel máximo extraordinario, en la elevación 724,64 msnm.

1.1.3.1.7 Componente casa de máquinas e infraestructura anexa

1.1.3.1.7.1 Casa de máquinas y equipos de generación

El área efectiva usada es de 100 m por 40 m y consta de cinco (5) plantas (ver Fotografía 1-8 y Figura 1-18). La superior, es la planta ubicada en la cota 497 msnm y una placa ocupa parcialmente su área desde donde es posible ver la tapa de los generadores.

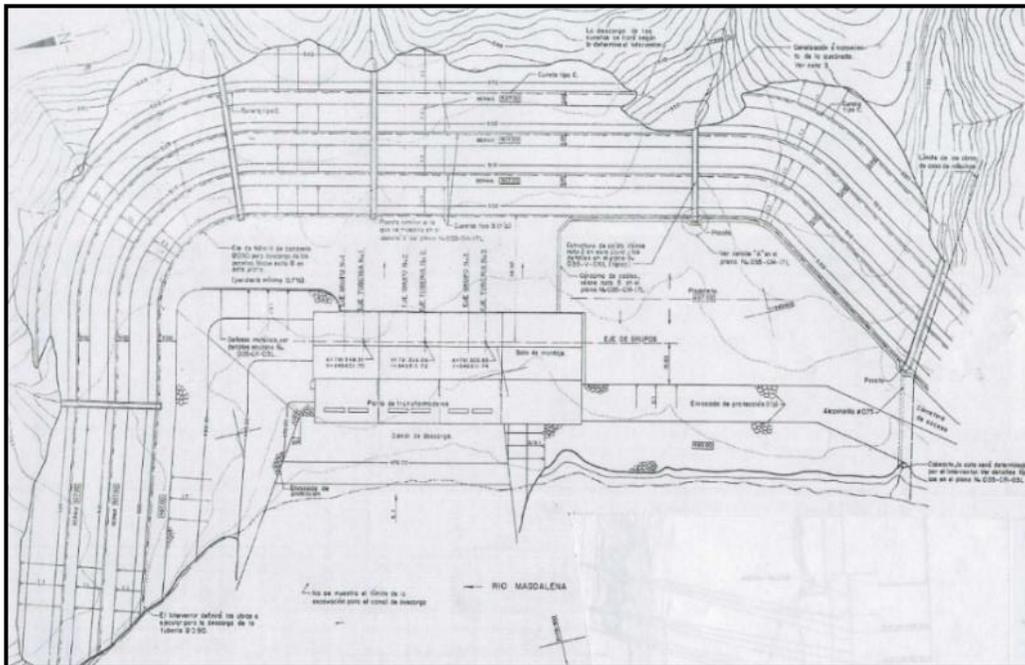
Fotografía 1-8 Casa de máquinas de la Central Betania



Fuente: WSP, 2019

La segunda planta se ubica en la cota 492.65 msnm y tiene las siguientes instalaciones: sala de control, corredores, un cuarto de aseo cafetería, archivo técnico, almacén y oficinas. La tercera planta se ubica entre las cotas 489.80 msnm y 488.3 msnm, y en ella se encuentran las siguientes instalaciones: cuarto para CO2, almacén, cuarto para equipo de aire acondicionado, cuarto de herramientas, taller, oficina, corredores, sanitarios y cuarto para compresores. La planta que se encuentra en la cota 483.8 msnm y en ella se encuentran los generadores. La última planta se encuentra en la cota 474 donde se ubica la planta de tratamiento de aceite. En total la casa de máquinas tiene 52 m de altura, donde están alojados equipos como turbinas, generadores, transformadores, equipos de servicios generales, tableros y equipos de control.

Figura 1-18 Esquema en planta del diseño de la casa de máquinas de la Central Betania



Fuente: Emgesa,2018⁶⁴

A continuación, se presenta una descripción general de los principales equipos existentes en la casa de máquinas:

1.1.3.1.7.2 Turbinas

A continuación, en la Tabla 1-21 se presentan generalidades de las turbinas tipo Francis que se utilizan en la Central Hidroeléctrica de Betania.

Tabla 1-21 Características de las turbinas

Fabricante	Turbina No1: ANSALDO / HYDROART Turbina No2: RIVA CALZONI / HYDROART Turbina No3: FRANCO TOSI / HYDROART
Cantidad	3

⁶⁴ Ibidem, Pag 2-13

Fabricante	Turbina No1: ANSALDO / HYDROART Turbina No2: RIVA CALZONI / HYDROART Turbina No3: FRANCO TOSI / HYDROART
Tipo	Francis de eje vertical
Potencia nominal	170 MW
Velocidad de giro	128.57 rpm
Velocidad específica	252.75 (en sistema kW, m=66.29(hp, ft)
Caudal nominal	261.9 m3/s
Salto neto de diseño	72 m
Salto neto máximo	76 m
Salto neto mínimo	55 m
Diámetro rodete	5.8 m
Peso rodete	86 t
Número de palas rodete	13
Material del rodete	Acero al carbono
Tipo de construcción	Soldada
Número de alabes directrices	24

Fuente: Emgesa,2018⁶⁵

No se cuenta con galería o pasaje propio para extraer el rodete, por lo cual para su remoción es necesario desmontar el rotor del generador.

1.1.3.1.7.3 Transformadores de potencia

Las características de los transformadores de potencia se presentan en la Tabla 1-22. La capacidad nominal del banco de transformadores de cada unidad es 210.9 MVA, lo que le da un margen de 15 % por respecto de la capacidad nominal del generador (183.4 MVA). Los transformadores operan siempre con temperaturas inferiores a las máximas recomendadas.

Tabla 1-22 Características generales de los transformadores de potencia de las unidades

Tipo	Monofásico
Cantidad	9 en Operación 1 en Reserva
Marca	ITALTRAFO
Potencia Nominal	70.3 MVA
Relación de Transformación	$13.8/(230/\sqrt{3})+3 \times 2.52 \text{ kV}$
Refrigeración	FOA

Fuente: Emgesa,2018⁶⁶

1.1.3.1.7.4 Generadores

Las características de los generadores se presentan en la Tabla 1-23. Posee un sistema de refrigeración aire en circuito cerrado, enfriado por agua en circuito abierto. Incluye los equipos auxiliares del generador, tal

⁶⁵ Ibidem, Pag 2-14

⁶⁶ Ibidem, Pag 2-15

como el equipo de supervisión de temperatura y vibraciones, y el sistema de refrigeración de cojinetes y devanados.

Tabla 1-23 Características básicas de los generadores

Tipo	Descripción
Cantidad	3
Fabricante	ANSALDO
Potencia Nominal	183.4 MVA
Factor de Potencia	0.9
Voltaje Nominal	13800 V
Aislamiento	Clase F
Frecuencia	60 Hz
Velocidad	128.56 rpm

Fuente: Emgesa,2018⁶⁷

1.1.4 CONTEXTO DEL PROCESO DE GESTIÓN DEL RIESGO

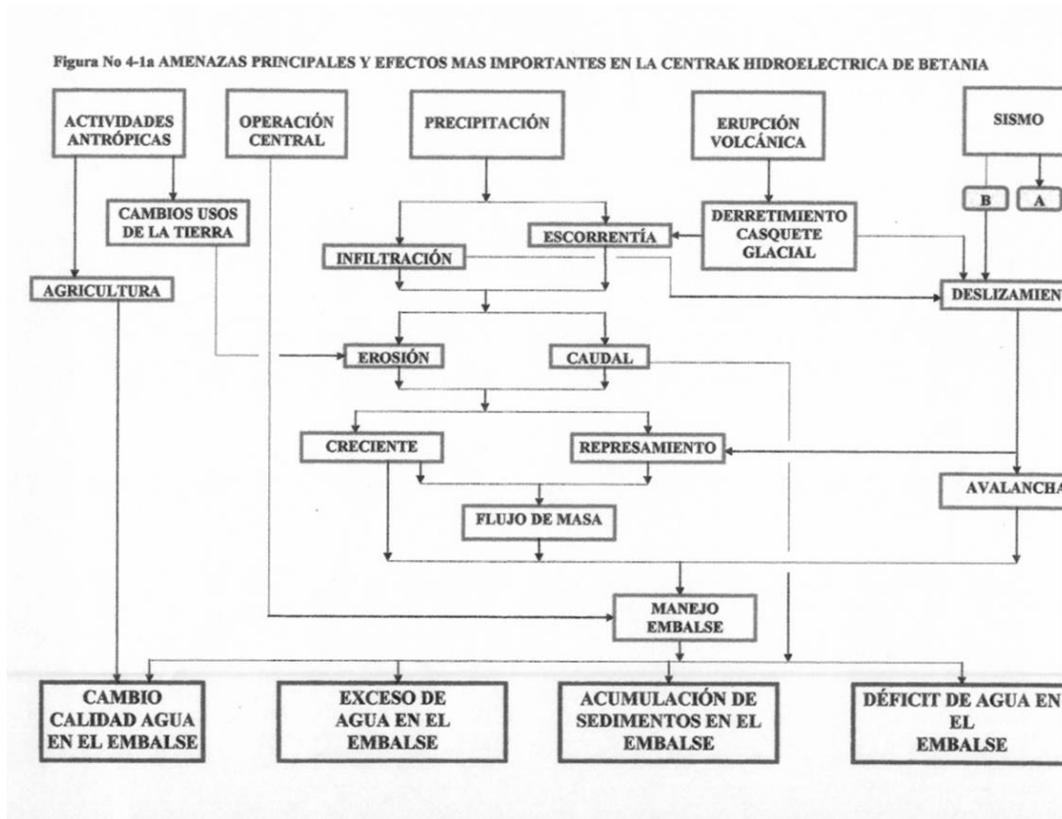
A continuación, se relacionan los instrumentos y mecanismos actuales de actuación de la central hidroeléctrica de Betania frente al proceso de gestión de riesgo.

1.1.4.1 PLANES DE EMERGENCIA Y CONTINGENCIA EXISTENTES

En 1998, a través del Centro de Estudios sobre Desastres y Riesgos Naturales, del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de los Andes, se desarrolló el estudio de Análisis de Riesgos para la identificación global y el análisis general de amenazas naturales y de origen antrópico en la zona de influencia de la Central Hidroeléctrica de Betania. En este documento se identificaron las amenazas presentadas en la Figura 1-19.

⁶⁷ Ibidem, Pag 2-16

Figura 1-19 Amenazas principales y efectos más importantes en la central hidroeléctrica de Betania



Fuente: Análisis de Riesgos. 1998. Centro de Estudios sobre Desastres y Riesgos Naturales, del Departamento Civil de la Universidad de los Andes.

En el 2012 el Grupo Enel desarrolló el *Plan de Contingencia para las Centrales de Generación de Energía de Emgesa S.A. E.S.P (Ingeniería Técnica y Científica S.A.S.-ITEC, 2012)*, en el cual se plantearon cómo objetivos específicos los siguientes:

- Establecer los procedimientos generales y específicos para la respuesta de Emgesa ante las posibles situaciones críticas o de emergencia que se puedan presentar en cualquiera de sus instalaciones, de acuerdo con los análisis de riesgo realizados.
- Definir acciones básicas de respuesta frente a situaciones anormales que impliquen una operación diferente a la de rutina y de forma inmediata, para reducir o evitar el impacto adverso sobre los elementos expuestos o poblaciones cercanas.
- Identificar situaciones que impliquen llevar a cabo una estrategia de información pública, jurídica o financiera como resultado de una situación de emergencia que vincule a la empresa con los efectos que puedan sufrir asentamientos humanos o el entorno natural y definir dicha estrategia de información.
- Identificar y analizar situaciones generales y particulares de riesgo que pueden presentarse en cualquiera de las centrales o componentes principales del sistema, y definir las líneas de acción principales que debe adoptar la empresa.

Posteriormente, mediante el Contrato Marco N°840010426 se desarrolló el Plan de Contingencia Quimbo – Betania (MCO-EMG-FSS036-IT-RH-001-0 diciembre, 2017), tomando como base la Ley 1523,

siguiendo los tres procesos de gestión del riesgo: Conocimiento del riesgo, Reducción del riesgo y Manejo de desastres.

El análisis del riesgo en dicho documento se abordó, mediante, la recopilación de información, identificando amenazas, vulnerabilidades, analizando y evaluando el riesgo, proponiendo medidas para su gestión y estrategias de respuesta en caso de ocurrencia de un evento. El informe analizó los peores escenarios posibles, no obstante, estos escenarios se consideraron con una muy baja probabilidad de ocurrencia (remota), teniendo en cuenta que los proyectos están diseñados y construidos con altos estándares internacionales para que este tipo de eventualidades no ocurran.

En dicho documento, se identificaron las amenazas que potencialmente podrían afectar el proyecto durante su operación listadas en la Tabla 1-24.

Tabla 1-24. Amenazas potenciales durante la operación de las Centrales Hidroeléctricas Quimbo - Betania

ORÍGEN	AMENAZA
Naturales	Sismicidad
Socio Naturales	Geotécnica- Rotura de presa
	Hidrología: <ul style="list-style-type: none"> - Crecientes TR < 100 años - Crecientes 100 años < TR < 1000 años - Creciente máximo Probable - Rotura de presa
	Incendios Forestales
Antrópicas	Atentado terrorista
	Asonada /Huelgas
	Vertimientos de agua de mala calidad
	Operacionales

Fuente: Plan de Contingencia Quimbo – Betania (MCO-EMG-FSS036-IT-RH-001-0 diciembre, 2017).

1.1.4.2 ATENCIÓN DE PQR POR TERCEROS ASOCIADOS A LA OPERACIÓN

De acuerdo con la información suministrada por Emgesa la Central de Betania presenta dos quejas. Una de ellas se encuentra relacionada a una supuesta afectación ambiental en la Vereda Cairo Santa Helena, en el municipio de Purificación-Tolima. La ANLA realizó una visita de campo conclusión de la cual fue señalar que Emgesa S.A. no tiene ninguna responsabilidad sobre las afectaciones que menciona el peticionario. La segunda queja se relaciona con la solicitud de mitigar y compensar a la comunidad del municipio de Yaguará-Huila, mediante una preferencia laboral.

1.1.5 CRITERIOS DEL RIESGO

En esta sección se presenta la metodología utilizada para la valoración del riesgo, a partir del cual se recomienda las medidas para la reducción del riesgo y el manejo de desastres.

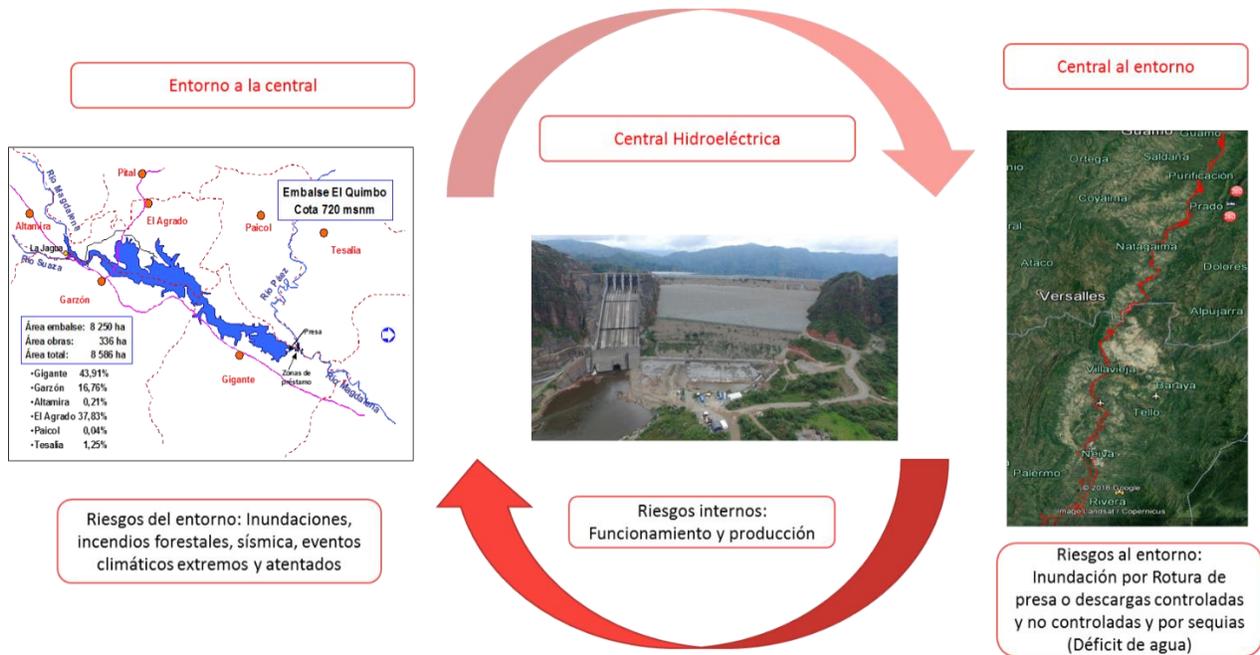
1.1.5.1 ENFOQUE Y GENERALIDADES PARA VALORACIÓN DE RIESGOS

Para la formulación del plan de gestión de riesgo de la Central Hidroeléctrica de Betania se consideran los siguientes aspectos generales sobre el conocimiento del riesgo:

- El riesgo se expresa generalmente en términos de daños y pérdidas esperadas para un periodo determinado y un escenario en particular.

- Se consideraron tres tipos escenarios de análisis de riesgo: los riesgos generados por el entorno sobre la central, los riesgos generados por la central sobre el entorno y los riesgos generados en las áreas y actividades de operación de la central.
- En el primer escenario se analiza el entorno aguas arriba del embalse donde se pueden generar amenazas sobre la central, que se considerara como el elemento vulnerable; en el segundo escenario se analizan los riesgos que puede generar la central aguas abajo de la presa donde la vulnerabilidad está asociada a los elementos expuestos en el entorno. (ver Figura 1-20).
- En el tercer escenario se consideran los riesgos propios de la operación y funcionamiento de la central que puedan generar alteración intensa y/o grave en las áreas o componentes de la misma y en sus actividades y cuyas consecuencias puedan extenderse o afectar a las condiciones normales de la sociedad.
- La valoración de riesgos tanto internos como del entorno (entorno – central - entorno) será priorizada en tres fases sucesivas: (i) Identificación de riesgos, (ii) Análisis de riesgos y (iii) Evaluación de riesgos, de acuerdo con lo definido en el decreto 2157 de 2017.
- El área de estudio para el análisis de riesgo del entorno a la central corresponde al área de cuenca hidrográfica aguas arriba de represa relacionada con el área de influencia del proyecto hidroeléctrico.
- El área de estudio para la evaluación del riesgo de la central al entorno corresponde al área de potencial afectación aguas abajo de la represa.
- La valoración de riesgos combina diferentes metodologías de acuerdo con la naturaleza y origen de los fenómenos o eventos y su alcance depende de la fase de valoración definida.
- El Riesgo es la resultante de la combinatoria de amenaza y vulnerabilidad y puede expresarse en general como $R=AfV$,
 Donde R, riesgo es el conjunto de daños y pérdidas esperadas en caso de ocurrencia de un evento determinado,
 A = amenaza es la probabilidad de ocurrencia de dicho evento con una intensidad y magnitud determinada, y
 V = vulnerabilidad es la expresión de la fragilidad y resiliencia del elemento expuesto ante la amenaza de referencia.
- Los daños y las pérdidas esperadas (riesgo) pueden expresarse en escenarios espaciales y de relaciones (zonificación de riesgo, dinámicas del riesgo) y en magnitud (cantidad de daños) y valores económicos (pérdidas económicas o valor de reposición o daño emergente).
- Cambio Climático.
- La priorización de los riesgos a intervenir o reducir se realizará en función del nivel de riesgo esperado.
- Los escenarios de riesgos y la valoración de los daños y pérdidas son la base para la formulación de las medidas de reducción de riesgos y de manejo de desastres.

Figura 1-20 Análisis de riesgo



Fuente: WSP, 2019

1.1.5.2 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DEL RIESGO

A continuación, se describen las etapas de análisis y la metodología a desarrollar frente a la identificación, análisis y evaluación del riesgo.

1.1.5.2.1 Identificación del riesgo

En esta etapa inicial, se relacionan los posibles fenómenos generadores de riesgo, considerando los que se producen en el entorno y pueden afectar los componentes de la Central, los que se originan al interior de la Central y los posibles riesgos que pueda afectar el entorno.

Para ello se tuvo en cuenta los registros históricos de eventos e incidentes, los antecedentes documentados de fallas y desastres en otras centrales hidroeléctricas similares y todas las evidencias sobre la potencial ocurrencia de cada evento o falla, de manera que la identificación sea lo más completa posible.

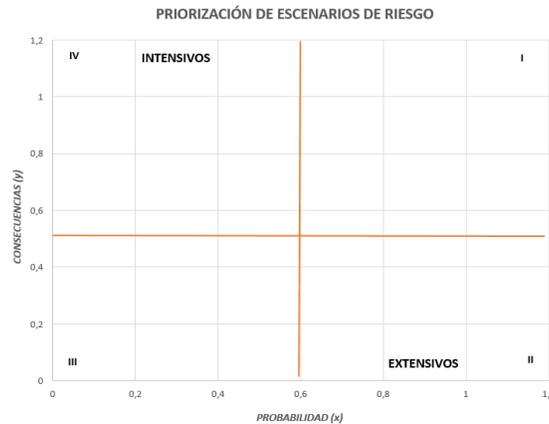
Dentro de las evidencias validadas para la clasificación se encuentran las fuentes oficiales de información acerca de cada uno de los fenómenos, los registros históricos de eventos, emergencias y/o de desastres que se han presentado en el área de influencia de la central y el registro de incidentes o eventos que se han presentado al interior de las instalaciones en la etapa de diseño, construcción y operación.

Una vez conformada la lista de posibles eventos generadores de riesgo, se clasificaron y priorizaron para pasar a la fase de análisis, de la siguiente manera:

- Análisis de la Información Histórica de desastres. Se incluye el análisis del registro histórico de desastres ocurridos en el área de estudio del Plan.
- Análisis de la información histórica de incidentes al interior de los componentes de la Central.
- Priorización de eventos generadores de riesgos

En función de la frecuencia (o recurrencia) y las consecuencias de los eventos registrados se realiza una priorización de aquellos que deben ser analizados. Para esta priorización se tiene en cuenta tanto las fuentes empleadas anteriormente para la identificación como la información de contexto y antecedentes. Con esto se obtiene un gráfico de dispersión de los tipos de los eventos ocurridos que por su recurrencia y magnitud de daños ameritan ser contemplados en la siguiente fase de la valoración, (Ver Figura 1-21).

Figura 1-21 Esquemático de la priorización de riesgos



Fuente: WSP, 2019

Los riesgos priorizados en cada uno de los escenarios tanto del entorno-central-entorno con del interior serán seleccionados para proceder a su análisis y evaluación en dos grupos:

- Riesgos Intensivos⁶⁸: corresponde a riesgos de baja ocurrencia y graves consecuencias.
- Riesgos Extensivos⁶⁹: corresponde a riesgos de alta ocurrencia con consecuencias leves o moderadas pero que acumulados en el tiempo se considerarían graves.

1.1.5.2.2 Análisis del riesgo

El análisis de riesgos corresponde a la segunda fase de la valoración de riesgos y se realiza para cada uno de los siguientes escenarios.

a) Análisis de Riesgos del entorno a la Central

Para el análisis de los riesgos del entorno que puedan afectar la Central se realizará un análisis de las amenazas del área de influencia para cada uno de los componentes de la Central considerados como elementos vulnerables.

- Zonificación de amenazas del área de influencia

Para la zonificación de amenazas se tendrá en cuenta la información secundaria existente y publicada por fuentes oficiales (**Servicio Geológico Colombiano**, para eventos relacionados con movimientos de masa y sismos y el Instituto de **Hidrología**,

⁶⁸ ISDR (2009), Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres

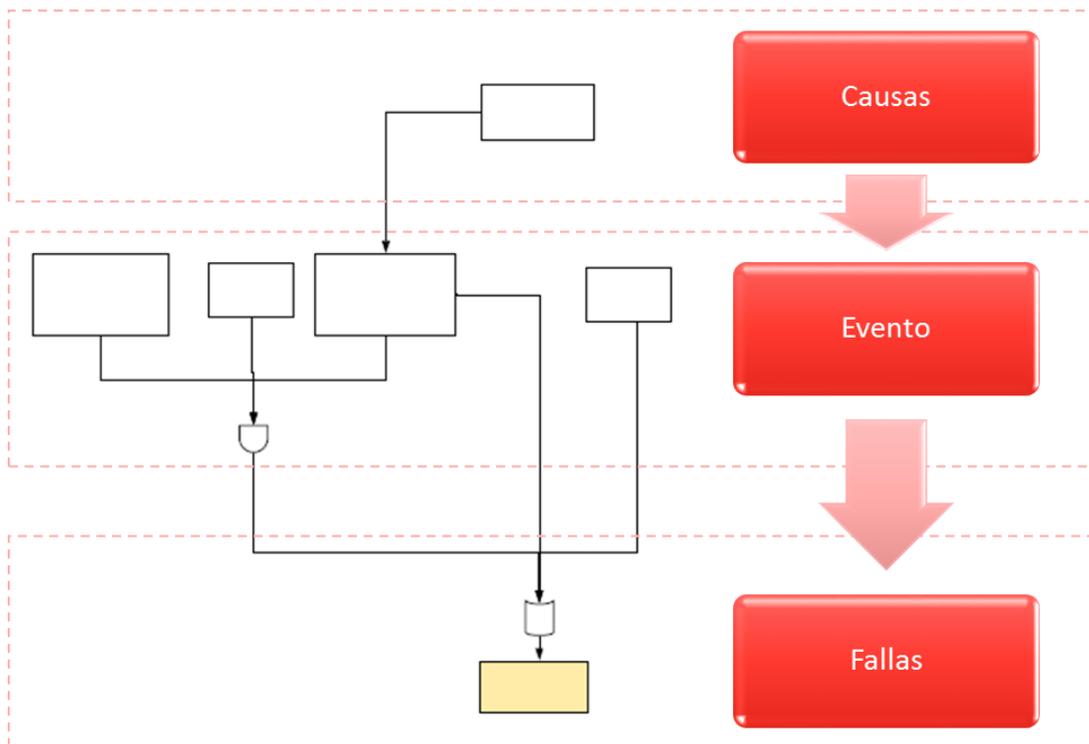
⁶⁹ Ididem

Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM- en lo relacionado con eventos hidrometeorológico.

- Identificación de Cadenas de eventos y/o fenómenos y análisis de causalidades

Se desarrollará la identificación de la cadena de eventos y fallas que permite determinar las causas o factores detonantes o coadyuvantes a la materialización de los posibles riesgos sobre cada uno de los componentes de la Central. Ver Cadena de Causas, eventos y fallas. (Ver Figura 1-22)

Figura 1-22 Estructura de Cadena de Causas, eventos y escenario de riesgo de mayor afectación.



Fuente: WSP, 2019

- Análisis de incidencia de cada fenómeno

Se desarrollará el análisis a del nivel de incidencia de los diferentes fenómenos, eventos o sobre cada uno de los componentes de la Central.

b) Análisis de Riesgos de los componentes y actividades de la central

Para el análisis de riesgos de las áreas y actividades de la central se realizó un árbol de fallas para cada una de los componentes o áreas de la central. Las fallas primarias permiten identificar los escenarios de riesgos internos que deberán ser evaluados para establecer el nivel de alteración en las condiciones normales de la sociedad.

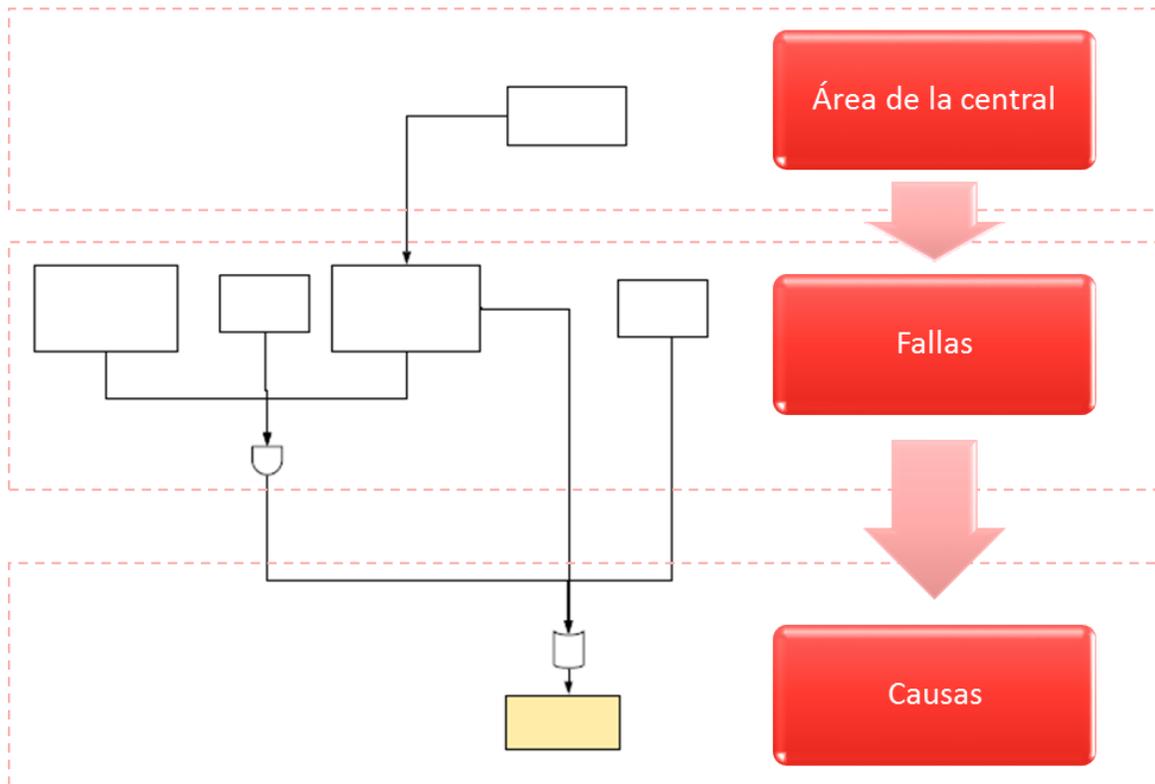
Las áreas del central objeto de análisis de riesgo corresponden a:

- ✓ Embalse y presa

- ✓ Casa de máquinas y equipos de generación
- Las actividades de la central que implica riesgos se clasifican en:
 - ✓ Actividades Mecánicas
 - ✓ Actividades eléctricas

Las fallas que pueden alterar las condiciones normales de la sociedad corresponden a aquellas que lleven a la parar total o parcialmente la generación de energía los teniendo en cuenta que este es el objeto misional de la central. Ver Figura 1-23

Figura 1-23 Árbol de fallas de los componentes de la central



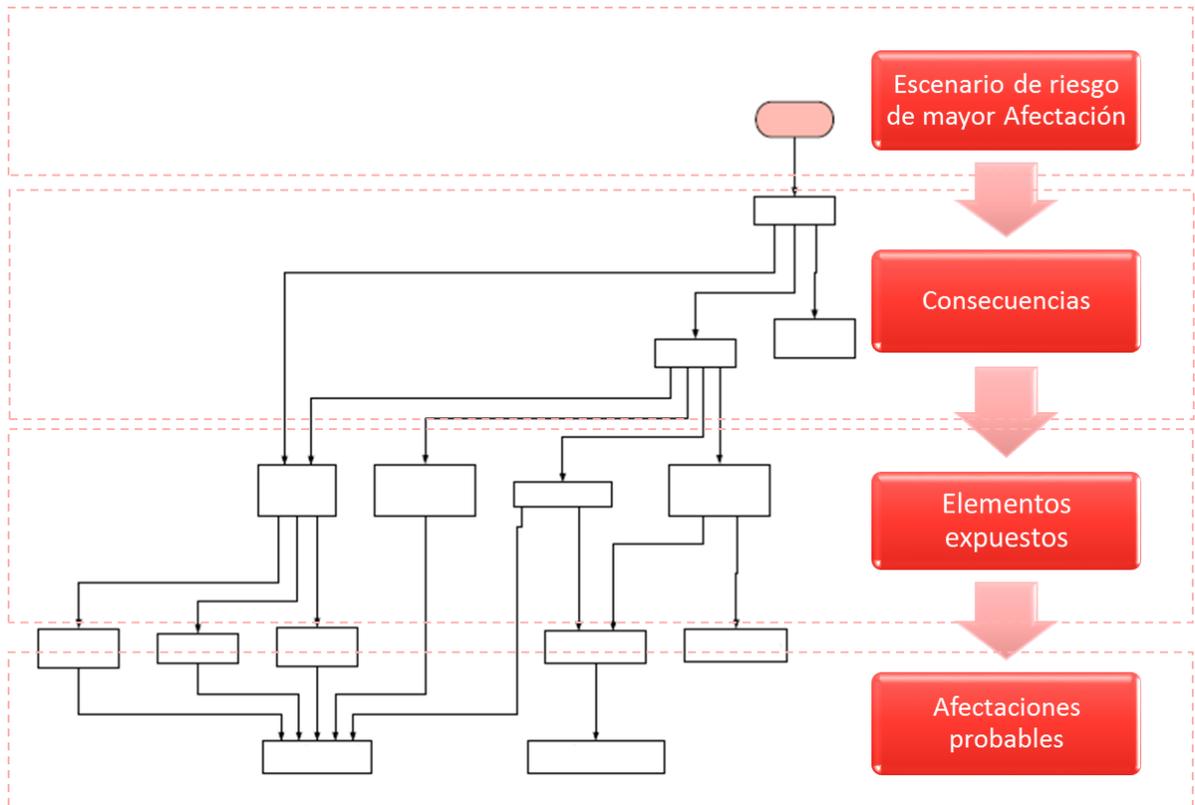
Fuente: WSP, 2019

c) Análisis de Riesgos que podría generar la central en el entorno

El análisis del riesgo que podría generar los componentes de la Central en el entorno se realiza a partir de la identificación del árbol de consecuencias de cada una de las fallas generadas por el entorno sobre la Central. En este caso se toma los componentes de la Central como elemento amenazante y los elementos del entorno como elementos expuestos, objeto de análisis de vulnerabilidad.

Para cada una de estas amenazas se elaboró una cadena de consecuencias expresada en diversos tipos de daños y pérdidas probables (Ver Figura 1-24)

Figura 1-24 Cadena de consecuencias



Fuente: WSP, 2019

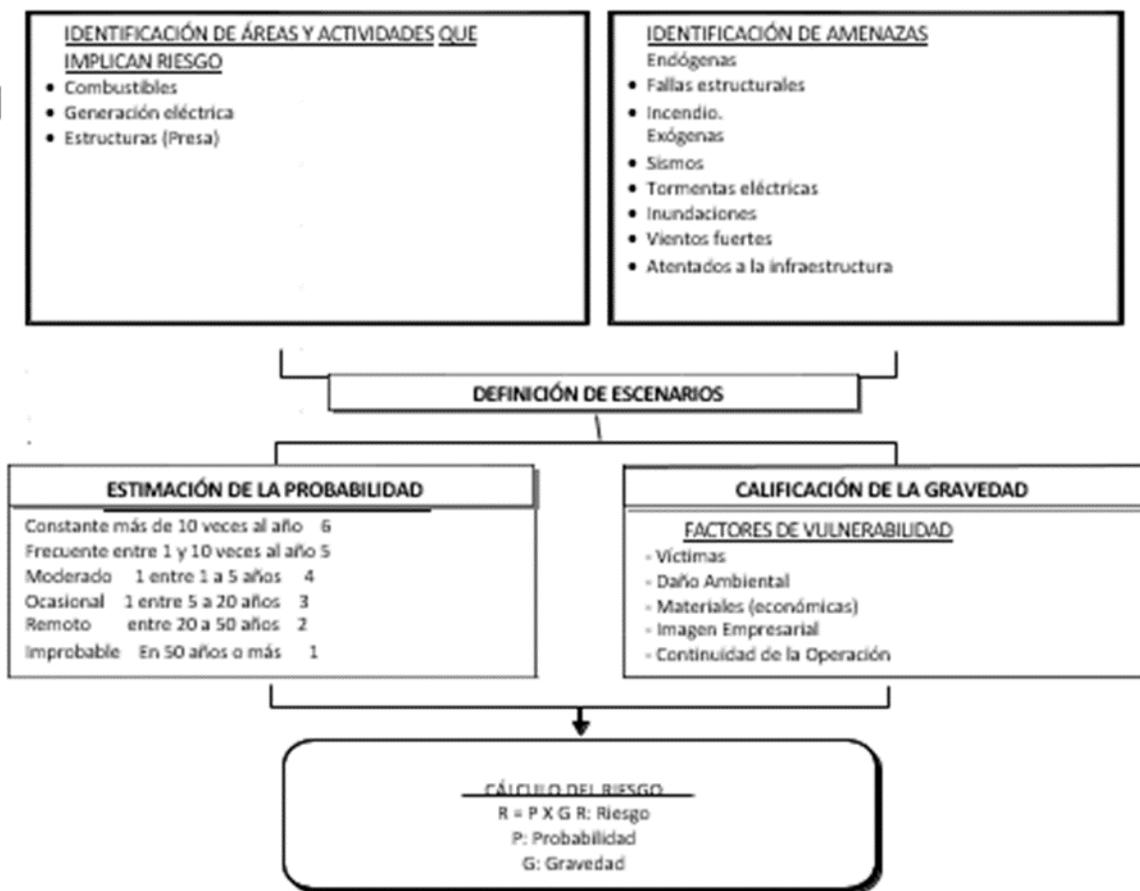
1.1.5.2.3 Evaluación del riesgo

La evaluación de riesgos se realizará para los escenarios entorno-central-entorno y para el interior de la central a partir de los riesgos priorizados en las fases anteriores.

a. Evaluación de riesgos por escenarios

Para cada uno de los escenarios (del entorno a la Central, al interior de la Central y de la Central al entorno) se realizará una evaluación de riesgos siguiendo la siguiente secuencia (ver Figura 1-25):

Figura 1-25 Metodología de evaluación de riesgo de la central



- Determinación de la probabilidad de ocurrencia (Amenaza)

Los eventos se clasifican de acuerdo con la probabilidad de ocurrencia, asignándole a cada uno un valor como se muestra en la siguiente Figura 1-22.

Tabla 1-25 Probabilidad del Incidente

Probabilidad	Definición	Puntos
Improbable	Muy difícil que ocurra, se espera que ocurra menos de una vez en 50 años	1
Remoto	Muy baja posibilidad, ha sucedido o se espera que suceda solo pocas veces, una vez entre los 20 y los 50 años	2
Ocasional	Limitada posibilidad de ocurrencia sucede en forma esporádica; una vez entre los 5 y los 20 años	3
Moderado	Mediana posibilidad de ocurrencia; sucede algunas veces; una vez entre 1 y los 5 años	4
Frecuente	Significativa posibilidad de ocurrencia; sucede en forma reiterada, entre 1 vez y 10 veces al año	5
Constante	Alta posibilidad de ocurrencia ocurre en forma seguida, más de 10 veces al año	6

- Determinación factores de vulnerabilidad

Estos factores de la vulnerabilidad son:

- ✓ **Víctimas:** Se refiere al número, tipo y gravedad de las víctimas que se puedan producir entre empleados, personal de emergencia y comunidad. Representa la “Vulnerabilidad Humana” del sistema.
- ✓ **Ambiental:** Se refiere a los niveles de daño que se puede ocasionar al Ecosistema, ya sea a los cuerpos de agua, a la fauna o a la flora y al aire como consecuencia de un siniestro. Representa la “Vulnerabilidad Ambiental” del sistema.
- ✓ **Operacional:** se refiere al tiempo de parálisis o nivel de afectación del funcionamiento de la Compañía como consecuencia del siniestro. Representa la “Vulnerabilidad Operacional” del sistema.
- ✓ **Económica:** se refiere a las pérdidas económicas directas sufridas por la Compañía como consecuencia del siniestro. Representa la “Vulnerabilidad Económica” del sistema.
- ✓ **Imagen:** se refiere al nivel de daño causado a la imagen de la Compañía como consecuencia del nivel de responsabilidad que la opinión asume tuvo la Compañía en la presentación del siniestro. Representa la “Vulnerabilidad Institucional” del sistema.
- Determinación gravedad de la consecuencia

La gravedad de la consecuencia es valorada para cada uno de los factores de vulnerabilidad, asignando a cada uno un valor adecuado a la incidencia de este. La gravedad de la consecuencia se clasifica en 6 niveles y con un valor relativo así:

- ✓ **Insignificante:** Las consecuencias no afectan de ninguna forma al sistema de referencia. Las pérdidas o daños son despreciables, no produce lesiones a personas.
- ✓ **Marginal:** Las consecuencias no afectan en forma significativa el funcionamiento del sistema de referencia; pérdidas o daños pequeños, se pueden producir solo lesiones leves, pero sin generar incapacidad.
- ✓ **Media:** Las consecuencias solo afectan parcialmente el funcionamiento del sistema de referencia, pero no ponen en peligro su estabilidad, pérdidas o daños moderados, produce o puede producir lesiones leves incapacitantes, pero que no requieren hospitalización.
- ✓ **Relevante:** Las consecuencias afectan de una manera total el funcionamiento del sistema, en forma temporal, pero no de una manera irreparable; pérdidas y daños significativos. Produce por lo menos una víctima grave que requiere hospitalización.
- ✓ **Desastrosa:** Las consecuencias afectan totalmente al sistema generando daños irreparables, pero sin hacerlo desaparecer; pérdidas o daños considerables, produce varios lesionados graves o una muerte.

En la Tabla 1-26 hasta la Tabla 1-31 se establece la gravedad, definición y calificación a cada uno de los factores de vulnerabilidad establecidos anteriormente.

Tabla 1-26 Daño a la infraestructura (Vulnerabilidad física)

Gravedad	Definición	Puntos
Insignificante	Sin daños	1
Marginal	Lesiones leves sin afectación a la estabilidad y seguridad	2
Media	Lesiones leves con afectación a la estabilidad y seguridad	5
Relevante	Daños graves con requerimientos de reparación	10

Gravedad	Definición	Puntos
Desastrosa	Daños graves con requerimientos de reconstrucción	20
Catastrófica	Colapso de la infraestructura	50

Fuente: WSP, 2019

Tabla 1-27 Afectación de la operación (Vulnerabilidad Operacional)

Gravedad	Definición	Puntos
Insignificante	Menos 8 horas	1
Marginal	Entre 8 horas y un día	2
Media	Entre 1 y 5 días	5
Relevante	Entre 5 y 15 días	10
Desastrosa	Entre 15 y 30 días	20
Catastrófica	Más de 30 días	50

Fuente: WSP, 2019

Tabla 1-28 Víctimas (Vulnerabilidad Humana)

Gravedad	Definición	Puntos
Insignificante	Sin lesiones	1
Marginal	Lesiones leves sin incapacidad	2
Media	Lesiones leves incapacitantes	5
Relevante	Una víctima grave con hospitalización	10
Desastrosa	Varias lesiones con hospitalización, 1 muerte	20
Catastrófica	Varias muertes	50

Fuente: WSP, 2019

Tabla 1-29 Daño Ambiental (Vulnerabilidad Ambiental)

Gravedad	Definición	Puntos
Insignificante	No se produce contaminación	1
Marginal	Contaminación leve recuperable	2
Media	Contaminación leve no recuperable	5
Relevante	Contaminación grave recuperable a mediano plazo	10
Desastrosa	Contaminación grave recuperable a largo plazo	20
Catastrófica	Contaminación grave no recuperable	50

Tabla 1-30 Pérdidas Económicas (Vulnerabilidad Económica)

Gravedad	Definición	Puntos
Insignificante	Pérdida no mayor al 0,1 %	1
Marginal	Pérdida entre el 0,1 % y el 0,5 %	2
Media	Pérdida entre el 0,5 % y el 2,0 %	5
Relevante	Pérdida entre el 2,0 % y el 5,0 %	10
Desastrosa	Pérdida entre el 5,0 % y el 10,0 %	20
Catastrófica	Pérdida mayor al 10,0 %	50

Tabla 1-31 Daño a la imagen (Vulnerabilidad Institucional)

Gravedad	Definición	Puntos
Insignificante	Solo difusión dentro de la instalación	1

Gravedad	Definición	Puntos
Marginal	Solo difusión interna en la Compañía	2
Media	Difusión externa a nivel local	5
Relevante	Difusión externa a nivel regional	10
Desastrosa	Difusión externa a nivel nacional	20
Catastrófica	Difusión externa a nivel internacional	50

- Valoración del riesgo

El valor del riesgo resulta de la multiplicación del valor de la probabilidad por el valor de la vulnerabilidad. A continuación, se muestra en la matriz de riesgo y vulnerabilidad.

Tabla 1-32 Valores relativos de Riesgo y Vulnerabilidad

Constante 6	6 (2%)	12 (4%)	30 (10%)	60 (20%)	120 (40%)	300 (100%)
Frecuente 5	5 (1.6%)	10 (3.3%)	25 (8.3%)	50 (16.5%)	100 (33%)	250 (83%)
Moderado 4	4 (1.3%)	8 (2.6%)	20 (6.6%)	40 (13.3%)	80 (26%)	200 (66%)
Ocasional 3	3 (1%)	6 (2%)	15 (5%)	30 (10%)	60 (20%)	150 (50%)
Remoto 2	2 (0.6%)	4 (1.3%)	10 (3.3%)	20 (6.6%)	40 (13%)	100 (33%)
Improbable 1	1 (0.3%)	2 (0.6%)	5 (1.6%)	10 (3.3%)	20 (6.6%)	50 (16%)
	1 Insignificante	2 Marginal	5 Media	10 Relevante	20 Desastrosa	50 Catastrófica

Fuente: Modificado por WSP, de FOPAE, 201270

b. Evaluación de Riesgos de la central al entorno

Para la evaluación de riesgos de la central al entorno se tendrán en cuenta los tres escenarios definidos en el análisis de riesgos anterior:

- ✓ Evaluación de riesgos inundación por rotura de la presa
- ✓ Evaluación de riesgos de inundación por descargas controladas y/o no controladas
- ✓ Evaluación de riesgos de sequía por déficit de agua

- Zonificación de Amenaza por Inundación

Para la zonificación de amenaza de inundación por rotura de la presa y descargas se modelaron los diferentes crecientes aguas abajo de la presa. Las áreas de potencial inundación se zonificaron en amenaza alta, media y baja de acuerdo con criterios establecidos en la Tabla 1-33.

⁷⁰ Fondo de Prevención y Atención de Emergencias - FOPAE. 2012. Metodologías de análisis de riesgo documento soporte. Guía para elaborar planes de emergencia y contingencias. Bogotá D.C.

Tabla 1-33 Criterios de calificación de amenaza de inundación por rotura de presa

Amenaza	Criterios
Amenaza Alta	Inundaciones generadas por descargas controladas - Alta probabilidad
Amenaza Media	Inundaciones generadas por descargas no controladas y controladas - Media a baja probabilidad
Amenaza Baja	Inundaciones generadas por rotura de presa con caudales - Muy baja a nula probabilidad

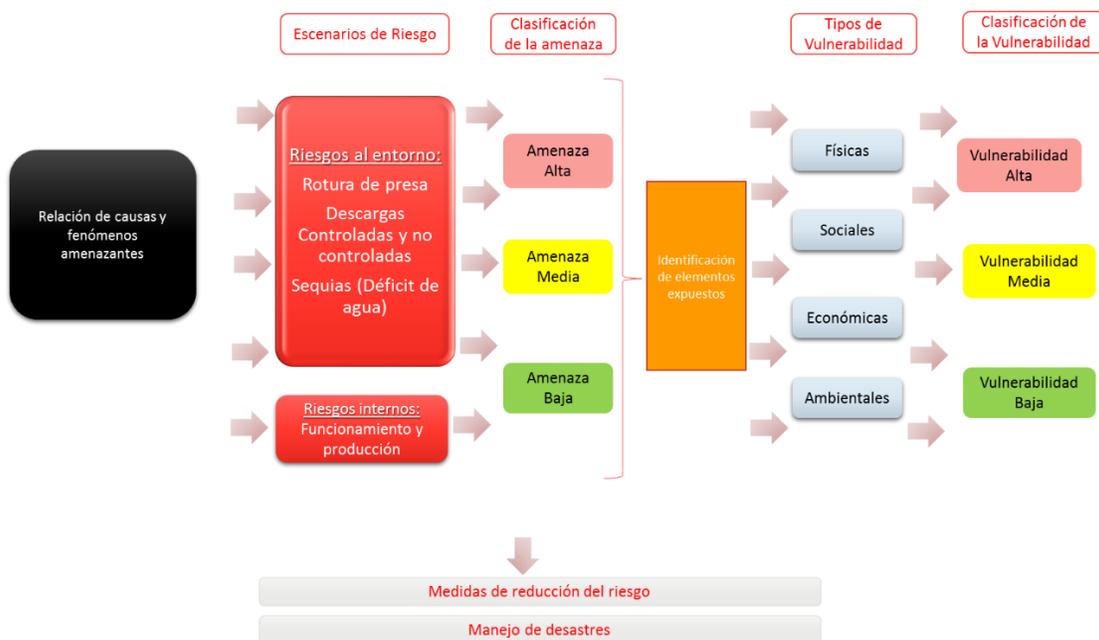
- Zonificación de Vulnerabilidad

El área envolvente de las zonas de amenaza se dividió en unidades de análisis para la vulnerabilidad correspondiente a veredas o centros poblados de los municipios ubicados aguas abajo de la presa. La valoración de la vulnerabilidad para cada unidad se estimó de manera relativa.

La zonificación de vulnerabilidad se realizó por exposición y fragilidad que incluye la valoración de cantidad relativa de elementos físicos, sociales, económicos y ambientales expuestos a la amenaza y la fragilidad frente a inundaciones. La vulnerabilidad se califica en muy alta, alta, media, baja y muy baja para cada uno de los tipos de vulnerabilidad considerados. Como se puede ver en la Figura 1-26.

A la vulnerabilidad se incluirá un análisis de resiliencia o capacidad institucional y social a partir de información secundaria y las vistas del equipo social a terreno.

Figura 1-26 Metodología de Evaluación de riesgos



Fuente: WSP, 2019

- Evaluación de Riesgos de inundación

Se realizará una matriz de riesgo en función de la amenaza y la vulnerabilidad que permitirá priorizar los riesgos a intervenir. Matriz de Amenaza X Tipo de Vulnerabilidad

1.2 VALORACIÓN DEL RIESGO

Esta sección desarrolla la metodología establecida en la sección 1.1.5 con el fin de llegar a la estimación de daños y pérdidas potenciales.

1.2.1 IDENTIFICACIÓN DEL RIESGO

La fase de identificación del riesgo corresponde a la tipificación y clasificación de todos los posibles riesgos que podrían afectar a la central hidroeléctrica de Betania, tanto de origen interno y provenientes del entorno, como los riesgos que la central pueda generar a la sociedad.

De acuerdo con el anterior Plan de Contingencia Quimbo – Betania (EMGESA, 2017), el Análisis de Riesgos realizado por el Centro de Estudios sobre Desastres y Riesgos Naturales de la Universidad de los Andes (1998) y los términos de referencia para la elaboración del presente Plan de Contingencia se establece la lista de amenazas potenciales ilustradas en Tabla 1-34.

Tabla 1-34 Listado de Riesgos considerados inicialmente para valoración

Id	Fenómenos/ amenazas/ riesgos*	Fuente**
1.	Precipitación, escorrentía, crecientes e inundaciones.	Especificaciones Actualización Plan de Contingencia (EMGESA, 2018)
2.	Sequía extrema	
3.	Sismos	
4.	Contaminación de aguas superficiales, acuíferos o lagunas (vertimientos domésticos, industriales)	
5.	Emisión y/o derrame de sustancias contaminantes (químicos, combustibles, grasas, pcb)	
6.	Incendios forestales espontáneos o inducidos	
7.	Incendios y/o explosiones por fuente atípica	
8.	Contaminación atmosférica	
9.	Eutrofización aguas arriba para hidroeléctricas	
10.	Aumento del ruido	
11.	Alteración de especies vegetales y animales	
12.	Afectación sobre el entorno visual	
13.	Atracción de vectores animales de enfermedades	
14.	Deterioro del suelo por quemas para cultivo	
15.	Deforestación de zonas aledañas al sistema	
16.	Olores o sustancias volátiles ofensivas y nieblas	
17.	Deslizamientos o caídas de roca	
18.	Avalanchas y flujos	
19.	Erosión	
20.	Falla mecánica/eléctrica en equipos por deterioro normal en la vida útil	
21.	Error de operación en equipos	
22.	Incendio en equipos	
23.	Deterioro superficial en equipos	
24.	Arranques y paradas fallidas en equipos	
25.	Fallas en el sistema de control e instrumentación	
26.	Precipitación, escorrentía, crecientes e inundaciones.	
27.	Sismo	

Id	Fenómenos/ amenazas/ riesgos*	Fuente**
28.	Geotécnica	Plan de Contingencia Quimbo – Betania. MCO-EMG-FSS036-IT-RH-001-0. Diciembre, 2017
29.	Hidrología – Crecientes	
30.	Incendios Forestales	
31.	Atentado terrorista	
32.	Asonada /Huelgas	
33.	Vertimientos de agua de mala calidad	
34.	Operacionales	

* Se incluyen en la lista tanto fenómenos, amenazas o riesgos sin una clasificación rigurosa de cada uno de sus conceptos

**Hace referencia a las fuentes donde fue tomado el listado de fenómenos, amenazas o riesgos

Fuente: WSP, 2018.

Con el fin de realizar una depuración del listado anterior se realizó una revisión del registro histórico del desastre que permite identificar los fenómenos y/o eventos y los daños o pérdidas asociados a los mismos que se han presentado en el área de estudio del plan y el registro histórico de incidentes ocurridos dentro de la central.

Los riesgos a valorar e intervenir con medidas de reducción de riesgos corresponden a la definición de riesgo de desastre contemplada en la ley 1523 de 2012: “*Riesgo de desastres: Corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un periodo de tiempo específico*”, por lo tanto, se excluyen los riesgos sociales (atentados terroristas, asonadas/huelgas). Sin embargo, el capítulo de manejo de desastres en sus componentes de preparativos y respuesta puede ser aplicado para este tipo de eventos.

Los riesgos asociados a impactos ambientales (Contaminación atmosférica, eutrofización aguas arriba para hidroeléctricas, aumento del ruido, alteración de especies vegetales y animales, afectación sobre el entorno visual, atracción de vectores animales de enfermedades, deterioro del suelo por quemas para cultivo, olores o sustancias volátiles ofensivas y nieblas y vertimientos de agua de mala calidad) se tendrán en cuenta en la valoración únicamente cuando su manejo o tratamiento exceda los límites permisibles normativos por una falla o incidente en la central que puedan afectar los recursos naturales y la salud humana.

1.2.1.1 INFORMACIÓN HISTÓRICA DE DESASTRES

La información sobre eventos de desastres ocurridos históricamente recoge básicamente dos fuentes: la sistematizada en DesInventar (Sistema de Inventario de pérdidas y daños producidos por desastres) y los registros de emergencias de la Unidad Nacional de Gestión de Riesgos de Desastres – UNGRD.

DesInventar es al mismo tiempo una base de datos sobre pérdidas y daños asociados a la ocurrencia de desastres y un instrumento metodológico para el análisis de esas pérdidas y daños. Fue desarrollada a partir de 1994 por la Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres -LA RED y con el tiempo es utilizada o ha sido utilizada en más de 40 países del mundo. Ha sido insumo muy importante para el desarrollo, a partir de 2009, del Global Assessment Report sobre Desastres Naturales (GAR) elaborado por Naciones Unidas cada dos años.

La base de datos de Colombia fue una de las bases piloto desarrolladas en 1994, a la cual se le ha dado continuidad y cubre en, su última versión, un periodo general entre 1914 y febrero de 2018. Debe tenerse en cuenta, sin embargo, como lo señala la metodología de DesInventar⁷¹ que la recopilación sistemática de información solo se ha hecho a partir de 1970, lo cual significa que los registros anteriores a 1970, no deben ser utilizados, por incompletos, para efectos estadísticos.

⁷¹ Ver www.online.desinventar.org

Otro rasgo importante para señalar es que mientras la información 1970-1988 es básicamente de fuentes periodística o de estudios realizados puntualmente; a partir de 1989 es básicamente información oficial: 1989-1994 Oficina Nacional para la Atención de Desastres – Presidencia de la República; 1995-2018 la actual Unidad Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres en sus diversas denominaciones. En total se cuenta con un registro de eventos cercano a los 52.000 para los últimos 50 años, es decir un poco más de 1.000 registros por años, para todo el país.

Los registros de emergencia de la Unidad Nacional de Gestión de Riesgos de Desastres – UNGRD cubren como se señaló el periodo 1995 – 2018. En lo fundamental han sido fuente de los registros de DesInventar para el mismo periodo y técnicamente no deberían existir diferencias entre ellos, para el período correspondiente. Sin embargo, hay un elemento que puede hacer un poco mayor el número de registros de la UNGRD. DesInventar no registra eventos que no reporten, cuantitativa o cualitativamente daños y pérdidas, mientras en los registros de la Unidad si aparecen registros sin referencia de daños y pérdidas. La comparación de las dos bases muestra que esta diferencia es poco significativa, menor al 0,3% del total de registros.

En el análisis que se desarrolla a continuación se utilizará información que cubre el período 1970-2017. Se hizo primero una prueba de compatibilidad entre las dos fuentes (campos de registro, tipo de datos y clasificaciones, etc), y se incluyeron en una base de datos tipo Desinventar los escasos registros de la Unidad Nacional que no estaban incluidos en ella.

La información tiene una resolución municipal, es decir la unidad de registro y análisis territorial es el municipio. Aunque en algunos casos se puede llegar a identificar el sitio exacto de ocurrencia del evento, esto no es siempre posible. En ese sentido el análisis histórico que a continuación se presenta es un análisis del entorno a nivel municipal. Y no un análisis específico a nivel detallado.

La información se presenta y analiza en términos de distribución de registros por tipo de evento, la distribución de estos por año, y los principales daños asociados a los mismos en términos de dos variables significativas: personas afectadas y viviendas destruidas o afectadas.

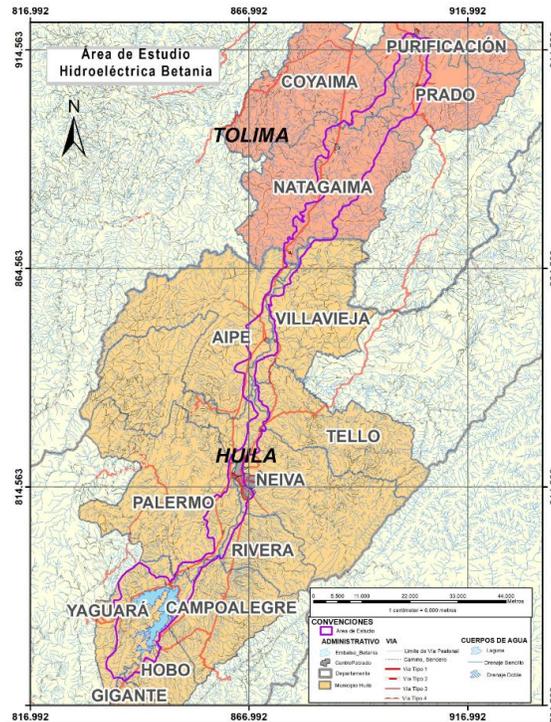
Los municipios que se tienen en cuenta para el análisis son los siguientes: Campoalegre, Hobo, Gigante, Yaguará, Palermo, Rivera, Neiva, Tello, Aipe, y Villavieja en el Departamento del Huila y Natagaima, Coyaima, Prado y Purificación, en el Departamento del Tolima.

El análisis de eventos históricos que se desarrollan permite llegar a una primera aproximación de los riesgos más importantes y con mayor incidencia y priorizar los que deben ser analizados mas tarde en las fases de análisis y evaluación.

1.2.1.1.1 Registros históricos de las áreas de estudio

En la Figura 1-27 se presentan los municipios del área de estudio del plan.

Figura 1-27 Localización de la zona de estudio



Fuente: WSP., 2019, basado en DesInventar y en UNGRD

En estos catorce municipios se han presentado históricamente una serie de eventos de desastres asociados a un conjunto de amenazas que pueden, eventualmente, afectar físicamente o funcionalmente a la Central Hidroeléctrica Betania o a su zona de influencia.

La Tabla 1-20 muestra la distribución de registros por tipo de evento, destacándose la ocurrencia de incendios forestales, Inundaciones, deslizamientos, incendios estructurales, vendavales y avenidas torrenciales, los cuales representan 91,8% del total de eventos ocurridos. Los eventos más frecuentes son los incendios forestales, seguidos por las inundaciones y los deslizamientos.

Tabla 1-35 Histórico de eventos

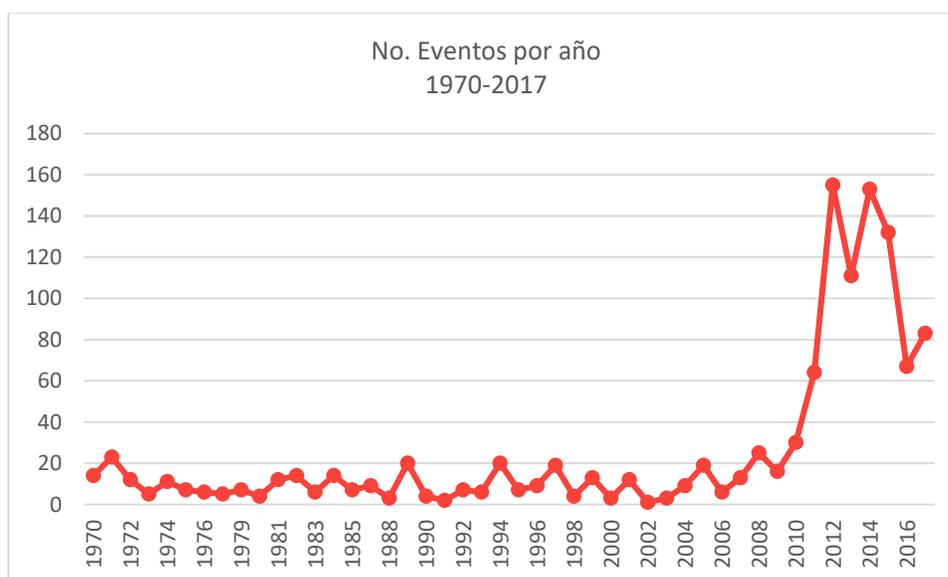
Tipo de Evento	Número de Eventos	Porcentaje
Incendios Forestales	534	45,60
Inundaciones	248	21,18
Deslizamientos	120	10,25
Incendio Estructural	72	6,15
Vendavales	68	5,81
Avenidas Torrenciales	33	2,82
Sismo	20	1,71
Lluvias	20	1,71
Sequía	11	0,94
Colapso Estructural	11	0,94
Tempestad	8	0,68
Explosión	4	0,34
Intoxicación	4	0,34
Biológico	4	0,34
Otros	4	0,34

Tipo de Evento	Número de Eventos	Porcentaje
Epidemia	2	1,17
Contaminación	2	0,17
Escape sustancias peligrosas	2	0,17
Actividad Volcánica	2	0,17
Alud	1	0,09
Plaga	2	0,09
Total	1.172	100,00

Fuente: WSP., 2019, basado en DesInventar y en UNGRD

A continuación, en la Figura 1-28 se presenta el histograma de eventos ocurridos entre 1970 y 2017. Mientras en el período 1970-2010 los registros son en general menores o muy cercanos a 20 eventos por año, a partir de 2011 se presenta un incremento notable del número de eventos, llegándose a unos picos máximos de 155 en el año 2012 y 153 en 2014.

Figura 1-28 Eventos registrados 1970-2017

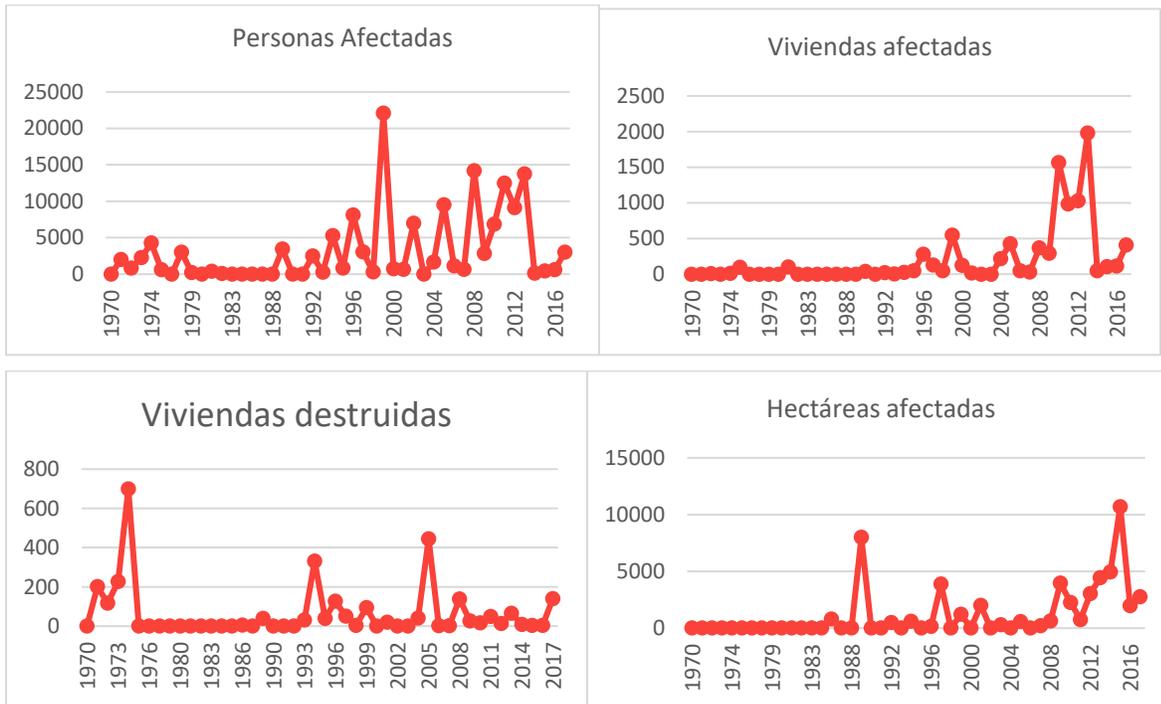


Fuente: WSP., 2019, basado en DesInventar y en UNGRD

Esta acumulación de eventos en los últimos 8 años del período analizado tiene que ver con un repunte de las inundaciones y el registro de múltiples incendios forestales asociados a la variabilidad climática (Fenómeno del Niño/Niña).

No siempre el número de eventos es significativo de la dimensión y de la severidad de lo ocurrido. La revisión de los daños y pérdidas asociadas a estos eventos muestra (Ver Figura 1-29) una mayor concentración de personas afectados en los años 1999, 2005, 2008, 2011, 2012 y 2013, años en los que se presentaron 10.000 o más afectados por diversos tipos de eventos y que especialmente en los últimos tres años señalados parecen corresponder a afectados por la ola invernal asociada al Fenómeno de la Niña.

Figura 1-29 Daños y pérdidas 1970-2017



Fuente: WSP., 2019, basado en DesInventar y en UNGRD

El pico de 20.000 personas afectadas en el año 1999 corresponde principalmente a un desbordamiento del río Frío que afectó el casco urbano de Rivera, Huila y a inundaciones, el mismo año, en Aipe y Natagaima, principalmente.

Las viviendas afectadas, superan las mil por año en los años de 2010-2013, asociadas como en el caso de los afectados, a la ola invernal. En cuanto a las viviendas destruidas los tres picos principales corresponden a: 1974, avenida torrencial por el Río Frío en el municipio de Campoalegre, Huila; 1994 a las afectaciones registradas en Yaguará y el Hobo, causadas por el sismo del 6 de junio de ese año y en 2005 corresponden a inundaciones en los municipios de Neiva y Palermo y a movimientos de remoción en masa en los municipios de Gigante y Campoalegre.

Lo anterior muestra cinco tipos de eventos (deslizamientos, inundaciones, crecientes súbitas, sismos e incendios forestales) que tienen una particular importancia en el conjunto de los tres municipios analizados y que pueden generar algún efecto adverso sobre la central (incluyendo el embalse) y aguas abajo del mismo.

Del conjunto de los eventos registrados en el área estudio y de las pérdidas a ellos asociadas (Ver Tabla 1-36) se destacan, para los análisis más detallados, dos tipos de eventos: aquellos que podemos llamar **intensivos** que, aunque presentan una baja frecuencia (menor a una vez cada diez años en promedio) han producido grandes daños y pérdidas (sismos y avenidas torrenciales) y aquellos que podemos llamar **extensivos**, los cuales son más frecuentes, pero cuyos daños y pérdidas son relativamente moderados (inundaciones, deslizamientos, vendavales e incendios forestales). Eventos diferentes a los anteriores son relativamente poco significativos tanto en términos de ocurrencia y daños causados.

Tabla 1-36 Eventos registrados y pérdidas

Tipo de Evento	Número de Eventos	Personas Afectadas	Viviendas afectadas y destruidas	Hectáreas perdidas
Incendios Forestales	534	4.180	800	31.821
Inundaciones	248	87.045	6.545	17.643
Deslizamientos	120	15.813	1622	834
Incendio Estructural	72	694	129	0
Vendavales	68	9.373	1792	3
Avenidas Torrenciales	33	17.200	1025	410
Sismo	20	2.445	113	0
Lluvias	20	0	3	0
Sequía	11	2.500	0	0
Colapso Estructural	11	59	8	0
Tempestad	8	1.333	35	0
Explosión	4	19	3	0
Intoxicación	4	0	0	0
Biológico	4	200	0	0
Otros	4	0	0	0
Epidemia	2	0	0	0
Contaminación	2	3.000	0	0
Escape sustancias peligrosas	2	0	0	0
Actividad Volcánica	2	505	15	0
Plaga	2	0	0	0
Alud	1	25	5	0
Total	1.172	144.381	12095	50.711

Fuente: WSP., 2019, basado en DesInventar y en UNGRD

En términos de resumen se tiene que en la zona de los catorce municipios analizados se ha registrado la ocurrencia de un total de 1.172 eventos en 48 años (cerca de 24,7 eventos/año) que en su conjunto han causado un total de 123 muertos, 1.192 heridos, 144.381 afectados, 12.095 casas averiadas o destruidas, así como cerca de 50.000 hectáreas de cultivos y/o bosques afectadas, entre los principales daños.

Para realizar una priorización de los eventos a ser considerados para análisis más detallados se puede tomar como referencia la recurrencia del evento y su severidad, expresada esta, en forma general, en términos de daños promedio por evento. En la Tabla 1-37, siguiente, se presentan los principales parámetros utilizados.

Tabla 1-37 Recurrencia y magnitud

Tipo de Evento	Recurrencia Eventos/año	Personas Afectadas por evento	Viviendas afectadas y destruidas por evento	Hectáreas perdidas por evento
Incendios Forestales	11,13	7,83	1,50	59,60
Inundaciones	5,17	350,99	26,39	71,14
Deslizamientos	2,50	131,78	13,52	6,95
Incendio Estructural	1,50	9,64	1,79	0
Vendavales	1,42	137,84	0,04	0,4
Avenidas Torrenciales	0,69	521,21	12,42	12,14
Sismo	0,42	122,25	5,65	0
Lluvias	0,42	0	0,15	0
Sequía	0,23	227,27	0	0
Colapso Estructural	0,23	5,36	0,73	0
Tempestad	0,17	166,63	4,38	0
Explosión	0,08	4,75	0,75	0
Intoxicación	0,08	0	0	0
Biológico	0,08	50,00	0	0
Otros	0,08	0	0	0
Epidemia	0,04	0	0	0
Contaminación	0,04	1.500	0	0
Escape sustancias peligrosas	0,04	0	0	0
Actividad Volcánica	0,04	252,5	7,50	0
Plaga	0,04	0	0	0
Alud	0,02	25	5,00	0

Fuente: WSP., 2019, basado en DesInventar y en UNGRD

Para efectos de esta priorización se considera como de una recurrencia alta el evento que se presenta al menos 1 vez cada año (es decir, 1 o más veces al año); de recurrencia media el que se presenta entre una vez cada año y una vez en cinco años (entre menos de 1 y 0.16 al año) y de recurrencia baja el que se presenta con una frecuencia menor. La Tabla 1-38, siguiente muestra la clasificación de la recurrencia de los tipos de eventos analizados.

Tabla 1-38 Recurrencia - Clasificación en alta, media y baja

Recurrencia Alta	Recurrencia media	Recurrencia Baja
Incendios Forestales Inundaciones	Avenidas Torrenciales Sismo	Explosión Intoxicación

Recurrencia Alta	Recurrencia media	Recurrencia Baja
Deslizamientos Vendavales Incendios estructurales	Lluvias Sequía Colapso Tempestad	Biológico Epidemia Contaminación Escape Actividad Volcánica Alud Plaga

Fuente: WSP., 2019, basado en DesInventar y en UNGRD

Para calificar la magnitud promedio de los eventos se tienen en cuenta el número de personas, el número de viviendas destruidas/afectadas y el número de hectáreas afectadas.

Para personas afectadas, se toman los siguientes rangos:

Alto: más de 500 personas afectadas por evento
 Media: entre 101 y 500 personas afectadas
 Bajo: 100 personas afectadas o menos

Para viviendas afectadas y destruidas se toman:

Alto: 20 o más viviendas
 Medio: entre 11 y 20 viviendas afectadas
 Bajo: 10 o menos de viviendas afectadas

Para Hectáreas afectadas se toma:

Alto: Más de 50 hectáreas afectadas
 Medio: entre 10 y 49 hectáreas afectadas
 Bajo: 10 menos hectáreas afectadas

Tabla 1-39 Magnitud - Calificación por tipo de evento

Tipo de evento	Por Personas afectadas	Por Viviendas Afectadas	Por Hectáreas	Total	Calificación
Incendios Forestales	Baja	Baja	Alta	MEDIA	5
Inundaciones	Media	Alta	Alta	ALTA	8
Deslizamientos	Media	Media	Baja	MEDIA	5
Incendio Estructural	Baja	Baja	Baja	BAJA	3
Vendavales	Media	Baja	Baja	BAJA	4
Avenidas Torrenciales	Alta	Media	Media	ALTA	7
Sismo	Media	Baja	Baja	BAJA	4
Lluvias	Baja	Baja	Baja	BAJA	3
Sequía	Media	Baja	Baja	BAJA	4
Colapso Estructural	Baja	Baja	Baja	BAJA	3
Tempestad	Media	Baja	Baja	BAJA	4
Explosión	Baja	Baja	Baja	BAJA	3
Intoxicación	Baja	Baja	Baja	BAJA	3
Biológico	Baja	Baja	Baja	BAJA	3
Otros	Baja	Baja	Baja	BAJA	3
Epidemia	Baja	Baja	Baja	BAJA	3
Contaminación	Alta	Baja	Baja	MEDIA	5

Tipo de evento	Por Personas afectadas	Por Viviendas Afectadas	Por Hectáreas	Total	Calificación
Escape sustancias peligrosas	Baja	Baja	Baja	BAJA	3
Actividad Volcánica	Media	Baja	Baja	BAJA	4
Plaga	Baja	Baja	Baja	BAJA	3
Alud	Baja	Baja	Baja	BAJA	3

Fuente: WSP., 2019, basado en DesInventar y en UNGRD

Para cada una de las variables se calificó con 3 si es alta la severidad, 2 si es media y 1 si es baja. La sumatoria para cada evento da un valor entre 3 y 9, considerándose como alto entre 7 y 9, media entre 5 y 6 y baja entre 3 y 4.

En la Tabla 1-39 se presenta la calificación de magnitud de los daños para cada uno de los eventos, apareciendo con magnitud alta las Avenidas Torrenciales y las inundaciones, y con magnitud media los deslizamientos y vendavales.

La combinación de las calificaciones de recurrencia y magnitud para cada uno de los tipos de eventos analizados permiten una primera priorización de los tipos de amenaza a ser analizados, tal como se presenta en la Tabla 1-40, siguiente. En este caso se sigue la misma metodología que en el caso anterior, dándole un valor de 3 a la recurrencia o magnitud alta, de 2 a la media y de 1 a la baja, lo cual arroja un resultado entre 2 y 6. La Prioridad o importancia alta se da a las amenazas con 5 o 6 puntos, la media a las calificadas con 4 y la baja a las calificadas con 2 o 3.

Tabla 1-40 Magnitud - Prioridad / Importancia para el análisis

Tipo de evento	Recurrencia	Magnitud	Prioridad / Importancia	Calificación
Incendios Forestales	Alta	Media	MEDIA	4
Inundaciones	Alta	Alta	ALTA	6
Deslizamientos	Alta	Media	ALTA	5
Incendio Estructural	Alta	Baja	MEDIA	4
Vendavales	Alta	Baja	MEDIA	4
Avenidas Torrenciales	Media	Alta	ALTA	5
Sismo	Media	Baja	BAJA	3
Lluvias	Media	Baja	BAJA	3
Sequía	Media	Baja	BAJA	3
Colapso Estructural	Media	Baja	BAJA	3
Tempestad	Media	Baja	BAJA	3
Explosión	Baja	Baja	BAJA	2
Intoxicación	Baja	Baja	BAJA	2
Biológico	Baja	Baja	BAJA	2
Otros	Baja	Baja	BAJA	2
Epidemia	Baja	Baja	BAJA	2
Contaminación	Baja	Media	BAJA	3
Escape sustancias peligrosas	Baja	Baja	BAJA	2
Actividad Volcánica	Baja	Baja	BAJA	2
Plaga	Baja	Baja	BAJA	2
Alud	Baja	Baja	BAJA	2

Fuente: WSP., 2019, basado en DesInventar y en UNGRD

Como principal resultado se tiene que presentan una alta importancia las inundaciones, las avenidas torrenciales, y los fenómenos de remoción en masa. Una importancia media los Incendios forestales los vendavales y los incendios estructurales. Las demás amenazas analizadas han presentado históricamente una importancia baja.

Para complementar la información histórica de referencia, a continuación, en la Tabla 1-41 se presentan los eventos de inundaciones por desbordamiento registrados en las riberas del río Magdalena con posterioridad a 1987, año de entrada en operación de la Central. A continuación, se relacionan eventos identificados, incluyendo aquellos en que en el reporte de Desinventar-UNGRD se señala específicamente la apertura de compuertas de la central como causa de las inundaciones.

Tabla 1-41 Registros histórico de inundaciones aguas debajo de la central posterior a la entrada en operación

FECHA	LOCALIZACIÓN	DESCRIPCIÓN
21.11.1988	Purificación, Tolima	Desbordamiento Río Magdalena
01.03.1989	Neiva, Huila	Desbordamiento del Río Magdalena
20.03.1989	Natagaima, Tolima	Desbordamiento Río Magdalena
07.07.1989	Aipe y Villavieja, Huila	Inundaciones. Apertura de compuertas de la Central
08.07.1989	Purificación, Coyaima y Natagaima, Tolima	Inundaciones. Apertura de compuertas
15.07.1989	Neiva, Huila	Inundaciones. Apertura de compuertas de la Central
06.04.1994	Aipe y Villavieja, Huila	Desbordamiento Río Magdalena
15.04.1994	Villavieja y Neiva	Inundaciones desbordamiento Río Magdalena
01.03.1999	Villavieja	Desbordamiento Río Magdalena
19.11.2004	Neiva, Huila	Desbordamiento Río Magdalena
12.02.2005	Natagaima Tolima	Desbordamiento Río Magdalena
02.05.2017	Prado, Tolima	Desbordamiento Río Magdalena
10.06.2010	Rivera, Huila	Desbordamiento Río Magdalena
28.03.2009	Aipe, Huila	Desbordamiento Río Magdalena
06.11.2010	Prado, Tolima	Desbordamiento Río Magdalena
08.12.2011	Neiva, Huila	Desbordamiento Río Magdalena
11.04.2012	Palermo, Huila	Desbordamiento Río Magdalena
15.05.2017	Aipe, Huila	Desbordamiento Río Magdalena

Fuente: WSP., 2019, basado en Desinventar y en UNGRD

1.2.1.1.2 Registros históricos de incidentes internos

En la Tabla 1-42 se presenta el historial de fallas registradas en la central hidroeléctrica Betania en los últimos dos (2) años. De las amenazas internas registradas, no se observa ningún antecedente que pueda generar potenciales afectaciones a terceros.

Tabla 1-42. Historial de fallas

ORDEN	AVISO	CLASE	PUESTO	FECHA	DESCRIPCIÓN DE LA ORDEN	UBICACIÓN TÉCNICA	NOMBRE UBICACIÓN TÉCNICA
Sistema De Inyección De Aire Betania – Órdenes Correspondientes A Las Rutinas E Historial De Fallas							
20000029 5147	20000012 2695	M4	I_BET MC	20.03.20 18	BE FALLA COMPRESOR No 1 REGULADOR	CO-BETA-H-U1-SL	SERVICIOS AUXILIARES DE UNIDAD 1
20000033 4295	20000013 3383	M4	I_BET MC	08.05.20 18	BE CORREGIR FALLA COMPRESOR REGULADOR 1	CO-BETA-H-ZZ-96-10	SISTEMA AIRE REGULADORES

20000020 5968	20000008 7706	M4	I_BET MC	04.12.20 17	FUGA DE ACEITE COMPRESOR AIRE TURBINA U3	CO-BETA-H- ZZ-96-10	SISTEMA AIRE REGULADORES
20000016 5788	20000007 1612	M4	I_BET MC	06.10.20 17	FUGA DE AIRE COMPRESOR 2 DEL REGULADOR	CO-BETA-H- ZZ-96-10	SISTEMA AIRE REGULADORES
20000006 8972		M4	I_BET ME	16.05.20 17	BE ELECT. MTTO CORR MOTOCOMPRESOR 1 AIRE	CO-BETA-H- ZZ-96-10	SISTEMA AIRE REGULADORES
20000004 1455		M4	I_BET ME	05.04.20 17	BE ELECT. MTTO CORR BETU2 MOTOCOMPRESOR	CO-BETA-H- ZZ-96-10	SISTEMA AIRE REGULADORES
Sistema De C.A. Betania – Órdenes Correspondientes A Las Rutinas E Historial De Fallas							
20000015 7373		M4	I_BET ME	26.09.20 17	MTTO ELEC. CORR 3CKQP GAVETA BOMBA No 1	CO-BETA-H- U3-SL-13	TABLERO SERVIC AUX UNIDAD 480V 3CKQP U3
20000030 7690	20000011 8340	M4	I_BET ME	23.04.20 18	BE ALTA TEMPERATURA TRAFO AUX. BHTR CJQL	CO-BETA-H- ZZ-SL-14	TRANSFORMAD ORES AUXILIARES 480V

Fuente: EMGESA, 2019.

A su vez, se identifica en el plan de contingencia las siguientes fallas:

- Se presentó una descarga eléctrica en uno de los transformadores de la subestación en la década de los 90, causando la muerte de uno de los ingenieros de la central.
- En la década de los 90 se generó un incendio debido a una falla en uno de los transformadores. Se esperó a que el incendio cesara por sí solo, pero aun así acudió el cuerpo de bomberos. No se presentaron daños significativos.
- Entre el 2007 y 2008 se presentó un incendio por falla en excitación Diésel del vertedero. Esto ocasionó daño en las bobinas de un generador y se detuvo su operación por 8 meses.

1.2.1.2 PRIORIZACIÓN DE RIESGOS DE LA FASE DE IDENTIFICACIÓN

Con base en la lista anterior y la revisión de los eventos históricos en el área de influencia del proyecto, se realizó una depuración de las amenazas y se desarrolló el análisis de priorización, estableciendo la potencial frecuencia de las amenazas y sus efectos, cómo se ilustra en la Tabla 1-43.

Tabla 1-43 Análisis de frecuencia y consecuencias para la priorización de riesgos (fenómenos o tipos de eventos)

Id	Riesgos (fenómenos o tipos de eventos)	Probabilidad	Consecuencia
1	Avenidas Torrenciales	5	3
2	Sismo	2	6
3	Deslizamientos (Remoción en masa)	5	3
4	Vendavales	2	2
5	Inundaciones por rotura de presa	1	6
6	Inundaciones asociadas a descargas	4	3
7	Actividad Volcánica	1	4
8	Incendio estructural	1	2

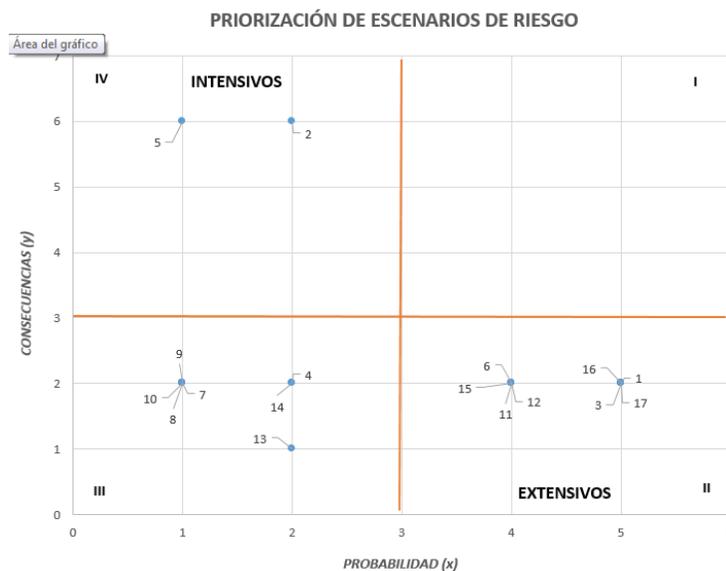
Id	Riesgos (fenómenos o tipos de eventos)	Probabilidad	Consecuencia
9	Vendaval	1	2
10	Plaga	1	2
11	Incendios Forestales	4	3
12	Déficit de agua	2	2
13	Erosión	4	1
14	Eutrofización del embalse	2	2
15	Contaminación de agua del embalse	4	3
16	Fallas eléctricas	4	3
17	Fallas Mecánicas	3	3

Fuente: WSP, 2018.

Se debe tener presente que al depurar las amenazas se omitieron algunos elementos listados previamente, que corresponden a consecuencias cómo tal de la amenaza, o a impactos ambientales del proyecto. Así mismo, para este ejercicio se agruparon los eventos listados correspondientes a: Falla mecánica/eléctrica en equipos por deterioro normal en la vida útil, Deterioro superficial en equipos, Error de operación en equipos, Incendio en equipos, Arranques y paradas fallidas en equipos, Fallas en el sistema de control e instrumentación, Emisión y/o derrame de sustancias contaminantes (químicos, combustibles, grasas, PCB); ya que estos se analizarán más adelante, en el marco de la evaluación de amenazas al interior de la Central.

Al graficar los resultados del análisis de priorización se obtuvo la Figura 1-30.

Figura 1-30 Resultados del análisis de priorización



Fuente: WSP, 2019. Los números corresponden al ID referenciado en la Tabla 1-43.

De esta forma, los riesgos que se priorizan para el análisis son los siguientes:

I. Intensivos

- Riesgo sísmico

- Inundación por rotura de presa

II. Extensivos

- Riesgos por Incendios Forestales
- Riesgos por Inundaciones y avenidas torrenciales
- Riesgos por inundaciones asociados a descargas
- Riesgos por Deslizamientos (Fenómenos de remoción en masa)
- Riesgos eléctricos
- Riesgos mecánicos
- Riesgo por vertimientos (Contaminación de agua)
- Riesgo por déficit de agua

1.2.2 ANÁLISIS DEL RIESGO

Corresponde al reconocimiento, comprensión y detalle de los riesgos priorizados que se presentan del entorno a la central, al interior de la central y de la central al entorno.

En la siguiente tabla se presenta la clasificación de los riesgos de acuerdo con los tres escenarios definidos para el análisis de riesgos:

- Identificación de riesgos del entorno que puedan afectar la central
- Identificación de riesgos en las áreas y actividades de la central
- Identificación de riesgos que podría generar la central en el entorno

Riesgos	RIESGO	TIPO DE ESCENARIO		
		Del entorno a la central	Operacionales o Internos	De la central al entorno
Riesgos intensivos	Riesgo sísmico	X		
	Inundación por rotura de presa			X
Riesgos extensivos	Riesgos por Incendios Forestales	X		
	Riesgos por Inundaciones y avenidas torrenciales asociadas al área aferente del embalse	X		
	Riesgos por inundaciones asociados a descargas del embalse			X
	Riesgos por Deslizamientos (Fenómenos de remoción en masa)	X		
	Riesgos eléctricos		X	
	Riesgos Mecánicos		X	
	Riesgo por vertimientos (Contaminación de agua)	X		
	Riesgo por déficit de agua			X

Fuente: WSP, 2019

1.2.2.1 ANÁLISIS DE RIESGO DEL ENTORNO A LA CENTRAL

El análisis de riesgos corresponde a la segunda fase de la valoración de riesgos y se realiza para cada uno de los siguientes escenarios: Del entorno a la central, internos y de la central al entorno.

1.2.2.1.1 Análisis de amenazas del entorno a la central

1.2.2.1.1.1 Análisis de amenaza sísmica

De acuerdo con los estudios de Amenaza Sísmica a nivel nacional, el Departamento del Huila se está catalogado como Amenaza Sísmica Alta, por ende, es importante recopilar los principales sismos que han sido registrados a lo largo de la historia.

En la Tabla 1-44 se muestra la recopilación de los principales sismos históricos que han ocurrido en el Departamento mientras que en la Figura 1-31 se presenta su localización en planta frente a la zona del Proyecto; cabe resaltar, que estos eventos históricos se identificaron a partir de los relatos de la gente y las bitácoras de los viajeros, por ende, la localización y magnitud son aproximados, sin embargo, permiten tener una visión de los efectos que han tenido estos sismos en el Departamento.

Así mismo, se resalta que los sismos más destructivos que ha tenido el Departamento ocurrieron en el año 1827 y 1963 (resaltados con íconos verdes en la Figura 1-31), los cuales, tuvieron epicentro en San Agustín y al NEN de Neiva respectivamente; así mismo, se resalta que los eventos más cercanos a Betania ocurrieron en Elías-1895 y Puerto Seco-1944, sin que se haya documentado daños considerables.

Tabla 1-44 Recopilación de los principales sismos ocurridos en el Departamento del Huila

ID	Día	Mes	Año	Comentario	Epicentro	Magnitud/Intensidad
1	-	-	1765	Poderoso sismo que destruyó el municipio de Almaguer en el Cauca.	Almaguer, Cauca	Intensidad II
2	28	Nov	1816	Sismo localizado en Neiva, Huila. No hay registros de los daños que haya generado	Neiva, Huila	Intensidad I
3	16	Nov	1827	Sismo que generó caída de torres y casas. Se aseguró que el origen fue en el cerro del Huila y en el volcán Puracé. Generó además deslizamientos en los cerros que formaban el estrecho del río Suaza.	San Agustín, Huila	7.1
4	-	Abr-May	1895	Entre el 3 y el 6 de octubre los historiadores datan una fuerte erupción del volcán Puracé, que generó varios sismos en la región	Elías, Huila	Intensidad I
5	14	Jul	1944	Sismo localizado a una profundidad de 100 Km. No hay registros históricos	Cerca a Puerto seco, Huila	6.0
6	25	Abr	1955	No hay registros históricos	Andalucía Huila	Intensidad I
7	4	Abr	1963	No hay registros históricos	Colombia, Huila	Intensidad I

ID	Día	Mes	Año	Comentario	Epicentro	Magnitud/Intensidad
8	9	Feb	1967	Se dice que le epicentro fue a unos 40Km de Neiva, con hipocentro a 50Km debajo de la cordillera oriental. El sismo dejó alrededor de 74 muertos y numerosos daños materiales	ENE Neiva, Huila	7.0
9	5	Nov	1967	No hay registros históricos	Boqueroncito, Huila	4.9
10	8	Jul	1968	No hay registros históricos	La Plata, Huila	4.5
11	28	Sep.	1970	No hay registros históricos. Profundidad estimada de 65 Km	Al este de Campoalegre, Huila	4.5
12	22	Nov	1972	No hay registros históricos. Profundidad estimada de 42 Km	Algeciras, Huila	5.0
13	18	Oct	1973	No hay registros históricos. Profundidad estimada de 42 Km	Vega Larga, Huila	5.2

Fuente: WSP., 2019.

Figura 1-31 Localización de los sismos históricos del Departamento del Huila, cercanos la Hidroeléctrica Betania



Fuente: WSP., 2019.

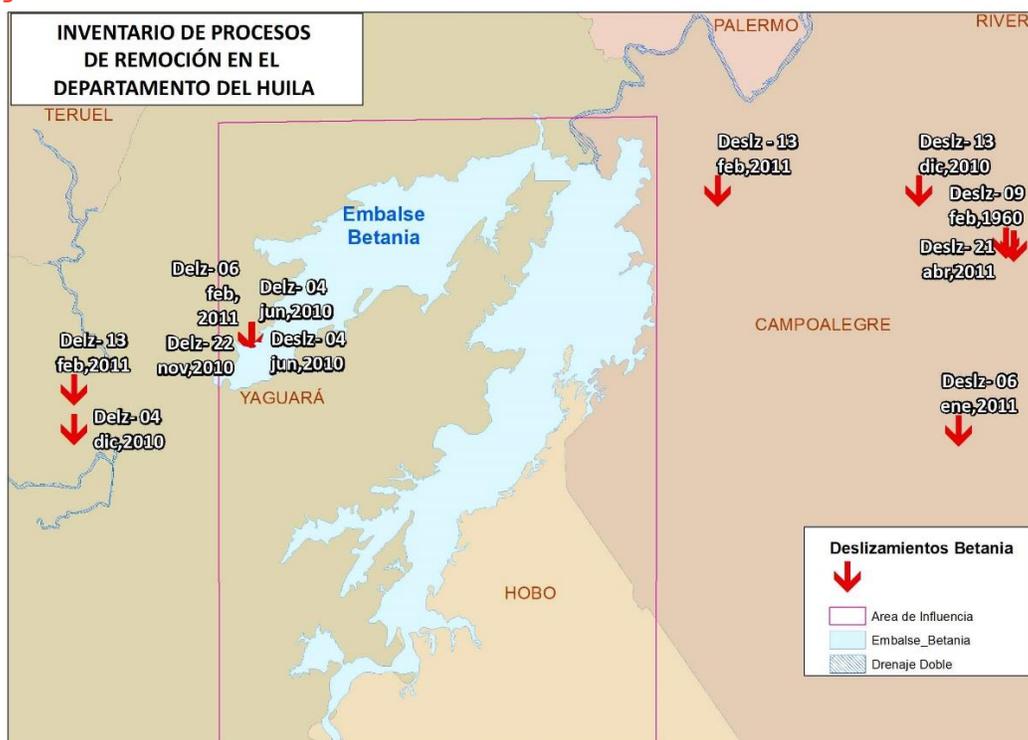
1.2.2.1.1.2 Análisis de amenaza por procesos de remoción en masa

Los Procesos de Remoción en Masa (PRM) se definen como el desplazamiento de un volumen de material litológico (ya sea suelo, roca, escombros o cobertura vegetal) por la acción de la gravedad. Este desplazamiento depende de las condiciones del terreno (geomorfología y pendiente), las características del

material y sus propiedades mecánicas (cohesión y ángulo de fricción). Si se desea profundizar en la contextualización teórica de los PRM, se invita a revisar el Literal E del Anexo 1-1 del presente documento.

En primera instancia, es necesario contextualizar la amenaza con un inventario de eventos históricos en la zona de afectación de Betania. Para ello, se utilizó como información a escala local, el Plan de Contingencia existente (1998), el Plan de Manejo Ambiental (2002), y el Plan de Gestión del Riesgo y Manejo de Vertimientos (2016); complementando esto, se usó el Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA). En la Figura 1-32 se muestra la localización de los eventos encontrados junto con la delimitación del área de influencia del embalse, mientras que en la Tabla 1-45 se presenta la descripción de cada uno de estos eventos. Como se observa, los eventos localizados no se encuentran cerca del área de influencia del proyecto.

Figura 1-32 Localización de deslizamientos históricos - Embalse Betania



Fuente: WSP., 2018.

Tabla 1-45 Recopilación de eventos históricos de PRM en la zona de influencia de Betania

Fuente	Fecha Evento	Tipo Evento	Municipio	Localización	Observaciones
SIMMA	09-feb-60	Deslizamiento	Campoalegre	-	Se clasifica como un evento de importancia baja
SIMMA	04-jun-10	Deslizamiento	Yaguará	-	-
SIMMA	04-dic-10	Deslizamiento	Campoalegre	-	Se clasifica como un evento de importancia baja

Fuente	Fecha Evento	Tipo Evento	Municipio	Localización	Observaciones
SIMMA	04-dic-10	Deslizamiento	Yaguará	-	Se clasifica como un evento de importancia baja
SIMMA	31-dic-10	Deslizamiento	Yaguará	-	-
SIMMA	13-feb-11	Deslizamiento	Campoalegre	-	Se clasifica como un evento de importancia baja
SIMMA	13-feb-11	Deslizamiento	Yaguará	-	Se clasifica como un evento de importancia baja
SNGRD	25-oct-12	Deslizamiento	Campoalegre	Casco Urbano	Generado por filtración de agua, afectó dos viviendas
SNGRD	21-ene-17	Deslizamiento	Campoalegre	Vía Campoalegre-Algeciras	Socavación en uno de los puentes (No se especifica cual)

Fuente: WSP., 2018.

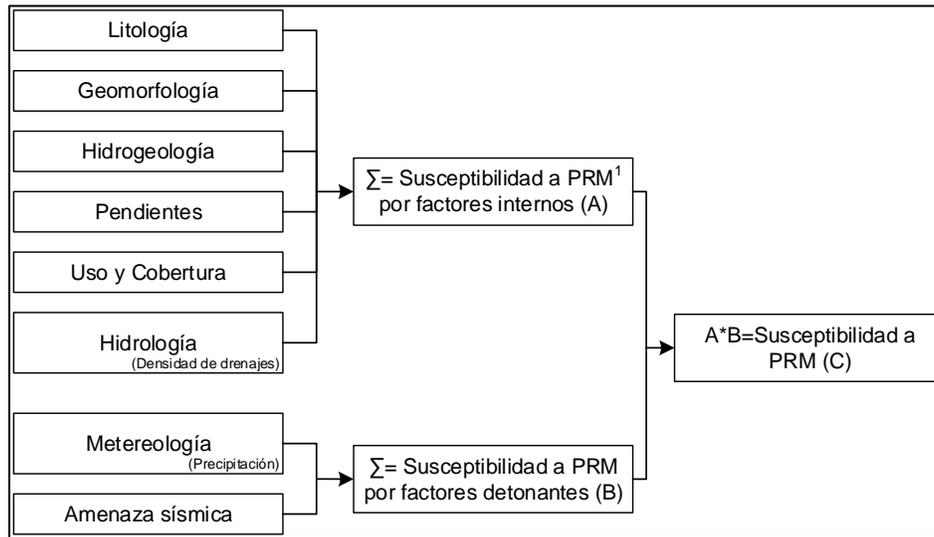
Se concluye que dentro del catálogo de eventos encontrados no se tiene un fenómeno que sirva de modo de calibración, no obstante, las descripciones encontradas en los distintos catálogos, permite calificar la vía Hobo-Campo Alegre como una zona crítica, que se debe tener en cuenta a la hora de realizar los análisis cualitativos que se planteó en este informe.

La metodología utilizada para realizar la zonificación de amenaza por proceso de remoción en masa incluye:

La zonificación geotécnica del sitio, que consiste en la división del terreno en zonas que desde el punto de vista físico y mecánico, son homogéneas, y que son calificadas de acuerdo con las condiciones de estabilidad que puedan afectar el área de estudio. Para definir dichas condiciones, en un ambiente SIG, se definieron áreas con características similares en cuanto a litología (geología), geomorfología, hidrología, cobertura y uso del suelo, densidad de drenajes, actividad tectónica y pendientes.

La metodología empleada para este análisis se muestra en la Figura 1-33, donde se resalta que las variables se dividen en dos grandes grupos: Factores Internos y Factores Detonantes, donde los primeros incluyen todas las variables naturales que definen la estabilidad actual del sitio, y el segundo comprende los factores que pueden desencadenar un Proceso de Remoción en Masa (PRM).

Figura 1-33 Esquema Metodológico para la Zonificación de Amenaza por Procesos de Remoción en Masa (PRM)



Fuente: Modificado de Vargas, G (1. 999). WSP., 2018.

Con base en lo anterior, el Análisis de Amenaza por PRM se desarrolló a partir de las siguientes etapas:

- Recopilación, depuración, clasificación y análisis de Información Secundaria: En esta etapa se recopiló toda la información entregada por EMGESA referente a las condiciones geológico-geotécnicas del sitio, topografía y condiciones de uso del suelo. Cabe resaltar, que este estudio se desarrolló basado en la información secundaria, por ende, esta etapa es fundamental para el desarrollo de la Zonificación de Amenaza por PRM.
- Definición del área de trabajo: De acuerdo con la información de referencia, el área de influencia del proyecto se clasificó como directa e indirecta, las cuales se describen a continuación
 - ✓ Área Directa: Vaso del embalse y las zonas donde se construyeron las principales obras de la Hidroeléctrica
 - ✓ Área Indirecta: Comprende la cuenca tributaria directa del embalse
 Este análisis se hizo sobre el área directa del proyecto, ya que la información secundaria disponible, no permite realizar este análisis en toda el área indirecta del proyecto.
- Elaboración de mapas digitales: Se realizó el mapa base del modelo de evaluación junto con la digitalización de las diferentes capas recopiladas y clasificadas para cada una de las variables establecidas, a partir de la información secundaria relacionada en la Tabla 1-46.

Tabla 1-46 Mapas Temáticos empleados para la elaboración del modelo

Temática	Fuente	Escala	Año
Geología	Servicio Geológico Colombiano	1:25.000	2018

Temática	Fuente	Escala	Año
Geomorfología	Servicio Geológico Colombiano	1:25000	2018
Pendientes	Modelo digital de terreno, elaborado por WSP	Resolución 10 metros	2018
Uso actual y cobertura vegetal	SIAC (Sistema de Información Ambiental de Colombia)	1:100.000	2008
Hidrología	IGAC	1:100.000	2018
Precipitación	SIAC (Sistema de Información Ambiental de Colombia)	1:100.000	2018

Fuente: WSP., 2019.

- Análisis de variables y asignación de pesos: Se llevó a cabo una evaluación cualitativa de las variables, asignando un peso que está en función de la influencia que estas variables tienen frente a procesos de remoción en masa, con el fin de identificar la susceptibilidad del terreno a desarrollar eventos de inestabilidad.
- Elaboración de mapas de susceptibilidad: Se digitalizó la información temática georreferenciada con atributos de cada unidad cartográfica sobre el mapa base digital. Los mapas a incorporar consideran topología de línea (por ej. drenajes) y polígonos (unidades cartográficas temáticas). Para cada variable analizada se elaboró el mapa de susceptibilidad correspondiente.
- Evaluación de variables: Una vez caracterizadas cada una de las variables con base en las categorías y los valores establecidos para la evaluación de susceptibilidad a PRM, se analizó la información resultante definiendo el peso representativo de cada factor.
- Modelo de zonificación y Definición de la Amenaza por PRM: Con base en la ponderación de cada una de las variables y los mapas de susceptibilidad elaborados, se establece el modelo multivariado representativo para la zonificación de la zona de influencia de Betania. Los mapas generados a partir del análisis efectuado se operan digitalmente mediante el uso de un software SIG.

El resultado obtenido de la sumatoria realizada se clasifica por intervalos de evaluación y de acuerdo con la incidencia, sensibilidad y preponderancia de cada una de las variables analizadas dentro de la zonificación; para lo cual, se definieron cinco categorías de susceptibilidad a partir de la asignación de pesos a cada unidad de parámetro. Los pesos asignados para la evaluación se muestran en la Tabla 1-47.

Tabla 1-47 Categorías y valores de susceptibilidad para el análisis de las variables.

Categoría de susceptibilidad	Peso
Muy baja	1
Baja	2
Moderada	3
Alta	4
Muy alta	5

Fuente: WSP., 2019.

I. EVALUACIÓN DE VARIABLES

Teniendo en cuenta que los eventos de remoción en masa se desarrollan cuando en una zona específica los factores contribuyentes se enlazan con los factores detonantes, siendo estos últimos los reductores de la resistencia al corte de los materiales, se propuso establecer la modelación en función de las variables intrínsecas y detonantes, los cuales, se mostraron en la Figura 1-33. A continuación, se presenta la caracterización y modelación que se realizó a cada una de las variables

- **LITOLOGÍA**

Este análisis buscó identificar y evaluar las unidades litológicas presentes en el área de interés, y evaluar su origen, estructura, fábrica e historia de esfuerzos de los materiales aflorantes, como elementos que gobiernan el comportamiento geomecánico de los materiales.

Se asignaron los pesos más altos a los depósitos cuaternarios con distribución granulométrica heterométrica, o con menor grado de consolidación, así como las unidades de roca con alto grado de fracturamiento o meteorización.

En la Tabla 1-48 se muestra La calificación de los pesos para la variable de litología; como se observa, los pesos más altos se les da a los depósitos aluviales ya que están conformadas en su predominancia por materiales poco consolidados, así como las rocas de la formación Honda, ya que como se mostró en la descripción geológica de la zona de Betania, estas rocas presentan pérdida de resistencia y plastificación al tener procesos de humedecimiento, por lo cual, se considera como un material susceptible a sufrir caídas de bloques.

Tabla 1-48 Valores de susceptibilidad a la inestabilidad por litología

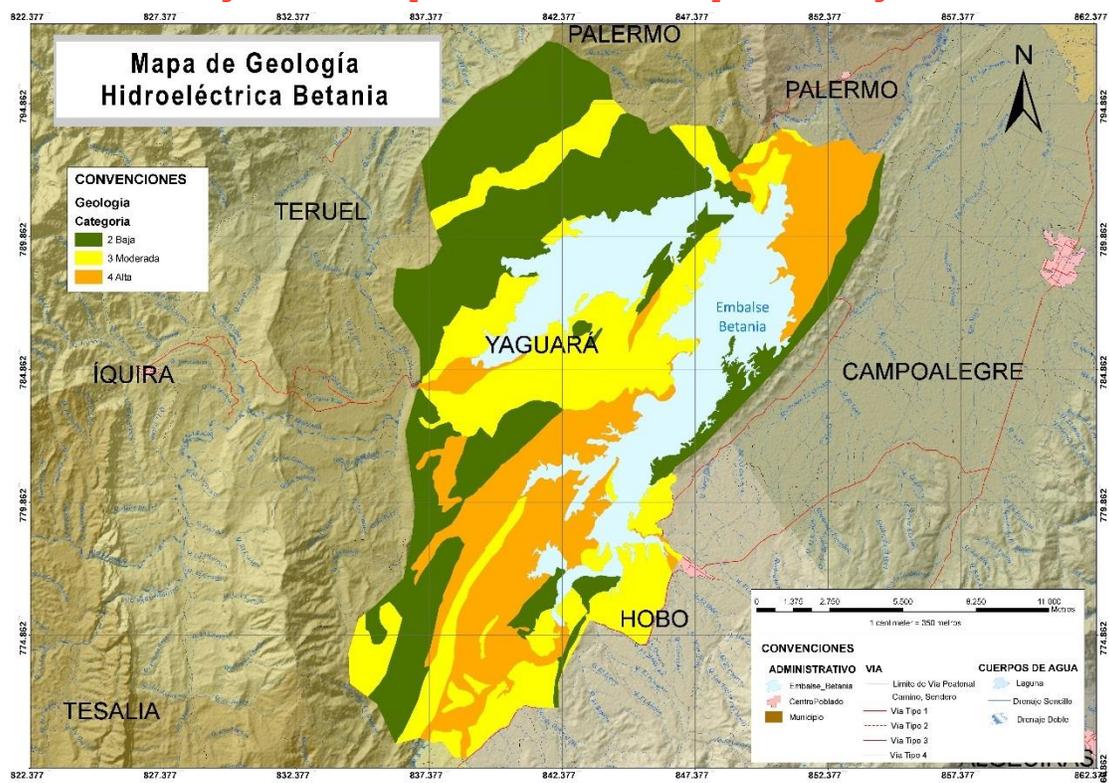
Edad	Símbolo	Formación	Peso
Mesozoico	Kc	Formación Caballos	2
Mesozoico	Kl	Formación Loma Gorda	2
Mesozoico	Ko	Grupo Olini	2
Mesozoico	Ko-Kt	Gr. Olini-Fm LA TABLA	2
Mesozoico	KPgs	Formación Seca	2
Cenozoico	Kt	Formación Tabla	2
Cenozoico	NgQgi	Formación Gigante	2
Cenozoico	Pgp	Formación Palermo	2
Cenozoico	Pgt	Formación Tesalia	2
Cuaternario	Qfl	Depósitos Fluviolacustres	2
Mesozoico	Kh	Formación Hondita	3
Cenozoico	PgNgd	Formación Doima	3
Cuaternario	Qaa1	Abanicos Antiguos muy disectados	3
Cuaternario	Qaa2	Abanicos Antiguos moderadamente disectados	3
Cuaternario	Qt	Terrazas	3
Cenozoico	Ngh	Grupo Honda	4
Cuaternario	Qal	Depósito Aluvial	4

Fuente: WSP 2019

A partir de lo anterior, se elaboró el mapa de zonificación por litología, el cual es presentado en la Figura 1-34. Como se observa, que en las inmediaciones del embalse se tiene un nivel de susceptibilidad intermedio y alto debido a la presencia de materiales de la formación Honda y a los depósitos cuaternarios.

Así mismo, en una menor proporción se presentan zonas de susceptibilidad baja, hacia la parte occidental del embalse.

Figura 1-34 Mapa de zonificación por litología.



Fuente: WSP 2019

- **GEOMORFOLOGÍA**

El análisis de esta variable se efectuó a partir de la evaluación de las unidades geomorfológicas que se tienen en la información secundaria del proyecto, considerando una asignación de mayor peso a aquellas geoformas que presenten una condición que contribuya a la generación y/o activación de procesos de remoción en masa. En la Tabla 1-49 se muestran las calificaciones asignadas a cada una de las geoformas

Tabla 1-49 Valores de susceptibilidad a la inestabilidad por geomorfología

Símbolo	Unidad	Descripción	Peso
Fbc	Barra compuesta	Superficie formada por más de una barra sobre el cauce del río Magdalena alcanzando cientos de metros lateralmente longitudinalmente. La compilación de varias barras se debe a eventos de erosión y sedimentación.	1
Fca	Cauce Aluvial	Canal de forma irregular excavado por erosión de las corrientes perennes o estacionales de los principales drenajes	1
Fta	Terraza de acumulación	Superficie elongada, plana a suavemente ondulada, modelada sobre sedimentos aluviales, que se presenta en forma pareada, limitada por escarpes de diferente altura a lo largo del cauce de un río.	1
Dmo	Montículo y ondulaciones denudacionales	Son unidades con elevaciones del terreno menores a 50 metros sobre su nivel base local, con una morfología colinada, cóncava o convexa, suavemente inclinada y con drenaje divergente.	2

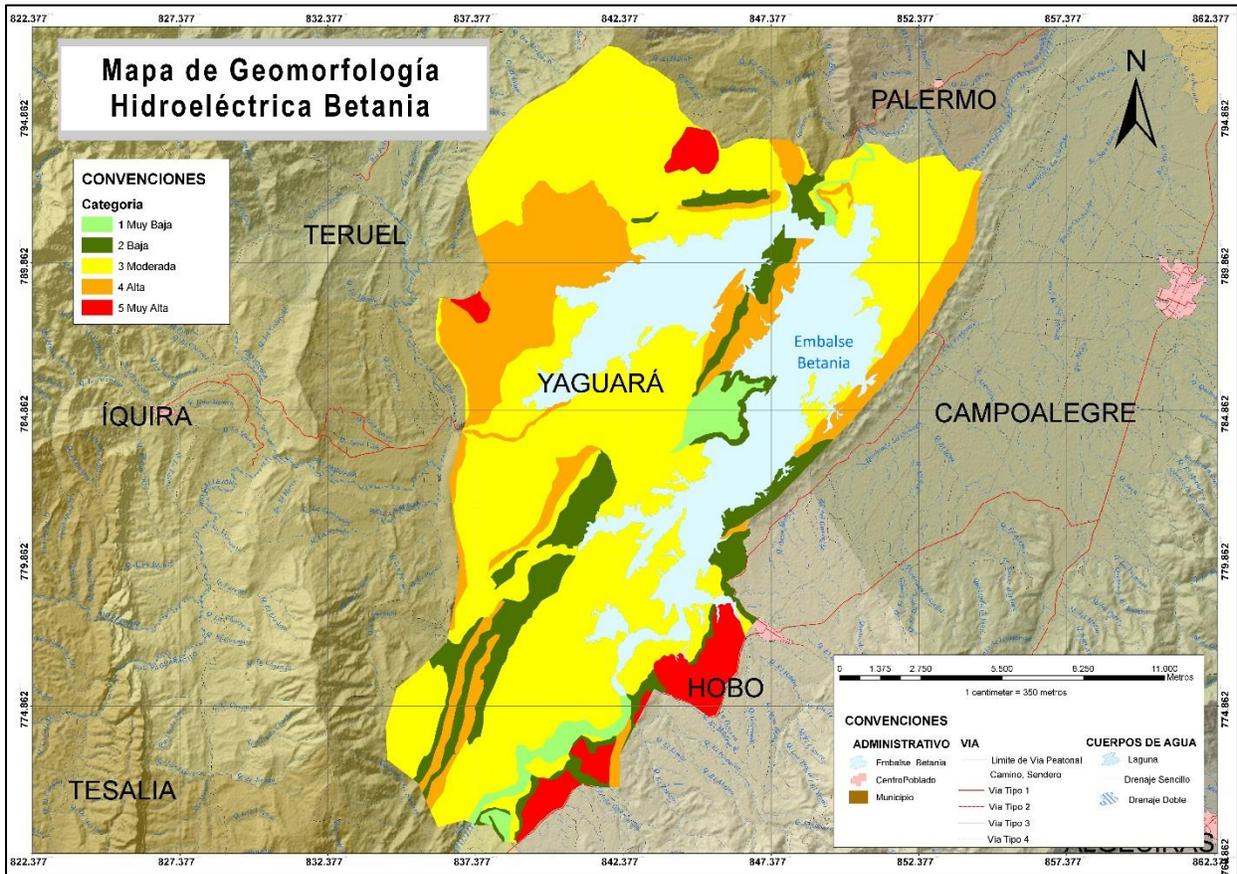
Símbolo	Unidad	Descripción	Peso
Dpa	Pendientes de Acumulación	Superficie de acumulación de sedimentos de muy bajo relieve, laderas ed longitudes moderadamente largas, planas y suaves de forma irregular.	2
Fea	Escarpe de abanico fluvial	Plano subvertical de longitud muy corta a corta, cóncavo o convexo, presente en los bordes de la superficie del abanico. Su origen es relacionado a procesos de incisión de la red de drenaje tributaria.	2
Ftae	Escarpe de terraza de acumulación	Plano vertical a subvertical como resultado de la excavación en sedimentos aluviales que bordean las terrazas de acumulación. Su origen es relacionado a la incisión y profundización del cauce.	2
Ftan	Terraza de acumulación antigua	Superficies alomadas en forma de abanico de extensión kilométrica, laderas cortas a moderadamente largas, cóncavas, convexas y rectas. Se caracterizan por presentar pendientes de 5° a 10° en las partes altas, limitadas por escarpes de disección en forma de “V” amplia que localmente pueden alcanzar inclinaciones de 20°. La mayoría de las veces están colgadas, inclinadas y discordantes sobre rocas antiguas.	2
Scor	Cornisa estructural	Saliente estructural, tabular de morfología alomada suavemente inclinada. Se presenta a manera de repisa. Su origen se debe a la acción conjunta de procesos estructurales y erosión diferencial en la Formación Tesalia.	2
Sshlc	Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal	Superficie vertical a subvertical moderada a larga, de forma cóncava, escalonada, festoneada a irregular, con pendiente abrupta a escarpada, generada por estratos dispuestos en contra de la pendiente del terreno, relacionada a una estructura homoclinal.	2
Dld	Loma denudada	Prominencia topográfica con una altura que no supera los 200 metros sobre su nivel de base local, su morfología es alomada y elongada, laderas cortas a muy cortas, convexas y pendientes muy inclinadas a muy abruptas. Su origen es relacionado a procesos intensos de meteorización y erosión diferencial sobre asociado.	3
Dle	Ladera erosiva	Corresponde a superficies del terreno de pendientes muy inclinadas a escarpadas, de longitudes moderadas a extremadamente largas, de formas planas, cóncavas y convexas, patrón de drenaje típico dendrítico a subparalelo.	3
Dlor	Loma residual	Prominencia topográfica con una altura que no supera los 200 metros sobre su nivel de base local, de morfología alomada y elongada de laderas cortas a muy cortas, convexas y pendientes muy inclinadas a muy abruptas, constituida por suelo residuales, cubiertos por niveles de material volcánicos.	3
Dpcd	Planicie colinada denudada	Geoforma de relieve ondulado y colinado bajo. Predomina el patrón de drenaje subdendrítico con muy poca densidad, presenta una intensidad de erosión moderada.	3
Fpi	Plano o llanura de inundación	Superficie de morfología plana, baja a ondulada, eventualmente inundable. Se localiza bordeando los cauces fluviales, donde es limitado localmente por escarpes de terraza.	3
Fte	Terraza de erosión	Superficie elongada, plana a suavemente ondulada, limitada por escarpes de diferente altura, que se presenta en forma alterna no pareada, a lo largo del cauce de un río.	3
Ftee	Escarpe de terraza de erosión	Plano vertical a subvertical, escalonado, que borde a las terrazas aluviales de erosión. Su origen es relacionado a la incisión y profundización del cauce sobre el estrato rocoso.	3
Sbh	Barra homoclinal	Unidad de morfología alomada dentada y escalonada localizada al noroeste del área en contacto con el Embalse de Betania. Su origen está asociado a la influencia de la Falla de Upar que se encuentra paralela y sobre la unidad	3
Scle	Ladera estructural de cuesta	Superficie con estratos dispuestos a favor de la pendiente de la Formación Hondita; ladera de longitud larga a extremadamente larga, de forma recta, con pendientes inclinadas a muy inclinadas, relacionada a una estructura de cuesta.	3
Se	Espinazo	Morfología colinada a montañosa definida como sierra moderadamente simétrica, elongada de crestas agudas, de laderas rectas, planas a cóncavas, asociada a intercalaciones de estratos de unidades con diferente resistencia de la Formación Lomagorda, Grupo Olini y Formación La Tabla.	3
Sle	Ladera estructural	Superficie en declive, de morfología regular a irregular, definida por planos preferentes paralelos al sentido de la inclinación del terreno. Puede presentarse con longitud larga a extremadamente larga y con pendientes suavemente inclinadas a escarpadas.	3
Vfla	Flujo lahárico aterrazado	Lóbulo alomado de aspecto tabular y plano a suavemente inclinado (2° - 3°), con escarpes de diferente altura. Localmente se localiza paralelo a los ríos a los cuales	3

Símbolo	Unidad	Descripción	Peso
		limita. Su génesis está asociada a la acumulación de productos volcánicos previamente depositados o generados durante la erupción, que han sido mezclados o removidos por cuerpos de aguas superficiales	
Deem	Escarpe de erosión menor	Ladera abrupta o a desplome de longitud corta a larga, de forma cóncavo convexa y eventualmente recta, con pendiente escarpada a muy escarpada, originado por socavación fluvial lateral y movimientos en masa remontantes	4
Scle	Ladera de contrapendiente de cuesta	Geoforma definida como laderas de morfología alomada, relieve bajo y rectilíneo con pendientes muy inclinadas. Su origen está asociado a las fallas de Yaguará y de La Boa. Presenta un desarrollo de drenaje dendrítico con muy baja densidad.	4
Sife	Escarpe de línea de falla	Plano vertical a subvertical corto a muy corto, cóncavo a convexo de pendiente abrupta. Su origen se relaciona a las superficies definidas por el truncamiento de estructuras topográficas y geológicas afectadas por procesos de erosión acentuada.	4
Ssh	Sierra homoclinal	Unidad definida como una sierra de morfología colinada simétrica, de laderas escarpadas de forma convexa e irregular sin asociación de patrón estructural, se desarrolla sobre la Formación Baché y con e erosión alta.	4
Sshle	Ladera estructural de sierra homoclinal	Superficie definida por la inclinación de los estratos a favor de la pendiente, de longitud corta a moderada larga, formas rectas a convexas y pendientes escarpadas a muy escarpadas, relacionada a una estructura homoclinal.	4
Ddi	Cono de deslizamiento indiferenciado	Estructura en forma de lóbulo de morfología alomada baja, laderas de longitud corta, forma convexa y muy inclinadas, con cambios súbitos de la pendiente. El patrón de drenaje es paralelo que desemboca en el Embalse de Betania. Su origen es relacionado a procesos de movimientos en masa de tipo deslizamiento de tierra.	5
Faa	Abanico Fluviotorrencial	Superficie en forma de cono, de laderas cóncavas a convexas de morfología plana, aterrazada. Su origen es relacionado a la acumulación torrencial y fluvial en forma radial, donde una corriente desemboca en una zona plana.	5
Sif	Lomo de falla	Unidad definida por la influencia tectónica de la Falla de Algeciras y lineamientos, producto de esta actividad se genera un cerro elongado de morfología colinada, con laderas rectas y cóncavas, con pendientes muy abruptas a escarpadas	5

Fuente: WSP 2019

Con base en lo anterior, en la Figura 1-35 se muestra el mapa de zonificación por geomorfología, destacando que la zona del embalse de Betania se encuentra en un nivel de susceptibilidad moderada a PRM por la componente de geomorfología, con unas zonas de susceptibilidad alta en la zona de embalse, y hacia el oeste del mismo.

Figura 1-35 Valores de susceptibilidad a la inestabilidad por geomorfología



Fuente: WSP 2019

- **HIDROGEOLOGÍA**

La hidrogeología se evaluó a partir del análisis de las unidades que presentan la capacidad de almacenar y transmitir aguas subterráneas, teniendo en cuenta la posibilidad de generar procesos de meteorización y procesos de remoción en masa, debido a la reducción de la resistencia de los materiales, asociado al transporte del agua al interior del macizo, generando presiones intersticiales y reducción de la resistencia al corte en las discontinuidades. Los pesos asignados para la variable de hidrogeología se presentan en la Tabla 1-50.

Tabla 1-50 Valores de susceptibilidad a la inestabilidad por hidrogeología.

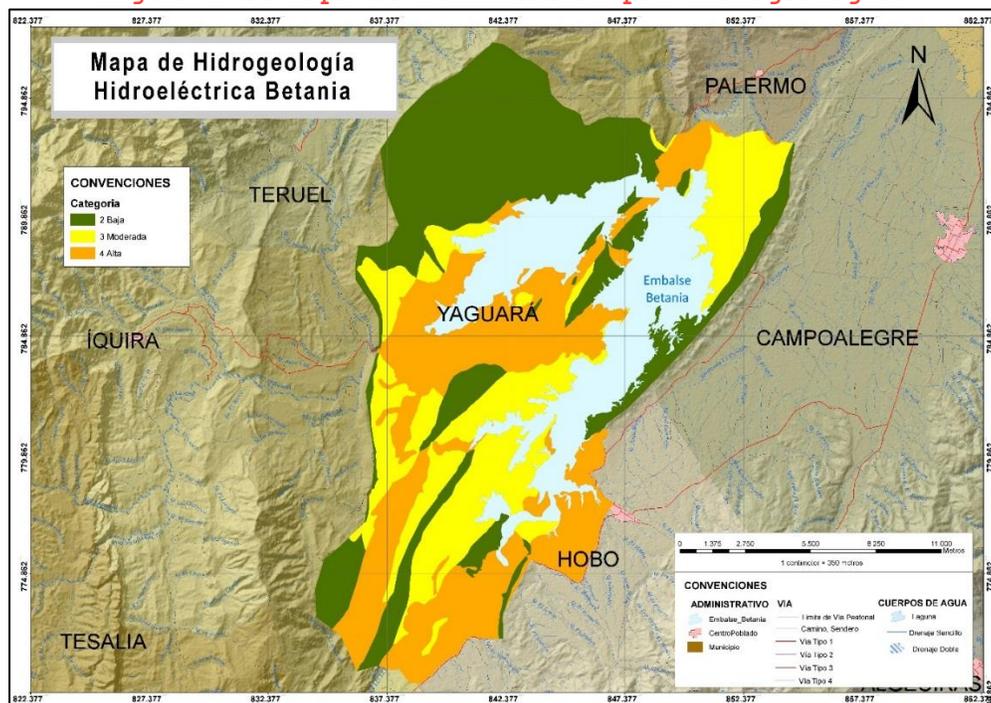
Símbolo	Nombre	Peso
Kc	Formación Caballos	2
Kl	Formación Loma Gorda	2
Ko	Grupo Olini	2
Ko-Kt	Gr. Olini-Fm LA TABLA	2
Kt	Formación Tabla	2
NgQgi	Formación Gigante	2
Kh	Formación Hondita	2

Símbolo	Nombre	Peso
PgNgd	Formación Doima	2
KPgs	Formación Seca	3
Qfl	Depósitos Fluviolacustres	3
Ngh	Grupo Honda	3
Pgp	Formación Palermo	4
Pgt	Formación Tesalia	4
Qaa1	Abanicos Antiguos muy disectados	4
Qaa2	Abanicos Antiguos moderadamente disectados	4
Qt	Terrazas	4
Qal	Depósito Aluvial	4

Fuente: WSP 2018

En la Figura 1-36 se muestra el mapa de zonificación por hidrogeología resaltando que la zona del embalse de Betania tiene un nivel de susceptibilidad medio con intercalaciones de susceptibilidad alta. Esto se debe, a que las formaciones que se encuentran en la zona del embalse se componen en su mayoría de rocas sedimentarias tipo areniscas y conglomerados, con lentes de arcillolitas, lo cual, hace que su permeabilidad sea moderada a baja. Por otra parte, el nivel más alto de susceptibilidad, lo generan los depósitos cuaternarios, ya que están conformados en su mayoría por arenas de grano grueso a medio, gravas, cantos y guijas bien gradados, lo cual, genera una permeabilidad alta.

Figura 1-36 Mapa de zonificación por hidrogeología.



Fuente: WSP 2019

- *PENDIENTES*

La inclinación del terreno se considera como una variable que favorece el desarrollo de eventos de remoción en masa, debido a que facilita la acción de factores detonantes sobre la litoestratigrafía existente en la zona del embalse. En la Tabla 1-51 se presentan los rangos de valores asociados a la calificación de las pendientes del terreno.

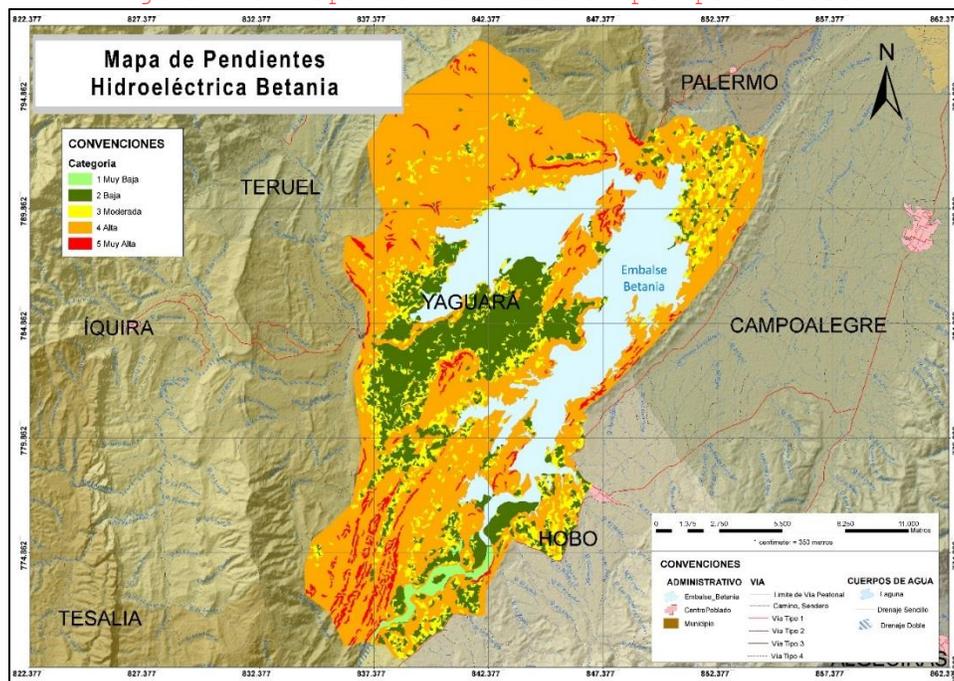
Tabla 1-51 Valores de susceptibilidad a la inestabilidad por pendientes.

Inclinación	Tipo de pendiente	Peso
0-1%	A nivel	1
1-3%	Ligeramente plana	
3-7%	Ligeramente inclinada	2
7-12%	Moderadamente inclinada	3
12-25%	Fuertemente inclinada	4
25-50%	Ligeramente escarpada o ligeramente empinada	
50-75%	Escarpado	5
75-100%	Muy escarpado	

Fuente: WSP 2019

Con base en lo anterior, en la Figura 1-37 se presenta el mapa de zonificación por pendientes, resaltando que se tiene un nivel de susceptibilidad predominantemente alta, salvo algunos sitios muy puntuales, donde la pendiente es muy alta y presenta un nivel de susceptibilidad muy alto. Adicional a esto, se resalta una zona cerca al embalse con susceptibilidad baja.

Figura 1-37 Mapa de zonificación por pendientes.



Fuente: WSP 2019

- USO Y COBERTURA DEL SUELO

El enfoque de este estudio se realiza hacia la caracterización y cartografía de las unidades de uso actual y cobertura vegetal de los suelos como factor de reducción de resistencia al corte o de favorecimiento de los procesos erosivos y de remoción en masa con relación a la estabilidad general. De acuerdo con lo anterior, la Tabla 1-52 muestra los pesos asociados al uso y la cobertura vegetal del suelo presente en la zona del embalse.

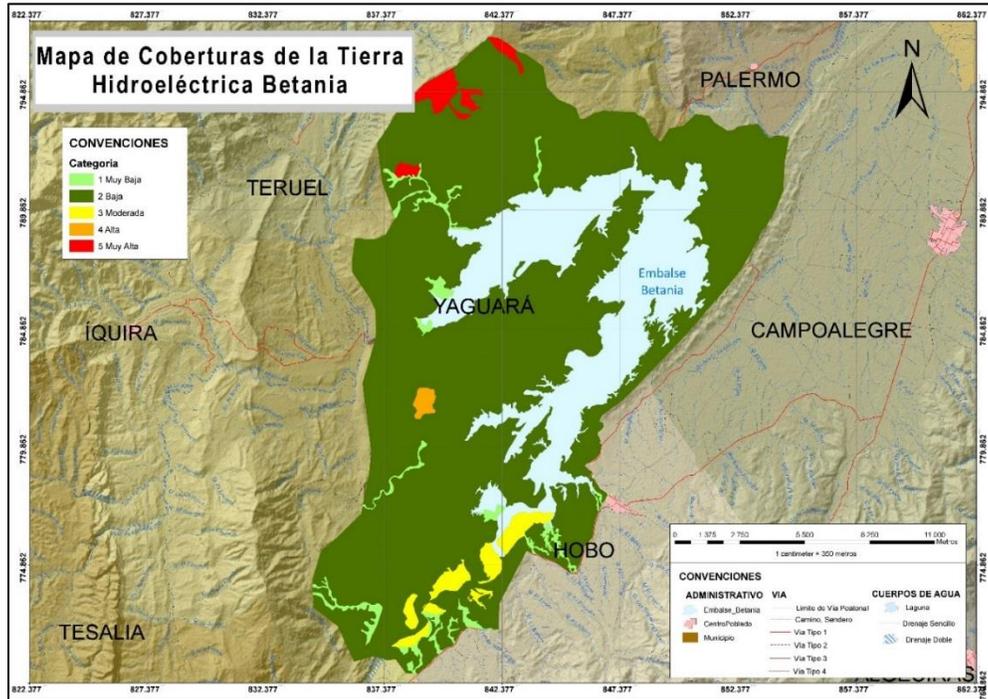
Tabla 1-52 Valores de susceptibilidad a la inestabilidad por uso actual y cobertura vegetal del suelo.

Coberturas	Tipo de uso	Peso
Tejido urbano continuo	Infraestructura	1
Bosque de galería y ripario	Forestal	1
Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	Conservación	1
Cereales	Agricultura	2
Pastos limpios	Forestal	2
Pastos arbolados	Forestal	2
Pastos enmalezados	Forestal	2
Mosaico de pastos y cultivos	Forestal	2
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Forestal	2
Mosaico de pastos con espacios naturales	Forestal	2
Arbustal	Forestal	2
Herbazal	Forestal	2
Arbustal	Forestal	2
Herbazal	Forestal	2
Ríos (50 m)	Conservación	2
Zonas arenosas naturales	Conservación	3
Zonas Pantanosas	Conservación	3
Cuerpos de agua artificiales	Infraestructura	3
Zonas de extracción minera	Minería	4
Tierras desnudas y degradadas	Conservación	5

Fuente: WSP 2019

A partir de lo anterior, se elaboró el mapa de zonificación por cobertura y uso del suelo, el cual es presentado en la Figura 1-38, resaltando que la susceptibilidad predominante es baja, con unas zonas puntuales de susceptibilidad alta.

Figura 1-38 Mapa de zonificación por uso actual y cobertura vegetal del suelo.



Fuente: WSP 2019

- **DENSIDAD DE DRENAJES**

La hidrología se evalúa a partir de la determinación de la densidad de drenajes presente en el área de estudio y la ponderación de acuerdo con tipo de drenaje, categorizados de acuerdo a la capacidad de arrastre y las dimensiones físicas del cuerpo hídrico; esta variable, asociada con los niveles de precipitación, establece la influencia de los niveles máximos de aguas sobre la disminución de la resistencia de los materiales, basado en el principio de esfuerzos efectivos.

Mediante el procesamiento de la información en SIG se efectuó el cálculo de la densidad de drenajes por unidad de área (m/km^2), estableciendo un radio de influencia de 1 km. A cada medición realizada se le asigna un peso de acuerdo con los rangos de evaluación establecidos en la Tabla 1-53.

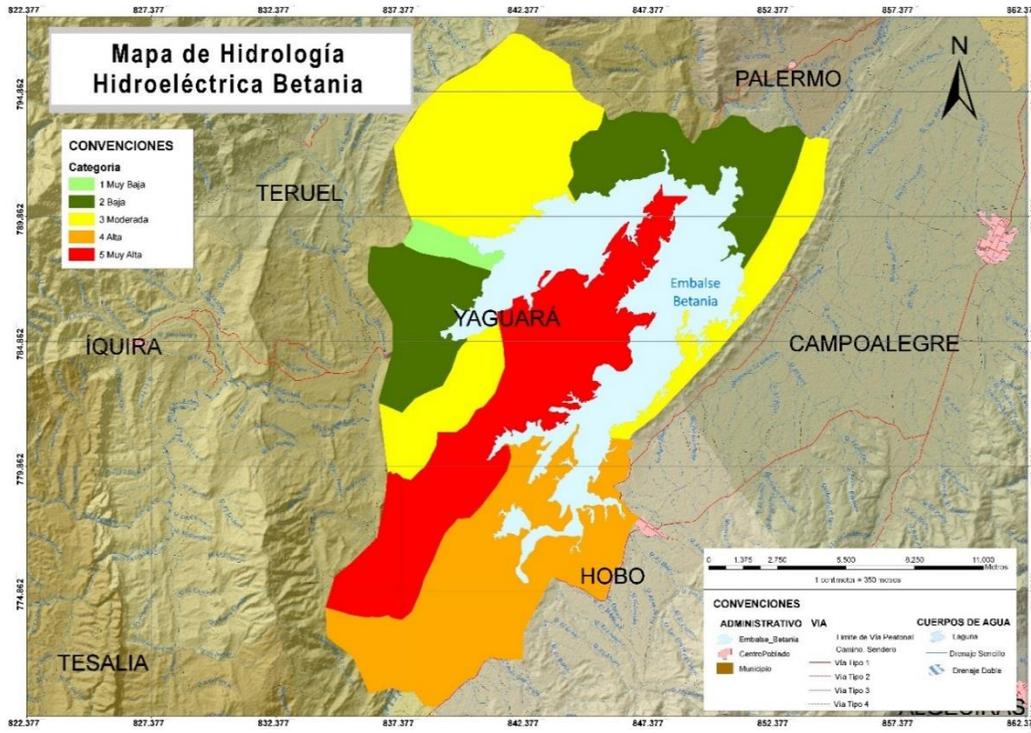
Tabla 1-53 Intervalos para categorizar la densidad de drenajes

Rangos Densidad de drenajes (m/km^2)	Peso
<500	1
500 - 1200	2
1200 - 2300	3
2300 - 3500	4
>3500	5

Fuente: WSP 2019

Con base en esto, en la Figura 1-39 se presenta el mapa de densidad de drenajes, donde se resalta que la zona media del área de influencia presenta una susceptibilidad entre baja a moderada, mientras que la zona del embalse tiene un nivel de susceptibilidad alto.

Figura 1-39 Mapa de susceptibilidad de drenajes



Fuente: WSP 2019

- **AMENAZA SÍSMICA**

El factor de sismicidad se evaluó con base en un análisis probabilístico; el procedimiento y los resultados se expusieron en el sub-numeral de amenaza sísmica, y para el presente análisis, se considera como la probabilidad de ocurrencia de un evento cuya magnitud es capaz de generar una perturbación en el suelo que desencadene fenómenos de remoción en masa. En la Tabla 1-54 se muestran los pesos asociados a esta variable.

Tabla 1-54 Valores de susceptibilidad a la inestabilidad por amenaza sísmica.

Descripción General	Peso
Aquellas regiones cuyo sismo de diseño no excede una aceleración pico efectiva (Aa) de 0.10 g	2
Regiones donde existe la probabilidad de alcanzar valores de aceleración pico efectiva mayor de 0.10 g y menores a 0.25 g.	3
Aquellas regiones donde se esperan sismos muy fuertes con valores de aceleración pico efectiva mayor a 0.25 g	4

Fuente: WSP 2019

- **PRECIPITACIÓN**

La evaluación de la precipitación como uno de los factores que intervienen en el desempeño geo-mecánico de los suelos y rocas se efectuó a partir del mapa de distribución de la precipitación en mm/año. La distribución espacial de la precipitación en el área de influencia del proyecto condiciona la probabilidad de ocurrencia de los eventos de remoción en masa a partir de la intensidad de lluvia antecedente, la cual se asocia a la capacidad de variar la condición de esfuerzos en la masa de suelo reduciendo su resistencia y desencadenando deslizamientos superficiales o profundos. Los rangos definidos para la ponderación de esta variable se indica en la Tabla 1-55.

Tabla 1-55 . Valores de susceptibilidad a la inestabilidad por precipitación

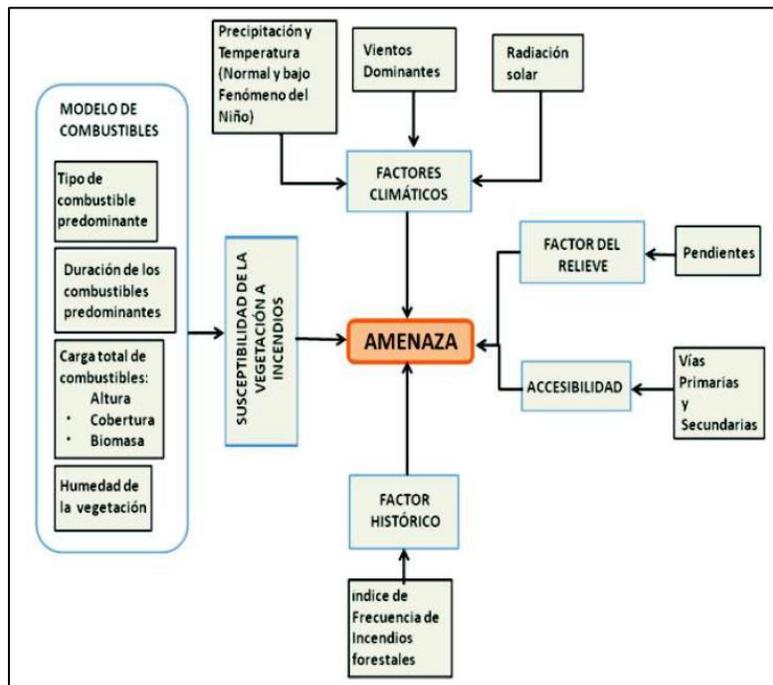
Precipitación (mm/año)	Peso
0-500	1
500-1000	2
1000-1500	3
1500-2000	4
> 2000	5

Fuente: WSP 2019

1.2.2.1.1.3 Análisis de amenaza por incendios forestales

Para la identificación de la amenaza de incendios forestales se tomó como base la metodología propuesta por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM): protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios forestales año 2010, información suministrada por Emgesa en el Plan de Manejo Ambiental de la Central Hidroeléctrica de Betania, datos sobre incendios forestales reportados por la Dirección nacional de Bomberos de Colombia para el Municipio de Yaguara y las estadísticas reportadas por el IDEAM identificando las áreas críticas (ver Figura 1-40).

Figura 1-40 Metodología para identificar la amenaza por incendios forestales



Fuente: IDEAM, 2011⁷²

Para la identificación de amenazas del entorno a la central hidroeléctrica y de acuerdo con la metodología establecida se analizaron las siguientes variables:

- Susceptibilidad de la cobertura vegetal a los incendios
- Factores climáticos
- Factor de relieve

Soportado mediante la siguiente información cartográfica

- Mapa base con límites político-administrativos, centros poblados, hidrografía.
- Mapa de cobertura vegetal
- Mapa de precipitación media multianual
- Mapa de temperatura media multianual
- Mapa de pendientes
- Mapa de vías de acceso

Como punto de partida se definió un área de análisis delimitada con información resultante de la interpretación de las coberturas usando la metodología Corin Land Cover del año 2010 y la identificación de las vías de acceso y movilización en áreas cercanas a la operación de la hidroeléctrica. Este tipo de elementos físicos y naturales se convertirían en una barrera para la propagación de un incendio forestal y permitirían una atención oportuna por parte de las autoridades regionales o personal capacitado de la central para atender este tipo de emergencias. Se integraron en este análisis otros factores que permitieron definir la amenaza por incendio forestal como son los climáticos y de relieve.

⁷² IDEAM, Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal - Escala 1:100.000 Bogotá, D. C., 2011. 109 pag.

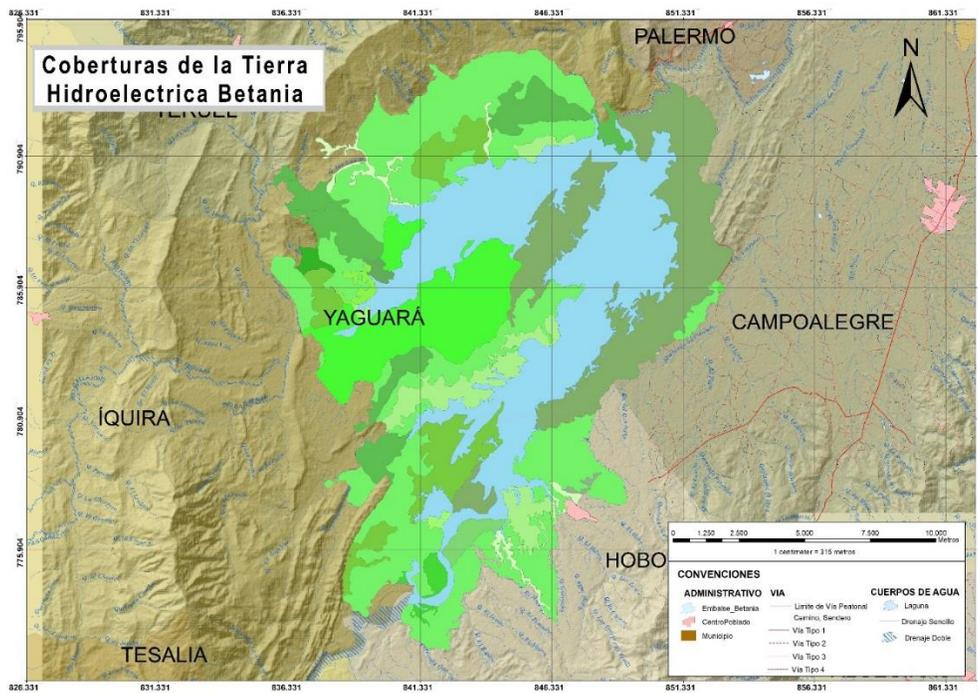
A continuación, se analizan cada uno de los factores identificados para determinar la amenaza por incendios forestales en la central, con lo cual se le asignaron un valor según el grado de amenaza.

- VEGETACIÓN

Existen ciertas especies forestales con grado de combustibilidad. Sin embargo, en Colombia se han desarrollado pocos estudios en cuanto a la biología y estructura de las especies que permitan determinar su inflamabilidad. Se sabe que el riesgo de incendios puede aumentar particularmente en cultivos que se defolian en época seca, zonas donde existen gruesas capas de materia orgánica muy propensas a quemarse, la presencia de especies pirofílicas asociadas a las coberturas aumentarían el riesgo de incendio y algunas gramíneas que son grandes facilitadoras de un incendio⁷³.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente y partiendo del mapa de cobertura vegetal se identificaron coberturas de la tierra pertenecientes a herbazales, Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, Mosaico de pastos con espacios naturales, pastos enmalezados y pastos limpios, coberturas que por sus características poseen cargas de combustibles de material vegetal seco y generan una propagación rápida y una baja intensidad de incendio. Coberturas como cereales (cultivos) y pastos arbolados por contener elementos arbóreos o arbustivos generan fuegos rápidos que se propagan por las copas de los matorrales o arboles formando un estrato casi continuo, consumiendo el follaje y el material leñoso fino vivo y muerto, lo que contribuye significativamente a la intensidad del incendio. En la Tabla 1-56 y Figura 1-41 se muestran gráficamente las coberturas de análisis identificadas en el área de análisis.

Figura 1-41. Coberturas de la tierra del área de análisis en la Central hidroeléctrica de Betania



Fuente: WSP., 2019

⁷³ Convenio especial de cooperación Ministerio del Medio Ambiente y CONIF 042/96. Mapa de riesgos de incendios en plantaciones forestales en Colombia. 1998

Tabla 1-56. Áreas de coberturas de la tierra en la zona de análisis para análisis de incendio forestal

Nomenclatura	Coberturas De La Tierra	Area (Ha)	%
322	Arbustal	1.551	6,51
314	Bosques de galería y ripario	284,38	1,19
212	Cereales	2.346	9,84
514	Cuerpos de agua artificiales	6.004	25,19
321	Herbazal	3.671	15,40
243	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	86,70	0,36
244	Mosaico de pastos con espacios naturales	969,07	4,06
242	Mosaico de pastos y cultivos	29,99	0,12
232	Pastos arbolados	81,21	0,34
233	Pastos enmalezados	1.364	5,72
231	Pastos limpios	6.837	28,69
511	Ríos (50 m)	162,97	0,68
111	Tejido urbano continuo	60,49	0,25
413	Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	63,44	0,26
331	Zonas arenosas naturales	174,17	0,73
131	Zonas de extracción minera	0,001	0,000005
	Total	23.831,74	100

Fuente: WSP., 2019

Para determinar la susceptibilidad de la cobertura vegetal a incendios se realizó la identificación y valoración de la condición pirogénica de la vegetación, según el modelo de combustibles, en donde se evaluó el comportamiento de las coberturas frente al ecosistema en el área de análisis de la central los cuales se mencionan a continuación:

- Tipo de combustible vegetal en el área de influencia

Los combustibles se clasificaron en función de la velocidad de propagación y resistencia al control en bajo, medio y extremo, las bases para clasificarlos son las partes de los incendios en donde influyen tanto las características como la disponibilidad del combustible.

- ✓ Características del combustible:

- Tamaño y forma:

En cuanto menor sea el tamaño y la forma, más rápido se pierde la humedad por el calor y se alcanza la temperatura de ignición:

- Fino: Hojarascas, el pasto, las acículas.
- Regulares: Ramas y tallos pequeños.
- Medianos: Ramas o algunos tipos de matorrales.
- Gruesos: Ramas gruesas, fustes y troncos.

- Compactación

Se refiere al espacio disponible entre las partículas del combustible. Cuando mayor sea el espacio, más rápido circula el aire. Esto hace que se seque antes y que se incremente la velocidad de propagación del fuego.

- Densidad

A mayor densidad, mayor capacidad para absorber calor sin elevar la temperatura de ignición y, por tanto, mayor resistencia a ser quemada.

- Humedad

El contenido de humedad es decisivo para la inflamabilidad, ya que, mientras hay agua en el combustible, la reacción se mantiene en fase endotérmica.

- Duración del combustible

A continuación, se indica el tiempo de retardo según la forma y el tamaño del combustible

- ✓ De una (1) hora (menor de 6 mm de diámetro), como hierbas y hojas.
- ✓ De diez (10) horas (de 6 mm a 2,5 cm), como ramas pequeñas.
- ✓ De cien (100) horas (de 2,5-7,5 cm), como ramas mayores, restos de podas, etc.
- ✓ De mil (1.000) horas (de 7,5-20 cm), como cepas y troncos de árboles.

- Carga total de combustibles

De acuerdo con el tipo de coberturas identificadas se establece la carga total del combustible siguiendo los valores de referencia establecidos en el manual de incendios de la dirección general de protección civil y emergencias de España⁷⁴.

- ✓ Grupo de pastos: 1-2 t/ha
- ✓ Campos de cereales y praderas naturales altas: 4-6 t/ha
- ✓ Grupo de matorrales: 25-35 t/ha
- ✓ Matorrales mayores a dos (2) metros y restos de cortas: 10-15 t/ha
- ✓ Grupo de hojarasca bajo arbolado: bosques cerrados con hojarasca compacta, bosques con material leñoso caído de claras y cortas parciales. 10-12 t/ha
- ✓ Grupo de ramaje: Bosque claro o fuertemente aclarado, predominio de restos sobre el arbolado y suelo. 50-80 t/ha.

Para determinar cartográficamente la incidencia de la vegetación en la amenaza por incendio forestal en el área de análisis se asignaron categorías de amenaza según el tipo, duración y carga de combustibles de las coberturas identificadas en el área de análisis. Se definieron rangos de calificación según se muestra en la Tabla 1-57.

Tabla 1-57 Categorización de amenaza de Tipo, duración, carga del combustible

Coberturas	Tipo de combustible	Duración del combustible			Carga del combustible	Valor	Producto	Categoría de amenaza
		Valor	Valor	Valor				
Arbustal	Arbustos	2	10 horas	2	Moderada (22-35 t/ha)	2	8	Moderado
Bosque de galería y ripario	Arboles	2	100 horas	1	Alta (50-80 t/ha)	3	6	Bajo
Cereales	Gramineas	3	1 hora	3	Baja (1-2 t/ha)	2	18	Alta

⁷⁴ Manual de incendios forestales. Dirección general de protección civil y emergencias. Grupo Tragsa. España

Coberturas	Tipo de combustible	Valor	Duración del combustible	Valor	Carga del combustible	Valor	Producto	Categoría de amenaza
Cuerpo de agua artificial	No combustibles	0	No combustibles	0	No combustibles	0	0	Sin amenaza
Herbazales	Hierbas	3	1 hora	3	Baja (1-2 t/ha)	2	18	Alta
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Arboles/arbustos/pastos/gramineas	2	10 horas	2	Moderada (22-35 t/ha)	2	8	Moderada
Mosaico de pastos con espacios naturales	Arboles/arbustos/pastos	2	10 horas	2	Moderada (22-35 t/ha)	2	8	Moderada
Mosaico de pastos y cultivos	Gramineas	3	1 hora	3	Baja (1-2 t/ha)	2	18	Alta
Pastos arbolados	Gramineas/arboles	2	1 hora	3	Moderada (22-35 t/ha)	2	8	Moderado
Pastos enmalezados	Gramineas	3	1 hora	3	Baja (1-2 t/ha)	2	18	Alta
Pastos limpios	Gramineas	3	1 hora	3	Baja (1-2 t/ha)	2	18	Alta
Rios (50m)	No combustible	0	No combustible	0	No combustible	0	0	Sin amenaza
Tejido urbano continuo	No combustible	0	No combustible	0	No combustible	0	0	Sin amenaza
Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	No combustible	0	No combustible	0	No combustible	0	0	Sin amenaza
Zonas arenosas naturales	No combustible	0	No combustible	0	No combustible	0	0	Sin amenaza
Zonas de extracción minera	No combustible	0	No combustible	0	No combustible	0	0	Sin amenaza
Zonas pantanosas	No combustible	0	No combustible	0	No combustible	0	0	Sin amenaza

Fuente: WSP., 2019

Tabla 1-58 Categorización tipo de combustible

Tipo de combustible	Categoría de amenaza	Calificación
Sin coberturas	Sin amenaza	0
Áreas abiertas sin o con poca vegetación	bajo	1
Arboles/arbustos	Moderado	2
Pastos/cultivos/hierbas	Alta	3

Fuente: WSP., 2019

Tabla 1-59 Categorización duración de combustible

Duración de combustible	Categoría de amenaza	Calificación
No combustible	Sin amenaza	0
100 horas	bajo	1
10 horas	Moderado	2
1 hora	Alta	3

Fuente: WSP., 2019

Tabla 1-60 Categorización carga de combustible

Carga de combustible	Categoría de amenaza	Calificación
No combustible	Sin amenaza	0

Carga de combustible	Categoría de amenaza	Calificación
Menor a 1 t/ha	bajo	1
entre 1-50 t/ha	Moderado	2
entre 50-100 t/ha	Alta	3

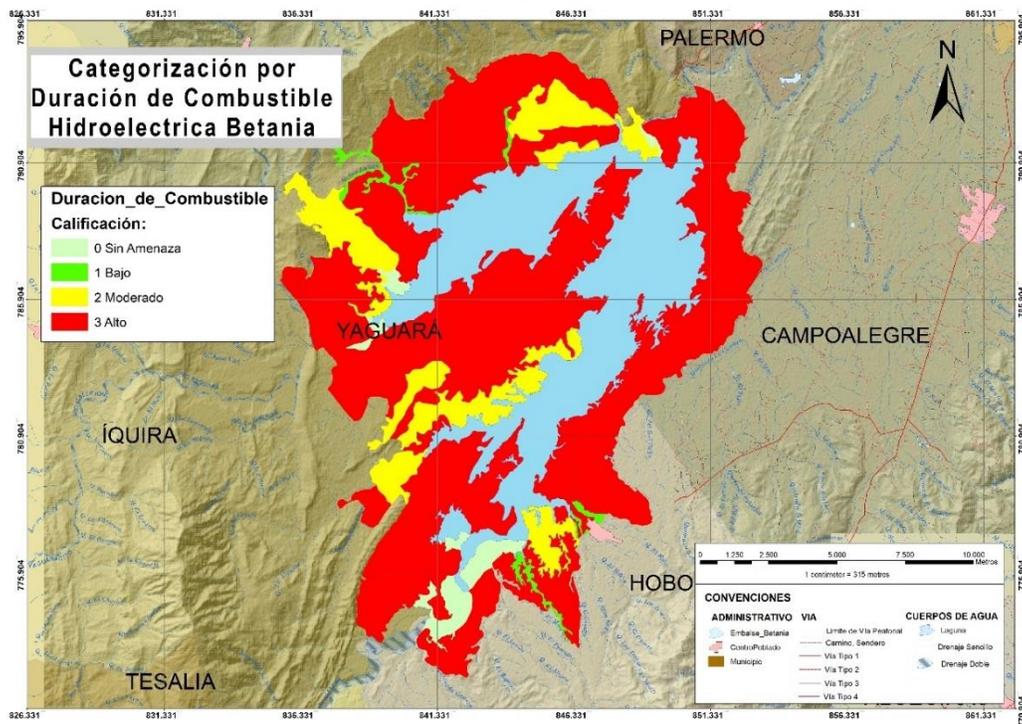
Fuente: WSP., 2019

Tabla 1-61 Rangos para categoría de amenaza

Categoría de amenaza/producto	Categoría de amenaza
Menor a 1	Sin amenaza
Entre 1 - 6	bajo
Entre 7-12	Moderado
Entre 13 - 18	Alta

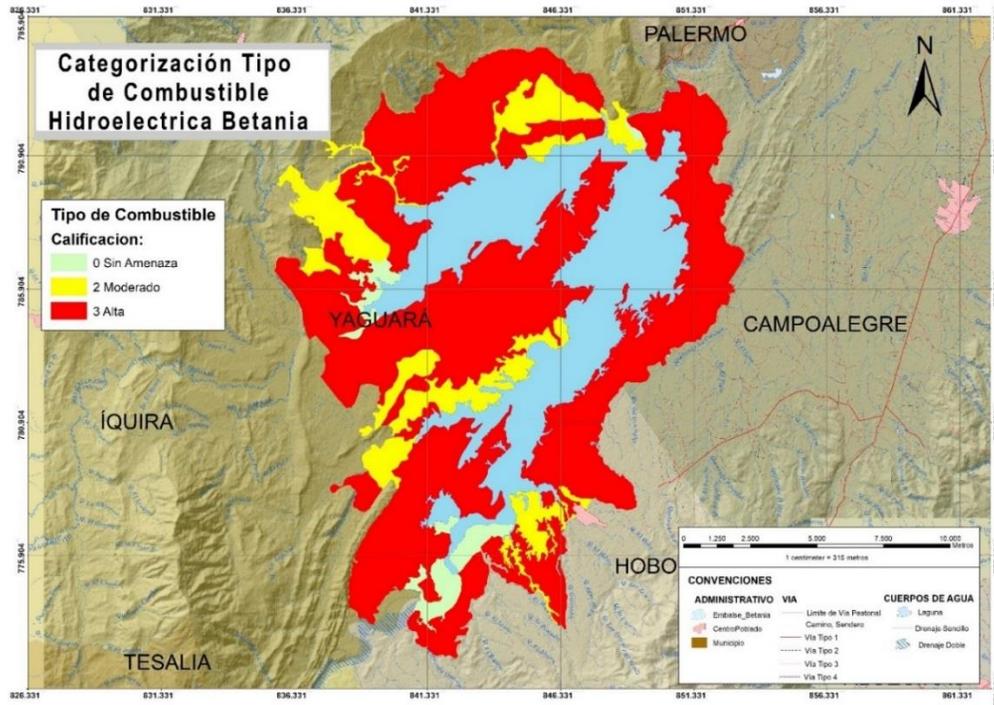
Fuente: WSP., 2019

Figura 1-42. Categorización por duración del combustible



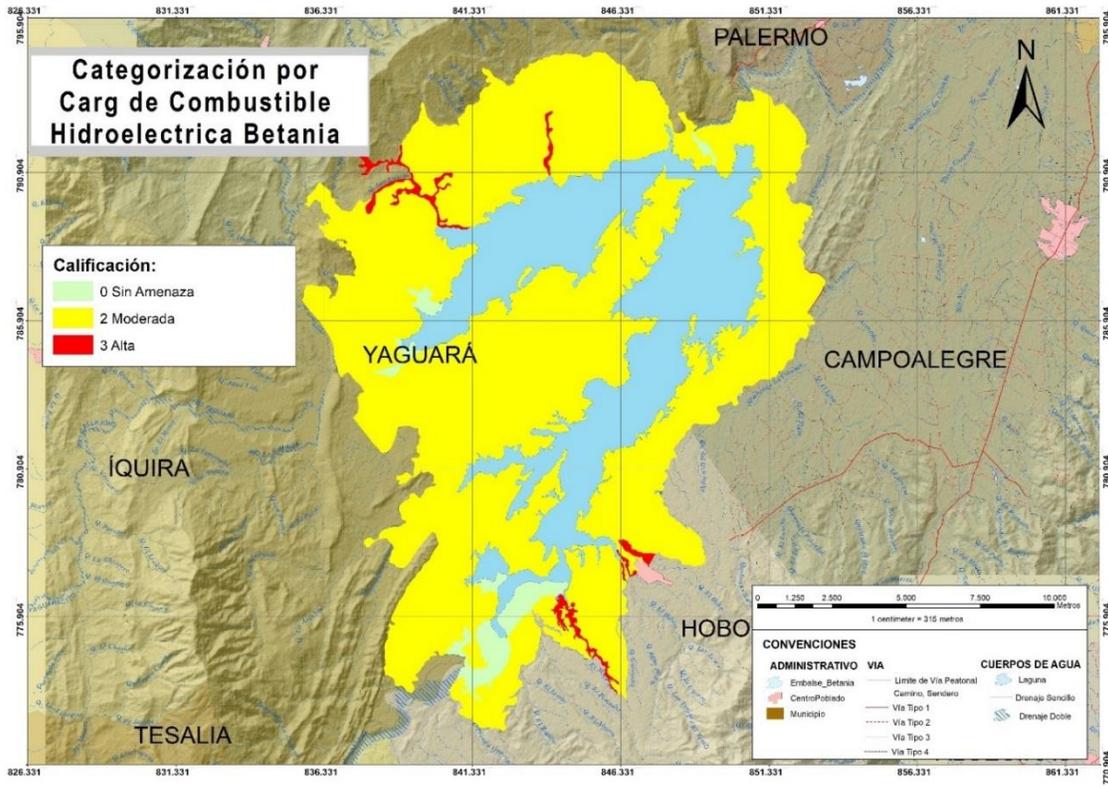
Fuente: WSP., 2019

Figura 1-43. Categorización por tipo de combustible



Fuente: WSP., 2019

Figura 1-44. Categorización por carga de combustible

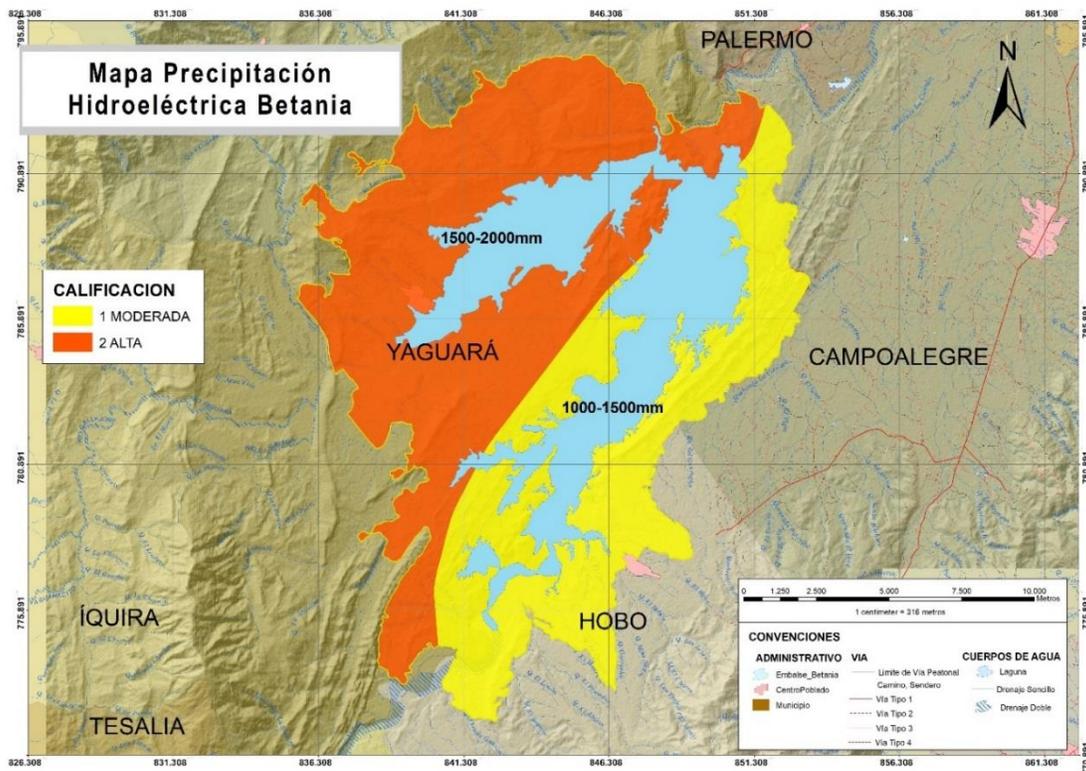


Fuente: WSP., 2019

- CLIMA

Las variables del clima y tiempo atmosférico que determinan en parte el contenido de humedad de los combustibles y que están estrechamente relacionadas son: precipitación y humedad relativa, temperatura, viento y radiación solar. Estas variables y los combustibles determinan en cierta medida el comportamiento del fuego y la inflamabilidad de los combustibles; conforme el día avanza la temperatura asciende y la humedad relativa desciende progresivamente teniendo como resultado una pérdida en el contenido de humedad de los combustibles muertos incrementando la probabilidad de incendios⁷⁵. El incremento de la temperatura y la sequía - como expresiones más evidentes del cambio climático - favorecen la ignición de la biomasa vegetal; es decir, determinados cambios en el clima favorecen los incendios⁷⁶. Los factores climáticos incluidos son la temperatura media anual, la precipitación media anual, velocidad del viento y brillo solar. Se clasificaron y calificaron en una escala de uno (1) a cinco (5) siendo uno la menor categoría de amenaza y cinco la máxima categoría de amenaza. La información para categorizar estos elementos fue basada en información cartográfica del Sistema de Información Ambiental (SIAC), IDEAM, IGAC y demás entidades oficiales regionales y nacionales. Ver Figura 1-45 a Figura 1-48.

Figura 1-45. Categorización de amenazas por el factor climático de precipitación



Fuente: WSP., 2019

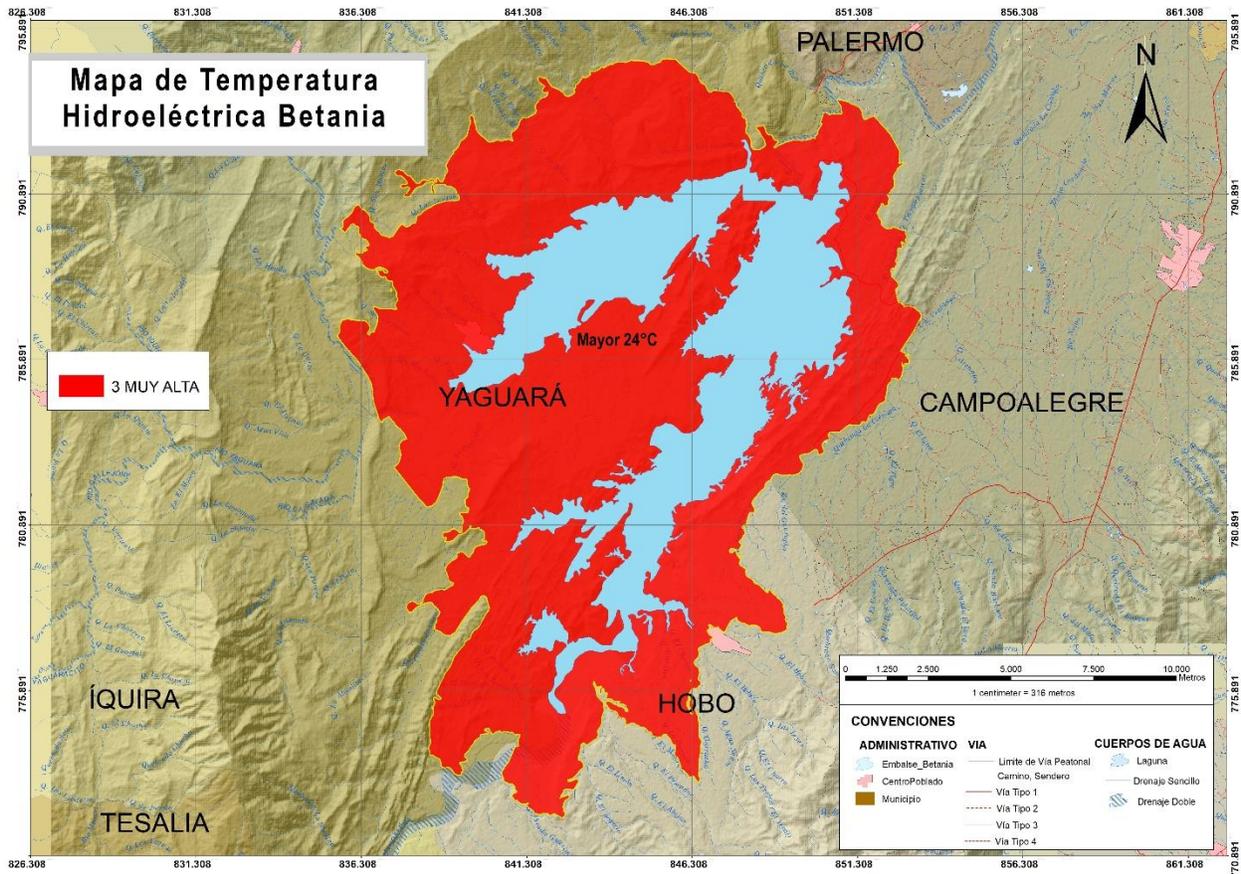
⁷⁵ Wong Julio Cesar. Evaluación de incendios forestales y su disponibilidad en incendios forestales: un estudio en el parque Nacional La Malinche.2007

⁷⁶ Pardos Jose Alberto. Incendios en los montes, cambio climático y emisión/mitigación de CO2: Triangulo de influencias reciprocas

Precipitación	Categoría de amenaza	Calificación
1.000-1.500	Moderada	1
1.500-2.000	Alta	2
500-1.000	Muy alta	3

Fuente: WSP, 2018

Figura 1-46. Categorización de Amenazas por el factor climático de temperatura

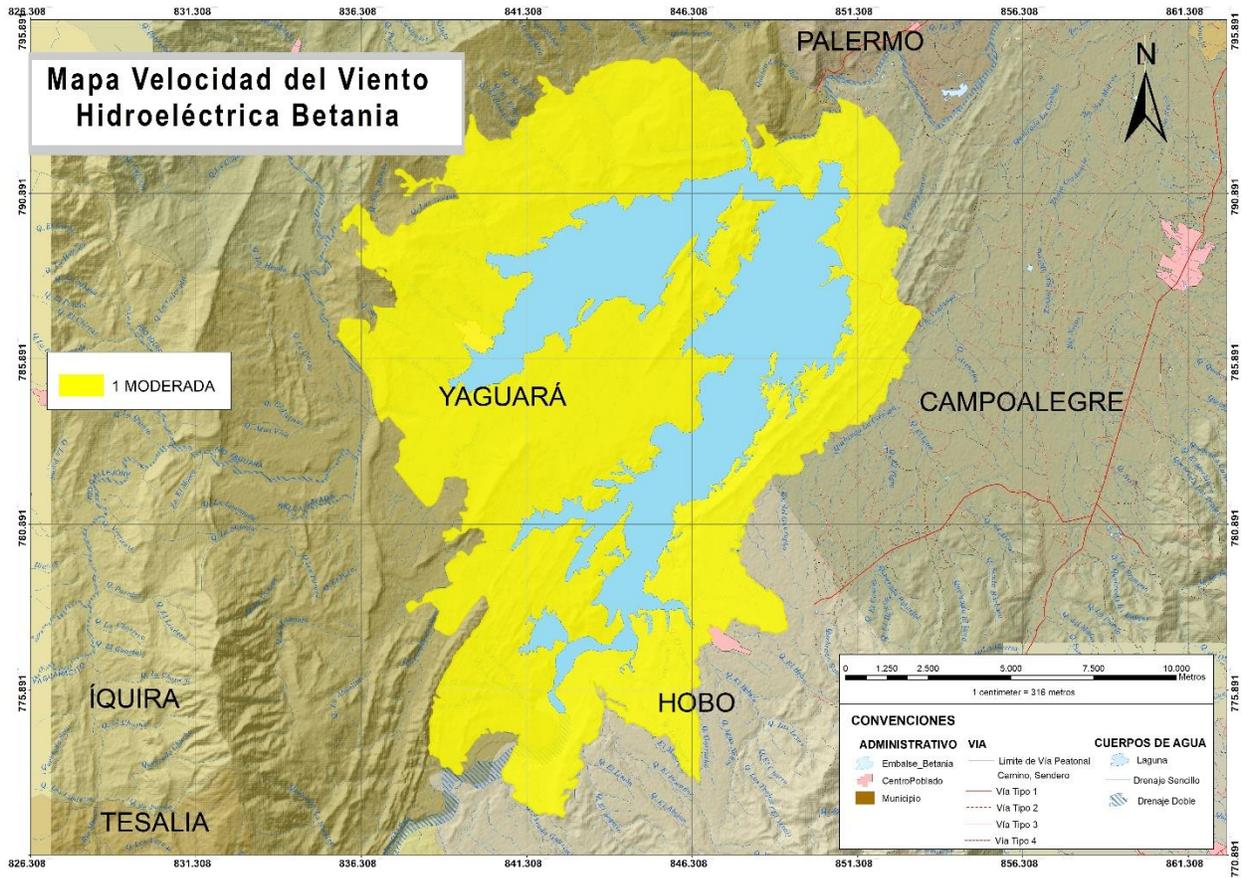


Fuente: WSP., 2019

Temperatura	Categoría de amenaza	Calificación
Menor a 12	Frio	0
12 a 18	Bajo	1
18 a 24	Alto	2
Mayor a 24	Muy alto	3

Fuente: WSP., 2019

Figura 1-47. Categorización de Amenazas por el factor climático de velocidad del viento

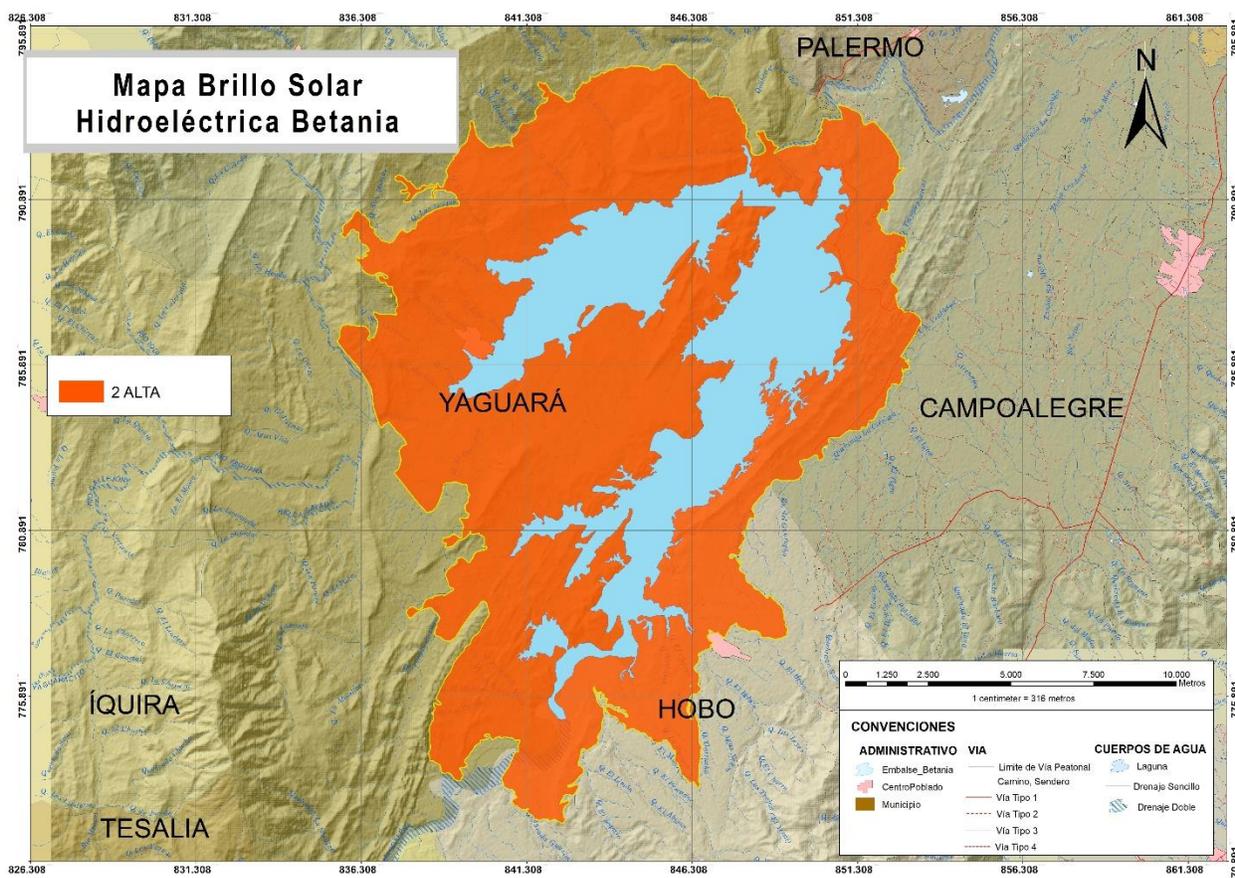


Fuente: WSP., 2019

Velocidad del viento	Categoría de amenaza	Calificación
2-3 m/s	Moderada	1
3-5 m/s	Alta	2
Mayor a 6	Muy alta	3

Fuente: WSP., 2019

Figura 1-48. Categorización de Amenazas por el factor climático Brillo solar



Fuente: WSP., 2019

Brillo solar	Categoría de amenaza	Calificación
3-4 hr	Moderada	1
4-5 hr	Alta	2
Mayor a 6	Muy alta	3

Fuente: WSP., 2019

- **Relieve**

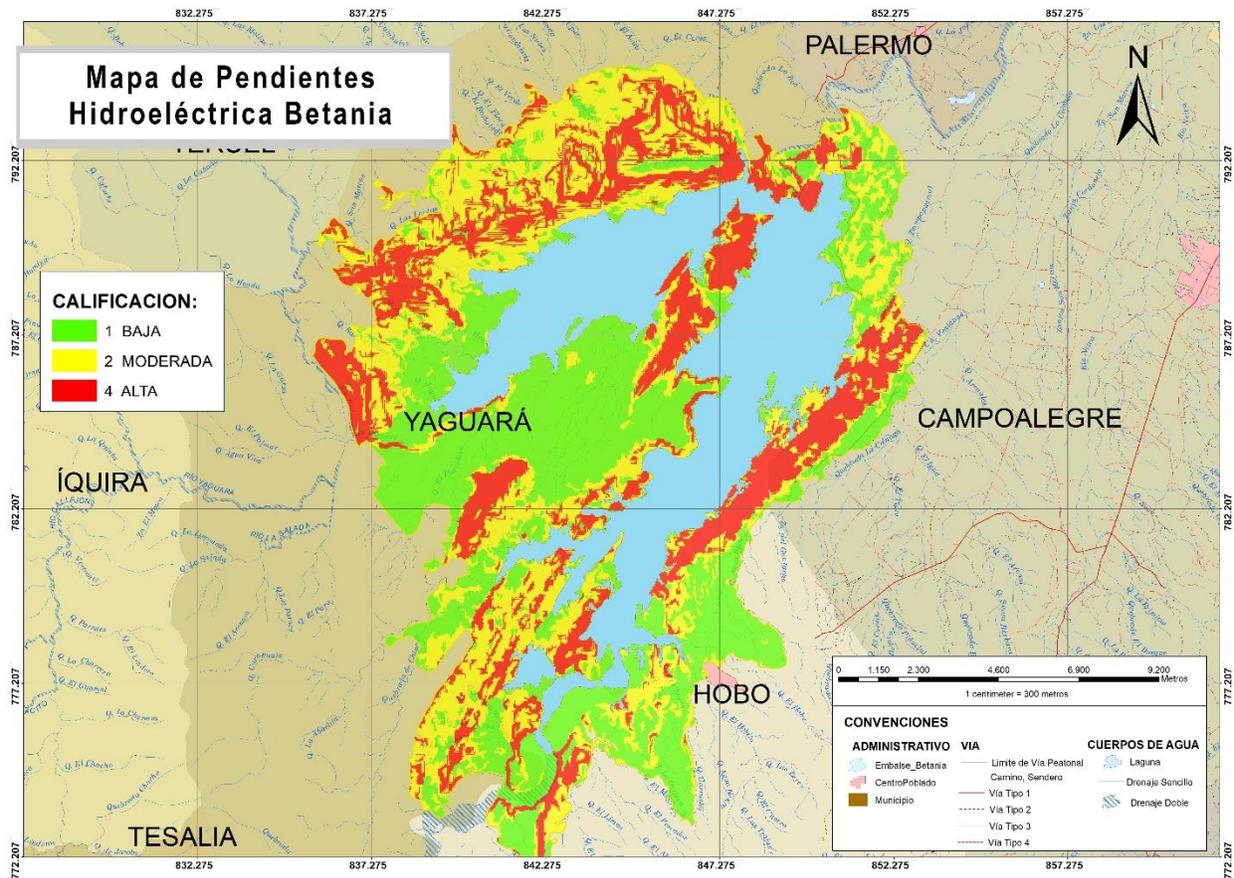
Los tipos de relieve encontrados en la zona de análisis fueron analizados recopilando información secundaria proveniente del Esquema de ordenamiento territorial municipal de Yaguara⁷⁷; lo cual indica que la zona presenta diversos tipos de relieve en donde se registran varias fases orogénicas y movimientos compresionales que han originado plegamientos y fallas importantes, entre las cuales hay dos sistemas : el chusma que se observa entre la cordillera central y el valle del Magdalena, y el sistema Suaza-Garzón entre el límite del valle del Magdalena y la cordillera oriental.

⁷⁷ Esquema de ordenamiento territorial municipal. Yaguara, Huila. 1999

Se debe tener en cuenta que la propagación del fuego aumenta con el ángulo que ofrece la superficie, siendo más rápida a favor de la pendiente con respecto a zonas más planas⁷⁸.

De acuerdo con el mapa de pendientes para el área de influencia elaborado como resultado de un modelo digital de elevación (DEM), se presenta en la Figura 1-49 las zonas más susceptibles a incendios forestales analizando el factor relieve

Figura 1-49. Categorización de amenaza por tipo de relieve



Fuente: WSP., 2019

Relieve	Categoría de amenaza	Calificación
0-12%	Bajo	1
12-25%	Moderado	2
Mayor a 25%	Alto	3

Fuente: WSP., 2019

⁷⁸ Guevara Julieth, Hurtado Julio Cesar, Plan de prevención, control y mitigación de incendios forestales para el área de compensación biótica y restauración ecológica del Proyecto Hidroeléctrico el Quimbo, Huila.

1.2.2.1.1.4 Análisis de amenaza por contaminación de agua

Debido a las características propias de los embalses en zonas tropicales, a las condiciones dadas por la construcción, diseño, localización con relación al continuo del río y el tiempo de retención, estos generan modificaciones importantes en los parámetros fisicoquímicos naturales del agua y por ende modificación de la estructura, riqueza y abundancia de los grupos hidrobiológicos asociados a este cuerpo hídrico. Sumado a esto, las barreras físicas causadas por el embalse, afecta el tránsito longitudinal de especies reofílicas aguas arriba de la estructura, ocasionando disminución de la diversidad íctica en la zona y procesos de colonización de especies ícticas más adaptadas con requerimientos no exigentes (Especies oportunistas), disminución de peces de consumo con presencia de peces de bajo porte con alta resistencia a perturbaciones.

El principal condicionante en la biota acuática en la represa de Betania son las concentraciones de nutrientes representados por Nitrógeno el cual es liberado por los vegetales al degradarse sus tejidos y por los animales en forma de amoníaco y urea o por la degradación de sus tejidos y el fósforo el cual se presenta en los ecosistemas hídrico en forma de ortofosfatos y fosfatos formados por fósforo orgánico disuelto.

El desbalance de estos nutrientes a causa de las aguas residuales, escorrentía superficial por tipo de coberturas y la biomasa del área en el área de inundación causa eutroficación proporcionando un desarrollo exagerado de algas y vegetación acuática, las cuales impiden el paso de la luz disminuyendo la transparencia aumentando la producción de biomasa ocasionado la acumulación de materia orgánica en las capas más profundas del embalse por consiguiente aumenta la producción en términos de biomasa, disminución en la diversidad de especies, fluctuaciones del oxígeno disuelto, dióxido de carbono y pH en el ciclo día y noche y alta demanda bioquímica de oxígeno en el fondo (Roldán y Ramirez, 2008).

El desbalance en las propiedades fisicoquímicas del agua no solo afecta el funcionamiento de la generación de energía, sino a las comunidades del área de influencia de la represa el cual utilizan el embalse para actividades pesqueras para consumo o para la comercialización, por consiguiente, un cambio en las características fisicoquímicas del agua restringe la riqueza y abundancia de las especies ícticas de la zona. De acuerdo con la información suministrada en campo por representante de pescadores actualmente en la represa de Betania trabajan 200 pescadores entre hombres y mujeres, algunos hacen parte de las 12 asociaciones existentes y otros son independientes cada familia de pescador se compone aproximadamente de 5 integrantes.

I. Registros documentales de monitoreos fisicoquímicos e hidrobiológicos

Se han realizado monitoreos en la represa Betania para monitorear los parámetros fisicoquímicos e hidrobiológicos con el fin de determinar las variaciones y las alteraciones en las comunidades hidrobiológicas presentes, a continuación, se describen algunos estudios.

- Plan de gestión del riesgo para el manejo de los vertimientos domésticos generados en la central hidroeléctrica Betania. 2016. INGETEC Ingenieros consultores.
- Diversidad de géneros de fitoplancton del embalse de Betania-Huila y su importancia como bioindicadores⁷⁹. En resumen, se realizó muestreos de fitoplancton a lo largo de un año con el fin de establecer mediante el uso de bioindicadores el estado actual del cuerpo hídrico y la variación espacial y temporal que se presenta entre los géneros y especies de microalgas presentes en las diez estaciones. En los análisis cualitativos, cuantitativos y estadísticos se estableció que existe un estado de eutroficación avanzado para todo el embalse y que las diferencias entre composición de

⁷⁹ Martínez, P.M., Delgado, J.F. y Muñoz; J.F. (2016). Diversidad de géneros de fitoplancton del embalse de Betania-Huila y su importancia como bioindicadores. Revista científica del, 25,241-251. Doi: 10.14483/udistrital.jour.RC.2016. 25.a8)

especies de algas no varían significativamente entre estaciones o entre meses. Se recomienda disminuir la intensidad de cultivo de las piscícolas, implementar jornadas de limpieza en los alrededores del embalse y en lo posible implementar medidas de bioremediación para carga orgánica empleando alga o macrofitos acuáticos.

- Structure of zooplanktonic community in a tropical dam (Betania-Colombia) with High environmental tension⁸⁰. Se realizó un estudio al ensamble zooplanctónico en el embalse de Betania el cual es usado en actividades de generación de energía y de cultivos piscícolas, este último, generando introducción de nutrientes y sustancias extrañas al cuerpo hídrico las cuales generan alteraciones en las comunidades hidrobiológicas. Para esto se realizó un estudio zooplanctónico colectando cada dos meses durante dieciocho meses, se realizaron análisis cuantitativos y cualitativos, así como estudios fisicoquímicos de oxígeno y pH en las tres estaciones de muestreo, encontrando siete nuevos registros de zooplancton con variaciones temporales en la abundancia de las especies y relaciones con los nutrientes. Se realizaron relaciones entre las condiciones climáticas y diversidad y abundancia zooplanctónica registrando un comportamiento del embalse con tendencia a la eutrofia.
- Structure of the Phytoplanktonic Community in a Neotropical Dam with Environmental Tension⁸¹. Se realizó un estudio de composición actual de fitoplancton en la represa Betania teniendo en cuenta las diferencias respecto a las condiciones iniciales de llenado. Se realizaron muestreo bimensual en 10 estaciones a lo largo de la presa durante un periodo de dos años con estudio de oxígeno disuelto en diferentes profundidades, se realizaron análisis cuantitativos y cualitativos, así como índices de diversidad a la comunidad objeto de estudio. Se encontraron 13 clases, 87 géneros y 137 especies; 52 nuevas especies respecto al estudio realizado hace 30 años, de las cuales 19 especies no habían sido reportadas para Colombia. Las clases más abundantes fueron Cyanophyceae y Dinophyceae, el género *Mycrocystis* fue dominante en varios muestreos y registró floraciones marcadas en la Presa. Los índices de diversidad mostraron una diversidad y dominancia media a baja. De pocas especies, y las condiciones de anoxia se registraron en la Mayor profundidad muestreada. La alta actividad pesquera genera proliferación de algas en la presa, aumentando el dominio de algunas especies causando tensión ambiental en la represa de Betania.
- Emgesa a través del laboratorio Daphnia en el año 2017 realizó monitoreo limnológico⁸² a la represa Betania en 8 puntos para determinar caracterización hidrobiológica y fisicoquímica y el biomonitoreo por macroinvertebrados BMWP/col (Biological Monitoring Working Party score). Dentro de los puntos seleccionados se escogieron tres estaciones piscícolas dentro del embalse New York, Comepez y Pacandé de las cuales las dos primeras no registraron comunidades de macroinvertebrados. Para Pacandé se registraron solo 12 ind/m² distribuidas en tres morfoespecies.
- La poca presencia de los macroinvertebrados bentónicos pudo estar relacionada con el sustrato de tipo lodoso que se encontró en estos puntos, unido a la disminución en la concentración de oxígeno de fondo, registrándose valores que oscilaron entre 4,02 y 3,71 mgO₂/L, los cuales resultan poco

⁸⁰ Paula Martínez-Silva, Jorge Leonardo Muñoz-Yustres y Natalia Rodríguez Charry (2018). Structure of zooplanktonic community in a tropical dam (Betania-Colombia) with High environmental tension. Contemporary Engineering Sciences, Vol. 11, 2018, no. 59, 2931 - 2948 HIKARI Ltd, www.m-hikari.com <https://doi.org/10.12988/ces.2018.86300>.

⁸¹ Paula Martínez Silva, Jorge Leonardo Muñoz Yustres, Luis Alexander Carvajal Pinilla y Ruthber Rodríguez Serrezuela. 2018. Contemporary Engineering Sciences, Vol. 11, 2018, no. 10, 451 – 465 HIKARI Ltd, www.m-hikari.com <https://doi.org/10.12988/ces.2018.8233>

⁸² EMGESA. Informe Monitoreo Limnológico Del Embalse Betania - Caracterización Hidrobiológica. Primer Monitoreo Semestral. 2017. Informe mensual código TB-05-5543b

favorables para el desarrollo de una comunidad biológica. El índice BMWP arrojó condición de calidad muy crítica por una calificación de “aguas fuertemente contaminadas”.

II. Registros históricos de ocurrencia de eventos por mortandad de peces.

A continuación, se registra eventos de mortandad de peces ocasionados en diferentes años en la represa Betania (Huila)

- El observatorio de multinacionales de américa latina⁸³ público en lunes 5 de marzo de 2007 que ocurrió mortandad de millares de peces cultivados en jaulas en la represa de Betania, en el departamento del Huila (al sur de Colombia). El director Territorial Norte de la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM) de ese entonces dijo a EFE que, en los últimos 20 días, y según información entregada por piscicultores, han muerto unas 400 toneladas de peces.
- El 21 de abril de 2015 Invima⁸⁴ noticias registra que la Secretaría de Agricultura y Minería, la Gobernación del Huila continúa realizando labores de seguimiento a la emergencia que se registra en la represa de Betania y que ha ocasionado la mortandad de peces en el embalse.
- El 5 de mayo de 2015 caracol radio⁸⁵ reporta mortandad de peces y malos olores a causa de la descomposición de los especímenes. En el mismo reportaje entrevistan al piscicultor Carlos Alirio Ángel el cual afrontó dos mortandades de peces antes, en febrero de 2007 y en el año 2013.
- El informe del servicio pesquero colombiano, 2015 en el informe de producción acuícola en los dos sitios piloto monitoreados por el SEPEC durante el año 2015: Hobo (Huila) y Silvia (Cauca) en sus antecedentes registra En el embalse se han venido experimentando fenómenos de mortalidad, por ejemplo, en el mes de marzo se afectaron tres estaciones piscícolas inicialmente y fue avanzando hacia otras zonas. Ante la mortandad inusual que se viene presentando en peces con peso entre 180 y 250 g recientemente, la Autoridad Nacional de Pesca y Acuicultura – AUNAP ha previsto implementar un plan operativo de control y seguimiento para las piscícolas del embalse y la supervisión de los ingresos de alevinos en los puertos hasta que las condiciones ambientales y sanitarias sean adecuadas para la especie.

III. Factores que inciden en el deterioro de la calidad del agua

La principal amenaza de la eutroficación del embalse Betania es derivado de la sobre carga presentada en el ecosistema por las estaciones piscícolas intensivas y superintencivas en el área del embalse y otros escenarios antrópicos los cuales puedan alterar las propiedades fisicoquímicas del agua del embalse y por consiguiente toda la hidrobiota asociada a este cuerpo de agua.

- ✓ Sobre carga del sistema por la producción piscícola
 - El plan nacional para el desarrollo de la acuicultura sostenible de Colombia, 2014, indica que la represa de Betania es el principal aportante a la producción piscícola nacional (SE produce más del 30% de la piscicultura del país); sin embargo, los volúmenes de producción actual han sobrepasado ampliamente la capacidad máxima de carga de cultivo establecida en el Plan de Ordenamiento de la Pesca y la Acuicultura estimada para dicho embalse por el Incoder (entonces Autoridad Pesquera), en el año 2005.

⁸³ <http://omal.info/spip.php?article3879>

⁸⁴ https://www.invima.gov.co/images/nos_publican/2015/Abril/Monitoreo_Invima_2015-Abr-22.pdf

⁸⁵ <https://www.rcnradio.com/colombia/region-central/grave-contaminacion-mortalidad-peces-betania-huila>

- Dispersión de materia orgánica (resto de concentrado y heces) las sobras de los concentrados dietarios y las heces de las especies ícticas llegan al fondo del ecosistema acelerando la descomposición y por ende el desmejoramiento de la calidad de agua del sistema.
- Aumento de nutrientes. Amoníaco y nitritos producidos por las excretas, descomposición de los residuos de los suplementos dietarios y químicos para tratamiento de enfermedades los cuales aceleraran la eutrofización del ecosistema. Investigaciones realizadas por Marriner sobre la eutrofización producida por las estaciones piscícolas del embalse Betania determina que el aumento de concentraciones de fósforo ha generado alteraciones en las condiciones ambientales naturales del embalse, situación que no se presentaba años atrás y que en se generaría debido al aumento de las estaciones piscícolas en dicho embalse.
- Introducción de peces foráneos a nuevos ecosistemas. escapes de los peces cultivados, introducción de especies aumenta la competencia por recursos de alimento y refugio.
- Introducción de enfermedades a especies nativas. Traspaso de enfermedades de peces de cultivo a especies ícticas propias de la zona.
- Avalanchas a causa de la temporada invernal (como la ocurrida sobre el río Paez tributario de la represa en el año 2007) ingresan materia alóctono suspendido el cual reduce las concentraciones de oxígeno alterando la calidad del agua.

A continuación, se describen factores originados por el funcionamiento de la hidroeléctrica Betania al río Magdalena y a su hidrobiota nativa en los procesos normales de la hidroeléctrica para la producción de energía.

- **Cambio en la dinámica fluvial del río magdalena:** Modifica el régimen fluvial, alterando flujo de la corriente, descarga y transporte de materiales condicionando o modificando el establecimiento de las comunidades hidrobiológicas presentes en el ecosistema hídrico.
- **Cambios geomorfológicos:** En algunas zonas la reducción del cauce natural del río facilita que la vegetación riparia colonice áreas habitualmente activas del ecosistema hídrico. En otras zonas la anchura del cauce se incrementa debido a procesos de erosión lateral que se ha convertido en la única fuente relevante del río en estado natural. (D. Vericat y R. J. Batalla, 2004)
- **Efecto del tiempo de retención del agua:** modifica las propiedades físicas y químicas del ecosistema y a su vez afecta la comunidad hidrobiológica en cuanto al tiempo de retención en las variables físicas y químicas sucede que a mayor tasa de flujo menor temperatura. Duración de la estratificación menos pronunciada; los tiempos de retención bajos disminuyen las tasas de sedimentación y la profundidad de la zona fótica. Cuando el tiempo de retención se aumenta a más de 30 días se retiene entre el 70 y 90% del fosforo en el embalse, mientras que retenciones menores de 30 días el fosforo cae a menos de 10% (Roldan y Ramirez 2008) limitando el crecimiento exponencial de algas que aceleren la eutrofización del ecosistema.

IV. Factores condicionantes o contribuyentes (susceptibilidad)

Las actividades de producción piscícola es una de las principales causas de alteración en las propiedades fisicoquímicas del agua debido generación de nutrientes como amoníaco y nitritos producidos por las excretas, descomposición de los residuos de los suplementos dietarios y químicos para tratamiento de enfermedades los cuales aceleraran la eutrofización del ecosistema, modificando la hidrobiota presentes en el cuerpo de agua en la represa y aguas abajo de ella incrementando los impactos ambientales y sociales ya que afecta las comunidades asentadas a orillas del sistema lótico que utilizan el recurso para la agricultura y la obtención de proteína animal a través de la pesca. Por tal motivo es necesario realizar controles ambientales de las estaciones piscícolas respecto al cuerpo hídrico. Es esencial que se estudien los impactos

que se generan las explotaciones piscícolas en el medio acuático y se avalúen los parámetros afectados (López et al., 2008), para así tomar medidas para controlar o mitigar dichos tensores ambientales.

Según Gonzalez, 2017 los parámetros fisicoquímicos de importancia para determinar el impacto ambiental de la acuicultura son los siguientes:

- Oxígeno disuelto (mg/L).
- Potencial de hidrogeno (pH).
- Conductividad eléctrica.
- Temperatura.

Sumado a esto se deben realizar estudio de nutrientes (Nitritos, nitratos y fosfatos) en diferentes profundidades y biomonitoreo de sustratos con macroinvertebrados para realizar comparaciones en las jaulas flotantes (utilizadas para el confinamiento de los individuos ícticos) y un punto de control para así determinar las afectaciones por la implementación de la producción piscícola y determinar medidas de mitigación.

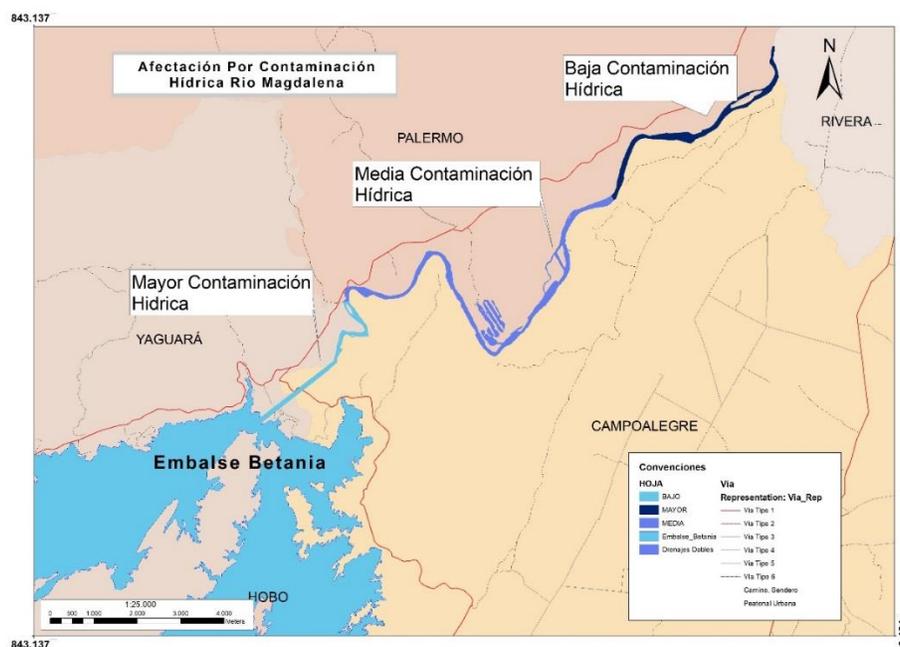
La amenaza a largo plazo para la calidad de agua de la represa Betania es la sobrecarga ambiental ocasionadas por las densidades ícticas establecidas en las estaciones piscícolas las cuales generan cambios en la calidad del agua debido a la generación de nutrientes como amoníaco y nitritos producidos por las excretas, descomposición de los residuos de los suplementos dietarios y químicos para tratamiento de enfermedades los cuales aceleraran la eutrofización del ecosistema. Teniendo en cuenta que la represa Betania es epicentro de producción piscícola, tanto a nivel departamental como nacional, que aporta aproximadamente 22.000 toneladas métricas (65% de la producción departamental), y es además el origen de más de 90% de las exportaciones de filete fresco de tilapia de Colombia⁸⁶ un aumento acelerado de las densidades ícticas generaría afectaciones en la calidad fisicoquímica y por ende a las comunidades hidrobiológicas presentes en el embalse.

V. Análisis, valoración o estimación de la amenaza y criterios de zonificación -análisis de resultados

A continuación, se registra la afectación por calidad de aguas en la represa Betania, las afectaciones más severas estaría presentes en la zona más profunda del embalse por procesos de descomposición de materia orgánica, debajo de las jaulas de cultivo de peces por Aumento de nutrientes como Amoníaco y nitritos producidos por las excretas, descomposición de los residuos de los suplementos dietarios. Al momento de la descarga del agua en el primer tramo se registraría mayor afectación por el agua eutrofizada por actividades ya mencionadas, por la dinámica natural del río Magdalena como efectos de turbulencia y recarga por tributarios río abajo se empieza desarrollar procesos de dilución hasta llegar a un punto de equilibrio ambiental. Ver Figura 1-50.

⁸⁶ <https://diariodelhuila.com/sistema-de-monitoreo-para-piscicultura-en-embalse-de-betania-continuara-en-funcionamiento>.

Figura 1-50 Déficit de oxígeno aguas abajo de la represa Betania



Fuente: WSP., 2018

VI. Afectación de la hidrobiota nativa

En los embalses del trópico por las características del clima y el tipo de los ríos del cual se alimentan para el llenado, ocurren procesos de estratificación química haciéndose más marcado a mayor profundidad del embalse y a mayor tiempo de retención hidráulico. Sumado a esto los embalses están expuestos a permanentes arrastres de sedimentos, aguas negras y nutrientes de los cultivos de la franja circundante, los cuales llegan aceleradamente al embalse por causa de las precipitaciones, todos estos residuos alóctonos más los locales a causa de la descomposición de la cobertura vegetal acumulada en el fondo crean un ambiente anóxico en la parte más profunda de ecosistema hídrico. (Ramirez et., al 2001).

La producción piscícola en Colombia la lidera el departamento del Huila es del 42,96%. Solo la represa Betania produce el 32,3% de la piscicultura nacional. la producción de la piscicultura corresponde a las tilapias producidas en jaulas y jaulones en el embalse Betania. Este embalse cuenta con un Plan de Ordenamiento de la Pesca y la Acuicultura – POPA mediante el cual el INCODER, entonces Autoridad Pesquera, con base en el estudio de capacidad de carga que se realizó para dicho cuerpo de agua en el 2005, estableció que la capacidad máxima de producción es de 22000 toneladas/año; sin embargo, la producción oficialmente reportada por los productores en el 2011 fue aproximadamente de 24.000 toneladas; 2000 toneladas más de lo recomendado por el INCODER. Las condiciones ambientales en este cuerpo de agua se han modificado sustancialmente con relación a las condiciones que presentaba cuando se realizó la estimación⁸⁷ ocasionando problemas técnicos y ambientales en los cultivos y en el ecosistema hídrico.

Emgesa a través del laboratorio Daphnia en el año 2017 realizo monitoreo limnológico⁸⁸ a la represa Betania en 8 puntos para determinar caracterización hidrobiológica y fisicoquímica y el biomonitoreo por

⁸⁷ Merino Maria Claudia, Bonilla Sara patricia y Bages Fernando. 2013 diagnóstico de la Acuicultura en Colombia. Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca- AUNAP. Bogotá, mayo de 2013.

⁸⁸EMGESA. Informe Monitoreo Limnológico Del Embalse Betania - Caracterización Hidrobiológica. Primer Monitoreo Semestral.2017. Informe mensual código TB-05-5543b

macroinvertebrados BMWP/col (Biological Monitoring Working Party score). Dentro de los puntos seleccionados se escogieron tres estaciones piscícolas dentro del embalse New York, Comepez y Pacandé de las cuales las dos primeras no registraron comunidades de macroinvertebrados. Para Pacandé se registraron solo 12 ind/m² distribuidas en tres morfoespecies.

La poca presencia de los macroinvertebrados bentónicos pudo estar relacionada con el sustrato de tipo lodoso que se encontró en estos puntos, unido a la disminución en la concentración de oxígeno de fondo, registrándose valores que oscilaron entre 4,02 y 3,71 mgO₂/L, los cuales resultan poco favorables para el desarrollo de una comunidad biológica. El índice BMWP arrojó condición de calidad muy crítica por una calificación de “aguas fuertemente contaminadas”

Esta baja concentración de oxígeno en las estaciones piscícolas se puede presentar debido a la eutroficación causada por los desechos originados por las excretas y de más residuos originados en los procesos del cultivo de peces proceso que restringe el establecimiento de especies hidrobiológicas poco tolerantes a perturbaciones ambientales.

Teniendo en cuenta las características típicas del embalse con presencia de zona anóxica en las zonas más profundas y la eutroficación causada por las estaciones piscícolas, estas generan riesgo de afectación en la calidad del recurso hídrico aguas abajo de la represa, afectando toda la hidrobiota presente en el ecosistema y a las comunidades asentadas al margen del río que utilizan el agua para diferentes usos (domésticos e industriales).

Afectación de comunidades ícticas en la represa Betania:

Dentro del área de influencia de la represa se tiene registro de 24 especies ícticas⁸⁹ las cuales en un evento de rotura de presa perecerían por los cambios en la calidad del agua. Dentro de las especies registradas se encuentran especies de importancia, económica y con grado de amenaza regional o mundial como es el caso de bocachico (*Prochilodus magdalenae*), en categoría Nacional CR (peligro crítico), el pataló (*Ichthyoelephas longirostris*), en categoría EN (En Peligro) y la Corunta (*Parodon caliensis*) NT (casi amenazado). Sumado a las especies naturales, se tendría las afectaciones de las especies de cultivo como la tilapia roja (*Oreochromis* sp) como ya ha ocurrido anteriormente en fenómenos de avalancha ocasionado grandes afectaciones a los productores de esta especie íctica.

Afectación de comunidades ícticas aguas abajo de la represa Betania:

Por motivo de la salida descontrolada del agua y arrastre de la estructura del dique causa del rompimiento de la estructura, se generaría, aguas abajo un arrastramiento de la hidrobiota alterando el balance de las comunidades ahí establecidas, posteriormente se originaría contaminación hídrica consecuencia de la llegada de aguas contaminadas del embalse.

La valoración de vulnerabilidad de este acontecimiento es alta debido al tiempo que tardaría el ecosistema hídrico contaminado en ser recuperado. Dependiendo del nivel de contaminación podría ocurrir desplazamiento de especies o extinciones locales por la alteración en la calidad del agua.

Aguas debajo de la represa, en la cuenca del río Magdalena se encuentran aproximadamente 133 especies ícticas registradas, algunas de gran importancia económica para los pescadores asentados al margen del río los cuales se verían afectados por la disminución de la riqueza y abundancia íctica por contaminación producida por la rotura de la represa. A continuación, se registra algunas especies de importancia económica en la zona del proyecto.

⁸⁹ EMGESA. Estudio de impacto ambiental capítulo 3 del proyecto hidroeléctrico El Quimbo.2008.

Tabla 1-62 Especies icticas de importancia económica en el área de influencia

Especies	Nombre común
<i>Astyanax magdalenae</i>	Sardina
<i>Astyanax fasciatus</i>	Sardina roja
<i>Creagrutus magdalenae</i>	Sardinita
<i>Salminus affinis</i>	Capitán dorado
<i>Ichthyoelephas longirostris</i>	Pataló
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Bocachico
<i>Chaetostoma thomsoni</i>	Cucha
<i>spatuloricaria gymnogaster</i>	Cucha
<i>Dasylicaria seminuda</i>	Cucha
<i>Pimelodus grosskopfii</i>	Capaz
<i>Trichomycterus banneai</i>	Baboso
<i>Para vcaro</i>	Peje
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpa
<i>Oreochromis niloticus</i>	Mojarra plateada
<i>Aequidens pulcher</i>	Mojarra azul
<i>Caquetaia kraussii</i>	Mojarra amarilla
<i>Oreochromis sp</i>	Mojarra roja

Fuente: Peces del Alto Magdalena, cuenca del río Magdalena⁹⁰

Sumado a las especies de importancia económica se registran especies con grados de vulnerabilidad a nivel local o mundial por procesos antrópicos. A continuación, se registran algunas especies presentes en el río Magdalena que tiene algún grado de amenaza que se verían fuertemente afectados en caso del colapso de la represa (Tabla 1-63).

Tabla 1-63 Especies icticas con categoría de amenaza a nivel regional y mundial.

Especies	Categoría de amenaza		
	UICN	Libro rojo	Resolución 1912
<i>Megalops atlanticus</i>	VU		
<i>Parodon caliensis</i>	LC		VU
<i>Curimata mivartii</i>		VU	VU
<i>Ichthyoelephas longirostris</i>		EN	EN
<i>Prochilodus magdalenae</i>		CR	VU
<i>Leporinus muyscorum</i>		VU	
<i>Characidium phoxocephalum</i>		VU	VU
<i>Bryconamericus plutarcoi</i>	VU		
<i>Salminus affinis</i>		VU	VU
<i>Brycon labiatus</i>			EN
<i>Brycon moorei</i>		VU	vu
<i>Eremophilus mutisii</i>	DD	VU	VU
<i>Panaque cochliodon</i>		VU	VU

⁹⁰ Villa-Navarro Francisco Antonio, Zúñiga-Upegui Pamela Tatiana, Castro-Roa Denise, García-Melo Jorge Enrique, García-Melo Luis José y Herrada-Yara Mercy Eloisa. Peces del alto Magdalena, cuenca del río Magdalena.

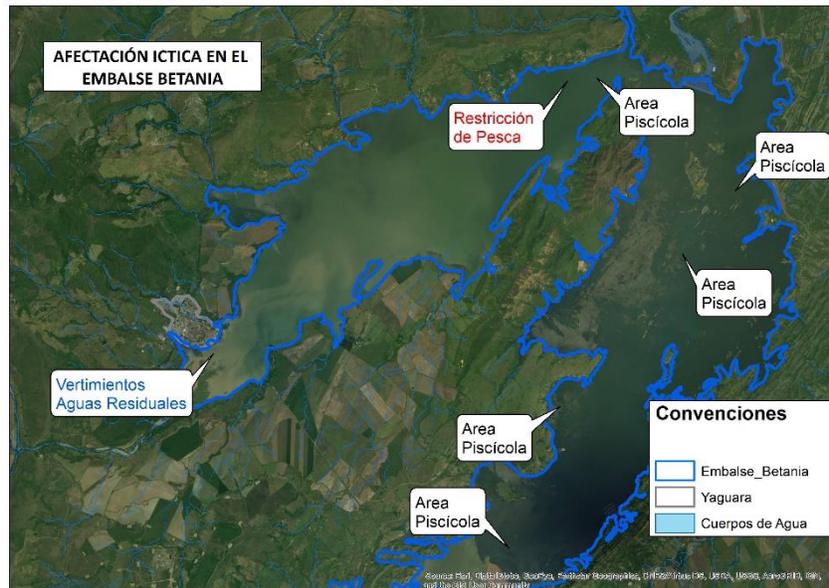
Especies	Categoría de amenaza		
	UICN	Libro rojo	Resolución 1912
Pimelodus grosskopfii		VU	VU
Pseudoplatystoma magdaleniatum		VU	CR
Sorubim cuspicaudus		EN	
Ageneiosus pardalis		EN	VU

Fuente: Peces del Alto Magdalena, cuenca del río Magdalena.

Afectaciones a los pescadores locales embalse Betania:

Según información recopilada en campo por el grupo social de WSP Colombia, en el municipio de Yaguará área de influencia de la represa Betania se cuenta con 400 pescadores distribuidos en 11 asociaciones los cuales utilizan el recurso íctico para fines comerciales y de sustento. En la represa se cuenta con zonas de reserva íctica en las cuales se tiene prohibido realizar actividades de pesca debido a que son zonas que mantienen la diversidad íctica. Estas actividades en el potencial evento de rotura de la represa se verían afectadas por el efecto arrastre o por la alteración de la calidad del agua. Del mismo modo, las consecuencias de la rotura aguas abajo ocasionaría desbalance en la hidrobiota debido a la contaminación y al aumento exagerado de caudal y de solidos suspendido en el cuerpo de agua. (ver Figura 1-51)

Figura 1-51 Vulnerabilidad por potencial rotura de la represa Betania (dentro de la represa)



Fuente: WSP, 2019

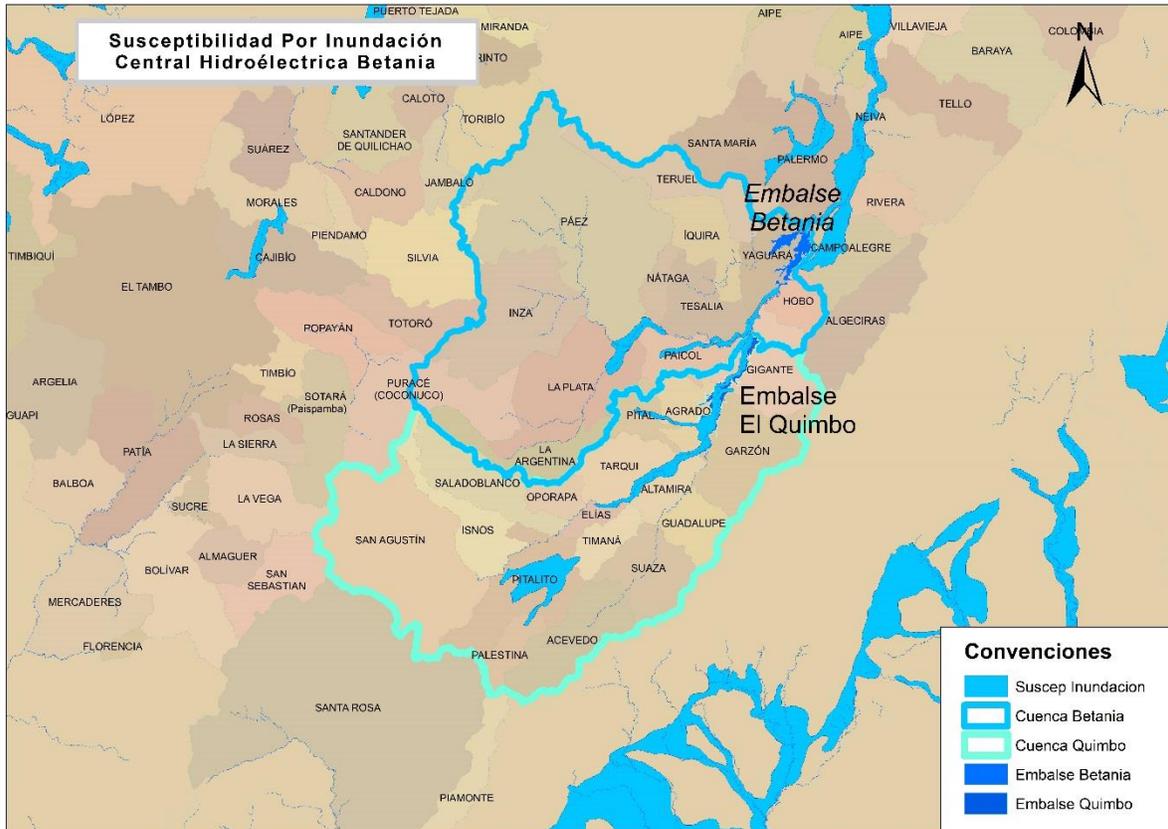
1.2.2.1.1.5 Análisis de amenaza por inundación y avenidas torrenciales

Para determinar la amenaza por inundación de la zona de estudio, se acudió a la información disponible en el IDEAM al respecto. En ella se puede observar (Ver Figura 1-52) que la zona no tiene amenazas importantes por este fenómeno, sin embargo, es significativo indicar que en la zona se han presentado avalanchas como la del Páez en 1994. Esta fue contenida por el embalse de Betania sin causar, aparentemente, mayores estragos en el funcionamiento de la central. También se revisaron los mapas de

inundación generados para los últimos eventos Niña. Estos tampoco indicaron inundaciones significativas en la zona.

Es muy importante indicar que las crecientes generadas por estos ríos son reguladas por los embalses de El Quimbo y Betania, lo cual minimiza los riesgos aguas abajo de estos.

Figura 1-52, Susceptibilidad a inundación en el área de estudio



Fuente: WSP., 2019 (Basado en <http://www.siac.gov.co/inundaciones>)

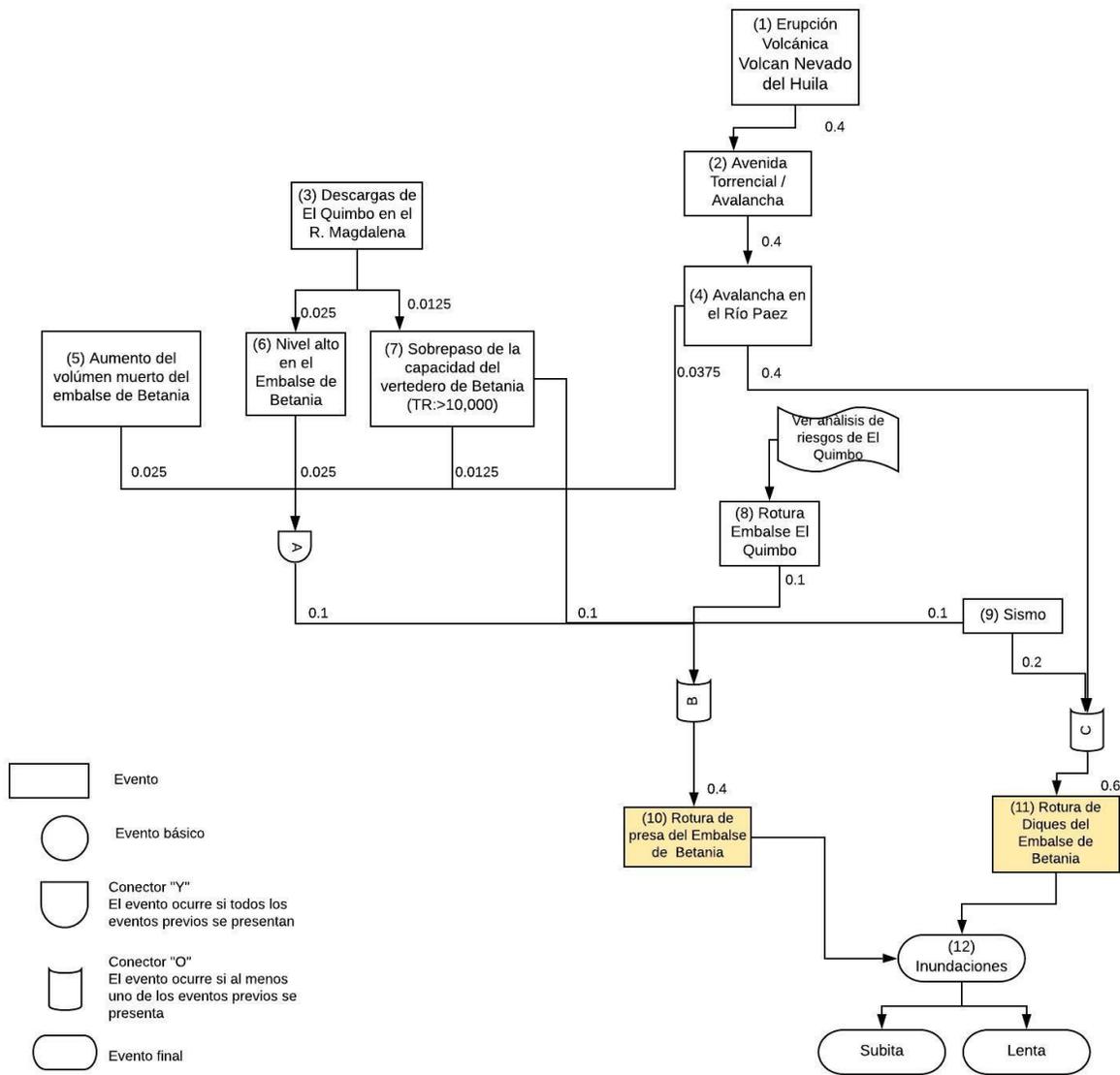
1.2.2.1.1.6 Análisis de riesgo del entorno a cada componente de la central

La descripción y análisis de las amenazas presentadas anteriormente permite identificar los efectos de estas sobre los diferentes componentes de la Central. A continuación, se presenta las cadenas de fenómenos, eventos y fallas que pueden afectar los diferentes componentes de la central.

- Cadena de fenómenos causantes de posibles afectaciones al componente embalse - presa

En la Figura 1-53 se presenta la Cadena de fenómenos, eventos y fallas del entorno que pueden afectar la presa.

Figura 1-53. Cadena de fenómenos causantes de posibles afectaciones al componente embalse - presa



Fuente: WSP, 2019

Se debe tener presente, que el escenario considerado con el ID 6 presenta una característica particular, ya que se debe tener presente que el conector "Y" denota que el evento posterior solo se podría presentar si y solo sí todos los eventos previos coinciden.

En este sentido, tendrían que coincidir con la Creciente del Río Páez (4), los eventos correspondientes a el Aumento del volumen muerto del Embalse de Betania (5), un nivel alto en el embalse de Betania (6) y el sobrepasso de la capacidad del vertedero de Betania (7); escenario considerado con una muy baja probabilidad.

Tabla 1-64 Combinación de causas y eventos que podrían desencadenar en Rotura de Presa

ID	COMBINACIÓN DE EVENTOS									PONDERACIÓN
1	5	A	B	10	12					0,525
2	3	6	A	B	10	12				0,55
3	3	7	A	B	10	12				0,525
4	3	7	B	10	12					0,5125
5	1	2	4	A	B	10	12			1,3375
6	1	2	4	C	11	12				1,8
7	8	B	10	12						0,5
8	9	B	10							0,5
9	9	C	11	12						0,8
10	1	2	4	A	B	10	12	9	B	1,8375

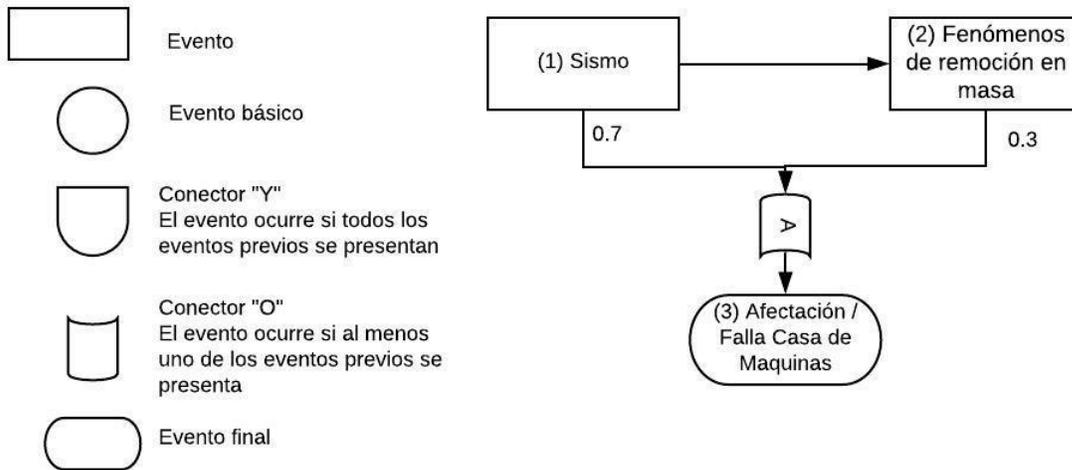
Fuente: WSP, 2019.

En la Tabla 1-64 se presentan las posibles combinaciones de causas que podrían afectar el embalse y finalmente la presa, desencadenando una inundación por la rotura de la presa o de los diques del embalse de Betania. Se observa, que los eventos con ID 5 y 6 corresponden a los que tendrían una mayor incidencia en el diagrama de flujo:

- ID 5 descargas del Quimbo que se manifiesta simultáneamente con un nivel alto del embalse de Betania que exceda la capacidad del vertedero y a su vez un alto volumen muerto del embalse por aporte de sedimentos de remoción en masa
- ID 6 una avalancha extraordinaria en el río Páez que se manifiesta simultáneamente con un nivel alto del embalse de Betania que exceda la capacidad del vertedero
- ID 10 simultaneidad de un sismo fuerte con el ID 5 y/o ID 6.
- Cadena de fenómenos causantes de posibles afectaciones al componente de Casa de Maquinas e infraestructura anexa

En la Figura 1-54 se presenta los fenómenos, eventos o fallas del entorno que tendrían la posibilidad efectiva de generar daños o afectaciones sobre el componente de casa de máquinas que agrupa los equipos, infraestructuras e instalaciones necesarias para desarrollar la generación eléctrica en la Central.

Figura 1-54. Cadena de fenómenos causantes de posibles afectaciones al componente de Casa de máquinas



Fuente: WSP, 2019

Cómo se observa en la Figura 1-54 se identificaron únicamente dos amenazas externas con el potencial de generar afectaciones o fallas en la casa de máquinas, siendo estas las correspondientes a eventos Sísmicos y a Fenómenos de remoción en masa, siendo principalmente los eventos sísmicos los que tendrían mayor probabilidad de ocurrencia y mayores efectos potenciales sobre la casa de máquinas (Tabla 1-65).

Tabla 1-65 Combinación de causas y eventos que podrían afectar Casa de máquinas

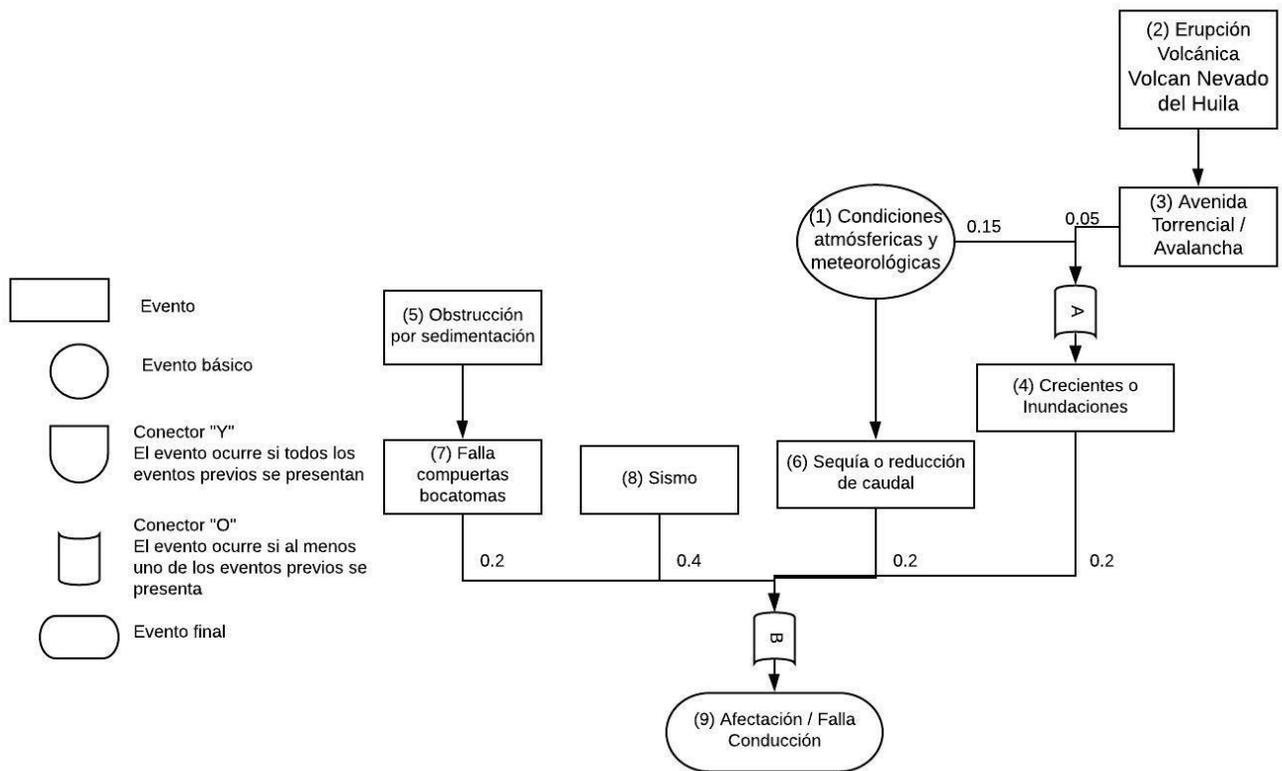
ID	COMBINACIÓN DE EVENTOS			PONDERACIÓN
1	1	A	3	0.7
2	2	A	3	0.3

Fuente: WSP, 2019.

- Cadena de fenómenos causantes de posibles afectaciones al componente del sistema de conducción

En la Figura 1-55 se muestran las causas presentes en el entorno que pueden generar daños o afectaciones al componente de conducción en la central, comprendida por tuberías y túneles de conexión para distribución del agua entre los sistemas de embalse, presa y casa de máquinas hasta su descarga final al río Magdalena.

Figura 1-55. Cadena de fenómenos causantes de posibles afectaciones de los componentes del sistema de conducción



Fuente: WSP, 2019

Con base en la Figura 1-55, en la Tabla 1-66 se presentan las potenciales combinaciones de eventos que podrían desencadenar una afectación o falla en la conducción. Se observa que principalmente la amenaza de sismicidad sería la que tendría mayor probabilidad de afectación de los Túneles y tuberías de carga y descarga de agua.

Tabla 1-66 Combinación de causas y eventos que podrían afectar los Túneles y tuberías de carga y descarga de agua

ID	COMBINACIÓN DE EVENTOS						PONDERACIÓN
1	5	7	B	9			0,2
2	8	B	9				0,4
3	1	6	B	9			0,2
4	1	A	4	B	9		0,2
5	2	3	A	4	B	9	0,25

Fuente: WSP, 2019.

1.2.2.2 ANÁLISIS DE RIESGOS INTERNOS DE LA CENTRAL

En la Tabla 1-67, se desarrollan los riesgos presentados frente a cada uno de los componentes de la central hidroeléctrica de Betania

Tabla 1-67 Análisis de riesgos internos

Componentes	Riesgos	Causas	Consecuencias
Embalse y Presa	Daño en el funcionamiento de compuertas de captación	Falla eléctrica o mecánica de compuertas de captación	Parada de la central Impide el mantenimiento
		Mantenimiento de las rejas coladeras	Taponamiento por palizadas
	Daños en el funcionamiento de las compuertas del vertedero	Falla eléctrica o mecánica de compuertas del vertedero	Ver análisis de la central al entorno
	Daño en el funcionamiento de la compuerta de fondo	Sedimentación Falla eléctrica o mecánica	Ver análisis de la central al entorno
Túnel de carga y sistema de descarga	Daños en el funcionamiento del túnel, y almenara.	Desprendimiento del revestimiento o falla en el reforzamiento de los túneles de carga	Daños en las turbinas Aumento de labores de mantenimiento correctivo
		Obstrucción por colapso de túnel de carga	Parada de la central
		Colapso de la almenara	Disminución de la presión de los túneles
		Obstrucción de la Almenara	sobrepresión de los túneles Parada de la central
		Daño de las compuertas a la descarga	Impide el mantenimiento del caracol y posible parada de la central
Sistema de casa de máquinas e infraestructura anexa	Riesgos eléctricos	Se desarrolla en el análisis de riesgo	Pérdidas de vidas humanas Daños a la infraestructura.

Componentes	Riesgos	Causas	Consecuencias
			Daños del funcionamiento de equipos o paradas de la central.
	Riesgos mecánicos	Se desarrolla en el análisis de riesgo	Pérdidas de vidas humanas Daños a la infraestructura. Daños del funcionamiento de equipos o paradas de la central.
	Daños por inundación en la casa de maquinas	Filtración de agua subterránea Falla en las juntas, bridas válvulas y sellos Fugas de agua del sistema de refrigeración	Daños a la infraestructura. Daños del funcionamiento de equipos o paradas de la central.

Fuente: WSP., 2019

El análisis comprende los componentes de generación de energía por lo tanto no se analiza la subestación.

1.2.2.2.1 Análisis de fallas eléctricas

A continuación, en la Tabla 1-68 se relaciona el análisis de riesgo por áreas, equipos y actividades de la central, identificando las posibles fallas, causas y consecuencias generales que se pueden presentar.

Tabla 1-68 Análisis e riesgo por componente de la central

EQUIPOS	FALLAS	CAUSAS	CONSECUENCIAS
TURBINA, GENERADOR Y EQUIPOS AUXILIARES	Fallos de control y de instrumentación	Fallos en mantenimiento.	Alarmas falsas, paros indeseados, daños en equipos, cuando existe control conjunto puede parar la central
		Cantidad insuficiente de control e instrumentación.	
		Calibraciones erradas tanto para el control como para la instrumentación.	
		Tecnología no actualizada.	
	Fallos del sistema de excitación del generador	Fallos en mantenimiento.	Explosión e incendio del generador, paros indeseados, daños en otros equipos, cuando existe control conjunto puede parar la central
		Fallos en las baterías.	
		Fallo en los tiristores	
		Tecnología no actualizada.	
	Cortocircuitos	Fallos en mantenimiento.	Explosión e incendio del generador
		Falta de pruebas típicas periódicas como.	
		Impericia de los técnicos	
		Falta de actitudes adecuadas de los técnicos.	
		Accidentes externos.	
Vientos fuertes.			
Humedades.			
Equipos defectuosos.			
	Fallos en mantenimiento.		

EQUIPOS	FALLAS	CAUSAS	CONSECUENCIAS
	Fallas en el sistema conraincendio	Falta de pruebas típicas periódicas como. Impericia de los técnicos Accidentes externos. Vientos fuertes. Equipos defectuosos.	Riesgo para el caso de incendio real
	Arcos eléctricos	Fallos en mantenimiento. Falta de estudios de análisis de arc flash, que debe revisarse en periodos no mayores a 5 años obligado por el RETIE. Malos contactos Cortocircuitos. Apertura de interruptores con carga. Apertura o cierre de seccionadores con carga. Apertura de transformadores de corriente con carga. Manipulación indebida de equipos de medida. Materiales o herramientas olvidadas en gabinetes. Acumulación de óxido o partículas conductoras.	Dstrucción e incendios a equipos, y daños al personal
	Ausencia de electricidad por fallas en el suministro y alimentación	Fallos en mantenimiento. Falta de estudios de confiabilidad, análisis que debe revisarse periódicamente. No tener planta de emergencia No tener transferencia. Protecciones inadecuadas.	No se pueda operar el equipo en una emergencia
	Electricidad estática	Fallos en mantenimiento. Falta de estudios para que no se produzca de forma indeseable, análisis que debe revisarse periódicamente. Unión y separación constante de materiales como aislantes, conductores, sólidos o gases con la presencia de un aislante Falla en las Puestas a tierra. Falta de Pruebas periódicas.	Chispas y posibles incendios y posibles contactos con el personal produciéndole daño
	Sobrecargas	Fallos en mantenimiento. Falta de estudios para que no se produzca de forma indeseable, análisis que debe revisarse periódicamente Fases desbalanceadas Superar los límites nominales de los equipos o de los conductores. Instalaciones que no cumplen las normas técnicas. Conexiones flojas. Armónicas. No controlar el factor de potencia.	Incendios
		Fallos en mantenimiento.	Electrocución al personal

EQUIPOS	FALLAS	CAUSAS	CONSECUENCIAS
TRANSFORMADORES	Tensiones de contacto por descargas atmosféricas	Falta de estudios para que no se produzca, análisis que debe revisarse periódicamente.	
		Fallas en el diseño	
		Instalaciones que no cumplen las normas técnicas.	
		Conexiones flojas.	
	Tensiones de paso por descargas atmosféricas	Falta de pruebas periódicas.	
		Fallos en mantenimiento.	
		Falta de estudios para que no se produzca, análisis que debe revisarse periódicamente.	
		Fallas en el diseño	
	Fallas en las protecciones del transformador	Instalaciones que no cumplen las normas técnicas.	
		Conexiones flojas.	
		Falta de pruebas periódicas.	
	Falta de Pruebas periódicas	Fallos en mantenimiento.	
Tecnología no actualizada.			
Mal estado del sistema de los relés diferencial y de sobrecorriente			
Pruebas de aislamiento del bobinado.		Índice de polarización del aislamiento del bobinado.	Deterioro de los equipos e incendios posteriores
		Pruebas de alta tensión por un minuto.	
		Pruebas de tangente delta de bujes y arrollamientos.	
		Pruebas de descargas parciales del bobinado.	
		Medidas de capacitancia de los bujes	
		Rigidez dieléctrica de aceites.	
		Prueba de gases del aceite.	
		Cromatografía del aceite.	
	Resistencia de contactos.		
	Termografías en contactos.		
Fallos en mantenimiento.			
Diseño defectuoso.	Fallos en las baterías.	la falta de muros cortafuegos puede sacar la central con el incendio de un solo transformador	
	Tecnología no adecuada.		
	Falta de muros cortafuegos.		
	Falta de fosos recolectores de aceite.		
Cumplimiento RETIE	Capacidad inadecuada de los recolectores de aceite.	Incendios y posible no pago de siniestros por las aseguradoras, una autoridad podría dar orden de parar la central	
	Encerramiento de los transformadores internos de casa de máquinas (mayores o iguales a 100 kva), encerrados con muros y puertas anti explosión con sistema contraincendios automático y renovación de aire por medio de una unidad manejadora.		
Alta temperatura	Fosos de aceites donde indique las normas.		
	Fallos en mantenimiento.		

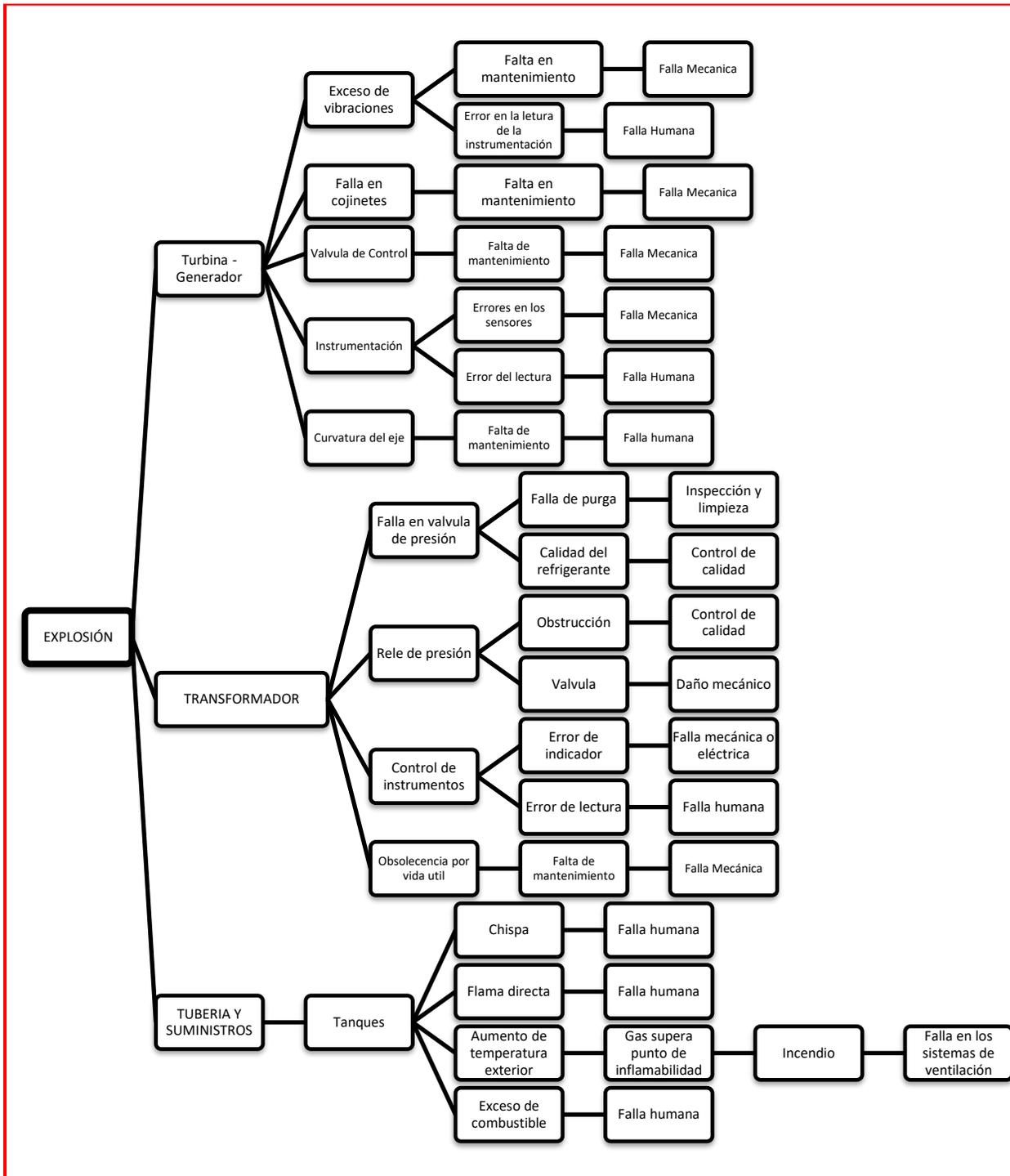
EQUIPOS	FALLAS	CAUSAS	CONSECUENCIAS
		Fallos en la ventilación.	Valoración daños: saca el transformador de servicio y puede producir incendio
		Fallos en el sistema de bombeo de aceite	
	Sobrepresión	Fallos en mantenimiento.	Saca la central porque hay orden de abrir todos los interruptores, puede producir explosión y derrames de aceite con consecuentemente contaminación al sitio
		Fallos en las válvulas de sobrepresión.	
		Fallos en el relé bucholz	
		Fallos eléctricos	
	Fallos en el cambiador de taps	Fallos en mantenimiento.	Se puede caer el voltaje al no poderse regular
		Fallos en el relé 90 (regulador de voltaje).	
		Fallos en el sistema de lubricación	

Fuente: WSP., 2019

1.2.2.2.2 Análisis de fallas mecánicas

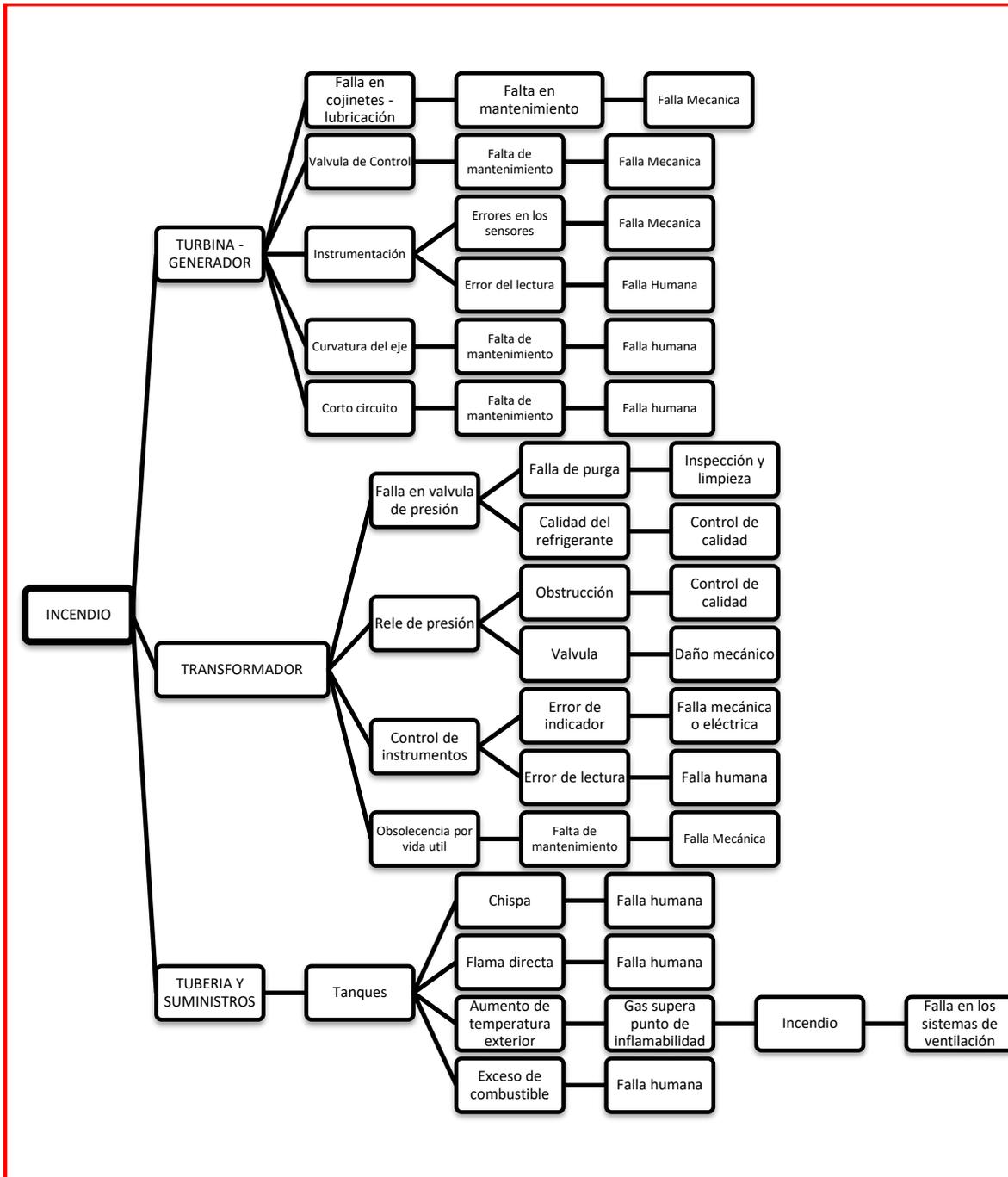
Con la identificación de las posibles fallas que se podrían generar en la central, se identificaron escenarios de riesgos, los cuales se describen a través de la cadena de fallas. A continuación, se presentan los escenarios de riesgos como explosión, incendio, fuga y derrame por fallas electromecánicas que podrían ocurrir en la operación de la central hidroeléctrica Betania (ver Figura 1-56; Figura 1-57; Figura 1-58; Figura 1-59).

Figura 1-56 Cadena de Falla - Escenario Explosión



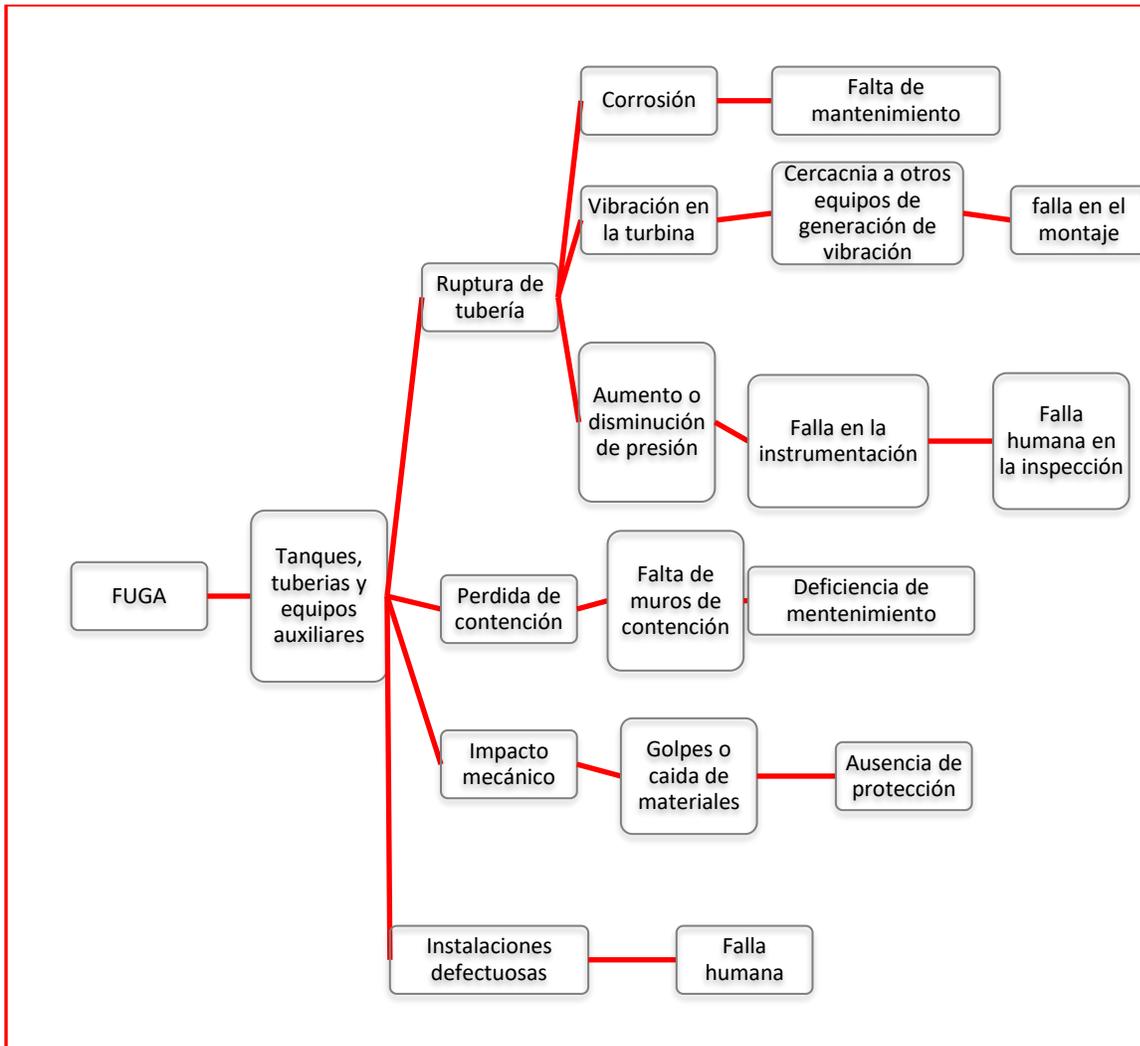
Fuente: WSP, 2019

Figura 1-57 Cadena de falla - Escenario Incendio



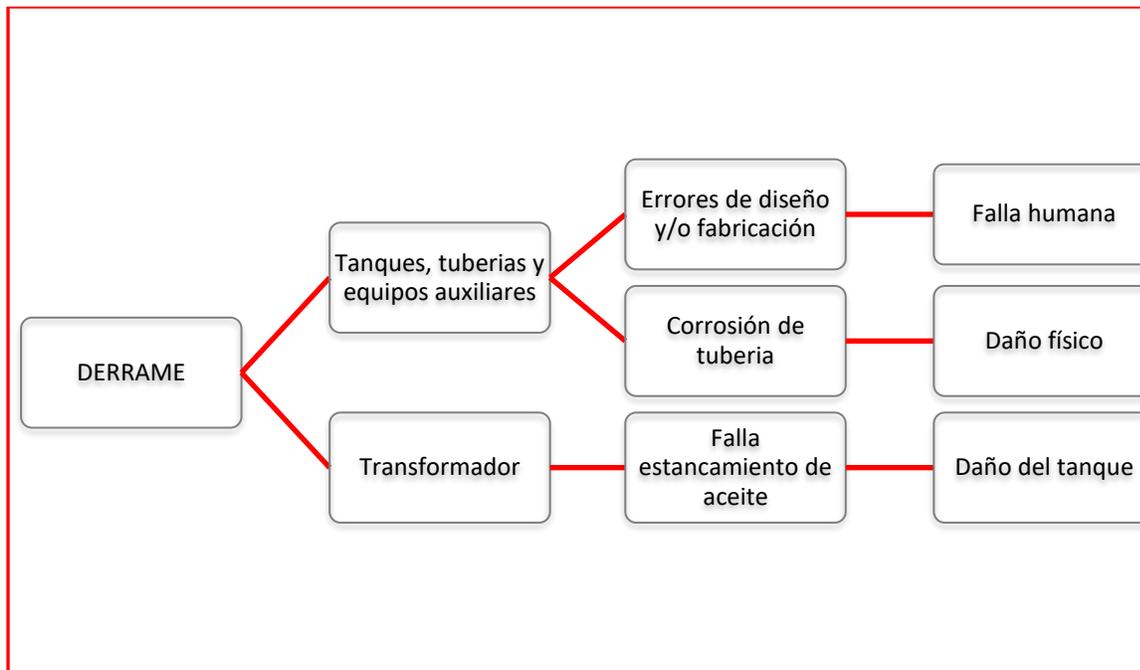
Fuente: WSP, 2019

Figura 1-58 Cadena de falla - Escenario Fuga



Fuente: WSP, 2019

Figura 1-59 Cadena de Falla - Escenario Derrame



Fuente: WSP, 2019

1.2.2.3 ANÁLISIS DE RIESGO DE LA CENTRAL AL ENTORNO

Para el análisis del riesgo que podría generar la central en el entorno se tendrán en cuenta tres escenarios posibles:

- (i) Rotura de presa,
- (ii) Descargas controladas y no controladas
- (iii) Déficit de agua por funcionamiento de la central

1.2.2.3.1 Inundaciones por Rotura de presa

Análisis del índice de confiabilidad y probabilidad de falla de la presa de la central hidroeléctrica de Betania se describe a continuación

De la información técnica suministrada por EMGESA sobre los análisis de estabilidad de la presa de la central hidroeléctrica de Betania, se encontró el estudio relacionado con la estabilidad de la presa aguas arriba y aguas abajo de la presa respectivamente como se indica en las figuras 25, 26 y 27 donde se muestran los círculos de falla y los factores de seguridad obtenidos del informe Diseño de Presa de Betania Volumen II, elaborado por la firma Sedic Ltda.

En el documento relacionado anteriormente cuenta con la información de los parámetros adoptados para cada material, la geometría de las secciones trabajadas, los círculos de falla y los factores de seguridad obtenidos para los casos durante la construcción, desembalse rápido y a largo plazo con embalse lleno.

Con la información suministrada por EMGESA se procedió a determinar el Índice de confiabilidad de la presa por el método de la regla 3σ .

Para el caso durante la construcción de la presa en el informe mencionado anteriormente determinaron los factores de seguridad máximo y mínimos correspondientes a 2.7 y 1.3, la media del F.S es 2.01, la desviación estándar es 0.23 y el Índice de Confiabilidad resultante es 4.4 que corresponde buen desempeño de los materiales que conforman la presa. De acuerdo con USACE (1999) la probabilidad de falla de las estructuras con un buen desempeño es $3 \cdot 10^{-3} \%$.

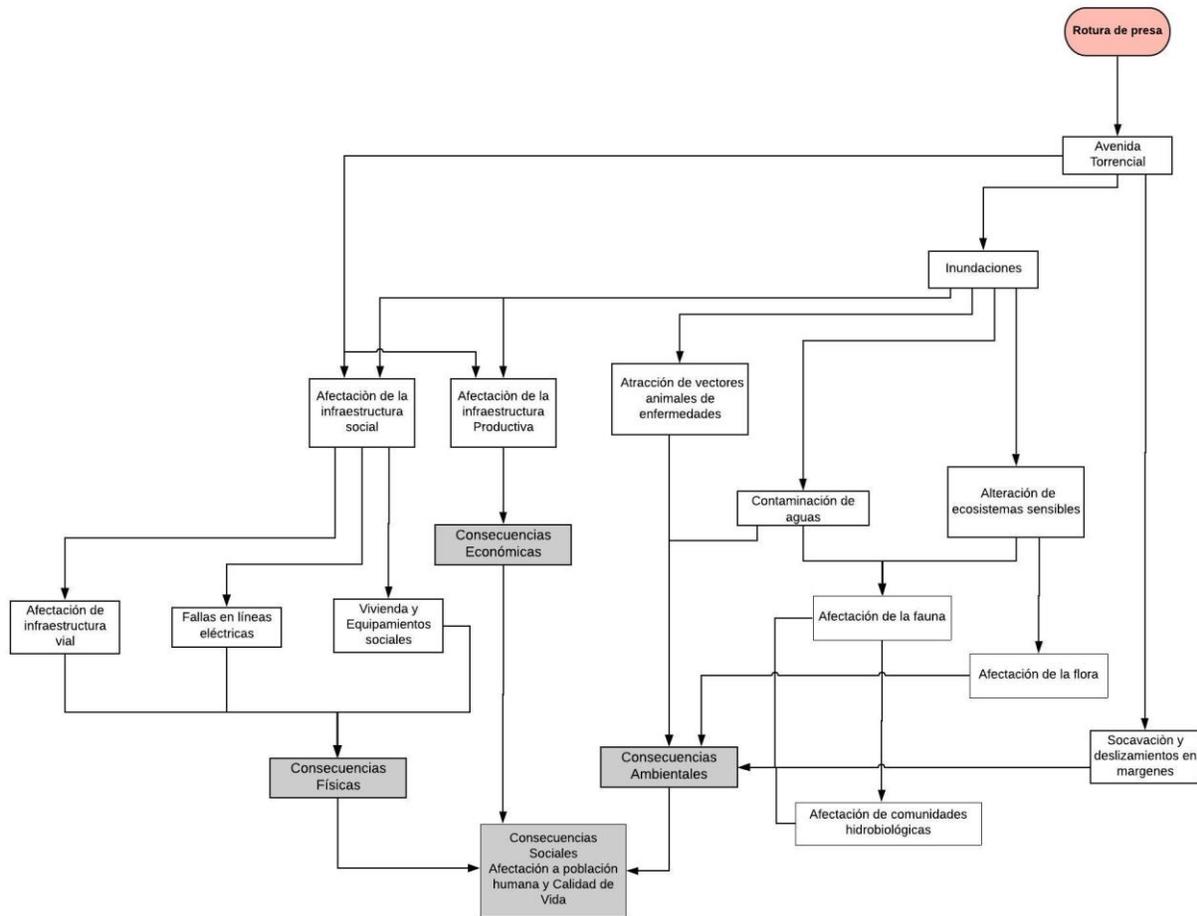
En el caso del desembalse rápido de la presa se determinaron los factores de seguridad máximo y mínimos correspondientes a 2.9 y 1.4, la media del F.S es 2.15, la desviación estándar es 0.25 y el Índice de Confiabilidad resultante es 4.6 que corresponde buen desempeño de los materiales que conforman la presa. De acuerdo con USACE (1999) la probabilidad de falla de las estructuras con un buen desempeño es $3 \cdot 10^{-3} \%$.

Para el caso de largo plazo con embalse lleno se determinaron los factores de seguridad máximo y mínimos correspondientes a 3 y 1.17 donde se incluyó el efecto por sismo, la media del F.S es 2.11, la desviación estándar es 0.31 y el Índice de Confiabilidad resultante es 3.6 que corresponde a un desempeño sobre el promedio de los materiales que conforman la presa. **De acuerdo con USACE (1999) la probabilidad de falla de las estructuras con este desempeño es $1 \cdot 10^{-2} \%$.**

Aunque este escenario es muy poco probable pero debido a que sus consecuencias son catastróficas se presenta a continuación el análisis de riesgo siguiendo la metodología propuesta:

En la Figura 1-60 se presenta el diagrama de consecuencias identificadas en caso de que se manifieste la amenaza de rotura de presa.

Figura 1-60 Consecuencias en el entorno por rotura de presa

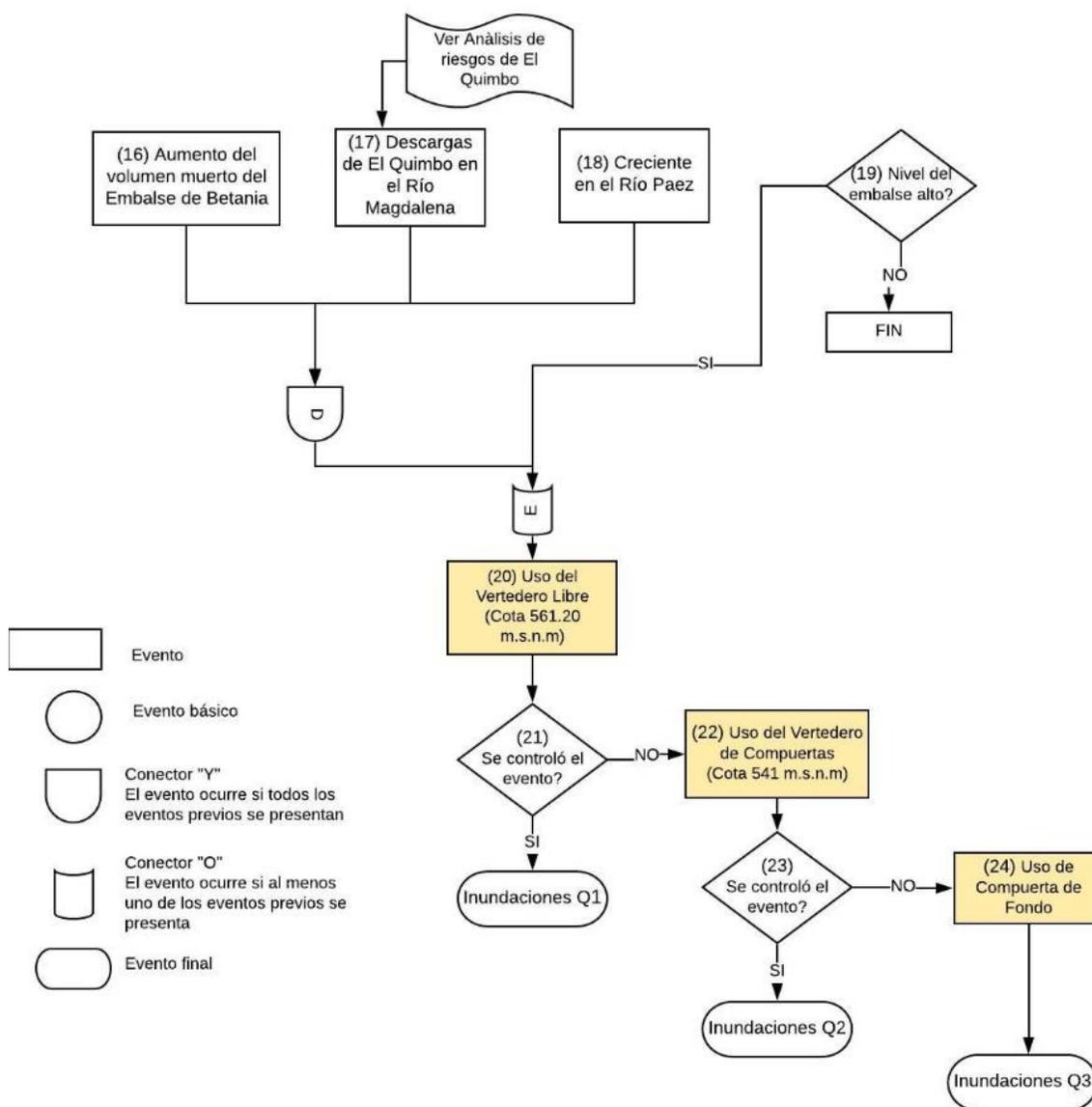


Fuente: WSP, 2019.

1.2.2.3.2 Inundación por descargas

En las Figura 1-61 y Figura 1-62 se presenta los diagramas de la cadena de causas, efectos y fallas que se configuran el escenario de descargas desde la Central Hidroeléctrica hacia su entorno.

Figura 1-61. Tipos y procesos de descarga del embalse

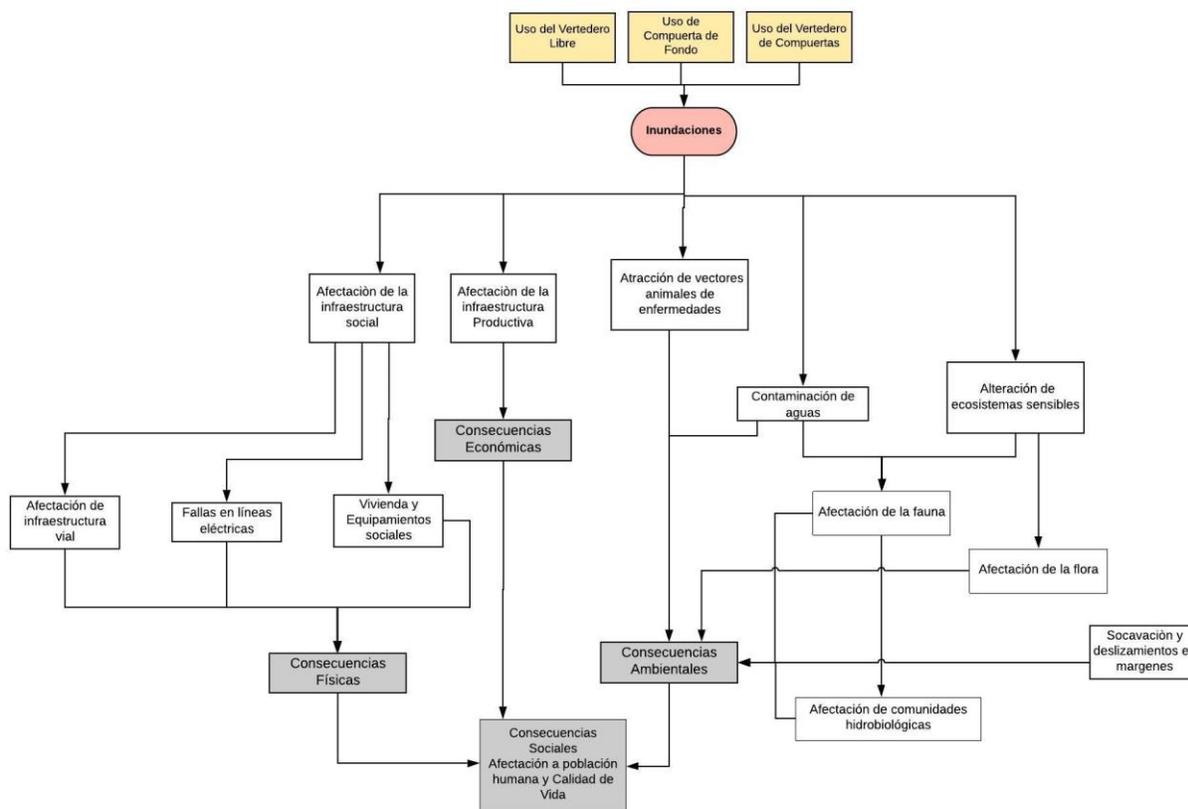


Fuente: WSP, 2019

Se obtuvo que el Uso del Vertedero de Compuertas (21) es el evento más probable que generaría riesgos aguas debajo de la presa; presentado por que el nivel del embalse esté alto y eventos principalmente de inundaciones, avenidas torrenciales, fenómenos de remoción en masa agreguen volúmenes adicionales de agua al embalse que tengan que ser evacuados por las compuertas.

En la Figura 1-62 se presenta el diagrama de consecuencias identificadas en caso de que se manifieste la amenaza de descargas del embalse de Betania.

Figura 1-62 Cadena de consecuencias por descargas del embalse de Betania



Fuente: WSP, 2019.

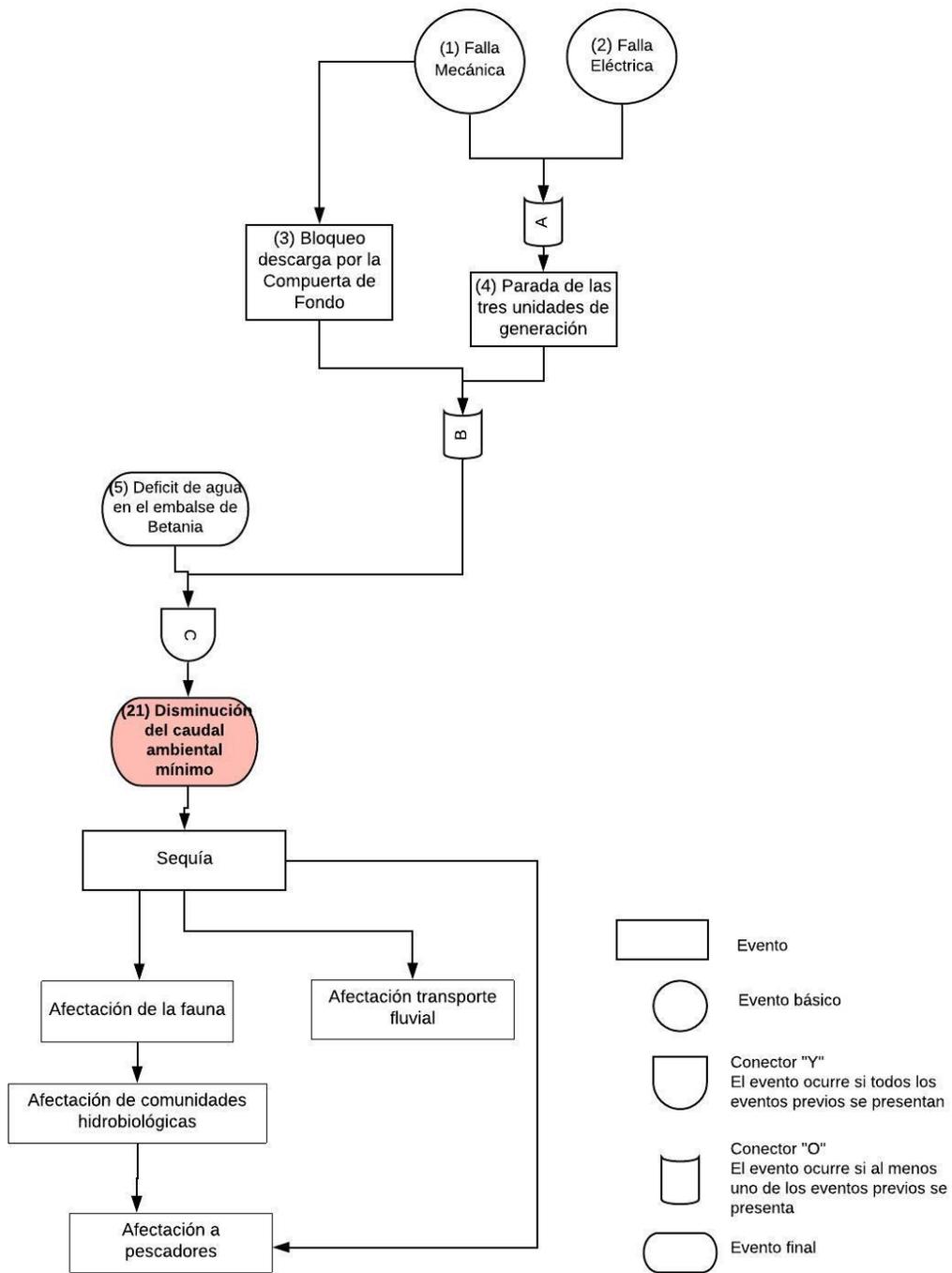
1.2.2.3.3 Déficit de aguas asociadas al funcionamiento de la central

En la Figura 1-63 se presenta la Cadena de causas, eventos y fallas que podrían ocasionar la Disminución del caudal ambiental mínimo asociado al funcionamiento de la central.

Se observa, que los escenarios que atraviesan el conector “E” ni en el eventual caso que se manifiesten simultáneamente tendrían el potencial de ocasionar un déficit de aguas abajo de la presa. Los únicos escenarios que se identificaron con dicho potencial corresponden a los escenarios con el ID 8, 9 y 10, que serían los de mayor relevancia.

Estos escenarios corresponden a que a raíz de una Falla Mecánica o una Falla Eléctrica se ocasione o un bloqueo de la descarga por la compuerta de fondo en caso de ser requerida, o que este tipo de fallos también ocasionen una parada simultánea en las tres unidades de generación y se impida la continuidad del flujo de agua a través de la casa de máquinas a el punto de salida del agua.

Figura 1-63 Cadena de causas y consecuencias para la Disminución del caudal ambiental mínimo / sequías



Fuente: WSP, 2019.

1.2.2.4 PRIORIZACIÓN DE RIESGOS DE LA FASE DE ANÁLISIS

1.2.2.4.1.1 Priorización de riesgos según el nivel de incidencia

Con el fin de seleccionar los riesgos que pueden afectar de manera importante la infraestructura de la central (embalse, presa, casa de máquinas y Túneles y tuberías de carga y descarga de agua) se realizó un análisis del nivel de incidencia para priorizar los riesgos a incluir en la fase de evaluación. A continuación, en la Tabla 1-69 y Tabla 1-70 se presenta la priorización de riesgos de la fase de análisis de acuerdo con su nivel de incidencia.

Tabla 1-69 Priorización de riesgos de la fase de análisis del entorno a la Central e internos

Escenario de riesgo	Amenazas	Incidencia			
		Embalse	Presa	Casa de Maquinas	Túneles y tuberías de carga y descarga de agua
Del entorno a la central	Sismo		XXX	XX	XX
	Avenidas torrenciales crecientes	X	XXX		
	Remoción en masa	X	X	X	X
	Incendios forestales	X			
	Contaminación de agua	XX			
Internos	Eléctricos		X	XXX	
	Mecánicos		X	X	

Nota: X: Incidencia baja, XX: Incidencia media y XXX: Incidencia alta

Fuente: WSP, 2019

Tabla 1-70 Priorización de riesgos de la fase de análisis de la Central al entorno

Componentes	Incidencias		
	Inundación por rotura de presa	Inundación por descargas	déficit de agua asociados al funcionamiento de la central
Embalse	X	XX	
Presa	XXX	XX	X
Casa de Maquinas			
Túneles y tuberías de carga y descarga de agua			

Fuente: WSP, 2019

En el escenario del entorno a la Central el análisis de incidencia arroja como prioritario para la evaluación el riesgo sísmico.

En el escenario interno de la Central el prioritario los riesgos eléctricos.

En el escenario de riesgos de la Central al entorno se encuentra como prioritario para la evaluación de riesgos generados por rotura de presa y descargas.

1.2.3 EVALUACIÓN DEL RIESGO

En esta sección se determina el nivel de riesgo asociando el nivel de probabilidad de ocurrencia con la magnitud de los daños esperados, teniendo en cuenta el grado de vulnerabilidad de los elementos expuestos.

1.2.3.1 EVALUACIÓN DE RIESGO DEL ENTORNO A LA CENTRAL

A continuación, se presenta la evaluación de los riesgos priorizados en el análisis del escenario del entorno a la central.

1.2.3.1.1 Evaluación de riesgo sísmico

A continuación, se describe la metodología que se empleó para llevar a cabo el análisis de amenaza sísmica.

En primera instancia, se tomaron los sismos registrados en el “Catálogo de sismos de Colombia para Estudios de Amenaza Sísmicas”, elaborado por INGEOMINAS en el 2001 y provee el catálogo de sismos procesados para estudios de amenaza sísmica desde el año 1541 hasta el 2001. Así mismo, se incluyeron los sismos que han ocurrido desde el 2001 hasta la fecha que se han registrado en la red nacional de acelerógrafos de Colombia; para incluir estos sismos, fue necesario eliminar de la lista las réplicas del sismo principal.

Seguido a esto, se definieron las principales fuentes sismogénicas que tienen actividad sísmica y tiene efecto sobre Betania. Cabe resaltar, que se contó con información secundaria, asociada a un estudio de geología estructural que identificó un sistema de fallas locales con fallas secundarias que tienen incidencia importante sobre la zona de presa y algunas obras importantes como los vertederos y algunos diques; así mismo, esta información se complementa con las fallas identificadas en el Estudio de Amenaza Sísmica de Colombia (AIS) del año 2009.

Una vez se tienen definidas las fuentes sísmicas, se hizo la asignación de eventos sísmicos a cada una de las fuentes; para este estudio, se planteó dividir el área de análisis en 10 franjas de igual área y en cada una de ellas realizar un perfil EW que incluyera tanto los sismos como las fuentes que se encuentran en cada una de las franjas; finalmente, el número de sismos por fuente es equivalente a la suma de los sismos en cada una de las franjas. Para continuar, se realizó un análisis de recurrencia de sismos con Magnitud de onda superficial (M_s) mayor a 3, lo cual, permite obtener la tasa de excedencia anual de sismos y la magnitud última esperada

Con base en la geología del sitio, y las características de las fuentes sísmicas identificadas, se aplicaron las ecuaciones de atenuación más adecuadas, para determinar la Aceleración Pico Efectiva del sitio a nivel de roca.

Finalmente, utilizando el software R-Crisis se realizó la evaluación del Espectro de Amenaza Uniforme y definición de las curvas de amenaza, que permiten definir las fuentes que más aportan a la amenaza sísmica. Así mismo, se generaron los mapas de amenaza sísmica con los siguientes Periodos de retorno (T_r):

$T_r = 145$ años, Periodo de diseño de 100 años: Nivel de amenaza recomendado por la comisión internacional de presas largas (ICOLD por sus siglas en inglés), para evaluar la amenaza sísmica en el tiempo de operación.

Tr = 2400 años: Así mismo, el ICOLD recomienda usar este Tr para evaluar el máximo evento probable. Dado que la norma no especifica el periodo de diseño, se usó 100 años para hacer la evaluación.

Tr =475 años, Periodo de diseño de 50 años: Es el nivel de amenaza evaluado en los estudios de amenaza a nivel nacional, y en las normatividades vigentes en Colombia para estructuras como edificaciones. Se presenta solo como punto de referencia.

El software de análisis genera como entregables los espectros de amenaza uniforme, con un amortiguamiento del 5%. En la Tabla 1-71 se muestran las estructuras donde fueron calculados los espectros de amenaza uniforme.

Tabla 1-71 Localización de sitios donde se calcularon los Espectros de Amenaza Uniforme

PUNTO	SITIO	COORDENADAS	
		LONGITUD	LATITUD
1	Sitio de Presa	-75.4327	2.70497
2	Casa Máquinas	-75.42987	2.7083
3	Vertedero Libre	-75.42202	2.71641
4	Vertedero Principal	-75.4249	2.71529
5	Subestación	-75.43108	2.71284

Fuente: WSP., 2019.

I. IDENTIFICACIÓN DE FUENTES SÍSMICAS

De acuerdo con el Apéndice 2 del Informe de diseño de la Presa, el área de Betania presenta un sistema de fallas menores que está asociados a la falla Betania, que se constituye como la mayor discontinuidad estructural de la zona.

La falla Betania tiene un mecanismo focal inverso, con componente de rumbo; su disposición estructural es N30°-40°E/70°W-90, con un patrón de afloramiento casi rectilíneo, y una longitud próxima a 50Km. Con relación al área del proyecto, se encuentra hacia el Nororiente donde se tienen fallas secundarias. Así mismo la falla cruza por el río Yaguará, alrededor de 1Km aguas arriba de la desembocadura del río Magdalena; controla estructuralmente el sillar del Dique 1 y divide el meandro del río Magdalena, aguas abajo del sitio de presa.

Por otro lado, las principales fallas secundarias que afectan el área del proyecto son:

- Falla de la Quebrada Honda: El patrón de afloramiento cruza el cruce del río Magdalena, a una distancia cercana a 700 metros aguas arriba de la desembocadura del río Yaguará; esta discontinuidad controla parte del cauce de la Quebrada Honda y la zona del Dique 3. La falla tiene un mecanismo focal de rumbo, con componente normal.
- Falla zona de vertederos: La traza de la falla comienza en la falla Betania y se desarrolla en su bloque Este, cruzando el cauce del río Magdalena, 200 metros aguas debajo de la Casa de Máquinas, teniendo influencia sobre las zonas de los vertederos de compuerta y de borde libre.

- El mecanismo focal de la falla es normal y durante las excavaciones que se realizaron para la construcción de las obras, se identificó como contacto lateral entre la Formación Gualanday Superior y la Formación Honda Inferior.
- Falla Dique No 1: Localmente la traza de esta falla es sub-paralela a la falla Betania y se desarrollan en su bloque Este. Por otro lado, controla el sillar estructural del Dique No 1, hasta extenderse a la zona de la falla de zona de Vertederos.
- Falla Quebrada de Jesús: La traza de la falla comienza en la falla Betania, cerca a el meandro aguas abajo del sitio de presa, y se desarrolla en su bloque oeste; controla estructuralmente la zona de la Quebrada Jesús.
- Otras fallas secundarias: Se identificaron ramificaciones de las fallas ya mencionadas, así como algunas fallas independientes que se encontraron en la zona de presa. Sus patrones de afloramiento son de pocos centenares de metros y sus movimientos netos, de pocos metros. Así mismo, no conforman contactos laterales entre formaciones.

No obstante, no se contó con su la ubicación en planta de las fallas descritas, por ende, se utilizó como marco de referencia los Estudios de Amenaza Sísmica de Colombia, desarrollados por la Asociación de Ingeniería Sísmica (AIS) en los años 1996 y 2009 para identificar los sistemas de fallas activos que tienen interacción con Betania, sin embargo, a la hora de analizar la interacción entre el sismo y la presa, se debe tener en cuenta el efecto de fallas activas en campo cercano.

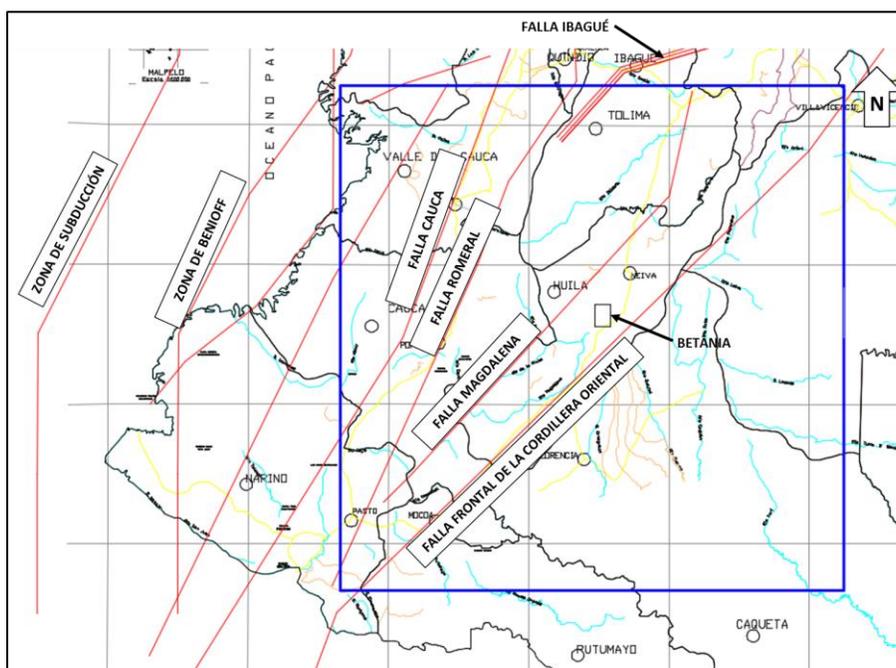
El estudio de amenaza sísmica de la AIS 2009 presentó 38 fallas activas, con su respectiva localización en planta (véase Anexo 1-1, literal A)

II. DEFINICIÓN DEL ÁREA DE ANÁLISIS

El sitio de interés se tomó como un punto, alrededor del cual, se estableció un área de trabajo compuesta por un cuadrado de longitud 400 Km (es decir, se tomó una distancia de 200 Km a lado y lado del punto definido). En la Figura 1-64 se presenta el área delimitada (enmarcada en color azul oscuro) enmarcando que se incluyó la zona de Benioff, dado que los modelos de tectónica nacional asumen que este se tiene una inclinación entre 12° y 31°, con lo cual, en profundidad se encuentra en la zona de estudio; por otro lado, en la se encuentran las coordenadas de los vértices de este cuadrado.

Tabla 1-72

Figura 1-64 Delimitación del área de trabajo - Betania



Fuente: WSP., 2019.

Tabla 1-72 Coordenadas de los vértices, área de trabajo - Betania

Vértice	Este (m)	Norte (m)
1	636826.628	965417.3997
2	636826.628	565417.3997
3	1036826.628	565417.3997
4	1036826.628	965417.3997

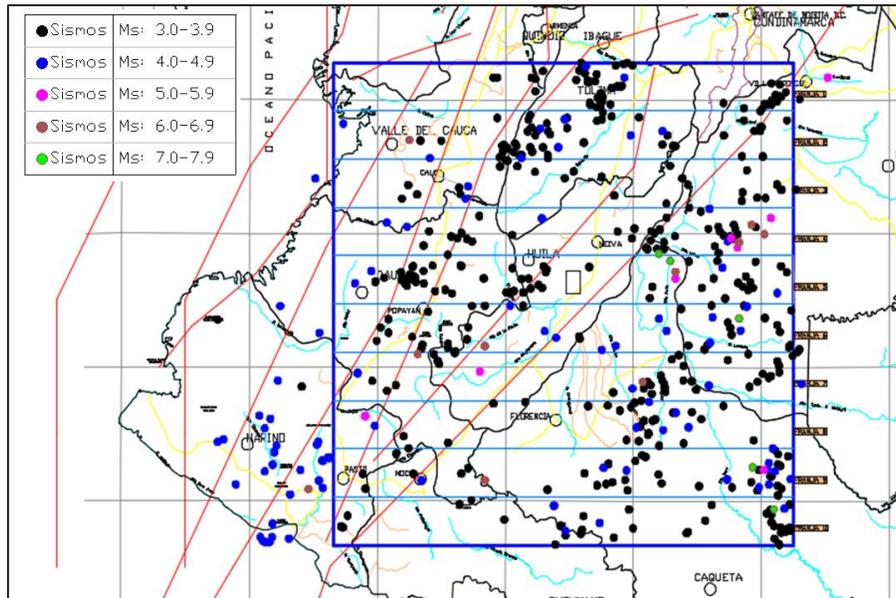
Fuente: WSP., 2019.

Las fallas que se tomaron para el análisis de amenaza sísmica son las que están resaltadas en la Figura 1-64. La descripción de estas fallas se encuentra en el anexo 1-1, literal B de este informe.

III. ACTIVIDAD SÍSMICA POR FUENTE

Para determinar y asignar los sismos representativos a cada una de las fuentes sísmicas, se subdividió el área de estudio en 10 franjas de área constante, y en cada una de ellas se realizó un perfil en el Sentido EW; el número total de sismos por fuente resulta ser la sumatoria de eventos asignados en cada una de las franjas. En la Figura 1-65 se muestran las franjas usadas para el análisis en conjunto con los sismos obtenidos de los catálogos de sismos; como se observa, los sismos predominantes en el área de estudio tienen magnitudes entre 3 y 5, con presencia de algunos eventos con Ms mayor a 6 Y 7.

Figura 1-65 Localización de las franjas de análisis, con sus respectivos eventos sísmicos para el área de estudio



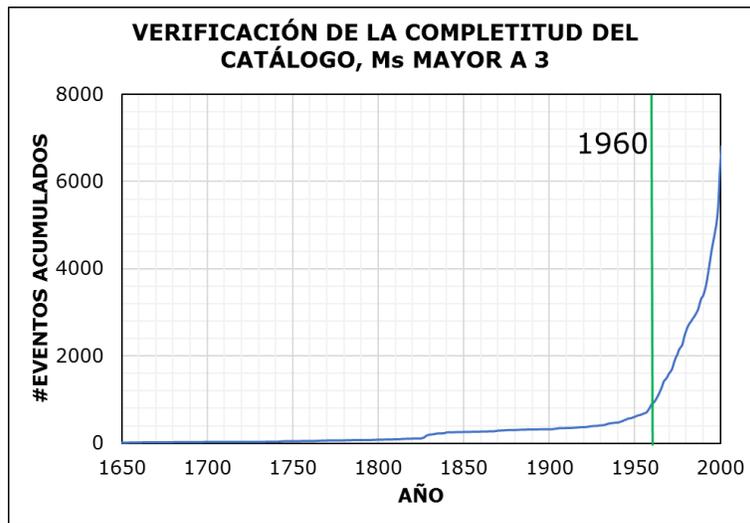
Fuente: WSP., 2019.

IV. CATÁLOGO SÍSMICO

En Colombia, se registran eventos sísmicos desde el año 1566 hasta la fecha, sin embargo, la mayoría de los eventos sísmicos hasta 1922 fueron registrados por medio de relatos o fuentes no precisas; así mismo, se dieron por alto demasiados eventos sísmicos que no pudieron ser registrados por falta de aparatos de medición, es decir, se tiene una gran incertidumbre sobre los datos históricos y en estudios como éste, solo se tienen en cuenta como elementos de referencia.

Para analizar la completitud del catálogo sísmico, en la Figura 1-66 se muestra un gráfico de número de eventos acumulados por año, donde se observa claramente que el primer cambio de pendiente fuerte se presenta en el año 1960, mientras que el segundo cambio se tiene en 1993, año en el cual, entró en funcionamiento la Red Nacional de Acelerógrafos de Colombia, no obstante, el cambio de la pendiente es muy leve, por tanto, se puede considerar como ventana de tiempo (T) para análisis de recurrencia de magnitudes y asignación de frecuencia de eventos a cada fuente sismogénica.

Figura 1-66 Verificación de la completitud del catálogo



Fuente: WSP., 2019.

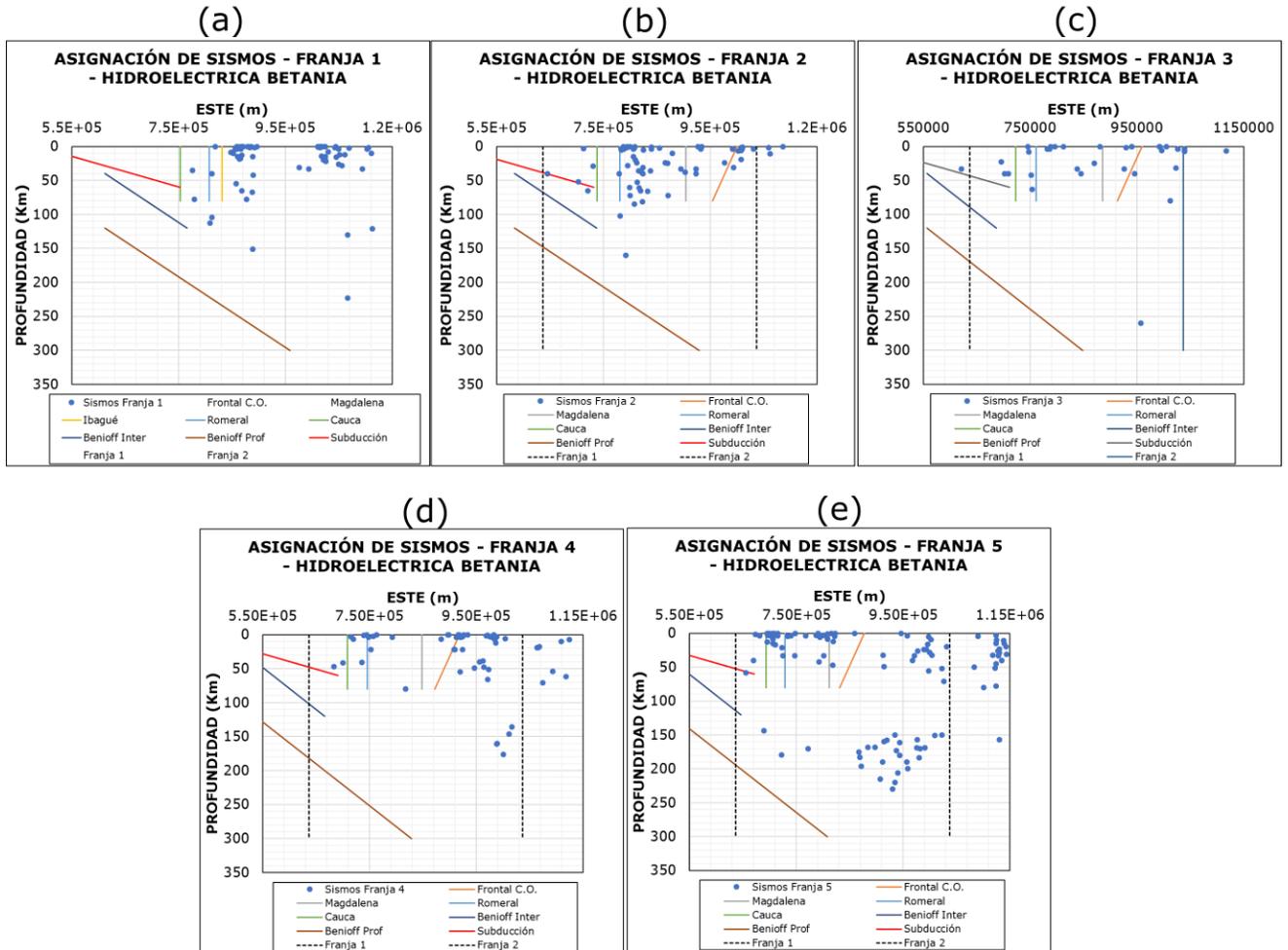
V. ASIGNACIÓN DE EVENTOS SÍSMICOS

En la Figura 1-67 a la Figura 1-68; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra la distribución de eventos sísmicos en cada una de las franjas tomadas para el análisis, resaltando que la falla Frontal de la Cordillera Oriental y la falla Romeral se encuentran en todas las franjas de análisis, siendo la primera, la fuente que más sismos asignados tiene, mientras que la falla Romeral, presenta un menor número de sismos. Así mismo, las fallas Cauca Magdalena se aprecian hasta las franjas 7 y 8 respectivamente, con un número más limitado de sismos asignados.

Cabe resaltar, que la falla Ibagué solo se aprecia en la franja 1, no obstante, esta es una falla de interés, ya que, teniendo en cuenta el estudio de Montes et al. (2005)⁹¹, La Falla Ibagué presenta contundentes rasgos de actividad neotectónica asociados con su trazo, que la definen como una estructura potencialmente productora de grandes sismos. Finalmente, la zona de Benioff se definió en dos rangos de profundidades: Intermedias y lejanas, y se presentan en todas las franjas, sin embargo, la Sección intermedia presenta menos influencia dentro del área de estudio; la asignación de eventos sísmicos a estas fallas es limitada, sin embargo, la zona de subducción de la placa de Nazca configura una de las estructuras tectónicas más complejas que afectan el territorio colombiano, por ende, hay que tenerlo en cuenta dentro de los análisis.

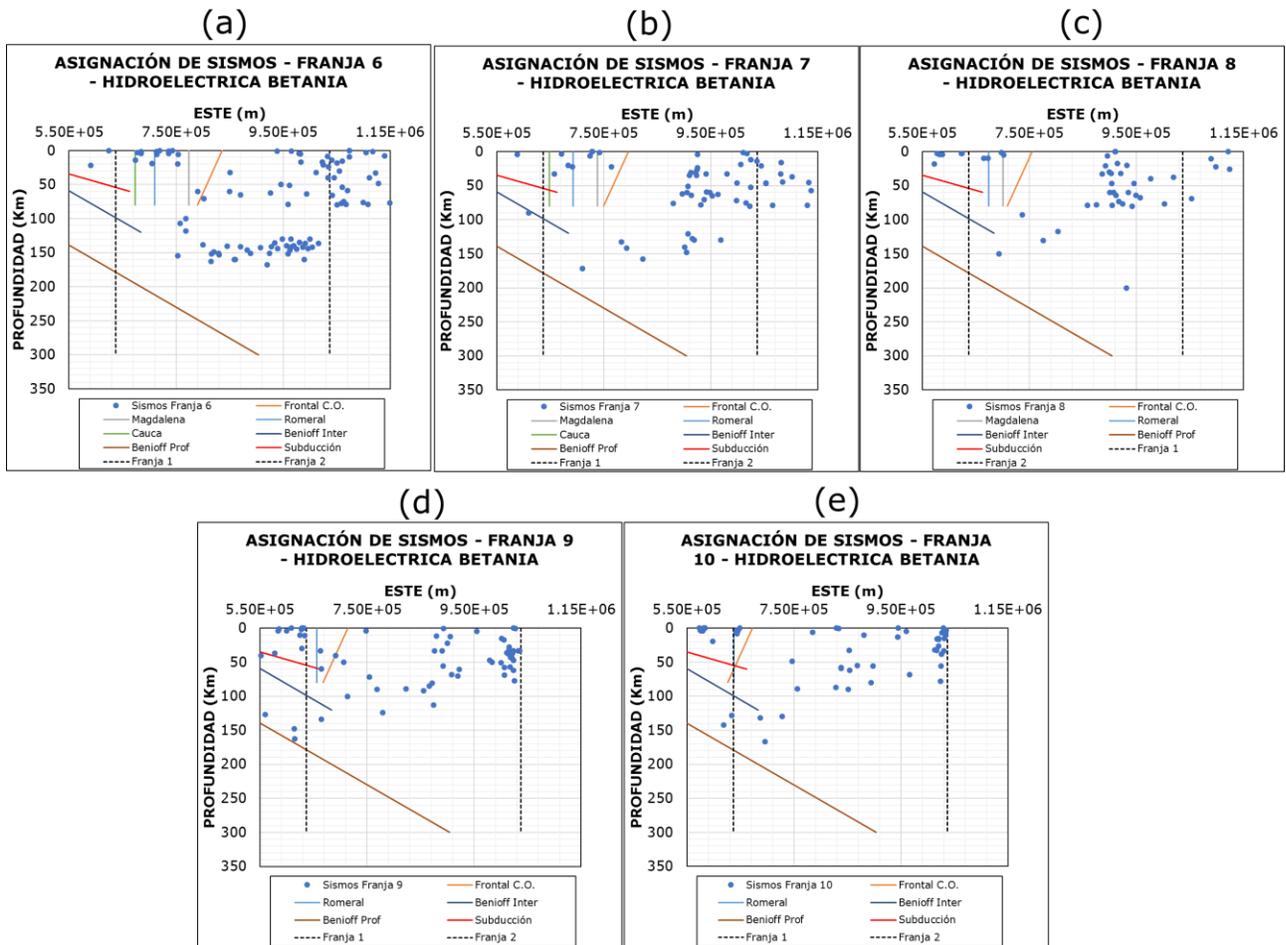
⁹¹ Montes, N.; Velandia, F.; Osorio, J.; Audemard, F.; Diederix, H. interpretación morfotectónica de la falla Ibagué para su caracterización paleosismológica. Boletín de Geología, Vol. 27, No. 1, enero-junio de 2005

Figura 1-67 Distribución de sismos en las franjas - Betania. (a) Franja 1, (b) Franja 2, (c) Franja 3, (d) Franja 4, (e) Franja 5



Fuente: WSP., 2019.

Figura 1-68 Distribución de sismos en las franjas - Betania (a) Franja 6, (b) Franja 7, (c) Franja 8, (d) Franja 9, (e) Franja 10



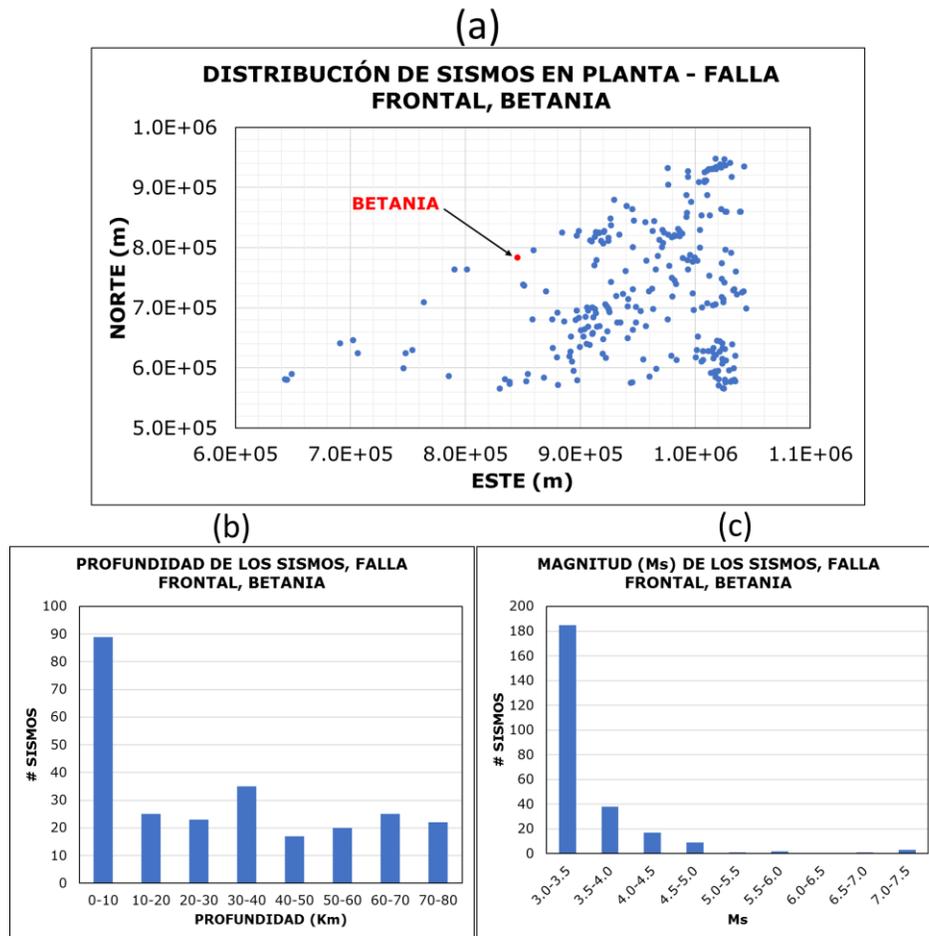
Fuente: WSP., 2019.

A continuación, se presenta la distribución de eventos sísmicos para cada una de las fallas identificadas.

- FALLA FRONTAL DE LA CORDILLERA ORIENTAL

En la Figura 1-69 se muestra la distribución de sismos en planta (literal a), profundidad (literal b) y magnitud en escala Ms (literal c) para el Sistema de la Falla Frontal de la Cordillera; en primera instancia, se destaca que Betania se encuentra cerca a la nube de sismos asignados para este Sistema de Fallas; por otro lado, la profundidad predominante de esta falla se encuentra entre 0-10Km con 90 eventos registrados, seguido de eventos entre 30-40Km con 35 eventos, mostrando que esta falla tiene una actividad considerable a profundidades cercanas a la superficie; finalmente, la Magnitud predominante se encuentra entre 3 y 4 con 180 eventos asignados, seguido de los sismos con Magnitudes entre 3.5 y 4.0 con cerca de 40 eventos; así mismo, se tienen algunos eventos con Ms mayor a 5.

Figura 1-69 Eventos sísmicos asignados a el Sistema de la Falla Frontal de la Cordillera Oriental. (a) Vista en Planta; (b) Profundidad sísmica; (c) Magnitud de onda superficial (Ms)

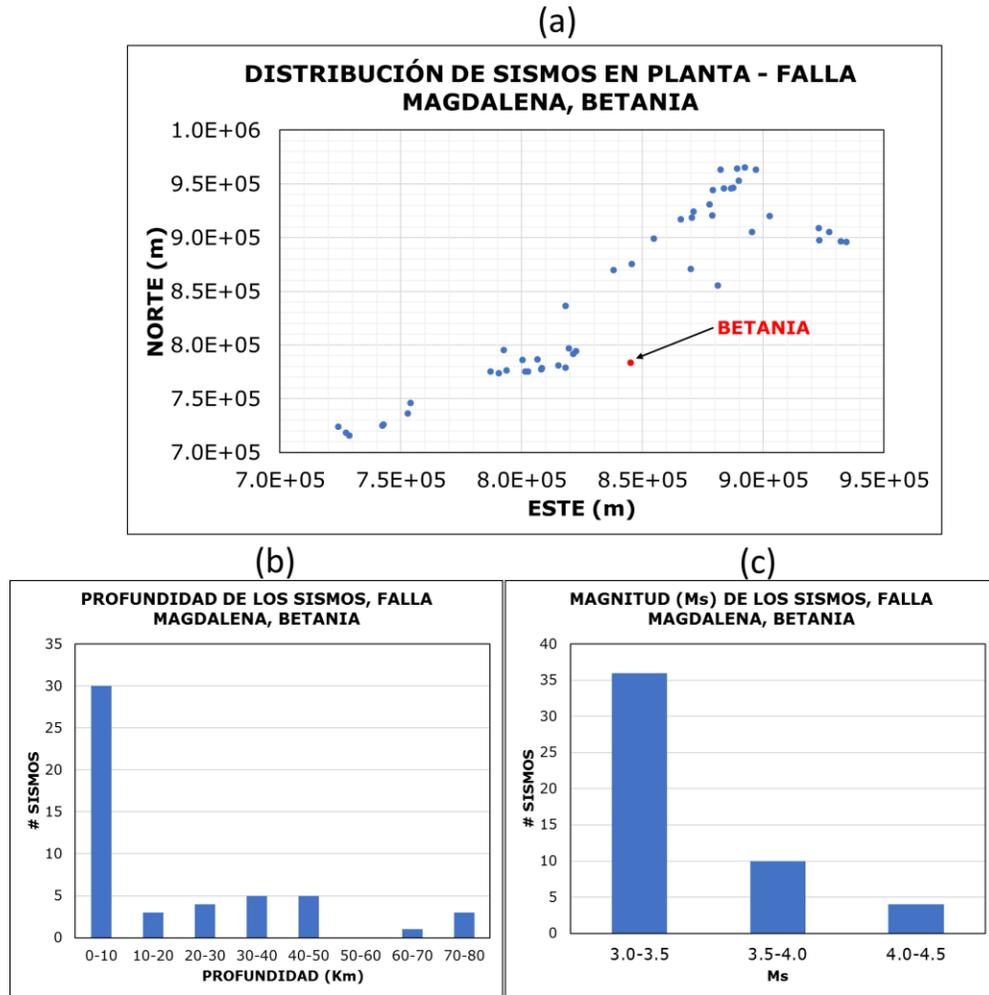


Fuente: WSP., 2019

- FALLA MAGDALENA

En la Figura 1-70 se presentan los sismos asignados para la Falla Magdalena; como se observa, no se tiene una densidad considerable de eventos asignados, sin embargo, se tienen eventos cercanos a Betania, lo cual, se evidencia en el literal (a) de la figura. Por otro lado, se destaca que los sismos predominantes tienen una profundidad menor a 10Km con 30 eventos, seguido de los sismos entre 40Km y 50Km con 5 eventos. Finalmente, la magnitud predominante se encuentra entre 3.0 y 3.5 con 35 eventos, seguido de la magnitud entre 3.0 y 3.5 con 10 eventos.

Figura 1-70 Eventos sísmicos asignados a Falla Magdalena. (a) Vista en Planta; (b) Profundidad sísmica; (c) Magnitud de onda superficial (Ms)

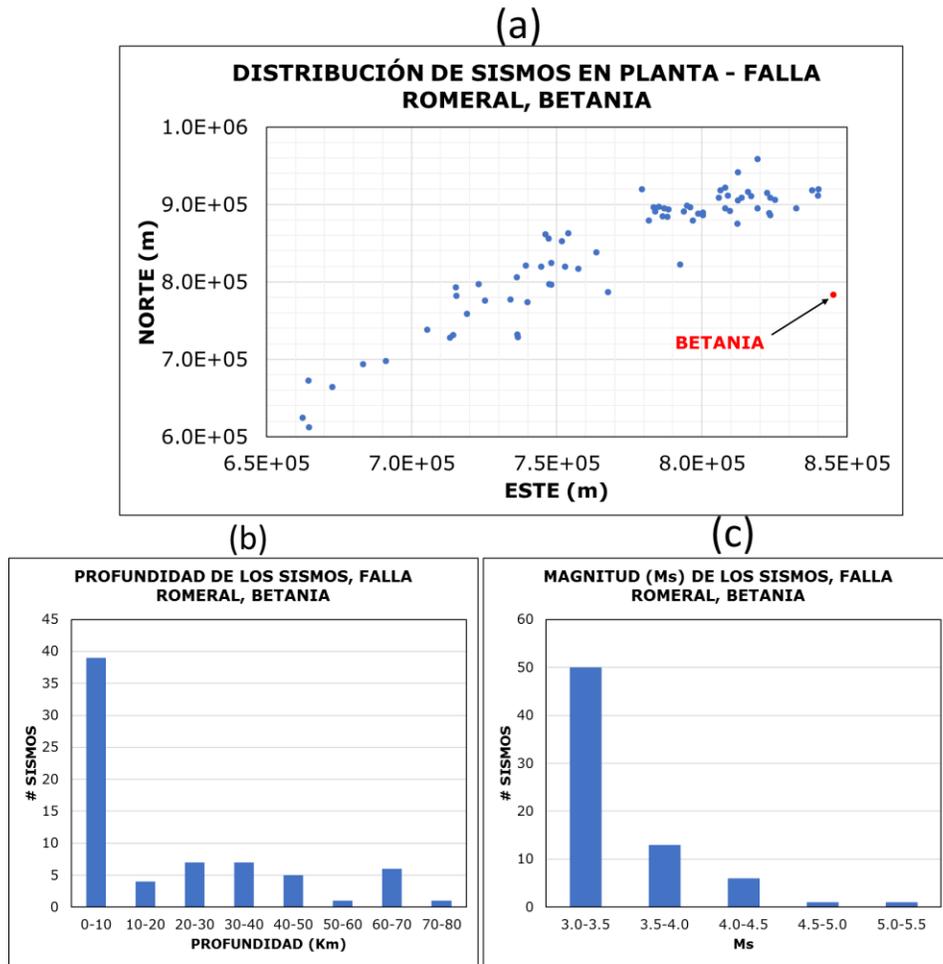


Fuente: WSP., 2019.

- FALLA IBAGUÉ

En la Figura 1-71 se presenta la localización de los sismos asignados para la falla Ibagué, su distribución de profundidad y Magnitud. Como se observa en el superiores a 180Km de Betania; dichos eventos en su mayoría tienen profundidades menores a 10Km, y la magnitud predominante oscila entre 3.0 y 3.5 (véase literal (b) y (c) de la Figura 1-71).

Figura 1-72 Eventos sísmicos asignados a Falla Romeral. (a) Vista en Planta; (b) Profundidad sísmica; (c) Magnitud de onda superficial (Ms)

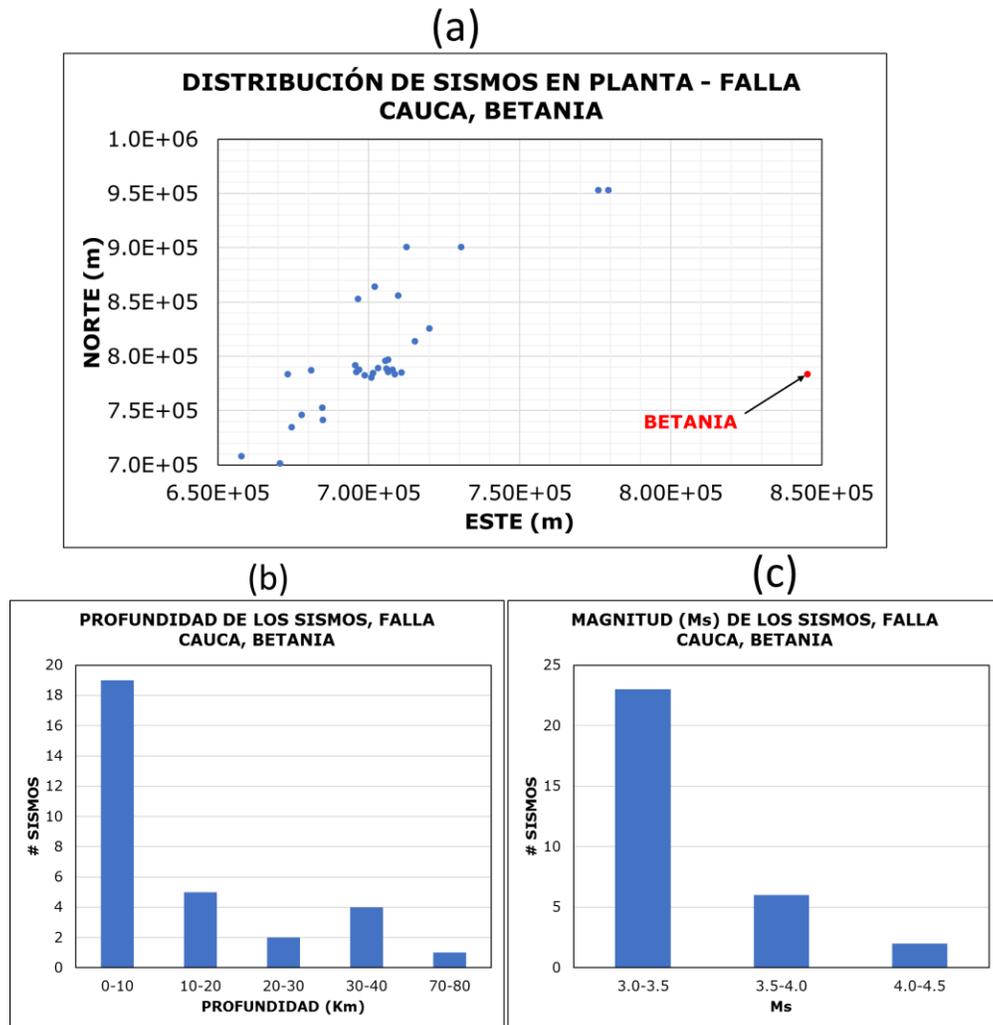


Fuente: WSP., 2019.

- FALLA CAUCA

En Figura 1-73 se presentan los sismos asignados a la falla Cauca, resaltando que se encuentran concentrados a distancias superiores a 200 Km de Betania. Así mismo, la mayoría de los sismos de esta falla se encuentran a profundidades menores de 10Km con 18 eventos asignados, seguido de los eventos entre 30 y 40Km con 4 eventos. Finalmente, la magnitud predominante de los sismos asignados esta entre 3.0 y 3.5 Ms con 22 eventos, seguido de sismos entre 3.5 y 4.0 con 5 eventos.

Figura 1-73 Eventos sísmicos asignados a Falla Cauca. (a) Vista en Planta; (b) Profundidad sísmica; (c) Magnitud de onda superficial (Ms)

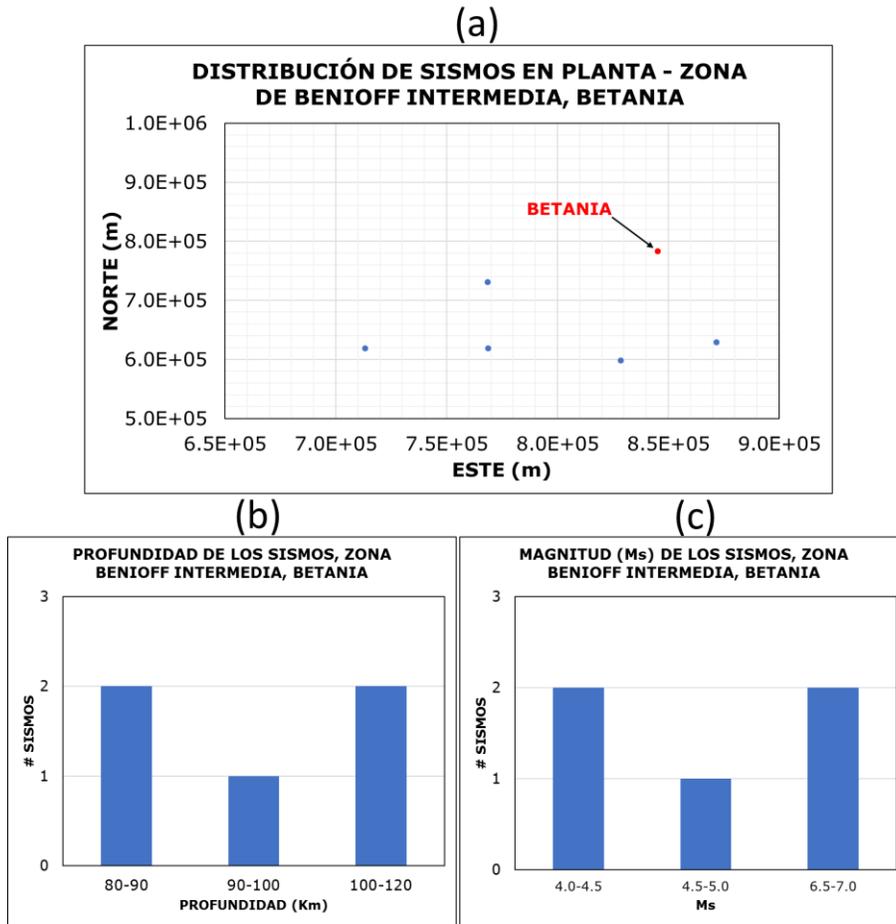


Fuente: WSP., 2019.

- ZONA DE BENIOFF

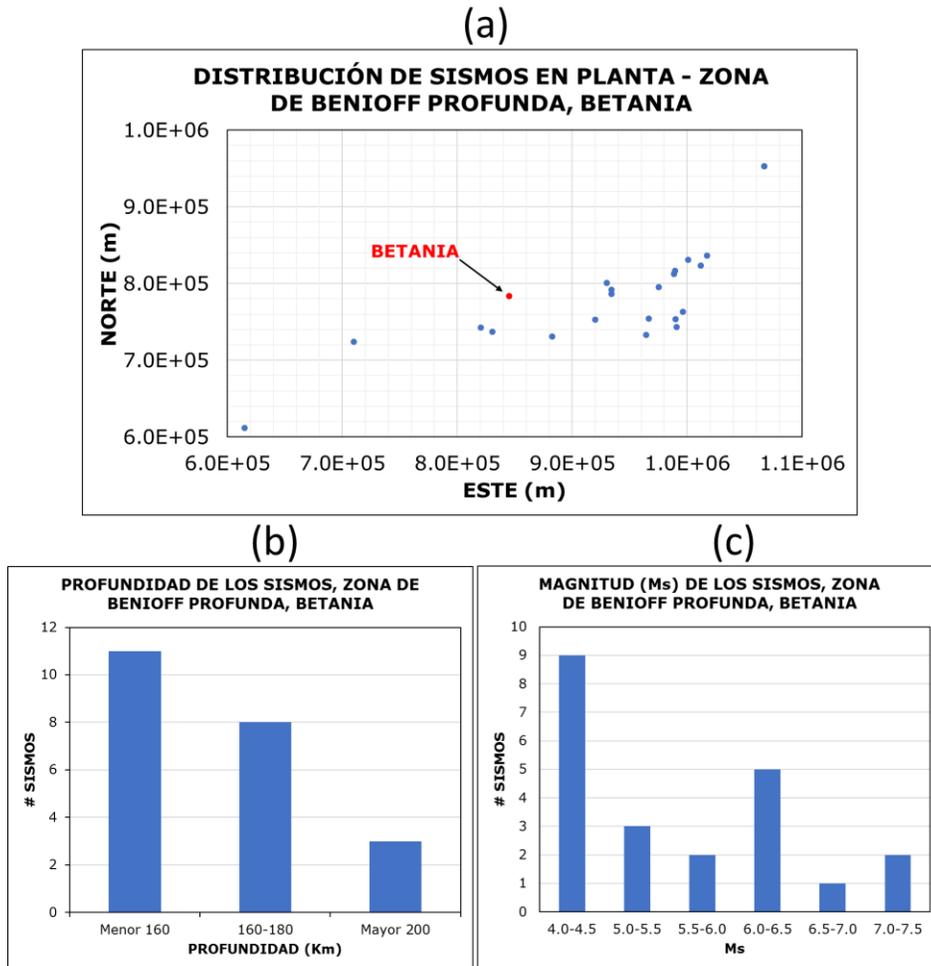
En la Figura 1-74 y Figura 1-75 se muestra la localización en planta de los sismos asignados a la Falla de Benioff a profundidades intermedias y Lejanas respectivamente. Como se observa, la sección intermedia tiene una asignación limitada de sismos con solo 3 eventos, por ende, se considera que no tiene incidencia en la amenaza sísmica del sitio. Por otro lado, la zona profunda presenta 22 eventos sísmicos, donde 9 tiene Ms entre 4.0 y 4.5, 5 sismos se encuentran entre 6.0 y 6.5, 3 sismos tienen Ms entre 5.0 y 5.5, y 2 sismos tienen magnitudes entre 5.0 y 6.0 así como 7.0 y 7.5. Por otro lado, la profundidad predominante es entre 120Km y 160 Km (menor a 160km en la gráfica) con 11 eventos seguido de eventos con profundidad entre 160 Km y 180 Km con 8 eventos.

Figura 1-74 Eventos sísmicos asignados para la zona de Benioff - Profundidad Intermedia. (a) Vista en Planta; (b) Profundidad sísmica; (c) Magnitud de onda superficial (Ms)



Fuente: WSP., 2019.

Figura 1-75 Eventos sísmicos asignados para la zona de Benioff Profunda. (a) Vista en Planta; (b) Profundidad sísmica; (c) Magnitud de onda superficial (Ms)



Fuente: WSP., 2019.

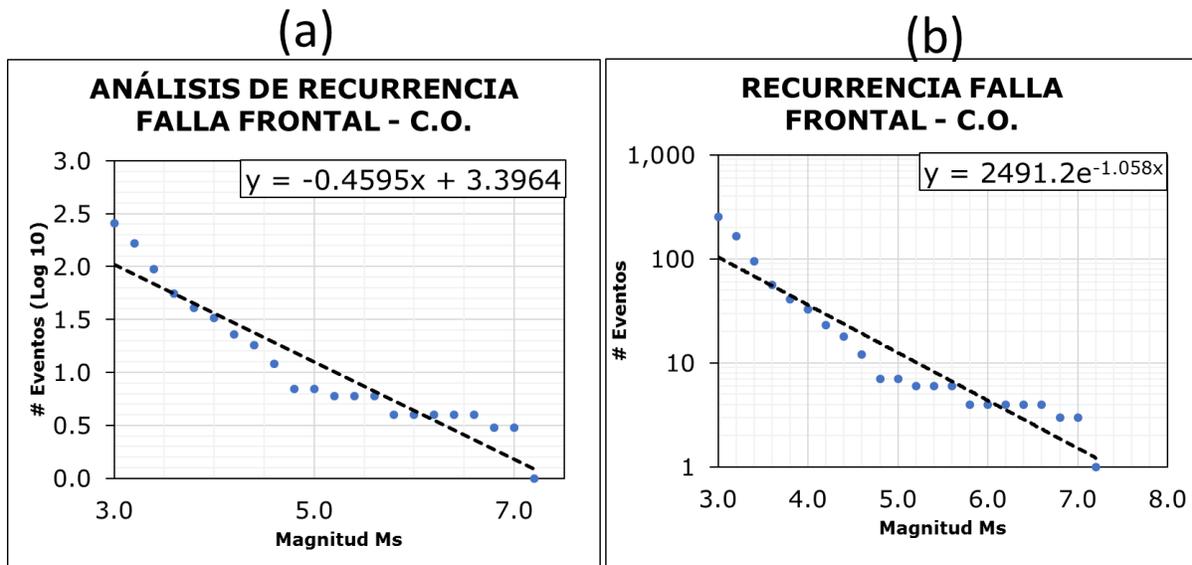
VI. RECURRENCIA DE MAGNITUD POR FUENTE

Aplicando el método de Gutenberg-Richter desarrollado en el Anexo 1-1, Literal C, a continuación se presentan las curvas de recurrencia de sismos para cada una de las fallas activas. Cabe resaltar que el análisis de recurrencia de magnitudes y definición de los parámetros de la ley de recurrencia se determinó para M0 mayor o igual a 3.

- FALLA FRONTAL DE LA CORDILLERA ORIENTAL

En la Figura 1-76 se muestra la curva de recurrencia para la falla Frontal de la Cordillera Oriental, junto con los parámetros a y b de la ley de Gutenberg-Richter, siendo “b” la pendiente de la curva y “a” el intercepto (véase ecuación en la figura). Se resalta que el parámetro “a” es igual a 3.3964, mientras que el parámetro “b” es igual a -0.4595. Así mismo, se resalta que la Magnitud última esperada Mu es de 7.4.

Figura 1-76 Curva de Recurrencia de Magnitudes - Sistema de la Falla Frontal Cordillera Oriental. (a) Logaritmo de eventos vs Ms; (b) Número de eventos vs Ms

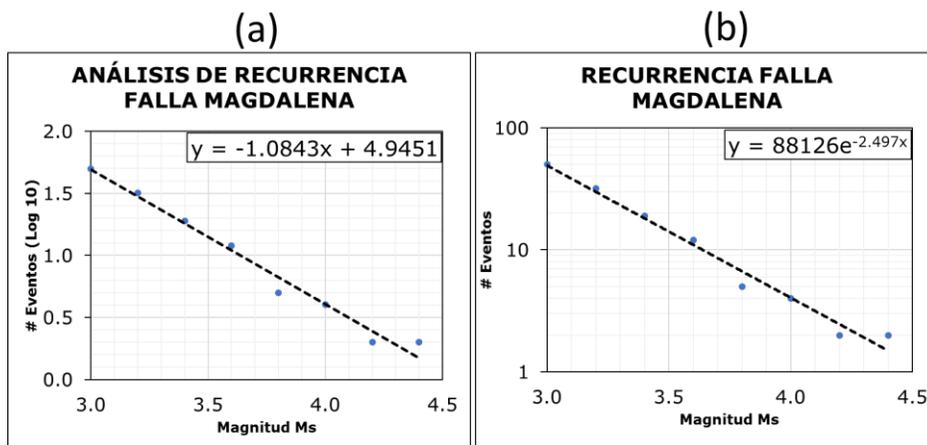


Fuente: WSP., 2019

- FALLA MAGDALENA

En la Figura 1-77 se muestra la curva de recurrencia para la falla Magdalena, junto con los parámetros a y b de la ley de Gutenberg-Richter, siendo “b” la pendiente de la curva y “a” el intercepto (véase ecuación en la figura). Se resalta que el parámetro “a” es igual a 4.9451, mientras que el parámetro “b” es igual a -1.0843. Así mismo, se resalta que la Magnitud última esperada Mu es de 4.6.

Figura 1-77 Curva de Recurrencia de Magnitudes - Fallas del Valle del Magdalena. (a) Logaritmo de eventos vs Ms; (b) Número de eventos vs Ms

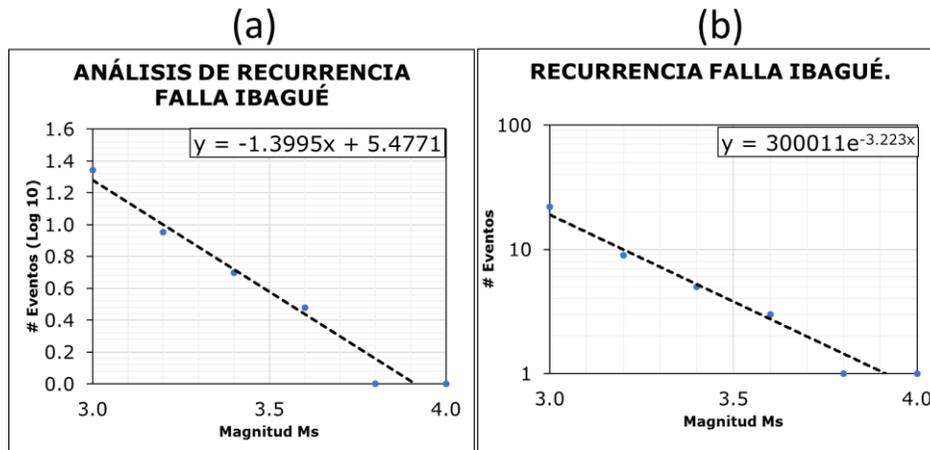


Fuente: WSP., 2019.

- FALLA IBAGUÉ

En la Figura 1-78 se muestra la curva de recurrencia para la falla Ibagué, junto con los parámetros a y b de la ley de Gutenberg-Richter, siendo “b” la pendiente de la curva y “a” el intercepto (véase ecuación en la figura). Se resalta que el parámetro “a” es igual a 5.4771, mientras que el parámetro “b” es igual a -1.3995. Así mismo, se resalta que la Magnitud última esperada M_u es de 3.9.

Figura 1-78 Curva de Recurrencia de Magnitudes - Falla Ibagué. (a) Logaritmo de eventos vs M_s ; (b) Número de eventos vs M_s

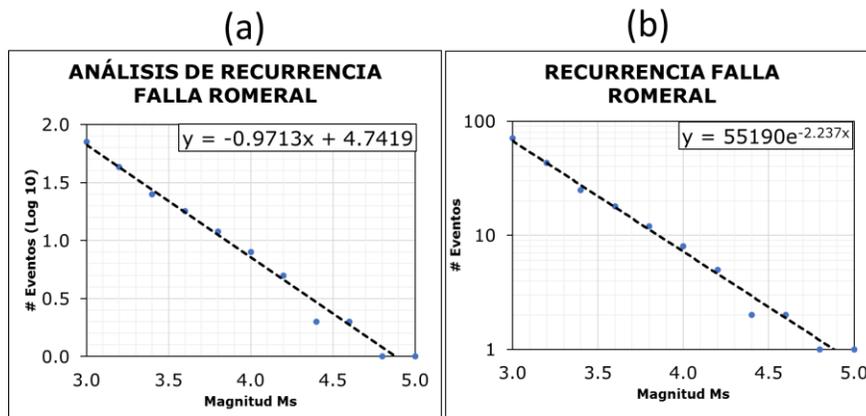


Fuente: WSP., 2019.

- FALLA ROMERAL

En la Figura 1-79 se muestra la curva de recurrencia para la falla Romeral, junto con los parámetros a y b de la ley de Gutenberg-Richter, siendo “b” la pendiente de la curva y “a” el intercepto (véase ecuación en la figura). Se resalta que el parámetro “a” es igual a 4.7419, mientras que el parámetro “b” es igual a -0.9713. Así mismo, se resalta que la Magnitud última esperada M_u es de 4.9.

Figura 1-79 Curva de Recurrencia de Magnitudes - Falla Romeral. (a) Logaritmo de eventos vs M_s ; (b) Número de eventos vs M_s

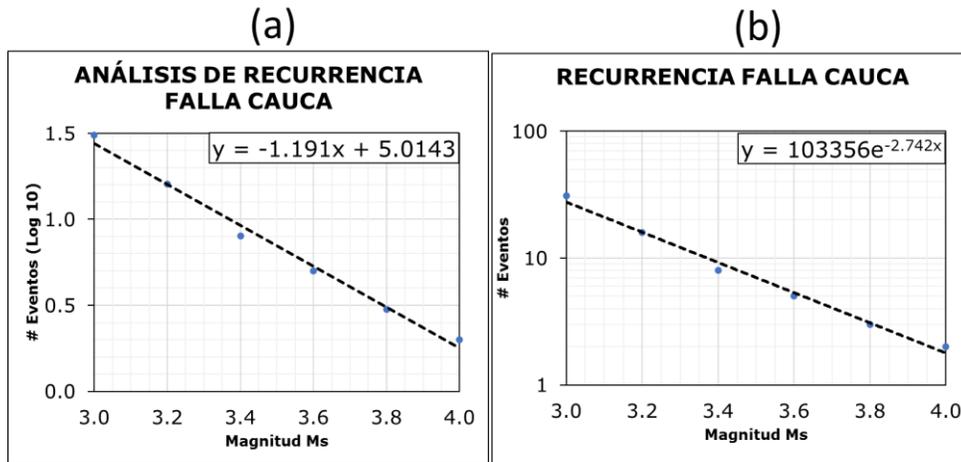


Fuente: WSP., 2019.

- FALLA CAUCA

En la Figura 1-80 se muestra la curva de recurrencia para la falla Cauca, junto con los parámetros a y b de la ley de Gutenberg-Richter, siendo “b” la pendiente de la curva y “a” el intercepto (véase ecuación en la figura). Se resalta que el parámetro “a” es igual a 5.0143, mientras que el parámetro “b” es igual a -1.191. Así mismo, se resalta que la Magnitud última esperada M_u es de 4.2.

Figura 1-80 Curva de Recurrencia de Magnitudes - Falla Romeral. (a) Logaritmo de eventos vs M_s ; (b) Número de eventos vs M_s

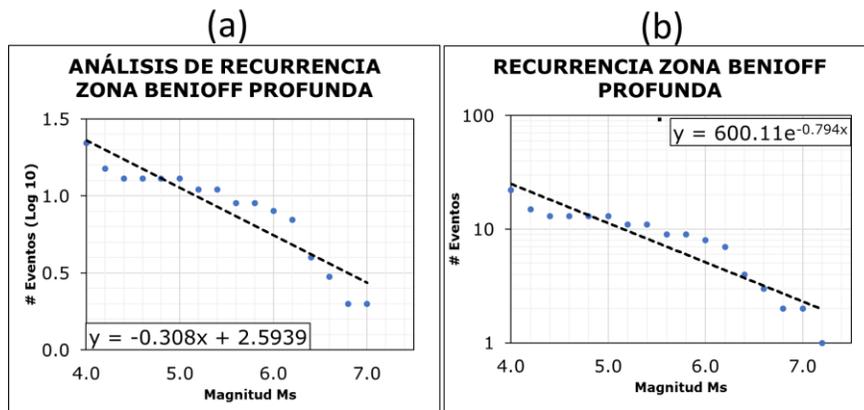


Fuente: WSP., 2019.

- FALLA BENIOFF LEJANA

En la Figura 1-81 se muestra la curva de recurrencia para la zona de Benioff Profunda, junto con los parámetros a y b de la ley de Gutenberg-Richter, siendo “b” la pendiente de la curva y “a” el intercepto (véase ecuación en la figura). Se resalta que el parámetro “a” es igual a 2.5939, mientras que el parámetro “b” es igual a -0.308. Así mismo, se resalta que la Magnitud última esperada M_u es de 8.4.

Figura 1-81 Curva de Recurrencia de Magnitudes - Zona de Benioff Lejana. (a) Logaritmo de eventos vs M_s ; (b) Número de eventos vs M_s



Fuente: WSP., 2019.

Finalmente, en la Tabla 1-73 se muestra el resumen de los parámetros de recurrencia de cada una de las fallas, los cuales, se usaron en el Software R-Crisis para determinar la amenaza sísmica del sitio

Tabla 1-73 Resumen parámetros de recurrencia - Hidroeléctrica Betania

Falla	Buzamiento (°)	N Eventos	σ	a	b	Ms-Ult	σ
Frontal de la Cordillera Oriental	60	256	4.27	3.396	0.460	7.4	1.058
Fallas del Magdalena	90	50	0.83	4.9451	1.084	4.6	2.497
Ibagué	90	22	0.37	5.477	1.400	3.9	3.223
Romeral	90	71	1.18	4.7419	0.9713	4.9	2.237
Cauca	90	31	0.52	5.0143	1.191	4.2	2.743
Benioff Profunda	24.45 - 31.15	22	0.37	2.5939	0.308	8.4	0.781

Fuente: WSP., 2019.

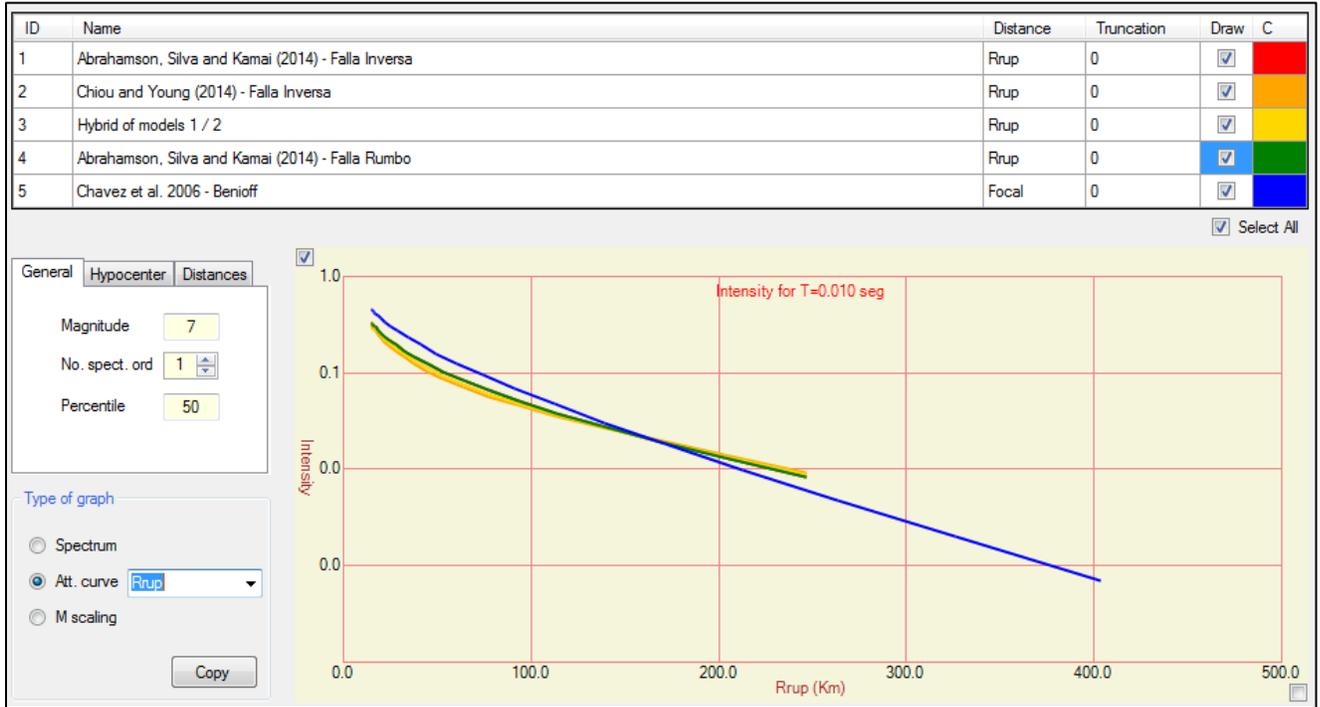
1.2.3.1.1.1 Definición de las ecuaciones de atenuación

Con el objeto de determinar los niveles de aceleración a nivel de roca, que se generan por el efecto de cada una de las fuentes sísmicas, se utilizaron las ecuaciones de atenuación de aceleración, las cuales permiten determinar los valores de PGA en función de la magnitud, la distancia hipocentral y profundidad de los sismos, así como del tipo de fuente sismogénica. Las fuentes sismogénicas se catalogan como fallas (inversa, normal, rumbo y zona de subducción).

Las ecuaciones de atenuación seleccionadas corresponden con aquellas aplicables para las condiciones tectónicas existentes en las fuentes sismogénicas del área de estudio. Adicionalmente se utilizaron las ecuaciones desarrolladas y actualizadas por los investigadores más prestigiosos a nivel mundial en el estudio y desarrollo de estas expresiones. También su selección se debe a que son originadas a partir de la información obtenida de la instrumentación ubicada en el Oeste de los Estados Unidos, una de las regiones más instrumentadas del mundo y por tanto con mayor densidad de información que sirve como base para el desarrollo de estas ecuaciones. Lo cual brinda un buen grado de confiabilidad contrario a ecuaciones desarrolladas a partir de información obtenida con instrumentación menos rigurosa en cantidad y calidad.

En la Figura 1-82 se muestran las curvas de atenuación utilizadas, resaltando que las curvas para fallas corticales tienen una aceleración inicial de 0.45g, y llegan hasta aceleraciones inferiores a 0.01g en 250Km; por otro lado, en el modelo de subducción alcanza 400Km con una aceleración cercana a 0.001g.

Figura 1-82 Curvas de atenuación para el modelo de amenaza sísmica – Betania



Fuente: Modelo R-Crisis – Betania, 2019.

En el Literal D del Anexo 1-1, se muestra la contextualización teórica de los modelos utilizados, donde se resalta la aplicabilidad para el análisis de amenaza sísmica de Betania.

1.2.3.1.1.2 Cálculo probabilístico de la amenaza sísmica de Betania

Con base en los parámetros de sismicidad presentados en este capítulo, y aplicando un modelo de probabilidad implementado en el software R-CRISIS. En la Figura 1-83 se muestra la curva de amenaza sísmica por fuente sismogénica, tanto para un periodo de diseño de 50 años y 100 años. Como se observa, la falla Frontal de la Cordillera Oriental controla toda la amenaza sísmica del sitio, lo cual, se debe a la cercanía de este sistema con la zona de interés. Por otro lado, la zona de Benioff aporta un componente mínimo a la amenaza del sitio, junto con las fuentes Magdalena y Romeral.

Las fallas Ibagué y Cauca por otro lado, no tienen un aporte significativo en la amenaza sísmica del sitio, dada la distancia de estas fallas al sitio de interés.

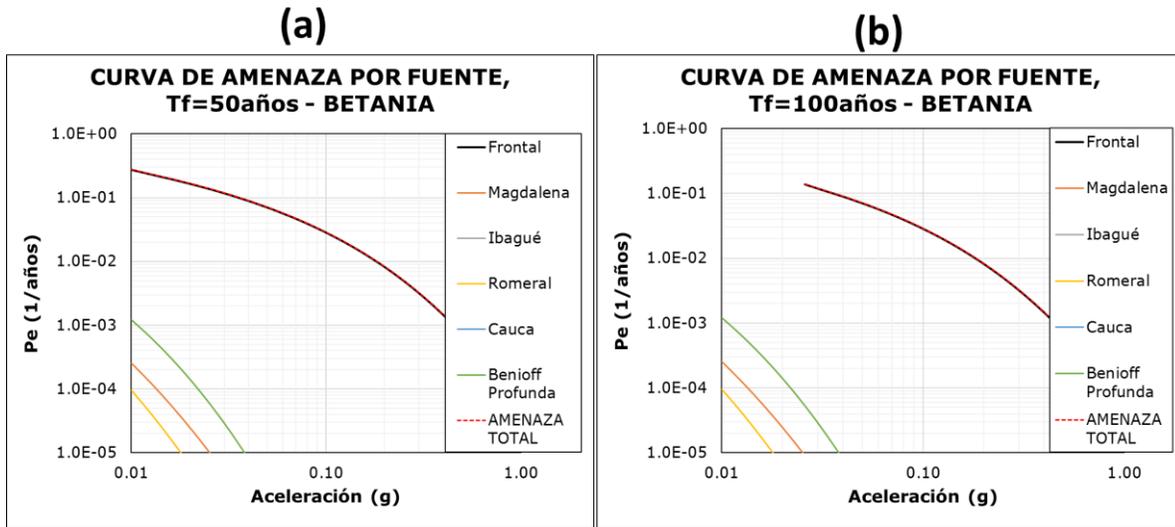
Cabe resaltar, que la probabilidad de excedencia que genera el software R-Crisis se calcula de la siguiente manera:

$$P_{e-R-Crisis} = 1 - e^{(-T_f/T_r)} \quad (1)$$

Donde $P_{e-R-Crisis}$ es la probabilidad de excedencia calculada por el software, T_f es el periodo de diseño, que para este análisis es de 50 años y 100 años, y T_r es el periodo de retorno. Para determinar la probabilidad de excedencia P_e convencional se debe aplicar la siguiente ecuación (2).

$$P_e = 1/T_r \quad (2)$$

Figura 1-83 Curvas de Amenaza Sísmica por fuente - Betania. (a) Tiempo de Exposición 50 años; (b) Tiempo de Exposición 100 años



Fuente: WSP., 2019

Con base en esto, se generaron los mapas de amenaza sísmica para los periodos de retorno que indican la norma de sismo resistencia; en la Figura 1-84 se muestra el mapa correspondiente al máximo sismo esperado ($T_r=2400$ años); como se observa, la zona del embalse la aceleración en roca (PGA) alcanza valores que oscilan entre 0.60g y 0.80g; por otro lado, las máximas aceleraciones se presentan en la zona sur del mapa, en inmediaciones de la falla frontal, alcanzando valores de PGA superiores a 1.0g

Por otro lado, en la figura 1-86 se presenta el mapa de amenaza para un T_r de 475 años, resaltando que las aceleraciones en la zona del embalse se encuentran cercanas a 0.28g, mientras que en las inmediaciones de la proyección de la Falla Frontal se tienen aceleraciones de hasta 0.40g, las cuales, se deben a la poca distancia que se tiene a la falla

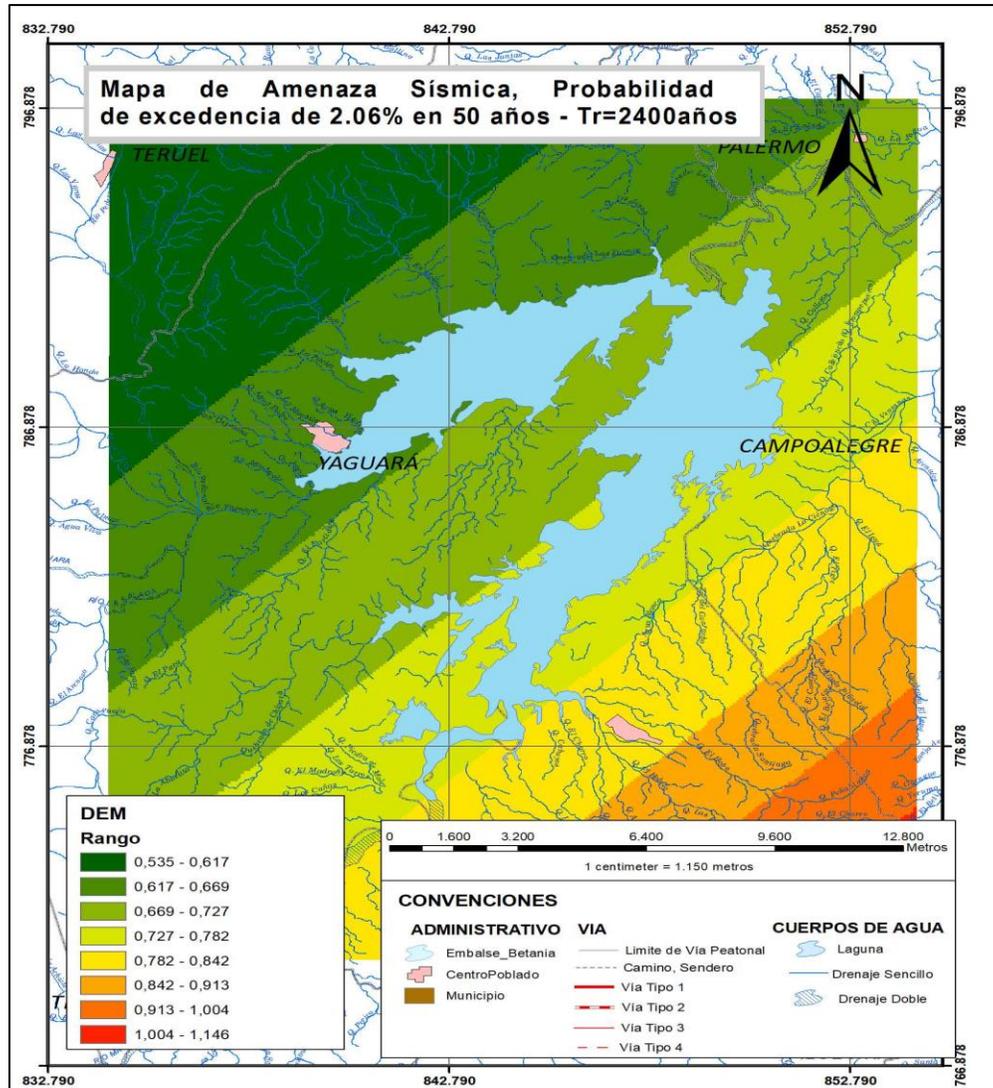
Tomando como referencia el documento PHEQ-DGEO-DOC-01900 - “EVALUACIÓN DE LA AMENAZA SÍSMICA DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL QUIMBO”⁹², Revisión 0, Volumen 1 de 1 (que se cita en el presente documento dada la cercanía de la Hidroeléctrica el Quimbo con el proyecto), se encontró que se tomaron aceleraciones similares en la definición del Sismo Básico de Operación (SBO) correspondiente a $PGA=0.275g$, el cual se obtuvo a partir de la metodología probabilística en donde se consideró un periodo de retorno de 144 años, equivalente a un evento con 50% de probabilidad de no ser excedido en 100 años. También se tomaron aceleraciones máximas iguales a un $PGA=0.40g$ tomados de análisis determinísticos de campo cercano que “corresponde al evento generado en la Falla Balseadero - Matambo localizada a aproximadamente 4 km del sitio de presa”.

Cabe resaltar, que como se ha afirmado a lo largo del documento, para este estudio no se tuvieron en cuenta las fallas locales que se referenciaron en el documento: Apéndice 2 del Informe de diseño de la presa, el área de Betania, dado que no se contó con su localización en planta y sus propiedades estructurales; por tal

⁹² INGETEC, 2009. Evaluación de la amenaza sísmica del proyecto hidroeléctrico el Quimbo. Revisión 0. Volumen 1 de 1

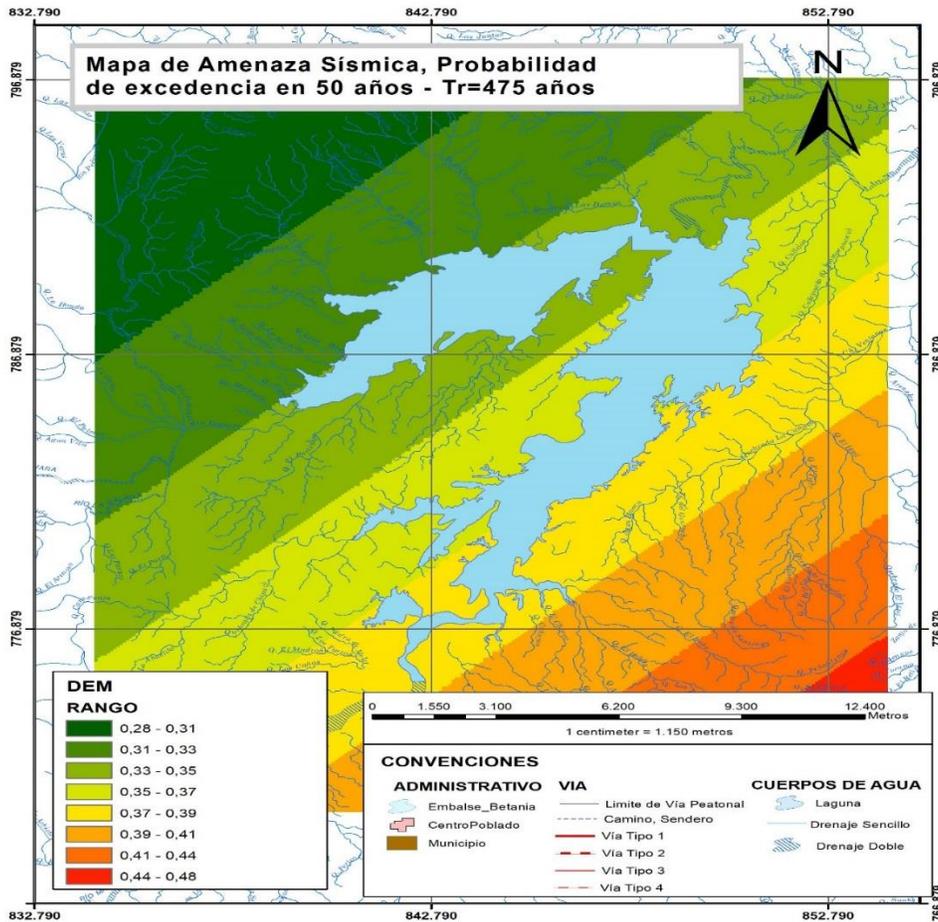
razón, el análisis realizado en el Quimbo se usó como referente metodológico, no obstante, no es un punto de calibración o validación del estudio ya que cuentan con metodología e información primaria distinta.

Figura 1-84 Mapa de amenaza sísmica en condición de operación, ICOLD. $T_r=2400$ años, Probabilidad de excedencia del 2.06% en 50 años



Fuente: WSP, 2019

Figura 1-85 Mapa de amenaza sísmica en condición de operación, ICOLD. $T_r=475$ años, Probabilidad de excedencia del 10% en 50 años



Fuente: WSP, 2019

Basado los mapas ya expuestos, en la Tabla 1-74 se muestra la aceleración máxima en roca (PGA por sus siglas en inglés) para cada las estructuras relevantes de la Hidroeléctrica Betania, para cada uno de los periodos de retorno que se referenció en la metodología de este estudio, para un periodo de operación de 100 años, el cual, fue considerado en la etapa de diseño para definir los valores de aceleración. Como se observa, no hay diferencia significativa en cuanto a los PGA de las estructuras en cuestión, lo cual, obedece a la poca distancia que los separa uno de otro; se destaca que para un T_r de 145 años, se tiene un PGA cercano a 0.217g, mientras que para la condición máxima probable (T_r de 2400 años) se tiene un PGA de 0.591. Estos valores de aceleración máxima del terreno se obtienen en función del periodo de retorno de referencia del sismo esperado para cada una de las estructuras.

Tabla 1-74 Probabilidad de excedencia - Betania

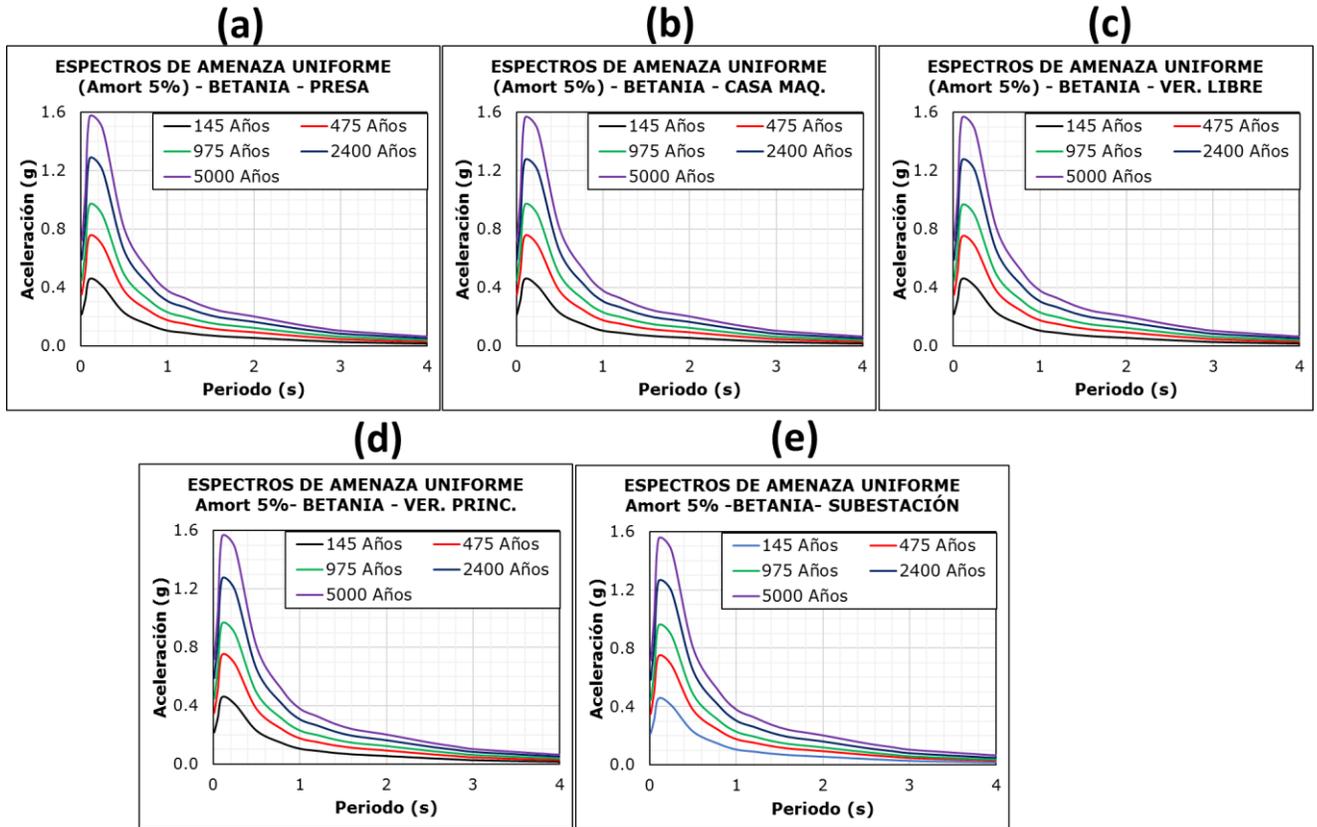
ESTRUCTURA	Tr=145 años		Tr=475 años		Tr=2400 años	
	Pe	PGA (g)	Pe	PGA (g)	Pe	PGA (g)
Presa	0.486	0.217	0.180	0.352	0.045	0.591
Casa de Máquinas	0.486	0.217	0.180	0.351	0.045	0.590
Vertedero Libre	0.486	0.217	0.180	0.351	0.045	0.590
Vertedero Principal	0.486	0.217	0.180	0.350	0.045	0.589
Subestación	0.486	0.216	0.180	0.349	0.045	0.586

Fuente: WSP, 2019

Finalmente, en la Figura 1-86 se presentan los espectros de amenaza uniforme para las estructuras más importantes de la Hidroeléctrica Betania. Como se observa, resaltando que los espectros presentados tienen un ancho espectral corto (aproximadamente hasta 0.6s) debido a que la amenaza sísmica del sitio está controlado por los sismos de campo cercano; así mismo, se resalta, que el pico máximo de aceleración espectral para un T_r de 145 años es de 0.45g en un periodo cercano a 0.10s, mientras que para un T_r de 2400 años, se alcanzaron aceleraciones espectral de 1.28g para el mismo periodo.

Cabe resaltar, que estos espectros de amenaza uniforme son válidos para sismos ocurridos a Distancias Hipocentrales (R_{rup}) mayores a 30Km, es decir, para sismos de campo intermedio y lejano, dado que los modelos de atenuación tienen un principio de directividad circular de la onda, lo cual, es aplicable para distancias intermedias y lejanas.

Figura 1-86 Espectro de Amenaza Uniforme con 5% de Amortiguamiento - Betania.
 (a) Presa; (b) Casa de Máquinas; (c) Vertedero Libre; (d) Vertedero Principal; (e) Subestación



Fuente: WSP., 2019

Para determinar el nivel de amenaza sísmica, se utilizaron los intervalos dados en el Estudio de Amenaza sísmica de Colombia AIS 2009, los cuales se exponen en la Tabla 1-75; estos valores están definido para una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años, es decir, un $T_r=475$ años.

Tabla 1-75 Categorización del Nivel de Amenaza Sísmica según AIS 2009. $T_r=475$ años

NIVEL DE AMENAZA	INTERVALO PGA $T_r = 475$ años
BAJO	$0.10g < PGA$
MEDIO	$0.10g \leq PGA < 0.25g$
ALTO	$\geq 0.25g$

Fuente: AIS 2009

De acuerdo con la (MAPA DE AMENAZA SISMICA T_r 475 años), se tiene que el PGA en el área directa de Betania se encuentra cercana a 0.35g, por lo cual, se concluye que el sitio de presa y las obras importantes de la Hidroeléctrica Betania se encuentra en un NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA ALTA.

1.2.3.1.1.3 Respuesta sísmica de la presa, casa de máquinas y tuberías de la Central Hidroeléctrica de Betania

Para determinar la incidencia que tiene el nivel de amenaza sísmica calculado en las obras importantes de Betania, se usó como marco de referencia el estudio de Chen et al. (2014)⁹³, en el cual, se determinaron los daños típicos a presas en tierra homogéneas que sufrieron grandes daños durante el sismo de Wenchuan ocurrido el 12 de mayo del 2008 en China. Cabe resaltar, que este sismo generó daños a un total de 2666 presas de tierra, de los cuales, se tomó como muestra total para este estudio, se incluyeron las 1996 presas en tierra armada, que se clasifican de pequeña escala a gran escala.

Este sismo tuvo un Ms de 8.0 y una profundidad focal de 14Km, presentando valores de PGA que oscilaron entre 0.10g y 0.80g, con intensidades que variaron entre VI y XI, según la Escala de Intensidad Sísmica de China GB. Este estudio es válido para ser tomado como marco de referencia por las siguientes razones:

Los valores de PGA obtenidos en el análisis de amenaza sísmica de Betania en condición de operación ($T_r=145$ años) es de 0.217g; y en la condición del máximo sismo probable ($T_r= 2400$ años) es de 0.591g, es decir dentro del rango de valores medidos en el sismo de Wenchuan.

Los valores de intensidad según la Escala de Intensidad Sísmica de China GB para las condiciones de operación y para el máximo sismo posible es de VIII y IX respectivamente, es decir, dentro del rango de intensidades obtenidas en el sismo de Wenchuan. Cabe resaltar, que la escala de intensidad sísmica de China, así como la escala modifica de Mercalli (escala común en ingeniería sísmica), se basa en el nivel de percepción del sismo por parte de las personas, los daños materiales y las pérdidas humanas, situaciones que no han ocurrido en la presa de Betania, Para definir el nivel de intensidad para Betania, se utilizaron los valores de PGA que se estimaron para cada uno de los niveles.

La presa de Betania tiene la misma configuración de las presas analizadas en el estudio de referencia. En el estudio se clasificaron las presas en función de la capacidad del embalse, siguiendo los intervalos que se muestren en la Tabla 1-76. Betania se encuentra dentro de esta clasificación, y se categoriza como Presa de Gran Escala (2), ya que el volumen almacenado en el embalse es de 1927 Hm³.

Tabla 1-76 Clasificación de la presa en función de la capacidad del Embalse

Tipo Presa	Capacidad Estándar Del Embalse (M3)	
	MÍNIMA	MÁXIMA
Gran Escala (1)	-	Mayor a 1 billón
Gran Escala (2)	100 Millones	1 billón
Escala Media	10 millones	100 Millones
Pequeña Escala (1)	1 millón	10 millones
Pequeña Escala (2)	100 Mil	1 millón

Fuente: Chen et al. (2014), tabla 4

93 Guoxing Chen, Dandan Jina, JinMaoa, Hongmei Gaoa, ZhihuaWang, Liping Jing. Yongqiang Li c, Xiaojun Li. (2014). Seismic damage and behavior analysis of earth dams during the 2008 Wenchuan earthquake, China. Engineering Geology 180 (2014) 99-129.

Por otro lado, el estudio de referencia categorizó los múltiples daños que sufrieron las distintas hidroeléctricas en 5 categorías, las cuales son:

Grietas: Se incluyen longitudinales a la cresta y transversales al cuerpo de la Presa.

Deslizamientos: Se define como un fenómeno de flujo del material de la presa, que se genera cuando el cuerpo de la presa pierde su estabilidad.

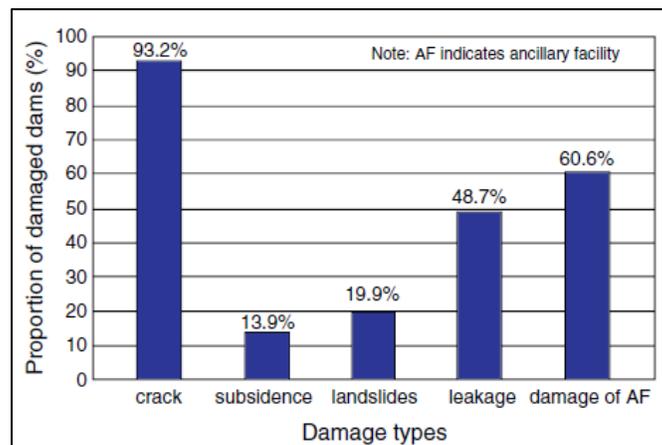
Subsidencia de la presa (Asentamientos): Grandes asentamientos generados por el sismo

Filtraciones: Es uno de los daños más comunes en este tipo de presas, especialmente en aquellas presas que sufren serios daños y se compromete su estabilidad.

Daños a instalaciones auxiliares: Bloque o Colapso de los vertederos, fisura o colapso de estructuras auxiliares, entre otros.

En la Figura 1-87 se muestra la proporción de ocurrencia de los tipos de daño referenciados anteriormente, donde se encontró que 222 presas sufrieron grietas (93% de la muestra), siendo esta, el tipo de daño más común de las presas de tierra ante eventos sísmicos. Adicionalmente, se encontraron 33 fallas que sufrieron subsidencia (13.9%), 47 tuvieron deslizamientos (19.9%) y 115 presas presentaron filtraciones excesivas (48.7%); además, el 60.6% de las presas estudiadas tuvieron daños en las obras auxiliares.

Figura 1-87 Proporción de tipo de daños en 236 presas de tierra, durante el sismo de Wenchuan en China



Fuente: Chen et al. (2014), tabla 4

Para culminar, dentro del estudio de referencia se clasificó el nivel de daño de una presa en tierra homogénea ante un evento sísmico en 3 categorías; esto se hizo a partir de inspecciones en las presas visuales de las presas, combinado con las descripciones cualitativas de los distintos daños descritos en este apartado. A continuación, se describen cada una de las etapas.

- **DAÑOS MUY SEVEROS (SEVERELY SERIOUSLY DAMAGE):** Se pueden presentar fisuras en la cresta y en el cuerpo de la presa, que pueden tener hasta 100m de longitud, con un ancho de hasta 10cm, y profundidades visibles de hasta 1.0m. Además, se pueden presentar serios problemas

de filtración en la presa, y evidentes deslizamientos del cuerpo de la presa. En cuanto a las obras auxiliares, sufren serios daños estructurales.

- **DAÑOS SERIOS (SERIOUSLY DAMAGE):** Se tienen algunas fisuras en la presa con longitudes menores a 100m, y un ancho menor a 10cm; así mismo, la profundidad de las grietas es inferior a 1.0m. Por otro lado, se presentan deslizamientos muy locales en la presa, las filtraciones son visibles y se generan daños en algunas obras auxiliares.

- **DAÑOS MODERADOS (MODERATELY DAMAGE):** Se generan ligeras grietas que son poco visibles, y se extienden en la presa y la estructura. Adicionalmente, se evidencian potenciales superficies de deslizamiento. En cuanto a las obras auxiliares, se encuentran daños menores.

Finalmente, para determinar el nivel de daño de la presa ante un evento sísmico, el documento presenta unas correlaciones en función de la geometría de la presa, las cuales son:

- **NIVEL DE DAÑO EN FUNCIÓN DE LA RELACIÓN DE FORMA:**

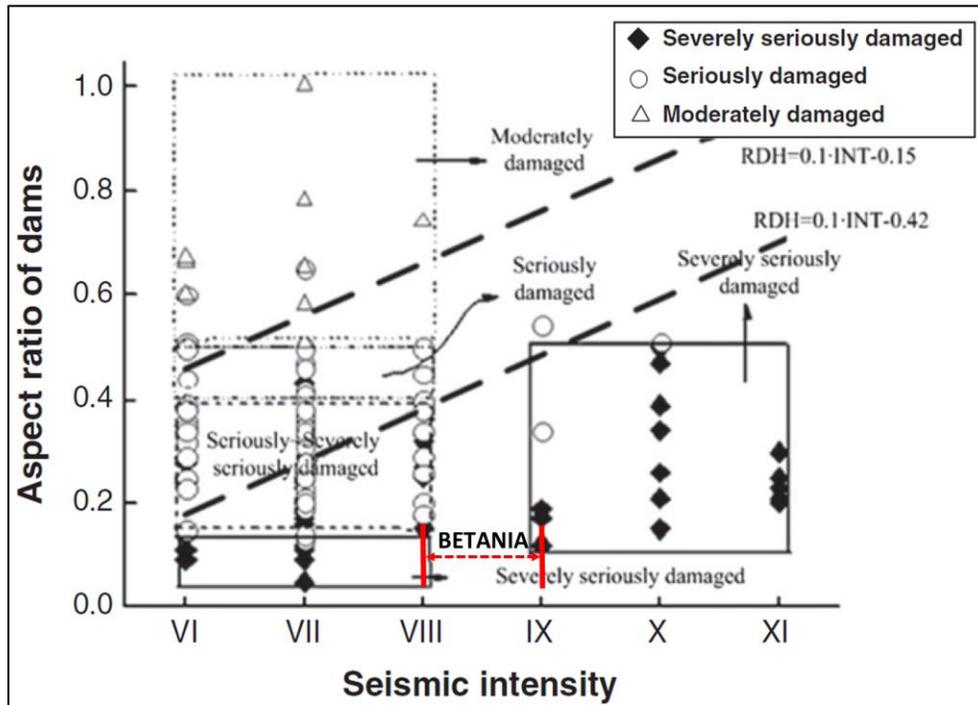
Hace referencia a la relación entre el ancho de la cresta y la altura de la presa. Para el caso de Betania, se tiene que la relación de forma es:

$$RA = \text{Ancho Cresta} / \text{Altura Presa} = 10\text{m} / 91\text{m}$$

$$0.10989 \approx \mathbf{0.11}$$

Con base en el estudio de referencia, en la Figura 1-88 se muestra la relación entre el nivel de daño de una presa y la intensidad del sismo, para varias relaciones de forma, destacando, que para la presa de Betania se pueden generar Daños muy severos, con los sismos encontrados en el estudio de amenaza sísmica.

Figura 1-88 Relación entre el nivel de daño de presas en tierra en función de la intensidad del sismo, para varias relaciones de aspecto



Fuente: Chen et al. (2014), Figura 28

Figura 1-89 Nivel de daño en presas de tierra con diferentes relaciones de aspecto para diferentes intensidades.

Damage degree of earth dams with different aspect ratios in the regions with different intensities.

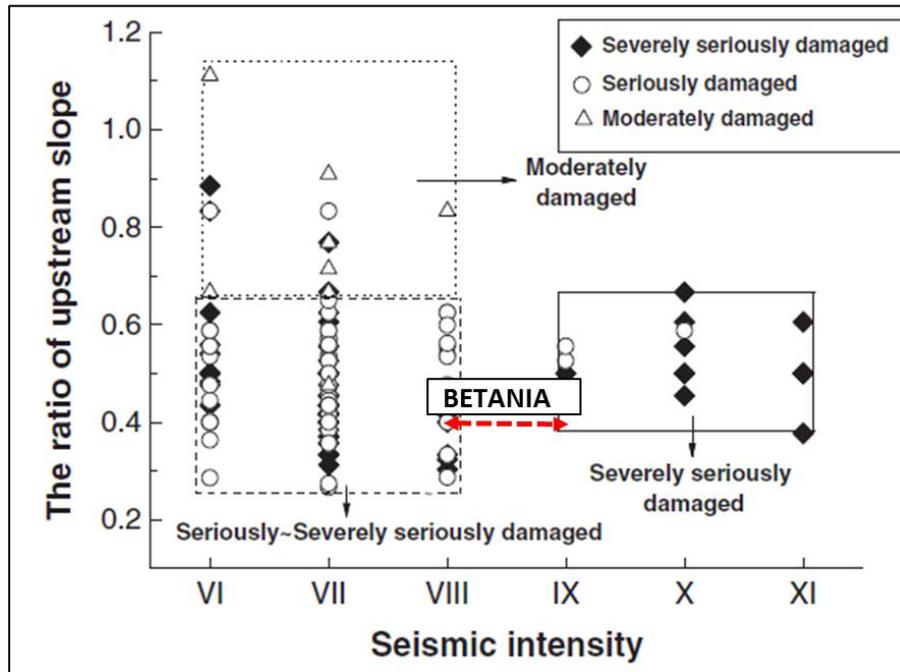
Ratio of crest width and dam height	Seismic intensity	
	VI–VIII	IX–XI
0.05–0.15	Severely seriously damaged	Severely seriously damaged
0.15–0.4	Seriously damaged–severely seriously damaged	Severely seriously damaged
0.4–0.5	Seriously damaged	Severely seriously damaged
0.5–1.0	Moderately damaged	No

Fuente: Chen et al. (2014)

- NIVEL DE DAÑO EN FUNCIÓN DE LA RELACIÓN DE PENDIENTES AGUAS ARRIBA

Definido el nivel de daño esperado de acuerdo con la pendiente de la presa aguas arriba. Para el caso de Betania, se tiene una relación de pendientes aguas arriba es de 2.5 Horizontal por 1 Vertical (1:2.5). En la Figura 1-90 se muestra la correlación entre el nivel de daño y la intensidad del sismo para varias relaciones de pendiente aguas arriba. Como se aprecia, para sismos de Intensidad VIII, la presa Betania se encuentra en el límite superior del rango de transición entre daños serios y daños muy severos; por otro lado, para sismos de Intensidad XI, se encuentra en el límite inferior de daños muy severos.

Figura 1-90 Relación entre el nivel de daño de presas en tierra en función de la intensidad del sismo, para varias relaciones de pendiente aguas arriba



Fuente: Chen et al. (2014), Figura 29

Figura 1-91 - Nivel de daño en presas de tierra con diferentes pendientes aguas arriba en función para diferentes intensidades

Damage degree of earth dams with different upstream slope ratios in the regions with different intensities.

Ratio of upstream slope	Seismic intensity	
	VI-VIII	IX-XI
0.25-0.65	Seriously damaged-severely seriously damaged	Severely seriously damaged
0.65-1.2	Moderately damaged	No

Fuente: Chen et al. (2014), Tabla 6.

- NIVEL DE DAÑO EN FUNCIÓN DE LA ALTURA DE LA PRESA

Esta correlación se hizo solo para una altura máxima de presa de 50m, debido a que los investigadores no encontraron una correlación directa entre el grado de daño por efecto sísmico con la altura de la presa.

Con base en el documento de referencia, es posible inferir que, bajo el máximo sismo probable definido en este estudio, la presa puede llegar a sufrir daños severos, por lo cual, se recomienda corroborar este análisis con un estudio de detalle para determinar la respuesta sísmica de la presa, la vulnerabilidad de la obra y la necesidad de plantear obras de reforzamiento.

1.2.3.1.1.4 Conclusiones sobre el riesgo sísmico

Con base en los resultados obtenidos en el estudio probabilístico de amenaza sísmica para la Hidroeléctrica Betania, se tienen las siguientes consideraciones finales:

De acuerdo con la recopilación histórica de sismos, en el Departamento del Huila se han presentado sismos históricos de gran magnitud como el que ocurrió en 1827 y el sismo del 9 de febrero 1967 con magnitud de 7.1 y 7.0 respectivamente; estos sismos ocurrieron en San Agustín (sismo de 1827) y Neiva (1967), siendo el primero a una distancia considerable de Betania, y el segundo a una distancia intermedia; por otro lado, los sismos instrumentales recopilados en el departamento tienen magnitudes entre 4.0 y 5.0, mientras que los sismos históricos tienen una intensidad de I y II (daños bajos a intermedios), presentándose a distancias cercanas a intermedias con respecto al área de influencia de Betania. De acuerdo con lo anterior, se concluye que cerca de la zona de influencia de Betania se tiene una actividad sísmica importante, manifestándose en una serie considerable de sismos históricos e instrumentales de intensidad baja a media, con la presencia de 1 sismo de gran magnitud (con daños y pérdidas humanas).

De acuerdo con el Apéndice 2 del Informe de diseño de la Presa, el área de Betania presenta un sistema de fallas menores que están asociadas a la falla Betania, que se constituye como la mayor discontinuidad estructural de la zona; sin embargo, dado que no se contó con la localización en planta de estas fallas, no fueron tenidas en cuenta dentro del análisis probabilístico de amenaza sísmica.

Para definir las fuentes sismogénicas que afectan el área de estudio, se tomó el modelo tectónico desarrollado en el Estudio de Amenaza Sísmica de Colombia AIS 2009. Como fuentes sismogénicas se tomaron el Sistema de la Falla Frontal de la Cordillera Oriental (la cual es una de las principales fuentes sísmicas del país y uno de sus tramos se encuentra a menos de 20 Km de Betania), las fallas de Valle del Magdalena, La falla Ibagué, Cauca, Romeral y la Zona de Benioff.

Para la asignación de eventos sísmicos a cada una de las fuentes sísmicas se utilizó el catálogo de eventos sísmicos desarrollado por INGEOMINAS en el año 2002, complementado con los eventos ocurridos entre dicho año y el 2018; así mismo, para complementar los eventos hasta 1993 (fecha en la que entró en rigor la red nacional de acelerógrafos de Colombia) se utilizó el catálogo de sismos históricos dado en la USGS.

Para la zona de influencia trabajada, se encontraron un total de 452 eventos sísmicos con Magnitudes M_s mayores a 3.0, de los cuales, el 57% fue asignado al Sistema de la Falla Frontal de la Cordillera Oriental, el 11% a las Fallas del Magdalena, el 5% a la Falla Ibagué, el 16% a la falla Romeral, el 7% a la Falla Cauca y el restante 5% a la zona de Benioff.

Con base en el análisis de recurrencia realizado, se encontró que la falla que tiene la mayor Magnitud última esperada (M_{s-ult}) es la zona de Benioff con M_{s-ult} de 8.4, seguido del Sistema de la Falla Frontal de la Cordillera oriental con M_{s-ult} de 7.4; por otro lado, la fuente sísmica con el menor M_{s-ult} es la Falla de Ibagué con un 3.9.

El análisis probabilístico de amenaza sísmica permitió definir las curvas de amenaza para Betania (véase Figura 1-83) donde se encontró que la Falla Frontal de la Cordillera Oriental es la fuente sísmica que controla la amenaza sísmica de la hidroeléctrica Betania; por otro lado, la Zona de Benioff y las Fallas Magdalena y Romeral tienen un aporte muy pequeño a la amenaza sísmica del sitio. Esto implica, que los eventos sísmicos de campo cercano controlan la respuesta espectral del sitio, y las máximas aceleraciones espectrales se esperan en periodos cortos, los cuales, según la experiencia del WSP se encuentra entre 0.1s y 0.4s.

Para cada una de las estructuras, se calcularon los espectros de amenaza uniforme (Figura 1-86), para los periodos de retorno de referencia. Se destaca que dichos espectros tienen un ancho espectral de 0.6s aproximadamente.

Como resumen del análisis de amenaza sísmica, se presentaron mapas de PGA para los periodos de retorno que indica el ICOLD. De estos mapas, se concluye que la amenaza sísmica del sitio es alta, según los intervalos del Estudio de Amenaza Sísmica del sitio.

Para determinar el nivel de daño que puede sufrir la presa ante el sismo de operación y máximo sismo probable encontrado en este estudio, se utilizó el estudio de Chen et al. (2014), en el cual, se determinaron los daños típicos a presas en tierra homogéneas que sufrieron grandes daños durante el sismo de Wenchuan ocurrido el 12 de mayo del 2008 en China. El estudio es aplicable para el caso de Betania, ya que los valores de PGA obtenidos en este estudio (entre 0.217g y 0.59g) se encuentran dentro del rango de valores promedio de valores de PGA medidos en el sismo de Wenchuan (entre 0.10g y 0.80g), así como la similitud de la presa de Betania con las presas analizadas en el estudio de referencia.

Con base en el estudio de referencia es posible concluir que, dada la incertidumbre implícita en el modelo probabilístico realizado para la evaluación del riesgo sísmico, hay una serie de características intrínsecas del proyecto tales como localización, materiales, fallas en la construcción entre otros factores, que influyen en desempeño de la presa bajo las condiciones del sismo, que conglomeran una incertidumbre global sobre la respuesta que se está evaluando. Por lo tanto, comparativamente, basándose en la configuración geométrica de la presa y a los niveles de intensidad sísmica que se encontraron en este estudio, la Hidroeléctrica Betania podría llegar a sufrir daños severos ante el sismo de operación y el máximo probable.

De acuerdo con los niveles de daño esperados según la relación de aspecto y pendiente aguas arriba de la presa, para ambos casos, y dadas las intensidades sísmicas evaluadas anteriormente, los niveles de daño esperados corresponden a la clasificación de daños serios y daños muy severos tal como se observa en la Figura 1-89 Y Figura 1-91 expuestas en el estudio de Chen et al. (2014). Esto implica, como bien se mencionó anteriormente, la posible formación de grietas con longitudes de hasta 100m, tanto en el cuerpo de la presa como en la cresta, problemas serios de filtraciones, deslizamientos del cuerpo de la presa, y serios daños estructurales en las obras auxiliares. Es de anotar, que esta conclusión se determinó basado en los resultados de un estudio de caso histórico, que contó con una densidad de presas de tierra adecuado (cerca de 1996), y los daños que se pueden presentar, se determinaron a partir de observaciones y levantamientos de información en campo, por tal razón, es apropiado para definir un nivel de daño de manera conceptual; no obstante, teniendo en cuenta el tiempo de operación de la presa (cerca de 32 años) es necesario realizar un estudio numérico de detalle, para determinar la respuesta de la presa y las obras auxiliares ante los eventos sísmicos encontrados en este estudio.

De acuerdo con el informe de USDD⁹⁴ y según registros de eventos documentados, los diques de terraplén presentan un desempeño satisfactorio bajo sollicitaciones de sismo. Sin embargo, como bien se menciono anteriormente, este desempeño depende del tipo de materiales usados, así como las consideraciones y medidas constructivas adoptadas. La mayor susceptibilidad de este tipo de presas está gobernada por procesos de licuación, los cuales se presentan cuando se encuentran cimentadas sobre materiales limo arenosos. De acuerdo con el análisis hecho a partir de la metodología de Seed & Idris expuesto en el

⁹⁴ United States Society on Dams. (2014). *Observed Performance of Dams During Earthquakes Volume III*. United States of America.: U. S. Society on Dams.

documento “Informes de diseño” de este proyecto: a nivel de cimentación, este factor de riesgo decrece considerablemente al cimentarse en roca y dados los niveles de aceptación mínimos en la compactación del terraplén de 97% para este proyecto, se puede inferir que la presa podría sufrir deformaciones en la cara aguas arriba, con presencia de agrietamientos, pero esto no significaría una falla catastrófica.

1.2.3.1.1.5 Limitaciones del estudio

En la etapa de diseño de la Hidroeléctrica Betania se encontró que la zona está influenciada por una serie de fallas geológicas activas, no obstante, no se contó con la proyección de estas fallas en superficie, ni con los buzamientos, por tal razón, no fueron tenidas en cuenta para el estudio.

Para determinar la respuesta de las obras más importantes de la Hidroeléctrica ante eventos sísmicos que represente el nivel de amenaza obtenido en este estudio, se requiere realizar un estudio de interacción sísmica suelo-estructura, en el cual, se calculen los esfuerzos y las deformaciones generadas a las estructuras importantes del sitio de presa. No obstante, el presente estudio, no contempla la ejecución de dicho modelo, por lo cual, la respuesta sísmica de la presa y obras importantes se definió a partir de estudios realizados para presas similares a la de Betania.

1.2.3.2 EVALUACIÓN DE RIESGOS INTERNOS

A continuación, se presenta la evaluación de los riesgos priorizados en el análisis del escenario interno de la central.

1.2.3.2.1 Evaluación de riesgos eléctricos

El enfoque básico en general es el del RETIE, y el del decreto 2157 de 2017 por ser de obligatorio cumplimiento en el país y en centrales de generación, además se tendrá en cuenta las orientaciones al respecto del Project Management Professional (PMP) y del documento respectivo existente de Emgesa (MCO-EMG-FSS036-IT-RH-001-0 de DICIEMBRE, 2017). Se analizará todos los sistemas o partes de la central que tengan equipos eléctricos principales o importantes y los riesgos respectivos.

- ✓ Matriz de probabilidad e impacto.

A continuación, en la Tabla 1-77, se muestra un ejemplo de la matriz RETIE para analizar calificar riesgos.

Tabla 1-77 Factor de riesgo por arcos eléctricos

FACTOR DE RIESGO POR ARCOS ELÉCTRICOS										
POSIBLES CAUSAS: En el desarrollo de la instalación eléctrica, se pueden presentar quemaduras eléctricas por malos contacto , cortocircuitos.										
MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Utilizar avisos de precaución, tableros bien cerrados y debidamente rotulados.										
RIESGO A EVALUAR:	Electrocución o quemadura		por		Arcos Eléctricos		(al) o (en)		CONSTRUCCION DE LA S/E LA LOMA	
	EVENTO O EFECTO				FACTOR DE RIESGO (CAUSA)			FUENTE		
	POTENCIAL	<input checked="" type="checkbox"/>	REAL		FRECUENCIA					
C O N S E C U E N C I A	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
	Una o mas muertes E5	Daño grave en infraestructura Interrupción regional.	Contaminación irreparable.	Internaciona I	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción Temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes Interrupción breve E2	Efecto menor	Local E2	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No Interrupción	Sin efecto E1	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO
Evaluador:		MP:			FECHA:					

RETIE: TABLA 9.3 Matriz para análisis de riesgos

- En la Tabla 1-78 se presentan las decisiones y acciones para controlar el riesgo según RETIE.

Tabla 1-78 Decisiones y acciones para controlar el riesgo

Tabla 9.4 Decisiones y acciones para controlar el riesgo			
COLOR	NIVEL DE RIESGO	DECISIONES A TOMAR Y CONTROL	PARA EJECUTAR LOS TRABAJOS
	MUY ALTO	Inadmisibles para trabajar. Hay que eliminar fuentes potenciales, hacer reingeniería o minimizarlo y volverlo a valorar en grupo, hasta reducirlo. Requiere permiso especial de trabajo.	Buscar procedimientos alternativos si se decide hacer el trabajo. La alta dirección participa y aprueba el análisis de trabajo seguro (ATS) y autoriza su realización mediante un Permiso Especial de Trabajo (PES).
	ALTO	Minimizarlo. Buscar alternativas que presenten menor riesgo. Demostrar cómo se va a controlar el riesgo, aislar con barreras o distancia, usar EPP. Requiere Permiso especial de trabajo	El jefe o supervisor del área involucrada, aprueba el Análisis de Trabajo Seguro (ATS) y el Permiso de Trabajo (PT) presentados por el líder a cargo del trabajo.
	MEDIO	Aceptarlo. Aplicar los sistemas de control (minimizar, aislar, suministrar EPP, procedimientos, protocolos, lista de verificación, usar EPP). Requiere permiso de trabajo.	El líder del grupo de trabajo diligencia el Análisis de Trabajo Seguro (ATS) y el jefe de área aprueba el Permiso de Trabajo (PT) según procedimiento establecido.
	BAJO	Asumirlo. Hacer control administrativo rutinario. Seguir los procedimientos establecidos. Utilizar EPP. No requiere permiso especial de trabajo.	El líder del trabajo debe verificar: - ¿Qué puede salir mal o fallar? - ¿Qué puede causar que algo salga mal o falle? - ¿Qué podemos hacer para evitar que algo salga mal o falle?
	MUY BAJO	Vigilar posibles cambios	No afecta la secuencia de las actividades

- Criterios para determinar alto riesgo según RETIE.

El RETIE en su capítulo 1, adicional al estudio de la matriz de probabilidad e impacto exige que se cumplan los siguientes criterios para determinar alto riesgo.

- Que existan las condiciones peligrosas, plenamente identificables, especialmente carencia de medidas preventivas específicas contra los factores de riesgo eléctrico; equipos, productos o conexiones defectuosas; insuficiente capacidad para la carga de la instalación eléctrica; violación de distancias de seguridad; materiales combustibles o explosivos en lugares donde se pueda presentar arco eléctrico, presencia de lluvias, tormentas eléctricas y contaminación.
- Que el peligro tenga un carácter inminente, es decir, que existan indicios racionales de que la exposición al factor de riesgo conlleve a que se produzca el accidente. Esto significa que la muerte

o una lesión física grave, un incendio o una explosión, puede ocurrir antes de que se haga un estudio a fondo del problema, para tomar las medidas preventivas.

- c) Que la gravedad sea máxima, es decir, que haya gran probabilidad de muerte, lesión física grave, incendio o explosión, que conlleve a que una parte del cuerpo o todo, pueda ser lesionada de tal manera que se inutilice o quede limitado su uso en forma permanente o que se destruyan bienes importantes de la instalación o de su entorno.
- d) Que existan antecedentes comparables, el evaluador del riesgo debe referenciar al menos un antecedente ocurrido en condiciones similares
- En la turbina
 - ✓ Fallos de control y de la instrumentación produciendo falsas alarmas, paros indeseados, y daños en la turbina y otros equipos.
 - ✓ En el generador
 - ✓ Fallos de control y de la instrumentación produciendo falsas alarmas, paros indeseados, y daños en el generador y otros equipos.
 - ✓ Fallos en el sistema de excitación produciendo explosión e incendio del generador.
 - ✓ Cortocircuito en bobinados, por defecto o deterioro del aislamiento produciendo explosión e incendio del generador.
 - ✓ Falla en el sistema contraincendios produciendo riesgo al equipo para el caso de incendio y a las personas.
- En la subestación
 - ✓ Fallas en las protecciones de los transformadores principales, en los de servicios auxiliares y en los de puesta a tierra, produciendo explosión e incendios, derrames de aceite y contaminación.
 - ✓ Alta temperatura en los transformadores principales por fallo en la ventilación produciendo desajustes y daños internos.
 - ✓ Fallo en el cambiador de taps produciendo inicio de problemas en el transformador.
 - ✓ Fallo mecánico en interruptores y seccionadores y demás equipos de patio, produciendo explosión e incendio.
 - ✓ Fallos en la medida de energía, produciendo pérdidas de facturación.
 - ✓ Fallos en las protecciones de línea produciendo explosiones e incendios en los equipos.
 - ✓ Fallos en las protecciones de barra produciendo explosiones e incendios en los equipos.
 - ✓ Cortocircuitos por falla de aislamiento en los tableros de control produciendo incendios e indisponibilidades de control
 - ✓ Fallas en servicios auxiliares produciendo incendios e indisponibilidades de control
- En la línea de transmisión entre casa de máquinas y subestación
 - ✓ Rotura o derivación de corriente produciendo incendios, y energía considerable dejada de facturar y posibles daños al personal.
- En los demás equipos eléctricos menores y redes internas

- ✓ Arcos eléctricos produciendo destrucción e incendios a equipos, y daños al personal.
 - ✓ Ausencia de electricidad por fallas en el suministro y alimentación produciendo que no se pueda operar el equipo en una emergencia.
 - ✓ Fallas de aislamientos produciendo cortos y posibles incendios y que no se pueda operar el equipo en una emergencia.
 - ✓ Interrupción de las puestas a tierra produciendo electrificación de carcasas y posibles contactos indirectos del personal produciendo electrocución.
 - ✓ Electricidad estática produciendo chispas y posibles incendios o contactos con el personal, produciéndole daños.
 - ✓ Equipos defectuosos produciendo chispas y posibles incendios o contactos con el personal, produciéndole daños.
 - ✓ Sobrecargas produciendo incendios.
 - ✓ Tensiones de contacto por descargas atmosféricas produciendo electrocución al personal.
 - ✓ Tensiones de paso por descargas atmosféricas produciendo electrocución al personal.
 - ✓ De operación
 - ✓ Falta en algunos sistemas secundarios de manuales de operación, o consignas operativas produciendo dificultades en la operación y posibles operaciones no adecuadas de la central.
 - ✓ Manuales de operación o consignas operativas, no adecuadas o deficientes para el manejo de la central, produciendo dificultades en la operación de la central.
 - ✓ Manuales de operación o consignas operativas que no se cumplen o no se tienen en cuenta para el manejo de la central, produciendo dificultades en la operación de la central.
 - ✓ Falta de seguimiento y de registros (o no adecuados) de las rondas operativas y del historial de operaciones erradas o no adecuadas, incluyendo los análisis del error y la conclusión de la causa raíz y la implementación de la solución, para que no se repitan, produciendo dificultades en la operación futura de la central y posibles daños o fallos repetitivos.
 - ✓ Falla o falta de sistemas y canales de comunicaciones expeditos y ágiles para la coordinación de la operación produciendo dificultades en esta y posibles daños o fallos involuntarios.
- De mantenimiento
 - ✓ Falta en algunos sistemas secundarios de manuales de mantenimiento, o consignas o políticas de este, produciendo dificultades en la operación y posibles fallas operacionales no adecuadas para la central.
 - ✓ Manuales de mantenimiento o consignas o políticas de este, no adecuadas o deficientes para el mantenimiento correcto de la central, produciendo dificultades en la operación de la central y posibles fallas.
 - ✓ Manuales de mantenimiento o consignas o políticas de este, que no se cumplen o no se tienen en cuenta para el mantenimiento correcto de la central, produciendo dificultades en la operación de la central y posibles fallos serios.

- ✓ Programas o sistemas de administración del mantenimiento no adecuados para el mantenimiento correcto de la central, produciendo dificultades en la operación de la central y posibles fallos.
- ✓ Falta de seguimiento y de registros o no adecuados del mantenimiento y del historial de fallas, incluyendo los análisis de falla y la conclusión de la causa raíz y la implementación de la solución, para el mantenimiento adecuado y correcto de la central, produciendo dificultades en la operación de la central y posibles fallos repetitivos.
- ✓ Falla o falta de sistemas y canales de comunicaciones suficientes, expeditos y ágiles para la coordinación del mantenimiento produciendo dificultades en este y posibles daños o fallos involuntarios.

I. Evaluación del riesgo del componente eléctrico

▪ **En la turbina**

- ✓ Fallos de control y de la instrumentación produciendo falsas alarmas, paros indeseados, y daños en la turbina y otros equipos.

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: mantenimiento, cantidad insuficientes, calibraciones erradas, tecnología no actualizada, entre otras.										
MEDIDAS DE PROTECCIÓN: actualizar a tecnologías de punta, aplicar o mejorar mantenimiento si necesario, supervisión constante del estado, revisar calibraciones.										
RIESGO A EVALUAR:	Falsas alarmas, disparos indeseados, daños en equipos, y posible salida de la central			por		FALLA EN CONTROL E INSTRUMENTACION (al) o (en)		Equipos		
	EVENTO O EFECTO			FACTOR DE RIESGO (CAUSA)		FUENTE				
POTENCIAL		<input checked="" type="checkbox"/>		REAL		<input type="checkbox"/>		FRECUENCIA		
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa
	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable.	Internacional	5	MEDIO	ALTO	(ALTO)	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción Temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
		Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: mantenimiento, cantidad insuficientes, calibraciones erradas, tecnología no actualizada, entre otras.										
Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve									
Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No Interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO

Como se puede observar el riesgo dio alto de acuerdo con la tabla, sin embargo, como se mencionó en la metodología el mismo RETIE en su capítulo 1, adicional al estudio de la matriz de probabilidad e impacto exige que se cumplan 4 criterios. Si se analiza detalladamente cada punto anterior se puede concluir que:

Si se analiza detalladamente cada punto anterior se puede concluir que:

- Que las condiciones no son plenamente identificables.
- El peligro no es eminente pues no se conocen indicios para ello.
- No hay probabilidad alta, dado que no se conoce que haya ocurrido en la empresa en las centrales hidroeléctricas de acuerdo con la información recibida.
- No se puede referenciar un antecedente ocurrido en condiciones similares.

Por lo anterior no se puede declarar el riesgo como alto, por lo cual se calificará en forma inmediatamente inferior es decir riesgo **Medio.**

▪ **En el generador**

- ✓ Fallos en el sistema de excitación produciendo explosión e incendio del generador.

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: mantenimiento, calibraciones erradas, tecnología no actualizada, entre otras.										
MEDIDAS DE PROTECCIÓN: actualizar a tecnologías de punta, mejorar mantenimiento si necesario, supervisión constante del estado, revisar calibraciones.										
RIESGO A EVALUAR:	Incendio, disparos indeseados, daños en equipos, y posible salida de la central			por	FALLA EN LA EXCITACIÓN			(al) o (en)	Equipos	
	EVENTO O EFECTO			FACTOR DE RIESGO (CAUSA)					FUENTE	
POTENCIAL		<input checked="" type="checkbox"/>	REAL			FRECUENCIA				
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa
	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable.	Internacional	5	MEDIO	(ALTO)	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	(MEDIO)	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción Temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No Interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	

Como se puede observar el riesgo dio alto de acuerdo con la tabla, sin embargo, como se mencionó en la metodología el mismo RETIE en su capítulo 1, adicional al estudio de la matriz de probabilidad e impacto exige que se cumplan 4 criterios. Si se analiza detalladamente cada punto anterior se puede concluir que:

- Que las condiciones no son plenamente identificables.
- El peligro no es eminente pues no se conocen indicios para ello.

- No hay probabilidad alta, dado que no se conoce que haya ocurrido en la empresa en las centrales hidroeléctricas de acuerdo con la información recibida.
- No se puede referenciar un antecedente ocurrido en condiciones similares.

Por lo anterior no se puede declarar el riesgo como alto, por lo cual se calificará en forma inmediatamente inferior es decir riesgo **Medio**.

- ✓ Cortocircuito en bobinados, por defecto o deterioro del aislamiento produciendo explosión e incendio del generador.

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: mantenimiento y pruebas, entre otras.										
MEDIDAS DE PROTECCIÓN: mejorar mantenimiento y pruebas si necesario, supervisión constante del estado.										
RIESGO A EVALUAR:	Incendio, disparos indeseados, daños en equipos, y posible salida de la central			por	FALLA EN LOS DEVANADOS		(al) o (en)	Generador		
	EVENTO O EFECTO			FACTOR DE RIESGO (CAUSA)			FUENTE			
POTENCIAL	<input checked="" type="checkbox"/>			REAL	<input type="checkbox"/>			FRECUENCIA		
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa
	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable.	Internacional	5	MEDIO	(ALTO)	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	(MEDIO)	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción Temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No Interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	

Como se puede observar el riesgo dio alto de acuerdo con la tabla, sin embargo, como se mencionó en la metodología el mismo RETIE en su capítulo 1, adicional al estudio de la matriz de probabilidad e impacto exige que se cumplan 4 criterios. Si se analiza detalladamente cada punto anterior se puede concluir que:

- Que las condiciones no son plenamente identificables.
- El peligro no es eminente pues no se conocen indicios para ello.
- No hay probabilidad alta, dado que no se conoce que haya ocurrido en la empresa en las centrales hidroeléctricas de acuerdo con la información recibida.
- No se puede referenciar un antecedente ocurrido en condiciones similares.

Por lo anterior no se puede declarar el riesgo como alto, por lo cual se calificará en forma inmediatamente inferior es decir riesgo **Medio**.

- ✓ Falla en el sistema contraincendios produciendo riesgo al equipo para el caso de incendio y a las personas.

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: mantenimiento y pruebas periódicas, entre otras.										
MEDIDAS DE PROTECCIÓN: mejorar mantenimiento y pruebas si necesario, supervisión constante del estado.										
RIESGO A EVALUAR:	Incendio, disparos indeseados, daños en equipos, y posible salida de la central			por		FALLA EN EL SISTEMA CONTRAINCENDIO		(al) o (en)		Sistema Contraincendio
	EVENTO O EFECTO			FACTOR DE RIESGO (CAUSA)		FUENTE				
POTENCIAL		<input checked="" type="checkbox"/>		REAL		<input type="checkbox"/>		FRECUENCIA		
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa
	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable.	Internacional	5	MEDIO	(ALTO)	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	(MEDIO)	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción Temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
		Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: mantenimiento y pruebas periódicas, entre otras.										
Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve									
Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No Interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO

Como se puede observar el riesgo dio alto de acuerdo con la tabla, sin embargo, como se mencionó en la metodología el mismo RETIE en su capítulo 1, adicional al estudio de la matriz de probabilidad e impacto exige que se cumplan 4 criterios. Si se analiza detalladamente cada punto anterior se puede concluir que:

- Que las condiciones no son plenamente identificables.
- El peligro no es eminente pues no se conocen indicios para ello.
- No hay probabilidad alta, dado que no se conoce que haya ocurrido en la empresa en las centrales hidroeléctricas de acuerdo con la información recibida.
- No se puede referenciar un antecedente ocurrido en condiciones similares.

Por lo anterior no se puede declarar el riesgo como alto, por lo cual se calificará en forma inmediatamente inferior es decir riesgo **Medio**.

▪ **En la subestación**

- ✓ Fallas en las protecciones de los transformadores principales, en los de servicios auxiliares y en los de puesta a tierra, produciendo explosión e incendios, derrames de aceite y contaminación.

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: mantenimiento y pruebas periódicas, requisitos RETIE, entre otras.										
MEDIDAS DE PROTECCIÓN: mejorar mantenimiento y pruebas si necesario, supervisión constante del estado, asegurar requisitos RETIE.										
RIESGO A EVALUAR:		Incendio, disparos indeseados, daños en equipos, y posible salida de la central			por	FALLA EN LAS PROTECCIONES		(al) o (en)	Sistema de protecciones	
		EVENTO O EFECTO			FACTOR DE RIESGO (CAUSA)			FUENTE		
POTENCIAL		<input checked="" type="checkbox"/>		REAL		<input type="checkbox"/>		FRECUENCIA		
C O N S E C	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: mantenimiento y pruebas periódicas, requisitos RETIE, entre otras.										
U E N C I A S										la Empresa
	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable.	Internacional	5	MEDIO	(ALTO)	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción Temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No Interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO

Como se puede observar el riesgo dio alto de acuerdo con la tabla, sin embargo, como se mencionó en la metodología el mismo RETIE en su capítulo 1, adicional al estudio de la matriz de probabilidad e impacto exige que se cumplan 4 criterios. Si se analiza detalladamente cada punto anterior se puede concluir que:

- Que las condiciones no son plenamente identificables.
- El peligro no es eminente pues no se conocen indicios para ello.
- No hay probabilidad alta, dado que no se conoce que haya ocurrido en la empresa en las centrales hidroeléctricas de acuerdo con la información recibida.
- Si se puede referenciar un antecedente ocurrido en condiciones similares, dado que en Betania se incendió un transformador, pero aclaro no estaba la central aún en manejo por Emgesa.

Por lo anterior se puede declarar el riesgo como **alto**, dado que por lo menos hay una de las condiciones RETIE que se cumple para declararlo, y además la matriz califica el riesgo como **alto**.

- ✓ Alta temperatura en los transformadores principales por fallo en la ventilación produciendo desajustes y daños internos.

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: mantenimiento, en la alimentación de los ventiladores, entre otras.			
MEDIDAS DE PROTECCIÓN: mejorar mantenimiento si necesario, supervisión constante del estado.			
RIESGO A EVALUAR:	Incendio, disparos indeseados, daños en equipos, y posible salida de la central	por	FALLA EN LA VENTILACION (al) o (en) Sistema de ventilación

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: mantenimiento, en la alimentación de los ventiladores, entre otras.										
		EVENTO O EFECTO			FACTOR DE RIESGO (CAUSA)			FUENTE		
POTENCIAL <input checked="" type="checkbox"/>		REAL <input type="checkbox"/>			FRECUENCIA					
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa
	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable.	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción Temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	(MEDIO)	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No Interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO

✓ Fallo en el cambiador de taps produciendo inicio de problemas en el transformador.

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: mantenimiento y pruebas periódicas, alimentación del motor y control, entre otras.			
MEDIDAS DE PROTECCIÓN: mejorar mantenimiento y pruebas si necesario, supervisión constante del estado.			
RIESGO A EVALUAR:	Disparos indeseados, daños en equipos		Cambiador de tap
	por	FALLA EN EL CAMBIADOR (al) o (en)	
	EVENTO O EFECTO	FACTOR DE RIESGO (CAUSA)	FUENTE

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: mantenimiento y pruebas periódicas, alimentación del motor y control, entre otras.														
POTENCIAL <input checked="" type="checkbox"/>					REAL <input type="checkbox"/>					FRECUENCIA				
C O N S E C U E N C I A S	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A				
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa				
	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable.	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO				
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO				
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción Temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	(MEDIO)	MEDIO	MEDIO	ALTO				
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO				
Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No Interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO					

- ✓ Fallo mecánico en interruptores, seccionadores y cuchillas de puesta a tierra, produciendo explosión e incendio.

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: mantenimiento y pruebas periódicas, calibración inadecuada, entre otras.			
MEDIDAS DE PROTECCIÓN: mejorar mantenimiento y pruebas si necesario, supervisión constante del estado, calibración periódica.			
RIESGO A EVALUAR:	Disparos indeseados, daños en equipos	por	FALLA MECANICA (al) o EQUIPOS (en)
	EVENTO O EFECTO		FACTOR DE RIESGO (CAUSA)
			FRECUENCIA

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: mantenimiento y pruebas periódicas, calibración inadecuada, entre otras.										
POTENCIAL		REAL								
	X									
C O N S E C U E N C I A S	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa
	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable.	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción Temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	(MEDIO)	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No Interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO

✓ Fallos en la medida de energía, produciendo pérdidas de facturación.

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: mantenimiento y pruebas periódicas, calibración inadecuada, falla en la selección de los transformadores de medida y canal de comunicaciones, requisitos de regulación, entre otras.		
MEDIDAS DE PROTECCIÓN: mejorar mantenimiento y pruebas si necesario, supervisión constante del estado, calibración periódica, revisión canal de comunicación, cumplimiento de la regulación.		
RIESGO A EVALUAR:	Pérdidas económicas y posibles multas.	EQUIPOS
	por _____	(al) o _____ (en) _____
	EVENTO O EFECTO	FACTOR DE RIESGO (CAUSA)
		FUENTE
		FRECUENCIA

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: mantenimiento y pruebas periódicas, calibración inadecuada, falla en la selección de los transformadores de medida y canal de comunicaciones, requisitos de regulación, entre otras.										
POTENCIAL		REAL								
	X									
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa
	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable.	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	(MEDIO)	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción Temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No Interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	

✓ Fallos en las protecciones de línea produciendo explosiones e incendios en los equipos.

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: mantenimiento y pruebas periódicas, setting inadecuado, falla en la selección de los transformadores de medida y canal de comunicaciones, incumplimiento regulación, entre otras.			
MEDIDAS DE PROTECCIÓN: mejorar mantenimiento y pruebas si necesario, supervisión constante del estado, setting periódico, actualizaciones cuando cambios en sistema de potencia, fallas en el estudio de coordinación de protecciones, revisión canal de comunicación, cumplimiento de la regulación.			
RIESGO A EVALUAR:	Daños en equipos, salida de la central	por	FALLA EN PROTECCIONES (al) o (en)
	EQUIPOS DE PROTECCION		
	EVENTO O EFECTO		FACTOR DE RIESGO (CAUSA)
			FUENTE
			FRECUENCIA

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: mantenimiento y pruebas periódicas, setting inadecuado, falla en la selección de los transformadores de medida y canal de comunicaciones, incumplimiento regulación, entre otras.											
POTENCIAL		REAL									
	X										
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A	
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa	
	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable.	Internacional	5	MEDIO	(ALTO)	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	(MEDIO)	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción Temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No Interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	

✓ Fallos en las protecciones de barra produciendo explosiones e incendios en los equipos.

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: mantenimiento y pruebas periódicas, setting inadecuado, falla en la selección de los transformadores de medida y canal de comunicaciones, incumplimiento regulación, entre otras.			
MEDIDAS DE PROTECCIÓN: mejorar mantenimiento y pruebas si necesario, supervisión constante del estado, setting periódico, actualizaciones cuando cambios en sistema de potencia, fallas en el estudio de coordinación de protecciones, revisión canal de comunicación, cumplimiento de la regulación.			
RIESGO A EVALUAR:	Daños en equipos, salida de la central	por	FALLA EN PROTECCIONES (al) o (en)
	EQUIPOS DE PROTECCION		
	EVENTO O EFECTO		FACTOR DE RIESGO (CAUSA)
			FUENTE

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: mantenimiento y pruebas periódicas, setting inadecuado, falla en la selección de los transformadores de medida y canal de comunicaciones, incumplimiento regulación, entre otras.										
POTENCIAL <input checked="" type="checkbox"/>		REAL <input type="checkbox"/>			FRECUENCIA					
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa
	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable.	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	(MEDIO) 2	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción Temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No Interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	

- ✓ Cortocircuitos por falla de aislamiento en los tableros de control produciendo incendios e indisponibilidades de control

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: mantenimiento, protecciones inadecuadas, falla en la selección de los interruptores y de la barra, incumplimiento RETIE, entre otras.			
MEDIDAS DE PROTECCIÓN: mejorar mantenimiento si necesario, supervisión constante del estado, setting de las protecciones y de los interruptores, actualizaciones cuando cambios en las cargas, fallas en el estudio de coordinación de protecciones, cumplimiento de la regulación y del RETIE.			
RIESGO A EVALUAR:	Daños en equipos, posible salida de la central	por	FALLA EN PROTECCIONES E INTERRUPTORES (al) o (en)
	EQUIPOS DE PROTECCION E INTERRUPCION		
	EVENTO O EFECTO		FACTOR DE RIESGO (CAUSA)
			FUENTE

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: mantenimiento, protecciones inadecuadas, falla en la selección de los interruptores y de la barra, incumplimiento RETIE, entre otras.														
POTENCIAL <input checked="" type="checkbox"/>					REAL <input type="checkbox"/>					FRECUENCIA				
C O N S E C U E N C I A S	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A				
							No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa			
	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable.	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO				
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	(MEDIO)	MEDIO	ALTO				
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción Temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO				
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO				
Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No Interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO					

✓ Fallas en servicios auxiliares produciendo incendios e indisponibilidades de control

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: mantenimiento, protecciones inadecuadas, falla en la selección de los interruptores y de la barra, riesgos relacionados con el RETIE, entre otras.														
MEDIDAS DE PROTECCIÓN: mejorar mantenimiento si necesario, supervisión constante del estado, setting de las protecciones y de los interruptores, actualizaciones cuando cambios en las cargas, evitar fallas en el estudio de coordinación de protecciones, cumplimiento de la regulación y del RETIE.														
RIESGO A EVALUAR:	Daños en equipos, posible salida de la central			FALLA EN PROTECCIONES E INTERRUPTORES DE SERVICIOS AUXILIARES (al) o (en)			EQUIPOS DE SERVICIOS AUXILIARES							
	EVENTO O EFECTO			por			FACTOR DE RIESGO (CAUSA)							
POTENCIAL <input checked="" type="checkbox"/>					REAL <input type="checkbox"/>					FRECUENCIA				
En personas	Económicas	Ambientales			E	D	C	B	A					

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: mantenimiento, protecciones inadecuadas, falla en la selección de los interruptores y de la barra, riesgos relacionados con el RETIE, entre otras.										
CONSECUENCIAS				En la imagen de la empresa		No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa
	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable.	Internacional	5	MEDIO	ALTO	(ALTO)	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción Temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No Interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO

Como se puede observar el riesgo dio alto de acuerdo con la tabla, sin embargo, como se mencionó en la metodología el mismo RETIE en su capítulo 1, adicional al estudio de la matriz de probabilidad e impacto exige que se cumplan 4 criterios. Si se analiza detalladamente cada punto anterior se puede concluir que:

- Que las condiciones no son plenamente identificables.
- El peligro no es eminente pues no se conocen indicios para ello.
- No hay probabilidad alta, dado que no se conoce que haya ocurrido en la empresa en las centrales hidroeléctricas de acuerdo con la información recibida.
- Se puede referenciar un antecedente ocurrido en condiciones similares, dado que en Betania se quemó un transformador de puesta a tierra que también servía para servicios auxiliares.

Por lo anterior se puede declarar el riesgo como **alto**, dado que por lo menos hay una de las condiciones RETIE que se cumple para declararlo, y además la matriz califica el riesgo como **alto**.

▪ **En la línea de transmisión entre casa de máquinas y subestación**

- ✓ Rotura o derivación de corriente produciendo incendios, y energía considerable dejada de facturar y posibles daños al personal.

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: mantenimiento, requisitos RETIE, entre otras.										
MEDIDAS DE PROTECCIÓN: mejorar mantenimiento si necesario, supervisión constante del estado, cumplimiento de la regulación y del RETIE.										
RIESGO A EVALUAR:	salida de la central				FALLA EN PROTECCIONES E INTERRUPTORES DE SERVICIOS AUXILIARES (al) o (en)			EQUIPOS DE SERVICIOS AUXILIARES		
	EVENTO O EFECTO				FACTOR DE RIESGO (CAUSA)			FUENTE		
POTENCIAL <input checked="" type="checkbox"/>					REAL <input type="checkbox"/>					
					FRECUENCIA					
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa
	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable.	Internacional	5	MEDIO	(ALTO)	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción Temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No Interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	

Como se puede observar el riesgo dio alto de acuerdo con la tabla, sin embargo, como se mencionó en la metodología el mismo RETIE en su capítulo 1, adicional al estudio de la matriz de probabilidad e impacto exige que se cumplan 4 criterios. Si se analiza detalladamente cada punto anterior se puede concluir que:

- Que las condiciones no son plenamente identificables.
- El peligro no es eminente pues no se conocen indicios para ello.

- No hay probabilidad alta, dado que no se conoce que haya ocurrido en la empresa en las centrales hidroeléctricas de acuerdo con la información recibida.
- no se puede referenciar un antecedente ocurrido en condiciones similares.

Por lo anterior no se puede declarar el riesgo como alto, por lo cual se calificará en forma inmediatamente inferior es decir riesgo **Medio**.

▪ **En los demás equipos eléctricos menores y redes internas**

- ✓ Arcos eléctricos produciendo destrucción e incendios a equipos, y daños al personal.

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: mantenimiento, protecciones inadecuadas, falla en la selección de los interruptores y de la barra, riesgos relacionados con el RETIE, entre otras.										
MEDIDAS DE PROTECCIÓN: mejorar mantenimiento si necesario, supervisión constante del estado, setting de las protecciones y de los interruptores, actualizaciones cuando cambios en las cargas, fallas en el estudio de coordinación de protecciones, cumplimiento de la regulación y del RETIE.										
RIESGO A EVALUAR:	Daños en equipos, posible salida de la central				FALLA EN PROTECCIONES E INTERRUPTORES DE SERVICIOS AUXILIARES (al) o (en)			EQUIPOS DE SERVICIOS AUXILIARES		
	EVENTO O EFECTO				por			FUENTE		
POTENCIAL <input checked="" type="checkbox"/>					REAL <input type="checkbox"/>					FRECUCENCIA
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa
	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable.	Internacional	5	MEDIO	ALTO	(ALTO)	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción Temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
		Sin efecto	Interna	1	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: mantenimiento, protecciones inadecuadas, falla en la selección de los interruptores y de la barra, riesgos relacionados con el RETIE, entre otras.										
Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No Interrupción					MUY BAJO				

Como se puede observar el riesgo dio alto de acuerdo con la tabla, sin embargo, como se mencionó en la metodología el mismo RETIE en su capítulo 1, adicional al estudio de la matriz de probabilidad e impacto exige que se cumplan 4 criterios. Si se analiza detalladamente cada punto anterior se puede concluir que:

- Que las condiciones no son plenamente identificables.
- El peligro no es eminente pues no se conocen indicios para ello.
- No hay probabilidad alta, dado que no se conoce que haya ocurrido en la empresa en las centrales hidroeléctricas de acuerdo con la información recibida.
- Se puede referenciar un antecedente ocurrido en condiciones similares, dado que un técnico de mantenimiento produjo un arco en un CCM quemándose la cara etc.

Por lo anterior se puede declarar el riesgo como **alto**, dado que por lo menos hay una de las condiciones RETIE que se cumple para declararlo, y además la matriz califica el riesgo como **alto**.

- ✓ Ausencia de electricidad por fallas en el suministro y alimentación produciendo que no se pueda operar el equipo en una emergencia.

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: mantenimiento, protecciones inadecuadas, falla en la selección de los interruptores riesgos relacionados con el RETIE, apagón o corte del servicio, entre otras.										
MEDIDAS DE PROTECCIÓN: mejorar mantenimiento si necesario, supervisión constante del estado, setting de las protecciones y de los interruptores, actualizaciones cuando cambios en las cargas, estudio de coordinación de protecciones, cumplimiento de la regulación y del RETIE.										
RIESGO A EVALUAR:	Daños en equipos, posible salida de la central		FALTA DE ENERGIA FALLA EN PROTECCIONES E INTERRUPTORES DE SERVICIOS (al) o AUXILIARES (en)				EQUIPOS DE SERVICIOS AUXILIARES O DE ALIMENTACIONES DE MEDIA TENSION			
	EVENTO O EFECTO		por				FUENTE			
POTENCIAL <input checked="" type="checkbox"/>		REAL <input type="checkbox"/>		FRECUENCIA						
C O N S	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa



POSIBLES CAUSAS: Fallas en: mantenimiento, protecciones inadecuadas, falla en la selección de los interruptores riesgos relacionados con el RETIE, apagón o corte del servicio, entre otras.										
E C U E N C I A S	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura . Interrupción regional.	Contaminación irreparable.	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	(MEDIO)	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción Temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No Interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO

- ✓ Fallas de aislamientos produciendo cortos y posibles incendios y que no se pueda operar el equipo en una emergencia.

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: mantenimiento, pruebas periódicas, entre otras.										
MEDIDAS DE PROTECCIÓN: mejorar mantenimiento si necesario, supervisión constante del estado de los equipos y cables,										
RIESGO A EVALUAR:	Daños en equipos, posible salida de la central		por		FALA DE AISLAMIENTO EN EQUIPOS Y CABLES		(al) o (en)		EQUIPOS Y CABLES DE SERVICIOS AUXILIARES O DE ALIMENTACIONES DE MEDIA TENSION	
	EVENTO O EFECTO			FACTOR DE RIESGO (CAUSA)			FUENTE			
POTENCIAL <input checked="" type="checkbox"/>			REAL <input type="checkbox"/>			FRECUENCIA				
C O N S	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: mantenimiento, pruebas periódicas, entre otras.										
E C U E N C I A S	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura . Interrupción regional.	Contaminación irreparable.	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	(MEDIO)	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción Temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No Interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO

- ✓ Electricidad estática produciendo chispas y posibles incendios y posibles contactos del personal produciéndole daños.

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: mantenimiento, puestas a tierra, pruebas periódicas, unión y separación constante de materiales como aislantes, conductores, sólidos o gases con la presencia de un aislante, entre otras.															
MEDIDAS DE PROTECCIÓN: mejorar mantenimiento si necesario, supervisión constante del estado de las puestas a tierra, pruebas periódicas, más puestas a tierra, conexiones equipotenciales, aumento de humedad relativa, ionización del ambiente, eliminadores eléctricos y radiactivos, pisos conductivos.															
RIESGO A EVALUAR:		Daños en equipos, electrificación			por			FALA DE CONEXIONES EN PUESTAS A TIERRA, ESTÁTICA		(al) o (en)		SISTEMA DE PUESTA A TIERRA Y ESTÁTICA			
		EVENTO O EFECTO						FACTOR DE RIESGO (CAUSA)				FUENTE			
POTENCIAL		<input checked="" type="checkbox"/>			REAL			<input type="checkbox"/>			FRECUENCIA				
C O N S E C U	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa							E	D	C	B	A
											No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: mantenimiento, puestas a tierra, pruebas periódicas, unión y separación constante de materiales como aislantes, conductores, sólidos o gases con la presencia de un aislante, entre otras.										
E N C I A S	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable.	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción Temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	(BAJO)	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No Interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO

- ✓ Equipos defectuosos produciendo chispas y posibles incendios y posibles contactos del personal produciéndole daños.

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: mantenimiento, pruebas periódicas, entre otras.											
MEDIDAS DE PROTECCIÓN: mejorar mantenimiento si necesario, supervisión constante del estado, pruebas periódicas.											
RIESGO A EVALUAR:	Daños a otros equipos, posibles incendios		por		FALA EN EQUIPOS		(al) o		EQUIPOS		
	electrización						(en)				
EVENTO O EFECTO			FACTOR DE RIESGO (CAUSA)				FUENTE				
POTENCIAL		<input checked="" type="checkbox"/>		REAL		<input type="checkbox"/>		FRECUENCIA			
C O N S E C U E N C I	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A	
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa	
	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable.	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO	

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: mantenimiento, pruebas periódicas, entre otras.										
A S	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción Temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	(BAJO)	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No Interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO

✓ Sobrecargas produciendo incendios.

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: ingeniería, planeamiento, operación, pruebas periódicas, medidas, entre otras.										
MEDIDAS DE PROTECCIÓN: supervisión constante del estado de circuitos, pruebas periódicas, medidas confiables y constantes.										
RIESGO A EVALUAR:		Daños a equipos, posibles incendios			por		FALA EN EQUIPOS (al) o POR SOBRECARGA (en)		EQUIPOS	
		EVENTO O EFECTO					FACTOR DE RIESGO (CAUSA)		FUENTE	
POTENCIAL		<input checked="" type="checkbox"/>		REAL		<input type="checkbox"/>		FRECUENCIA		
C O N S E C U E N C I A S	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa
	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable.	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
			Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: ingeniería, planeamiento, operación, pruebas periódicas, medidas, entre otras.									
Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción Temporal	Contaminación localizada							
Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	(BAJO)	MEDIO	MEDIO	MEDIO
Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No Interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO

✓ Tensiones de contacto por descargas atmosféricas produciendo electrocución al personal.

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: ingeniería de apantallamiento, apantallamiento, pruebas periódicas, medidas, mantenimiento, entre otras.										
MEDIDAS DE PROTECCIÓN: supervisión constante del estado de apantallamiento y puesta a tierra, pruebas periódicas, medidas confiables y constantes.										
RIESGO A EVALUAR:	Daños a equipos, posibles incendios y electrocuciones		por		FALA EN EQUIPOS DE APANTALLAMIENTO Y MALLA A TIERRA (al) o (en)			DESCARGAS ATMOSFERICAS		
	EVENTO O EFECTO		FACTOR DE RIESGO (CAUSA)			FUENTE				
POTENCIAL <input checked="" type="checkbox"/>				REAL <input type="checkbox"/>		FRECUENCIA				
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa
	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable.	Internacional	5	(MEDIO)	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción Temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
		Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: ingeniería de apantallamiento, apantallamiento, pruebas periódicas, medidas, mantenimiento, entre otras.										
Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve									
Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No Interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	

✓ Tensiones de paso por descargas atmosféricas produciendo electrocución al personal.

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: ingeniería de apantallamiento, apantallamiento, pruebas periódicas, medidas, mantenimiento, entre otras.														
MEDIDAS DE PROTECCIÓN: supervisión constante del estado de apantallamiento y puesta a tierra, pruebas periódicas, medidas confiables y constantes.														
RIESGO A EVALUAR:	electrocuciones			por			FALA EN EQUIPOS DE APANTALLAMIENTO Y MALLA A TIERRA (al) o (en)		DESCARGAS ATMOSFERICAS					
	EVENTO O EFECTO			FACTOR DE RIESGO (CAUSA)			FUENTE							
POTENCIAL <input checked="" type="checkbox"/>					REAL <input type="checkbox"/>					FRECUENCIA				
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A				
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa				
	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable.	Internacional	5	(MEDIO)	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO				
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO				
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción Temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO				
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO				
		Sin efecto	Interna	1		BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO				

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: ingeniería de apantallamiento, apantallamiento, pruebas periódicas, medidas, mantenimiento, entre otras.										
Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No Interrupción					MUY BAJO				

▪ **De Operación**

- ✓ Falta en algunos sistemas secundarios de manuales de operación, o consignas operativas produciendo dificultades en la operación y posibles operaciones no adecuadas de la central.

POSIBLES CAUSAS: Fallas en: recibo de equipos, políticas, entre otras.										
MEDIDAS DE PROTECCIÓN: Exigir la entrega inmediata, cambio en políticas, supervisión constante del estado de entregas de contratistas para tomar conciencia, medidas confiables y constantes en cuanto a manejo de proveedores.										
RIESGO A EVALUAR:	EVENTO O EFECTO				FACTOR DE RIESGO (CAUSA)			FUENTE		
	Falta de algunos manuales de equipos secundarios, PRODUCIENDO MALAS OPERACIONES				por	FALTA DE MANUALES		(al) o (en)	POLITICAS y ESCASEZ DE exigencias a contratistas	
POTENCIAL	<input checked="" type="checkbox"/>				REAL	<input type="checkbox"/>				
					FRECUENCIA					
						E	D	C	B	A
En personas		Económicas		Ambientales		En la imagen de la empresa				
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa
CONSECUENCIAS	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable.	Internacional	5	MEDIO	ALTO	(ALTO)	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, salida de subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción Temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No Interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO

Como se puede observar el riesgo dio alto de acuerdo con la tabla, sin embargo, como se mencionó en la metodología el mismo RETIE en su capítulo 1, adicional al estudio de la matriz de probabilidad e impacto exige que se cumplan 4 criterios. Si se analiza detalladamente cada punto anterior se puede concluir que:

- Que las condiciones no son plenamente identificables.
- El peligro no es eminente pues no se conocen indicios para ello.
- No hay probabilidad alta, dado que no se conoce problemas que hayan ocurrido en la empresa en las centrales hidroeléctricas de acuerdo con la información recibida.
- No se puede referenciar antecedente ocurrido en la central dado que según lo conocido no faltan manuales por **entregar**.

Por lo anterior no se puede declarar el riesgo como alto, por lo cual se calificará en forma inmediatamente inferior es decir riesgo **Medio**.

1.2.3.3 EVALUACIÓN DE RIESGO DE LA CENTRAL AL ENTORNO

Para la central hidroeléctrica de Betania, se establecieron de acuerdo con la identificación y análisis de riesgo los escenarios de riesgo de Rotura de presa (Betania y Rotura en cadena de Betania y Quimbo), Descargas y sequías. A continuación, se describe la evaluación de cada uno de estos escenarios priorizados.

1.2.3.3.1 Metodología para la modelación de rotura de presa

Los modelos que integran la formación de la brecha, el rompimiento de la presa y el tránsito de la creciente se desarrollan siguiendo los modelos referenciados por Mohamed, 2002⁹⁵ y Temple, 2005⁹⁶ reconocen diferentes fases en el proceso de rotura y también incorporan estimaciones cuantitativas de la erosión del material en el modelado de cada fase.

Teniendo en cuenta la información disponible, se acudió a las fórmulas empíricas, obtenidas por medio de regresiones de varios casos de estudio, para determinar el caudal pico a modelar. A continuación, en la Tabla 1-79, se hace un resumen de las fórmulas analizadas. Allí se puede observar que los caudales estimados oscilan entre 8000 m³/s y 140.000 m³/s, siendo el promedio de los caudales proyectados 70.000 m³/s. Es importante recordar que la altura de presa es de 95 m, y el volumen del embalse de 1971 Hm³.

Tabla 1-79 Fórmulas para determinar el caudal pico.

Fórmula	Autor	Parámetros	Resultado (m3/s)
$Q_p = 1,268(H_w + 0,3)^{2,5}$	Kirkpatrick	Qp = Caudal Pico (m3/s)	112.422,1
$Q_p = 1,91(H_w)^{1,85}$	USBR		8706,1
$Q_p = 1,776(S)^{0,47}$	Singh y Snorrason	HW = Altura del agua (m)	41.490,2
$Q_p = 0,72(V_w)^{0,53}$	Evans		60.745,8
$Q_p = 1,154(H_w V_w)^{0,412}$	MacDonald y Langridgr-Monopolis	S = Volumen del embalse	50.867,3
$Q_p = 0,763(H_w V_w)^{0,42}$	Costa		41.393,9

⁹⁵ Mohamed, M. (2002). *Embankment breach formation and modelling methods*. Open University UK: Ph. D. thesis.

⁹⁶ Temple, D. H. (2005). Simplified breach analysis model for homogeneous embankments: Part 1, Background and model components. USSD Technologies to Enhance Dam Safety and the Environment. *25th Annual USSD Conference*. Salt Lake City, Utah.

Fórmula	Autor	Parámetros	Resultado (m ³ /s)
$Q_p = 0,607(H_w^{1,24}V_w^{0,295})$	Froehlich	Vw = volumen del agua embalsada	94.950,8
$Q_p = 0,038(H_w^{1,09}V_w^{0,475})$	Pierce		141.409,5

Fuente: WSP., 2018.

1.2.3.3.1.1 Características de la brecha

La estimación de los parámetros que caracterizan la formación de una brecha es variada y de gran incertidumbre. La aproximación más sencilla para determinar las características de la formación de una brecha es acudir a la evidencia histórica de eventos de rotura de presa. En la Tabla 1-80 se proporcionan rangos de valores estimados de varias organizaciones, que se pueden usar para modelar y evaluar el riesgo de inundación. De los valores de la tabla se podría deducir que el tiempo de formación de la brecha oscilaría entre 6 minutos y 4 horas, para una presa como la de El Quimbo, este tiempo estaría más cercano a valor cercano a las 3 a 4 horas. Los taludes generarían formas geométricas entre un rectángulo y un trapecio, con una base entre 75 m y el ancho total de la presa.

Tabla 1-80 Características rotura de presa

Fuente	Tiempo de formación de la brecha (hr)	Ancho promedio de la brecha (m)	Taludes (z)
USACE (1980)	0,5 a 4	(0,5 a 3) hd ⁹⁷	0 a 1
FERC	0,1 a 1	(1 a 5)hd	0 a 1
NWS	0,1 a 1	(2 a 5)hd	0 a 1
USACE (2007)	0,1 a 4	(0,5 a 5)hd	0 a 1

Fuente: WSP, modificado de (M. West, 2018)

Para lograr determinar con mejor precisión el tiempo de rotura de la presa, se emplearon varias fórmulas que se muestran a continuación en la Tabla 1-81. Allí se puede ver que el tiempo de rotura estaría entre un poco más de 2 horas y cerca de 8 horas, siendo el promedio cercano a las 4 horas.

Tabla 1-81 Fórmulas para determinar el tiempo de rotura.

Tiempo de falla (hr)	Ancho medio de la brecha (m)	Autor
$t_f = 0,011\bar{B}$	3,1	$\bar{B} = 3h_w$ 285 USBR
$t_f = 0,0179V_{er}^{0,364}$	6,4	$V_{er} = 0,0261(V_w h_w)^{0,769}$ 12165332,23 MacDonald y Langridgr-Monopolis
$t_f = 0,015h_w$	1,4	$\bar{B} = 2,5h_w + C_b 98$ 292,4 Von Thun & Gillette
$t_f = 0,015h_w + 0,25$	1,7	
$t_f = 0,00254V_w^{0,52}h_b^{-0,9}$	2,9	$\bar{B} = 0,1803k_0V_w^{0,32}h_b^{0,19}$ 524,8 Froehlich (1995)

97 hd = altura de la presa

$$C_b = \begin{cases} 6.1 & (V_r \times 10^{-6}) < 1.23 \\ 18.3 & 1.23 \leq (V_r \times 10^{-6}) < 6.17 \\ 42.7 & 6.17 \leq (V_r \times 10^{-6}) < 12.3 \\ 54.9 & 12.3 \leq (V_r \times 10^{-6}) \end{cases}$$

98

Tiempo de falla (hr)	Ancho medio de la brecha (m)		Autor	
$t_f = 60 \sqrt{\frac{V_w}{gh_b^2}}$	9,0	$\bar{B} = 0,23k_0V_w^{\frac{1}{2}}$	15,3	Froehlich (2016)

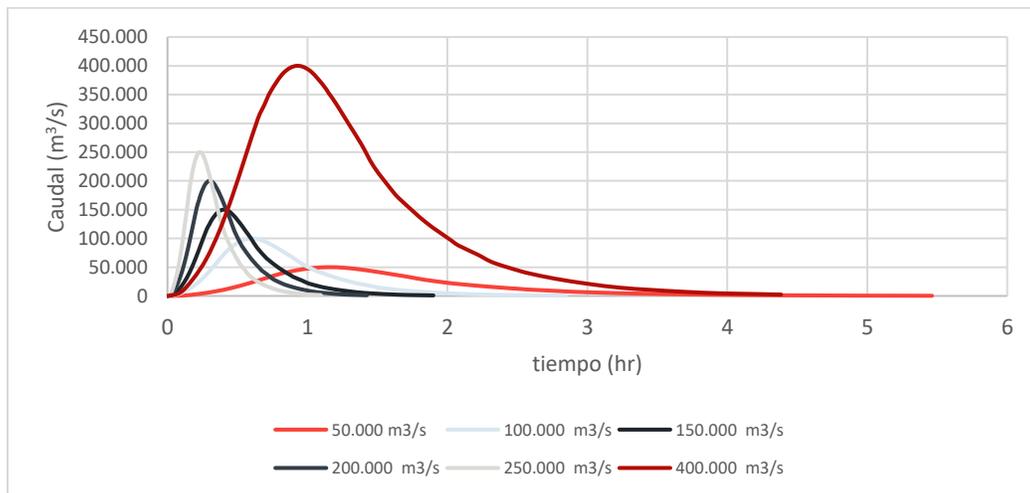
Fuente: WSP., 2018. Modificado de (M. West, 2018)

1.2.3.3.1.2 Forma del hidrograma de salida

Sobre la forma del hidrograma de salida debido a la rotura de la presa es bastante incierto, de acuerdo con la literatura sobre el tema se podría emplear hidrogramas triangulares como tipo SCS. Para el caso se empleó el hidrograma SCS, para varias horas, teniendo en cuenta el pico de caudal, el tiempo de rotura de la presa y siendo coherente con el volumen del embalse. A continuación, en Figura 1-92 se muestran los hidrogramas a ser transitados por el valle aguas abajo de la presa de Betania.

Debido a que la presa de Betania se encuentra aguas abajo de la presa de El Quimbo, es necesario considerar una falla simultánea de estas, es decir, que se presente una rotura en El Quimbo, y que a causa de esto, falle la presa de Betania. Para atender esta situación, se configura un hidrograma cuyo pico es de 400.000 m³/s y también es mostrada en la Figura 1-92.

Figura 1-92 Potenciales hidrogramas de salida de la rotura de presa



Fuente: WSP., 2018.

1.2.3.3.1.3 Consideraciones Hidráulicas

En términos generales, y debido a la incertidumbre asociada a los efectos de una rotura de presa, es importante emplear varias metodologías o tamaños de brecha y con base en los resultados obtenidos tomar decisiones. En este caso, se emplearon varios caudales pico, basado en diferentes fórmulas, y el volumen del hidrograma obtenido correspondía al volumen embalsado en la represa.

Observando los hidrogramas de la Figura 1-92, estos tienden a superponerse entre sí, principalmente porque a pesar de tener diferentes caudales pico, tiene el mismo volumen. Además, a medida que se presenta el tránsito, el hidrograma más empinado se atenuará con más rapidez que los chatos, especialmente si encuentra una llanura de inundación.

Dentro de los análisis de rotura de presa, la tarea de mayor dificultad es el tránsito de la creciente hacia aguas abajo. Para ello, se ha decidido emplear el programa HEC-RAS, en donde se tienen varias alternativas de modelado, como son: Combinación de análisis unidimensional de las corrientes con áreas de

almacenamiento, combinación de análisis unidimensionales, áreas de almacenamiento y áreas de flujo bidimensionales, o un área de flujo bidimensional.

Dentro de las consideraciones que se tuvieron en cuenta para el ejercicio de modelación son: Secciones transversales, espaciamiento de estas y sus propiedades hidráulicas, tiempo de la creciente y paso computacional, coeficientes de Manning, Almacenamiento aguas abajo, tributarios y demás obras hidráulicas, Condiciones iniciales y condiciones de borde aguas abajo. Estas características de la modelación se describen con más detalle a continuación.

1.2.3.3.1.4 Secciones transversales, espaciamiento y propiedades hidráulicas

Las secciones transversales deben ser la representación de la forma del río y de su planicie de inundación. Debido a la magnitud de los caudales derivados de la rotura de presa, estas secciones deben ser muy anchas para garantizar que sean suficientes para contener toda el agua desembalsada. Debido a esto, dentro de las zonas donde se presentan meandros, las secciones tienden a cruzarse en la planicie de inundación, condición por la que fue necesario la modificación de estas, pero siempre teniendo tomando la sección perpendicular al flujo del río en el cauce principal.

La separación de las secciones también es importante, ya que un distanciamiento amplio entre ellas ocasionaría problemas en el cálculo de las propiedades hidráulicas. Para evitar lo señalado, se acudió a las fórmulas de Fread (Fread, 1993) y Samuels (P.G., 1989) para determinar un rango máximo de espaciamiento. Estas ecuaciones se derivan de métodos muy diferentes, por ello, la de Samuel sugiere que para corrientes más pequeñas y con mayor pendiente, se requeriría espaciamiento más estrecho, mientras que Fread sugiere que corrientes más pequeñas, con hidrogramas más empinados requerirían espaciamientos menores. Las Ecuaciones se presentan a continuación:

$$\Delta x \leq \frac{0,15D}{S_o}$$
$$\Delta x \leq \frac{cT_r}{20}$$

Los Embalses del Quimbo y Betania ubicados sobre el río Magdalena tiene una distancia entre uno y el otro sobre el eje del río de aproximadamente 14.0 Km. Bajo el software de HEC – RAS Versión 5.0.6 fue modelado el tramo anteriormente indicado, con el fin de identificar la mancha de inundación aguas abajo del embalse de Quimbo, teniendo cuenta la siguiente información:

- Por la empresa contratante, fue entregado la batimetría de 14 km aguas abajo del embalse de Quimbo, con curvas de nivel cada metro.
- El DEM Alos Palsar con precisión de 12.5 m x 12.5 m.
- El nivel máximo de operación de embalse de Betania de 561 m. s. n. m.
- Con la información anteriormente descrita del terreno se obtuvo un modelo de elevación general de la zona de estudio, del cual se generaron secciones transversales cada 500 metros con el software ArcGis. La Consultoría de los análisis presentados en los capítulos anteriores obtuvo el Hidrograma.
- El modelo analizado en HEC RAS, fue planteado indicando:

- ✓ Condición de contorno Aguas arriba – Embalse de Quimbo: Hidrograma, calculado por esta Consultoría para caudales picos de 250.000 m³/s, 200.000 m³/s, 150.000 m³/s, 100.000 m³/s y 50.000 m³/s.
- ✓ Condición de contorno Aguas Abajo – Embalse de Betania: Nivel máximo de operación de dicho embalse.
- ✓ n de Manning para el fondo del cauce 0,045.
- ✓ n de Manning para las laderas del cauce 0,038.

Los resultados de la máxima lámina de agua obtenida por la modelación realizada se definieron de acuerdo con los escenarios priorizados.

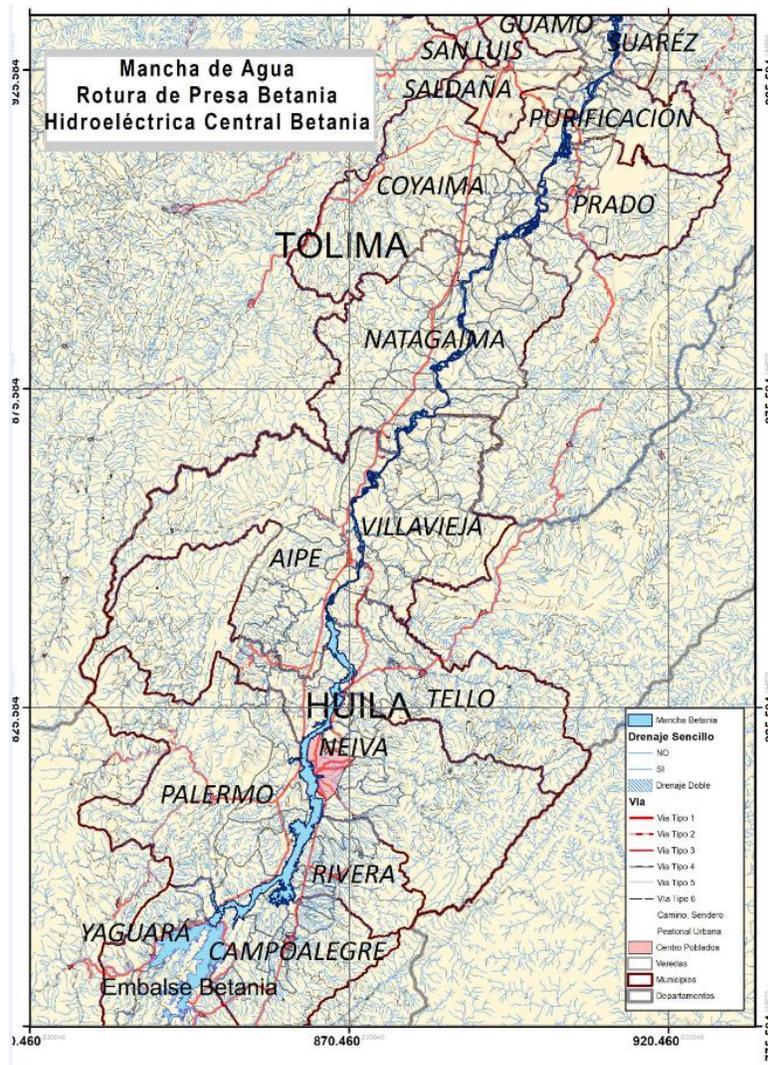
1.2.3.3.2 Evaluación de amenaza de inundación por rotura de presa

1.2.3.3.2.1 Rotura Betania

Para la rotura de Betania, se transitó una creciente cuyo pico es de 50.000 m³/s. Derivado de ello, se obtuvo la mancha de inundación mostrada en la Figura 1-93 en ella se ve la afectación de varios centros poblados como son: Neiva, Fortalecillas, Aipe, Villavieja, La Palmita, Natagaima y Purificación.

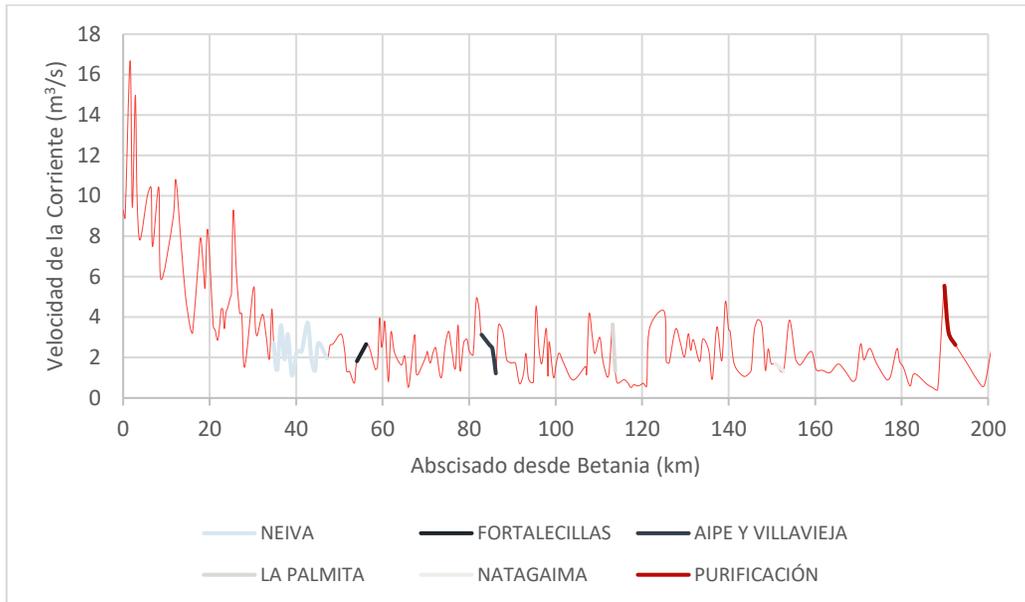
Adicional a lo anterior, se determinó la velocidad de la corriente en diferentes tramos del río (Ver Figura 1-94) donde se puede apreciar que inmediatamente aguas abajo de la presa se presentan las velocidades más altas, superiores a 18 m/s, a partir de allí se observa un descenso en esta variable, principalmente debido al cambio de la topografía del valle, el cual presenta un aumento en el ancho de las secciones (Ver Figura 1-95)

Figura 1-93 Mancha de inundación en un escenario de rotura de presa Betania



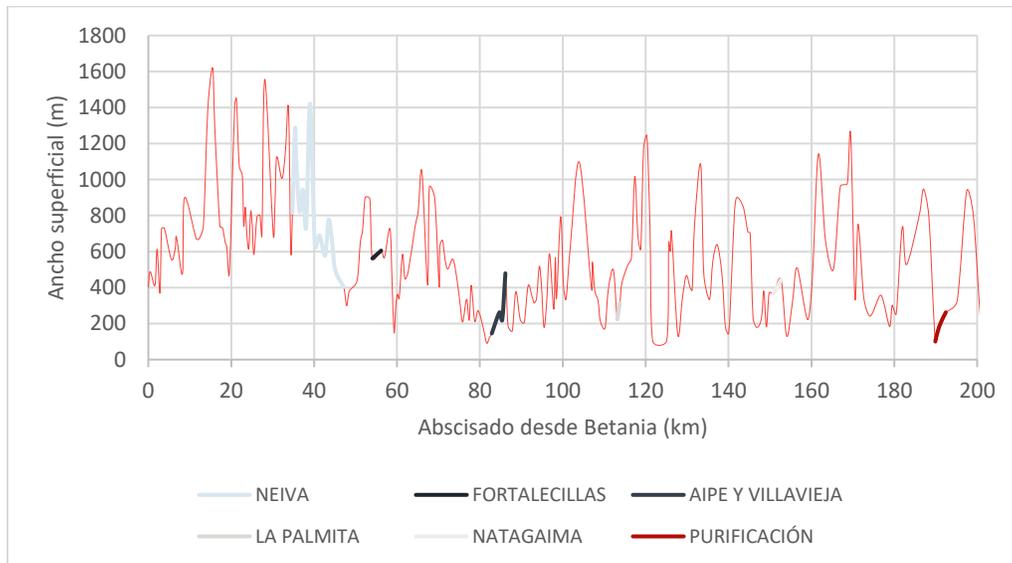
Fuente: WSP., 2019.

Figura 1-94 Velocidad de la corriente en un escenario de rotura de presa en Betania



Fuente: WSP., 2019.

Figura 1-95 Ancho superficial de las secciones en un escenario de rotura de presa en Betania



Fuente: WSP., 2019.

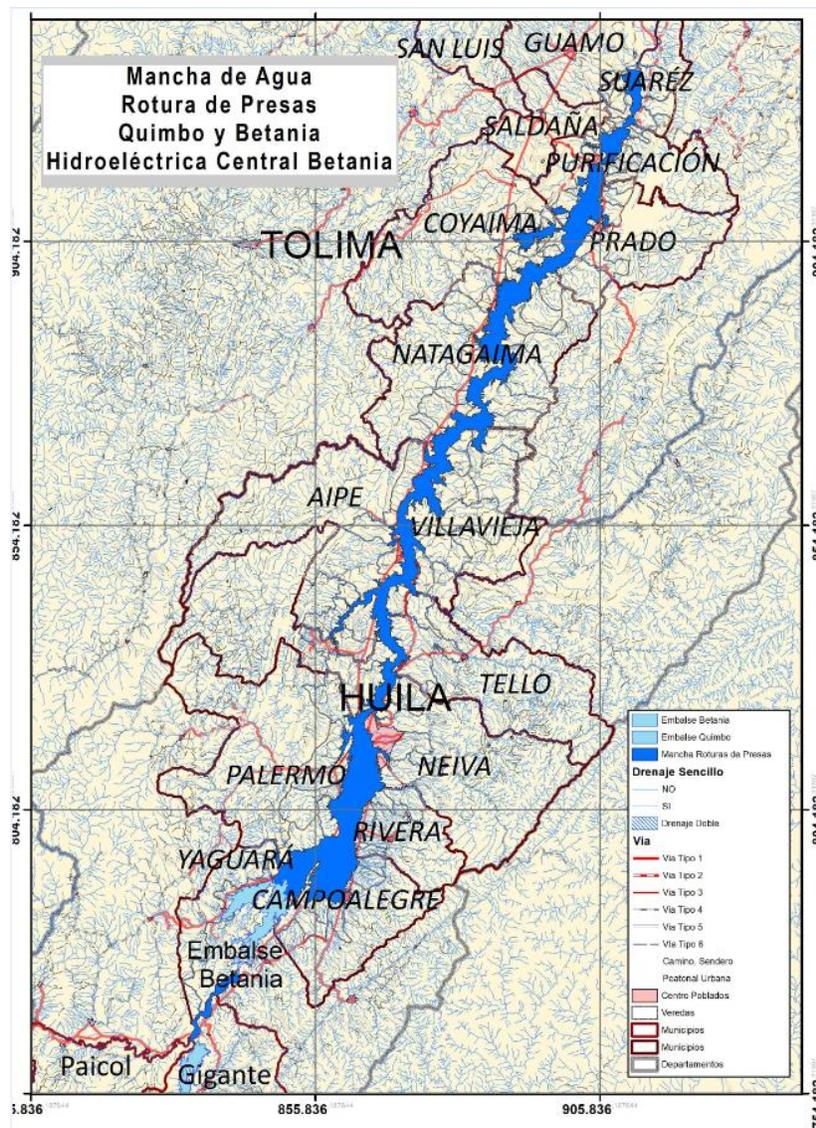
En el anexo 1-2 del presente documento se presentan la tabla de afectación por cada uno de los municipios identificados en el área de estudio donde se evidencia el área, ancho, velocidad.

1.2.3.3.2.2 Rotura en cadena - Betania y Quimbo

Como se indicó, se transitó una creciente cuyo pico es de 400.000 m³/s, debido a la rotura en cadena de las presas de El Quimbo y Betania. Derivado de ello, se obtuvo la mancha de inundación mostrada en la Figura 1-96. En ella se ve la afectación de varios centros poblados como son: Neiva, Fortalecillas, Aipe, Villavieja, La Palmita, Natagaima y Purificación.

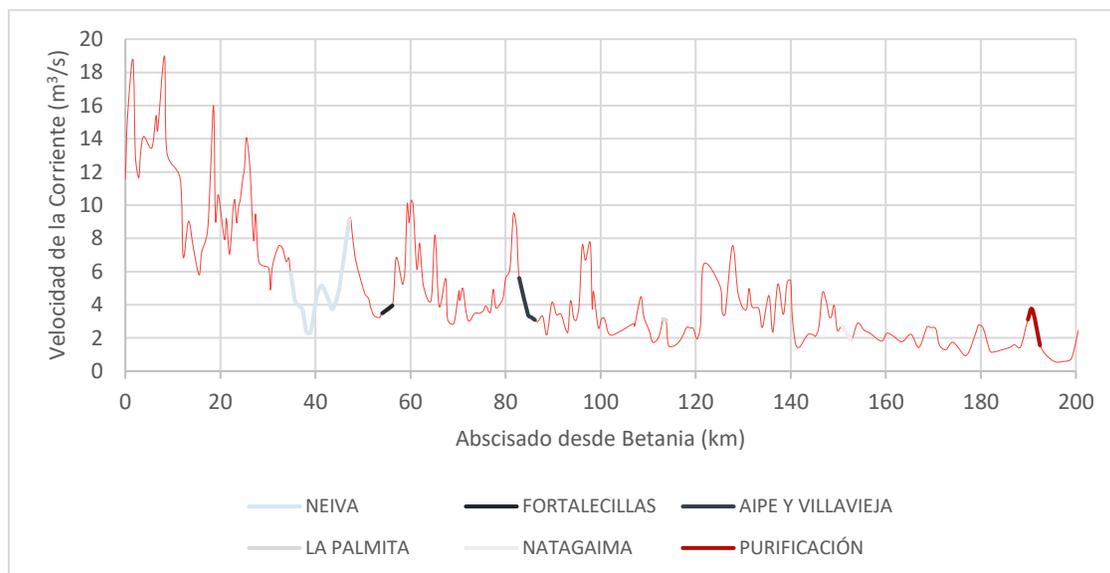
Adicional a lo anterior, se determinó la velocidad de la corriente en diferentes tramos del río (Ver Figura 1-97) donde se puede apreciar que inmediatamente aguas abajo de la presa se presentan las velocidades más altas, superiores a 18 m/s, a partir de allí se observa un descenso en esta variable, principalmente debido al cambio de la topografía del valle, el cual presenta un aumento en el ancho de las secciones (Ver Figura 1-98)

Figura 1-96 Mancha de inundación en un escenario de rotura de presa simultánea



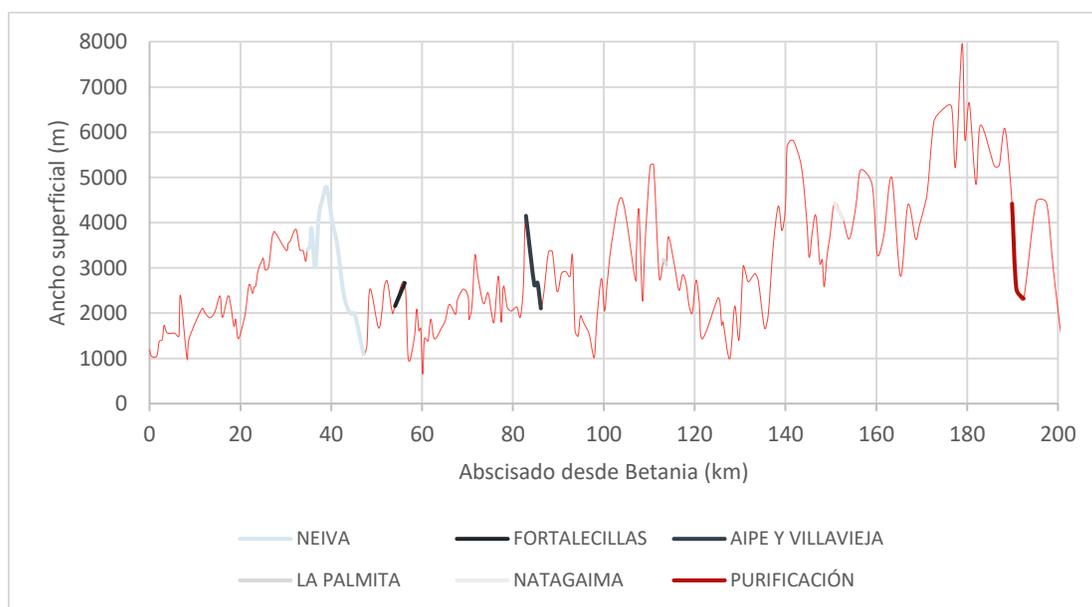
Fuente: WSP., 2019

Figura 1-97 Velocidad de la corriente en un escenario de rotura de presa simultánea



Fuente: WSP., 2019.

Figura 1-98 Ancho superficial de las secciones en un escenario de rotura de presa simultánea



Fuente: WSP., 2019.

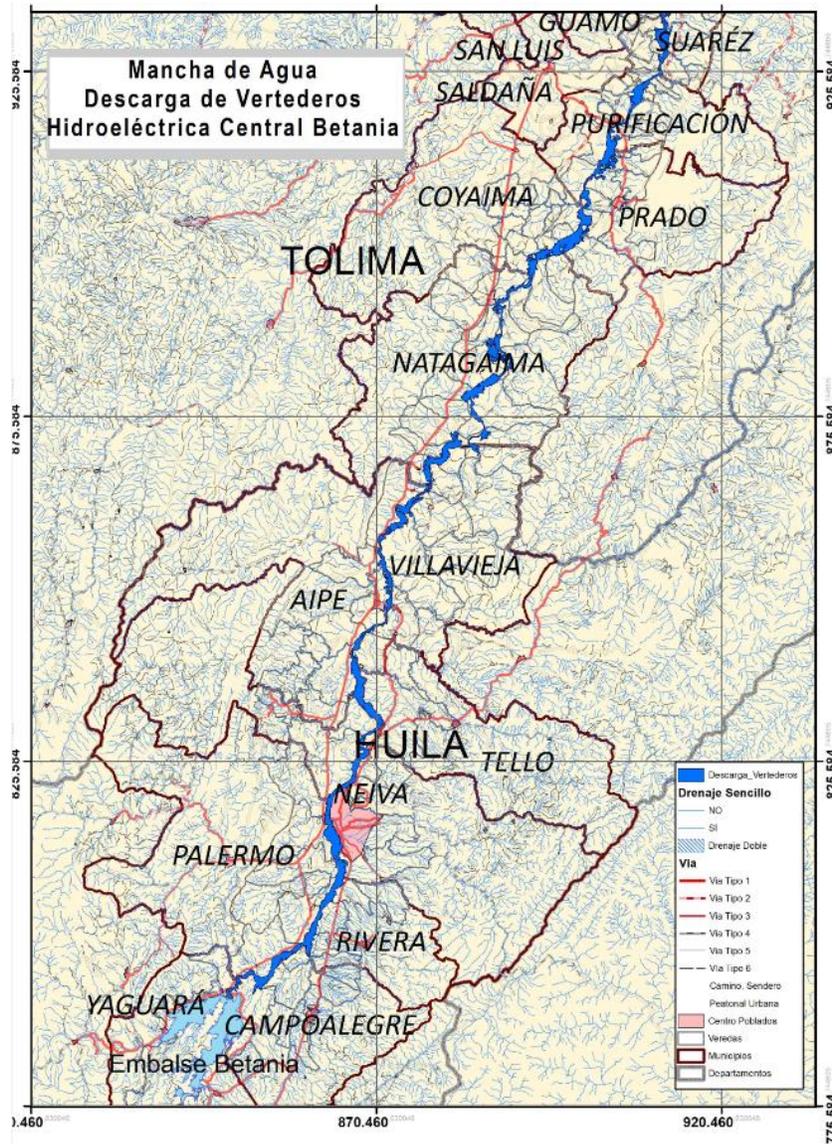
En el anexo 1-2 del presente documento se presentan la tabla de afectación por cada uno de los municipios identificados en el área de estudio donde se evidencia el área, ancho, velocidad.

1.2.3.3.3 Evaluación de amenaza de inundación por descargas controladas

Para las inundaciones frecuentes, se decidió transitar un hidrograma cuyo pico es de 5000 m³/s, considerando que esta fuera representativa de una descarga importante que sea controlada por la operación de la central por medio del vertedero.

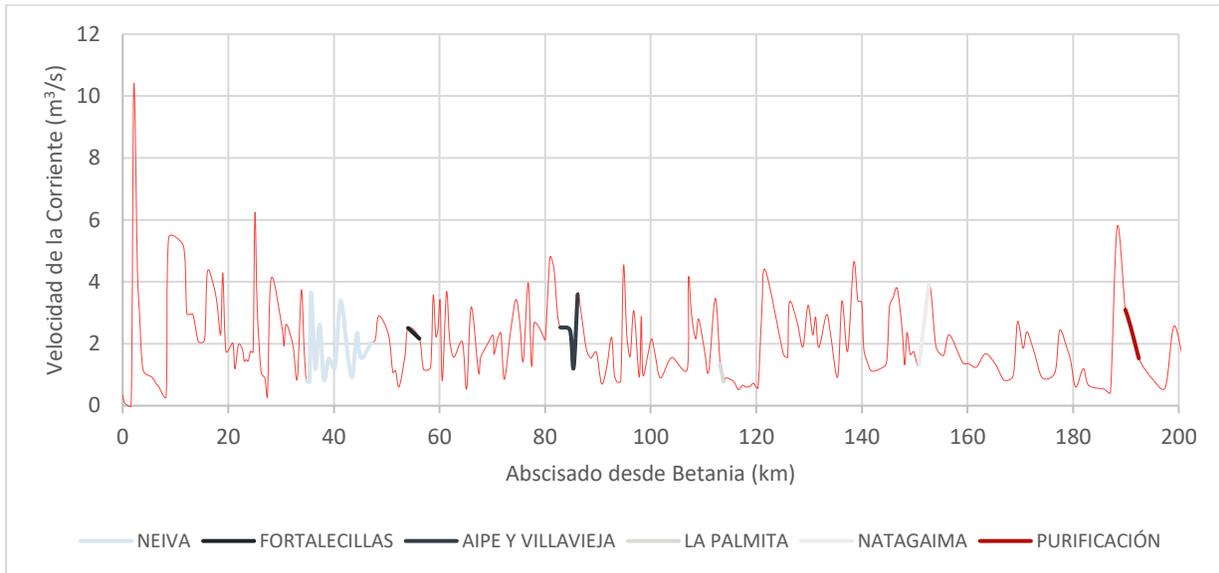
Derivado de ello, se obtuvo la mancha de inundación mostrada en la Figura 1-99. En ella se ve la afectación de varios centros poblados como son: Neiva y Fortalecillas.

Figura 1-99 Mancha de inundación en un escenario por descargas



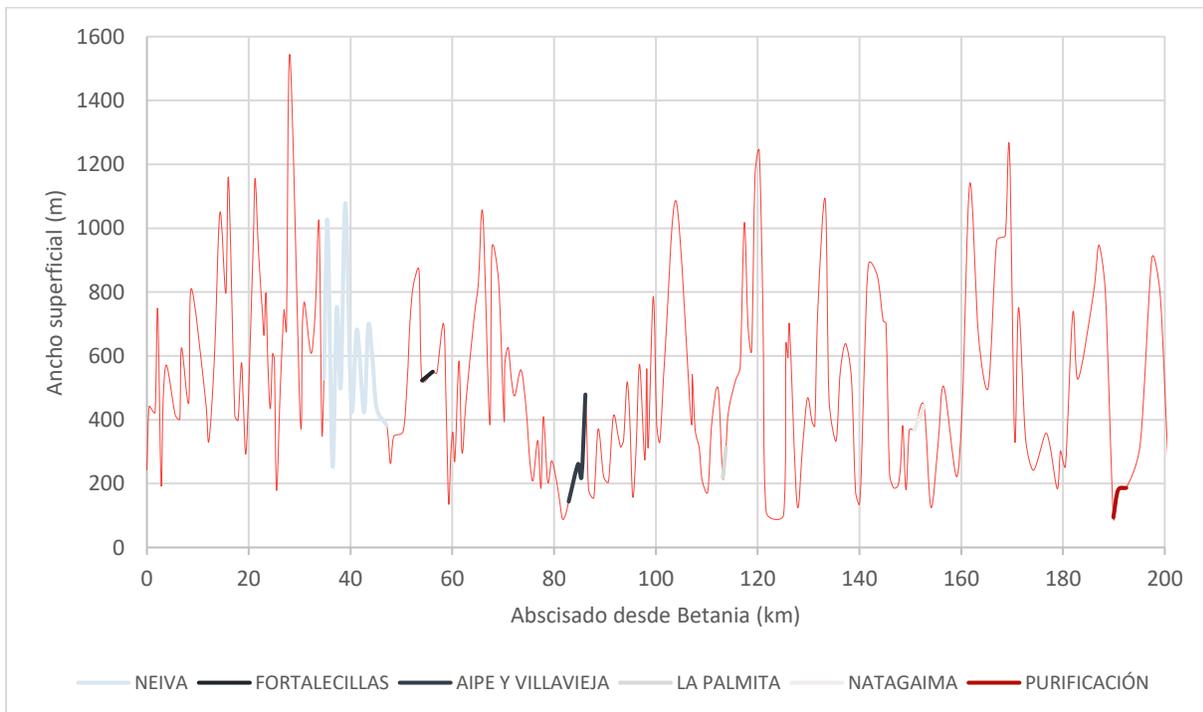
Fuente: WSP., 2019.

Figura 1-100 Velocidad de la corriente en un escenario de inundación para un caudal de 5000 m³/s.



Fuente: WSP., 2019.

Figura 1-101 Ancho superficial de las secciones en un escenario de inundación para un caudal de 5000 m³/s.



Fuente: WSP., 2019.

En el anexo 1-2 del presente documento se presentan la tabla de afectación por cada uno de los municipios identificados en el área de estudio donde se evidencia el área, ancho, velocidad.

1.2.3.3.4 Zonificación de amenaza de inundación por rotura de presa y descargas

En la Tabla 1-82 se desarrolla los criterios de zonificación respecto a inundación por rotura y descarga

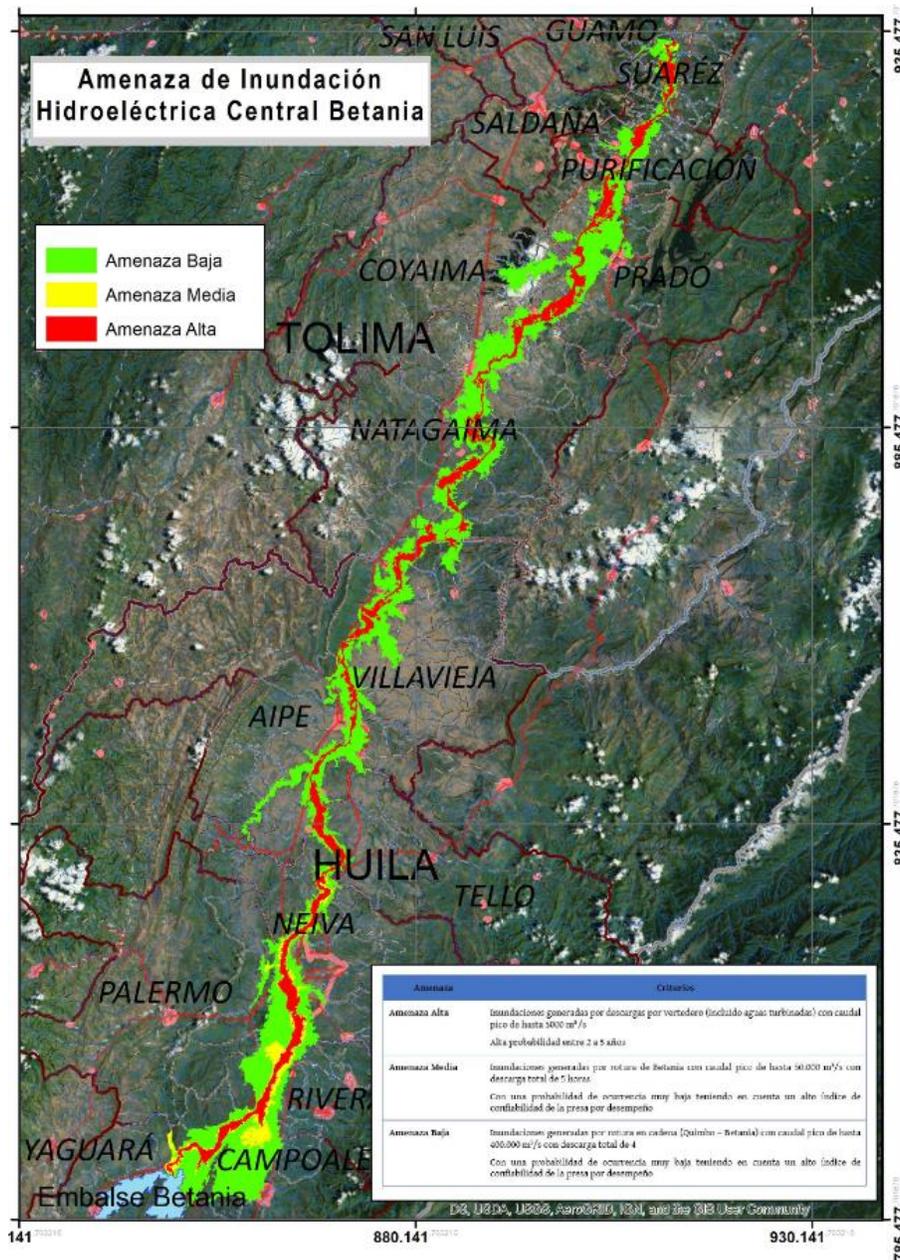
Tabla 1-82 Zonificación de amenaza por inundación

Amenaza	Criterios
Amenaza Alta	Inundaciones generadas por descargas por vertedero (Incluido aguas turbinadas) con caudal pico de hasta 5000 m ³ /s Alta probabilidad entre 2 a 5 años (Descargas por vertedero en función del periodo de retorno – Pendiente confirmar información Emgesa)
Amenaza Media	Inundaciones generadas por rotura de Betania con caudal pico de hasta 50.000 m ³ /s con descarga total de 5 horas generando inundaciones prolongadas con velocidad de descarga de 18 m/s hasta 2 m/s y con altura de láminas de agua entre 20 y 30 m en los primeros 40 km, a partir de los 40 km hasta los 200 km se mantiene estable la velocidad y la altura de la lámina disminuye hasta 2 m Con una probabilidad de ocurrencia muy baja teniendo en cuenta un alto índice de confiabilidad de la presa por desempeño
Amenaza Baja	Inundaciones generadas por rotura en cadena (Quimbo – Betania) con caudal pico de hasta 400.000 m ³ /s con descarga total de 4 horas generando inundaciones prolongadas con velocidad de descarga de 18 m/s hasta 2 m/s y con altura de láminas de agua entre 20 y 30 m en los primeros 140 km, a partir de los 140 km hasta los 200 km se mantiene estable la velocidad y la altura de la lámina disminuye hasta 2 m Con una probabilidad de ocurrencia muy baja teniendo en cuenta un alto índice de confiabilidad de la presa por desempeño

Fuente: WSP., 2019

A continuación, en la Figura 1-102 se presenta la zonificación por inundación

Figura 1-102 Zonificación de amenaza por inundación



Fuente: WSP, 2019

1.2.3.3.5 Evaluación de vulnerabilidad frente a inundaciones por rotura de presa y descargas

El término de elementos expuestos se refiere a la 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. Con el fin de establecer los elementos expuestos, se realizó la identificación de estos categorizados en cuatro factores a saber: físicos, económicos, sociales y ambientales. A continuación, se describe cada uno de ellos:

- Factores Físicos: Describe las características de ubicación en áreas propensas y las deficiencias de resistencia de los elementos expuestos, de los que depende su capacidad de absorber la acción del suceso que representa amenaza.
- Factores Ambientales: Corresponden a la manera como la comunidad “explota” los elementos de su entorno natural, debilitándose a sí misma y los ecosistemas y su capacidad para absorber sin traumatismos los diferentes eventos amenazantes.
- Factores Económicos: Corresponden a la disponibilidad de los recursos económicos (pobreza) en una comunidad, así como la utilización de estos. A nivel local e individual este aspecto se expresa en desempleo, insuficiencia de ingresos, dificultad o imposibilidad de acceso a los servicios.
- Factores Sociales: La comunidad puede ser más o menos vulnerable en el sentido que puede reaccionar como grupo organizado, mediante procesos de autoorganización, o con intereses particulares primando sobre los grupales, con relaciones más estrechas entre sus integrantes, o relaciones meramente circunstanciales. Los factores sociales por describir en este ítem incluyen el grado de escolaridad y deserción escolar de la población asentada en las veredas, asimismo, referencia los aspectos de participación y organización de las comunidades, los Consejos de Gestión del Riesgo, entidades de socorro y la percepción de los grupos de interés.

El nivel de vulnerabilidad de los factores mencionados será calificado de acuerdo con la siguiente Tabla 1-83.

Tabla 1-83 Calificación establecidas para el análisis de la vulnerabilidad socioambiental

N°	% de afectación en las veredas/ municipios	Vulnerabilidad	Rango calificación
1	0 -5 %	Muy Baja	1
2	6 - 10 %	Baja	2
3	11 - 15 %	Media	3
4	16 - 20 %	Alta	4
5	> 20%	Muy Alta	5

Fuente: WSP., 2019.

Asimismo, el análisis de los factores físicos, ambientales, económicos y sociales se realizó a partir de las siguientes categorías (Ver Tabla 1-84):

Tabla 1-84 Categorías establecidas para el análisis de la vulnerabilidad socioambiental

N°	Categoría	Ponderación
1	Exposición	40%
2	Fragilidad	60%

Fuente: WSP., 2019.

Durante la etapa de campo adelantada en el área de estudio se recolectó información primaria con los Consejos de Gestión del Riesgo, líderes comunitarios y demás grupos de interés, donde se aplicaron instrumentos de recolección de información, (entrevistas semi estructuradas con los Consejos de Gestión del Riesgo, ficha de caracterización socioeconómica, cartografía social enfocada en emergencias y georreferenciación) (Ver Anexos 1-3 Medio Socioeconómico); esta indagación, junto con la información obtenida de fuentes secundarias como DANE (2005), Departamento Nacional de Planeación (2017) y

Ministerio de Salud (2017), IGAC (2012), SIGOT (2017), fue procesada y consolidada en una matriz para desarrollar el análisis de la vulnerabilidad socioambiental. (Ver Anexo 1-3 Medio Socioeconómico -J: Matriz de análisis de vulnerabilidad).

1.2.3.3.5.1 Evaluación de vulnerabilidad física

Los elementos expuestos hacen referencia a los equipamientos sociales, vías, viviendas y ductos que por su localización pueden ser afectados, en caso de presentarse una emergencia en la Central Hidroeléctrica Betania, específicamente asociada a la inundación por rotura de la presa o descargas.

Asimismo, estos elementos de exposición se evalúan frente a la fragilidad que representan en el territorio y en caso de presentarse una emergencia. Esta interacción se hace relevante en tanto la fragilidad determina que tan sensible o qué posibilidad tienen para alterarse de manera negativa los elementos expuestos, ante un evento.

En el área de estudio se identificaron los elementos de infraestructura o equipamientos que prestan un servicio público o social a la población. Es común que los habitantes que residen en un territorio hagan uso de este equipamiento no solo para satisfacer sus necesidades básicas sino también como ayuda en el ejercicio de sus actividades cotidianas, tal es el caso de una placa deportiva que puede ser utilizada como punto de encuentro para la comunidad, o puede ser utilizada como sitio de esparcimiento y recreación. Como se mencionó anteriormente, en el área de estudio se identifica infraestructura de este tipo que, si bien es representativa, por otro lado, se considera escasa dadas las condiciones socioeconómicas presentes en el territorio y en ocasiones los múltiples propósitos con que se usan.

Al realizar el inventario de la infraestructura, se destaca la asociada con la prestación de los servicios públicos como acueductos, tanques de almacenamiento de agua, bocatomas, líneas de energía de alto voltaje y redes de energía eléctrica (líneas y transformadores), entre otros; así como también se destaca la infraestructura asociada con la prestación de los servicios públicos como casetas comunales, polideportivos, parques e instituciones educativas principalmente.

De la misma forma en el territorio se destaca otro tipo de elementos como lo es la infraestructura vial que puede variar desde tipo I hasta tipo VI, todas con una connotación importante para las comunidades en términos de uso, pero con una fragilidad relativa en tanto su alteración depende del tipo de material en que este construida o el tipo de vía en que está clasificada. Por ejemplo, las vías tipo I, usualmente son pavimentadas, tiene mayor cantidad de obras geotécnicas y se encuentran en buen estado lo cual permite inferir que son más resistentes en caso de que se presente una inundación. Este tipo de vías se encuentran presentes en todo el territorio susceptible a afectación en incluso existen tramos donde se encuentran interconectadas entre sí. En el área de posible afectación se identifica aproximadamente 1425,674 kilómetros de infraestructura vial terrestre, que permite el desplazamiento de personas, bienes y productos y cuya alteración podría impactar negativamente la dinámica de las comunidades presentes en dicha área.

Otro de los elementos expuestos identificados en el territorio que recibe una importancia considerable es la infraestructura habitacional o viviendas que se encuentran en la posible área de afectación. Estas viviendas se encuentran distribuidas en centros nucleados o de manera dispersa por el territorio; su estado y características varían según el tipo de material en que se encuentran construidas y los cuales marcan la pauta para predecir su resistencia ante un evento de emergencia, en este caso por inundación. Se destaca que en el territorio objeto de análisis existen poblaciones que poseen características socioeconómicas más precarias que permiten que existe un porcentaje significativo de construcciones en materiales no convencionales y más precarios como el bahareque, la palma y la tabla. También existen otras variables

asociadas no solo a su estado y características sino también a su localización, ya que se considera más vulnerable una vivienda que se encuentre cerca al río Magdalena a otra que se encuentre más alejada.

En la Fotografía 1-9 y la Fotografía 1-10 se ilustran los materiales de algunas viviendas en el área de posible afectación, específicamente en los municipios de Prado y Campoalegre.



Fuente: WSP., 2019.

De acuerdo con estudios realizados⁹⁹, las viviendas en bahareque presentan deterioro y desprendimiento del revoque, donde el agua deteriora el acabado superficial de los muros hasta provocar el desprendimiento de los muros. Asimismo, se presenta debilitamiento y desplome de viviendas al quedar la estructura de madera o caña como único elemento resistente en las construcciones. Por otro lado, se identifica que el bloque es un material poroso, no cocido, que en cierta medida es también vulnerable al agua; por ser un material relativamente nuevo, se han detectado graves errores ocasionados a la baja calidad de los bloques y la deficiente construcción de las viviendas.

Para evaluar la vulnerabilidad de los elementos expuestos, en este caso viviendas, se discriminaron las características físicas de las paredes, donde las viviendas con mayor porcentaje de materiales de construcción en adobe, bahareque o tapia pisada se encontraron con mayor frecuencia en los municipios de Natagaima, Coyaima y Tello. Por otra parte, se identificaron viviendas con condiciones de media vulnerabilidad de sus materiales en los municipios de Campoalegre, Yaguará y Rivera, incorporando en sus edificaciones muros en ladrillo, material con mayor resistencia al agua, ya que se endurece a las pocas horas de ponerse en contacto con agua y, por lo tanto, adquiere una mayor resistencia con el tiempo.

Finalmente, fueron mayores los porcentajes de viviendas con mejores condiciones de sus materiales las localizadas en los municipios de Neiva y Palermo. En la Fotografía 1.11, Fotografía 1.12, Fotografía 1.13 y Fotografía 1.14 se ilustran las características físicas de las viviendas localizadas en el área de estudio.



⁹⁹ ONU. IASC. Mesa sectorial de Alojamiento. El Salvador. Efectos de las inundaciones en la estructura de las viviendas. [en línea]. Sin fecha. [revisado 01 de abril 2019]. Disponible en Internet: <https://www.sheltercluster.org/sites/default/files/docs/Efectos%20de%20las%20inundaciones%20en%20el%20estado%20de%20las%20vivienda-s-%20final.pdf>



Fuente: Trabajo de campo - WSP, 2019.

Fotografía 1.13 Características físicas de las viviendas, vereda Cuisinde, Palermo

Fotografía 1.14 Características físicas de las viviendas, vereda La Manga, Aipe



Fuente: Trabajo de campo - WSP, 2019.

Es de resaltar que en las veredas Betania del municipio de Palermo, El Caguán-Isla la Gaitana del municipio de Neiva, Conchal y Catalán de Prado e Hilarco de Purificación, Polonia y La Calera de Villavieja, se registran fenómenos de socavación, erosión e inestabilidad de márgenes con presencia de viviendas, generando deslizamientos, derrumbes y avalanchas con consecuencias como inestabilidad del suelo, afectación a viviendas y pérdida de algunas de estas infraestructuras; fenómeno que la población refiere, se viene presentando desde hace aproximadamente 20 años. Asimismo, en la vereda Conchal fue necesario el traslado de estudiantes hacia otros centros educativos, debido a que la escuela se encuentra a 100m de distancia del río Magdalena. Por lo anterior, se estima que la capacidad de resiliencia física ante inundaciones en estas unidades territoriales menores es mínima. Ver Fotografía 1.15, Fotografía 1.16, Fotografía 1.17 y Fotografía 1.18

Fotografía 1.15 Área de socavación, erosión e inestabilidad de márgenes en Corregimiento El Caguan, vereda Isla Gaitana, Neiva

Fotografía 1.16 Área de socavación, erosión e inestabilidad de márgenes en Corregimiento El Caguan, vereda Isla Gaitana, Neiva



Fuente: Trabajo de campo - WSP, 2019.

Fotografía 1.17 Áreas de socavación del Rio Magdalena, vereda Conchal, Prado.

Fotografía 1.18 Áreas de socavación del Rio Magdalena, vereda Conchal, Prado.



Fuente: Trabajo de campo - WSP, 2019.

Se determinó que el área de estudio es conocida por tener una alta influencia del sector de los hidrocarburos por lo que existen kilómetros de tubería que transportan petróleo y sus derivados. Estos ductos se encuentran operados por diferentes empresas, entre estas, Hocol y Ecopetrol que se encargan de realizar su respectivo mantenimiento y determinan periódicamente su estado y capacidad de resistencia frente al medio. Actualmente, se registra la existencia de 80,062 kilómetros de ducto que podrían verse afectados en caso de inundación ocurrida en el territorio y causada por la Central Hidroeléctrica Betania. Estos ductos atraviesan los municipios de Aipe, Neiva, Villavieja en Huila, y en las unidades territoriales de los municipios de Natagaima y Purificación en el Tolima.

Para la valoración de la vulnerabilidad física se asignaron valores para cada una de las variables de exposición y fragilidad, donde se asignó el 60% para la primera y el 40% para la segunda.

La valoración de la exposición se realizó en función de la concentración de cada uno de los elementos expuestos de manera relativa para cada una de las unidades de análisis (veredas y centros poblados). Para la ponderación de cada uno de los elementos expuestos se asignaron los valores en porcentaje de acuerdo con la importancia establecida para cada uno. Dichos valores se asignaron así: Equipamientos 20%, vías 30%, viviendas 40% y ductos 10%. En la Tabla 1-85 y Tabla 1-86 se establece la calificación de elementos expuestos identificados por vereda.

La valoración de fragilidad se realizó únicamente para vías y viviendas teniendo en cuenta las características de la tipología de cada uno de los elementos para definir los posibles efectos o daños esperados frente a una inundación. La ponderación utilizada para la fragilidad corresponde a un factor de importancia de 60% para viviendas y 40% para vías. La calificación final de la valoración de vulnerabilidad física para las veredas de los municipios que pueden ser afectados por inundación se presentan en las siguientes Tabla 1-85 y Tabla 1-86.

Tabla 1-85 Nivel de exposición y fragilidad factor físico - Departamento del Huila

Municipio	Vereda	Exposición 40%				Fragilidad 60%		Nivel	Vulnerabilidad Física
		Infraestructura (equipamiento)	Vías	Viviendas	Ductos	Vías	Viviendas		
Aipe	Arrayán	1	1	1	1	5	4	2	Baja
	Dina	1	1	1	1	5	1	2	Baja
	Dindal	1	1	1	2	5	4	3	Media
	La Manga	1	1	1	1	5	4	3	Media
	Pata	1	1	1	1	5	4	3	Media
	Río Aipe	1	1	1	1	5	5	3	Media
	San Antonio	1	1	1	1	5	5	3	Media
	Ventanas	1	1	1	1	5	3	2	Baja
Campoalegre	Bejucal Bajo	1	1	1	1	5	4	2	Baja
	El Rincón	1	1	1	1	5	2	2	Baja
	El Viso	1	1	1	1	5	4	2	Baja
	La Esperanza	1	1	1	1	5	4	2	Baja
	La Sardinata	1	1	1	1	5	1	2	Baja
	La Vuelta	1	1	1	1	5	4	2	Baja
	Llano Norte	1	1	1	1	5	3	2	Baja
	Llano Sur	1	1	1	1	5	1	2	Baja
	Piravante Bajo	1	1	1	1	5	4	2	Baja
Vega de Oriente	1	1	1	1	5	4	2	Baja	
Neiva	Caguán	1	1	1	1	5	4	2	Baja
	El Centro Sur	1	1	1	1	5	1	2	Baja
	Fortalecillas	1	1	1	1	5	4	3	Media
	Guacirco San Jorge	1	1	1	1	5	2	2	Baja
	La Jagua	1	1	1	1	5	1	2	Baja
	La Mata	1	1	1	1	5	3	2	Baja
	Peñas Blancas	1	1	1	1	5	4	2	Baja

Municipio	Vereda	Exposición 40%				Fragilidad 60%		Nivel	Vulnerabilidad Física
		Infraestructura (equipamiento)	Vías	Viviendas	Ductos	Vías	Viviendas		
Neiva	San Andrés de Busiraco	1	1	1	1	5	3	2	Baja
	Venado	1	1	1	1	5	2	2	Baja
Palermo	Amborco	1	1	1	1	5	3	2	Baja
	Betania	1	1	1	1	5	2	2	Baja
	Cuisinde	1	1	1	1	5	1	2	Baja
	El Juncal	1	1	1	1	5	4	2	Media
	Orquídea	1	1	1	1	5	3	2	Baja
	San Miguel	1	1	1	1	5	5	3	Media
	Sardinata	1	1	1	1	5	1	2	Baja
Rivera	Arenoso	1	1	1	1	5	1	2	Baja
	El Albadán	1	1	1	1	5	5	3	Media
	El Dinde	1	1	1	1	5	3	2	Baja
	Río Frío	1	1	1	1	5	1	2	Baja
	Riverita	1	1	1	1	5	3	2	Baja
Tello	Cucharito	1	1	1	1	5	4	2	Baja
	Mesa Redonda	1	1	1	1	5	5	3	Media
Villavieja	El Cusco	1	1	1	1	5	5	3	Media
	Golondrinas	1	1	1	1	5	5	3	Media
	Hato Nuevo	1	1	1	1	5	3	2	Baja
	La Calera	1	1	1	1	5	5	3	Media
	La Victoria	1	1	1	1	5	2	2	Baja
	Libano	1	1	1	1	5	4	2	Baja
	Polonia	1	1	1	1	5	5	3	Media
	Potosí	1	1	1	1	5	2	2	Baja
	San Alfonso	1	1	1	1	5	4	2	Baja
San Juanito	1	1	1	1	5	5	3	Media	

Municipio	Vereda	Exposición 40%				Fragilidad 60%		Nivel	Vulnerabilidad Física
		Infraestructura (equipamiento)	Vías	Viviendas	Ductos	Vías	Viviendas		
Villavieja	San Nicolás Gaviotas	1	1	1	1	5	4	2	Media
Yaguará	Jaguar	1	1	1	1	1	5	2	Baja
	Letrán	1	1	1	1	5	3	2	Baja
	Vilú	1	1	1	1	5	2	2	Baja

Fuente: Fichas de caracterización socioeconómica- WSP, 2019, IGAC, 2012, DANE, 2005, DNP, 2017, Ministerio de Salud y Protección Social, 2017, Aguas del Huila, 2019.

Tabla 1-86 Nivel de exposición y fragilidad factor físico en el Tolima

Municipio	Vereda	Exposición 40%				Fragilidad 60%		Nivel	Vulnerabilidad Física
		Infraestructura (equipamiento)	Vías	Viviendas	Ductos	Vías	Viviendas		
Coyaima	Acevedo y Gómez	1	1	1	1	5	5	3	Media
	Bellavista	1	1	1	1	5	5	3	Media
	Buenos Aires Bocas de Hilarco	1	1	1	1	5	5	3	Media
	Cascabel	1	1	1	1	5	5	3	Media
	Chili	1	1	1	1	5	5	3	Media
	Coyarco	1	1	1	1	5	5	3	Media
	El Rosario	1	1	1	1	5	5	3	Media
	Hilarco Guayaquil	1	1	1	1	5	5	3	Media
	La Arenosa	1	1	1	1	1	5	2	Baja
	La Nueva Esperanza	1	1	1	1	5	5	3	Media
	Lomas Mesas de San Juan	1	1	1	1	5	5	3	Media
	Lusitania	1	1	1	1	1	5	2	Baja
	Mesas de Inca	1	1	1	1	5	5	3	Media
	Mesas de San Juan	1	1	1	1	5	5	3	Media
San Miguel	1	1	1	1	1	5	2	Baja	

Municipio	Vereda	Exposición 40%				Fragilidad 60%		Nivel	Vulnerabilidad Física
		Infraestructura (equipamiento)	Vías	Viviendas	Ductos	Vías	Viviendas		
	El Tambo Guayarco	1	1	1	1	1	5	2	Baja
Natagaima	Anarco	1	1	1	1	5	5	3	Media
	Baloca	1	1	1	1	5	5	3	Media
	Balsillas	1	1	1	1	5	5	3	Media
	Guasimal	1	1	1	1	5	5	3	Media
	Guasimal Mesas	1	1	1	1	5	5	3	Media
	La Molana	1	1	1	1	5	5	3	Media
	La Palmita	1	1	1	1	5	5	3	Media
	Mercadillo	1	1	1	1	5	5	3	Media
	Morro La María	1	1	1	1	1	5	2	Baja
	Palmalta	1	1	1	1	1	5	2	Baja
	Pocharco	1	1	1	1	5	5	3	Media
	Pueblo Nuevo	1	1	1	1	5	5	3	Media
	Rincón	1	1	1	1	5	5	3	Media
	San Miguel	1	1	1	1	1	5	2	Baja
	Tamirco	1	1	1	1	5	5	3	Media
	Tinajas	1	1	1	1	5	5	3	Media
	Velu	1	1	1	1	5	5	3	Media
	Yaco	1	1	1	1	5	5	3	Media
Yari	1	1	1	1	5	5	3	Media	
Prado	Catalán	1	1	1	1	5	5	3	Media
	Chenchito	1	1	1	1	5	4	2	Baja
	Conchal	1	1	1	1	5	5	3	Media
	La Chica	1	1	1	1	5	2	2	Baja
	Las Brisas	1	1	1	1	5	2	2	Baja
	Peñón Alto	1	1	1	1	5	4	2	Baja

Municipio	Vereda	Exposición 40%				Fragilidad 60%		Nivel	Vulnerabilidad Física
		Infraestructura (equipamiento)	Vías	Viviendas	Ductos	Vías	Viviendas		
	Primavera	1	1	1	1	5	5	3	Media
	Tortugas	1	1	1	1	5	5	3	Media
	Virginia	1	1	1	1	5	5	3	Media
Purificación	Baura	1	1	1	1	5	4	2	Baja
	Buenavista	1	1	1	1	5	1	2	Baja
	Cairo Brisas	1	1	4	1	1	4	2	Baja
	Cairo Leticia	1	1	1	1	5	4	2	Baja
	Cairo Socorro	1	1	1	1	5	4	2	Baja
	Cairo Santa Helena	1	1	1	1	5	4	2	Baja
	El Consuelo	1	1	1	1	5	4	2	Baja
	El Tambo	1	1	1	1	5	4	2	Baja
	El Tigre	1	1	1	1	5	4	2	Baja
	Hilarco	1	1	1	1	5	5	3	Media
	Holanda	1	1	1	1	5	4	2	Baja
	La Mata	1	1	1	1	5	1	2	Baja
	Las Damas	1	1	1	1	5	4	2	Baja
	Madroño	1	1	1	1	5	4	2	Baja
	Peñones Altos	1	1	1	1	1	4	2	Baja
	Remolinos	1	1	1	1	5	4	2	Baja
	Sabaneta	1	1	1	1	5	4	2	Baja
	Salitre	1	1	1	1	5	4	2	Baja
	San Francisco	1	1	1	1	5	4	2	Baja
Santa Lucía Baja	1	1	1	1	5	4	2	Baja	
Tamarindo	1	1	1	1	5	4	2	Baja	

Fuente: Fichas de caracterización socioeconómica- WSP, 2019, IGAC, 2012, DANE, 2005, DNP,2017, Ministerio de Salud y Protección Social, 2017, Aguas del Huila, 201

En términos de la valoración final de vulnerabilidad física para el departamento del Huila se establece que el 39,6% de las unidades territoriales poseen una vulnerabilidad física Media, dentro de las que se destacan las veredas Dindal, Río Aipe, San Antonio en Aipe; San Miguel en Palermo; El Albadán en Rivera; Mesa Redonda en Tello; y El Cusco, Golondrinas, La Calera, Polonia y San Juanito en Villavieja. El resto de las unidades territoriales, es decir el 60,4% puntuó como Baja, lo que indica que la vulnerabilidad es homogénea.

En cuanto a la valoración de la vulnerabilidad física en el área de afectación identificada en las unidades territoriales localizadas en el departamento de Tolima, se observa que se encuentra en las categorías Baja y Media en la siguiente proporción: 52% y 48%, respectivamente.

Por último, a nivel del área de afectación localizada en las cabeceras municipales de Natagaima, Neiva, Prado, Purificación y Villavieja la puntuación de los elementos expuestos fue Muy Baja, excepto por infraestructura en Neiva que se catalogó como Alta y Baja, respectivamente. Al igual que el territorio objeto de análisis de Huila y Tolima, la tendencia de la fragilidad del elemento vías se catalogó como Muy Alta y la fragilidad de las viviendas osciló entre Muy Baja y Media. Por último, la vulnerabilidad física se consideró Baja en todas estas cabeceras municipales. Lo anterior se evidencia de manera más detallada en la Tabla 1-87.

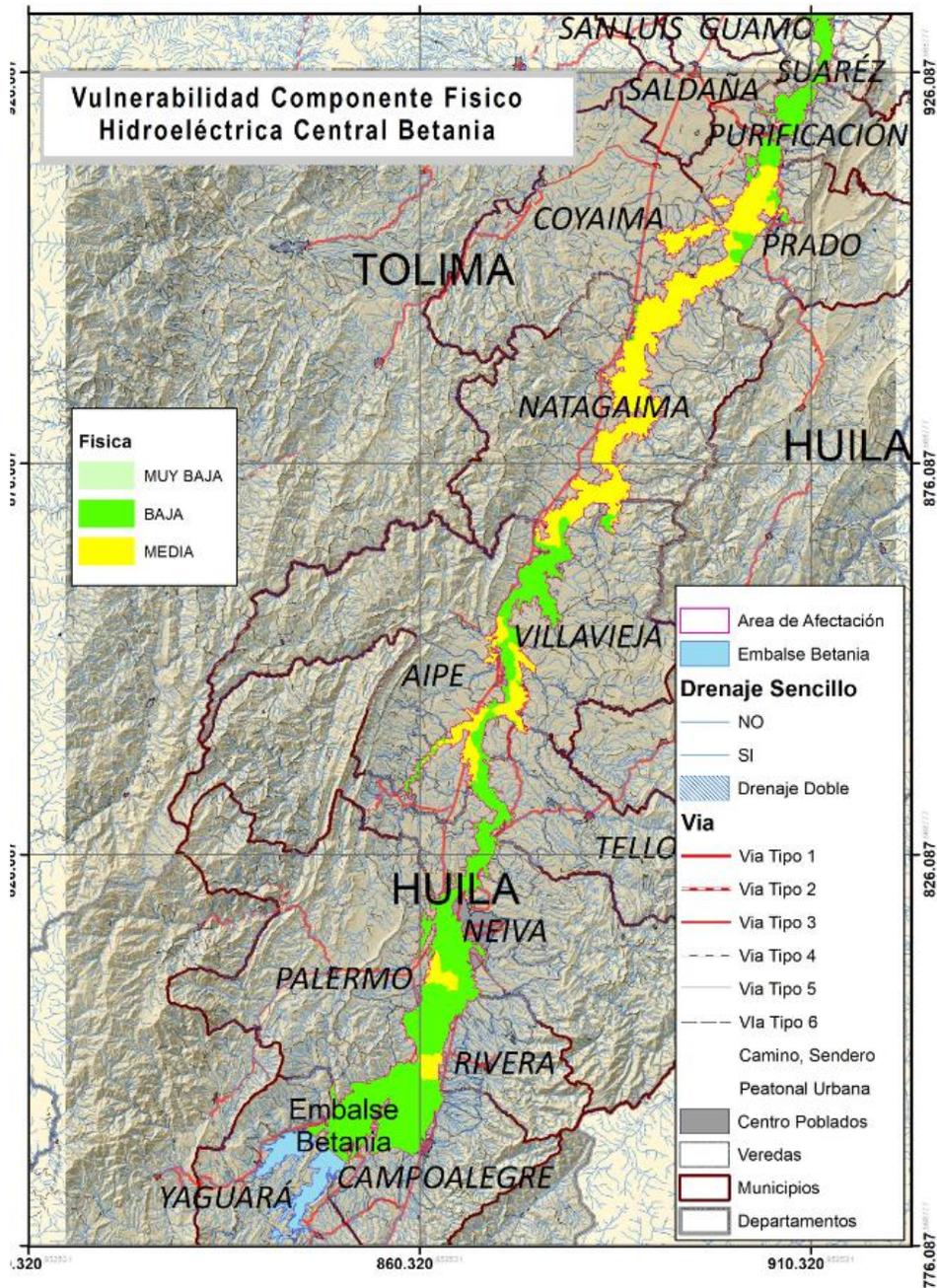
Tabla 1-87 Nivel de exposición y fragilidad factor físico en las cabeceras urbanas de Huila y Tolima

Municipio	Exposición				Fragilidad		Nivel	Vulnerabilidad Física
	Infraestructura (equipamiento)	Vías	Viviendas	Ductos	Vías	Viviendas		
Natagaima	1	1	1	1	5	3	2	Baja
Neiva	4	1	2	1	5	1	2	Baja
Prado	1	1	1	1	5	2	2	Baja
Purificación	1	1	1	1	5	2	2	Baja
Villavieja	1	1	1	1	5	3	2	Baja

Fuente: Fichas de caracterización socioeconómica- WSP, 2019, IGAC, 2012, DANE, 2005, DNP, 2017, Ministerio de Salud y Protección Social, 2017, Aguas del Huila, 2019.

En la Figura 1-103 se presenta la zonificación de la vulnerabilidad física por unidades de análisis (veredas, centros poblados y cabeceras municipales) para el área de posible inundación por rotura o descargas de la central hidroeléctrica de Betania.

Figura 1-103 Zonificación de la vulnerabilidad Física



Fuente: WSP, 2019

1.2.3.3.5.2 Evaluación de vulnerabilidad Ambiental

Para el análisis de vulnerabilidad ambiental se consideraron las coberturas que pueden ser más sensibles ante una amenaza por inundación, teniendo en cuenta que son áreas de conectividad ecológica, refugio y sustento de alimentación para la fauna y principales proveedores de servicios ecosistémicos para la población aledaña.

Las coberturas que se contemplaron para el análisis corresponden a sistemas lenticos que integran lagos, lagunas y humedales; ecosistemas sensibles y estratégicos que integra el Distrito de Manejo Integrado Desierto de la Tatacoa, la cobertura de bosque seco tropical y de bosque ripario.

Para el análisis de vulnerabilidad se tomó en cuenta la exposición que tienen en la unidad de análisis las coberturas analizadas y el grado de sensibilidad por fragilidad que la cobertura presenta frente a un evento de inundación. En la Tabla 1-88 se presenta los grados de fragilidad otorgados a cada cobertura; aclarando que solo se tomaron en cuenta las que se consideran más sensibles para la fauna y la flora ante una amenaza por rotura de presa.

Tabla 1-88 Grados de sensibilidad por fragilidad para las coberturas analizadas

Cobertura	Nivel	Grado de Fragilidad
Lagos, Lagunas y humedales	5	Muy Alta
Distrito Nacional Manejo Integrado (Desierto de la Tatacoa)	5	Muy Alta
Bosque seco tropical	4	Alta
Bosque ripario	3	Medio

En la Tabla 1-89 se presenta el nivel de exposición y fragilidad ambiental para el área de afectación de inundación por rotura de presa o descarga.

Tabla 1-89 Nivel de exposición y fragilidad factor ambiental

Municipio	Vereda	Exposición 40%				Fragilidad 60%				Nivel	Vulnerabilidad Ambiental
		Sistemas lenticos (Lagos, lagunas y humedales)	Distrito Nacional Manejo Integrado (Desierto de la Tatacoa)	Bosque Seco Tropical	Bosque ripario	Sistemas lenticos (Lagos, lagunas y humedales)	Distrito Nacional Manejo Integrado (Desierto de la Tatacoa)	Bosque Seco Tropical	Bosque ripario		
AIPE	ARRAYAN	1	1	1	1				3	2,2	BAJA
	DINDAL	2	1	1	1	5				3,8	ALTA
	LA MANGA	1	1	1	1	5	5		3	3,4	MEDIA
	PATA	1	2	1	1		5			3,8	ALTA
	RIO AIPE	1	1	1	1		5			3,4	MEDIA
	SAN ANTONIO	2	1	1	1	5			3	3,8	ALTA
	VENTANAS	1	1	1	1				3	2,2	BAJA
CAMPOALEGRE	BEJUCAL BAJO	1	1	2	1			4	3	3,2	MEDIA
	EL VISO	1	1	1	1	5				3,4	MEDIA
	LA SARDINATA	1	1	2	1	5		4	3	3,4	MEDIA
	LA VUELTA	1	1	1	1	5				3,4	MEDIA
	LLANO NORTE	1	1	1	1	5				3,4	MEDIA
	LLANO SUR	3	1	1	1	5				4,2	ALTA
	PIRAVANTE BAJO	1	1	2	1	5		4	3	3,4	MEDIA
COYAIMA	ACEVEDO Y GOMEZ	1	1	2	1			4	3	3,2	MEDIA
	BELLAVISTA	1	1	2	1			4	3	3,2	MEDIA
	CASCABEL	1	1	1	1			4	3	2,8	MEDIA
	CHILI	1	1	1	1			4	3	2,8	MEDIA

Municipio	Vereda	Exposición 40%				Fragilidad 60%				Nivel	Vulnerabilidad Ambiental
		Sistemas lenticos (Lagos, lagunas y humedales)	Distrito Nacional Manejo Integrado (Desierto de la Tatacoa)	Bosque Seco Tropical	Bosque ripario	Sistemas lenticos (Lagos, lagunas y humedales)	Distrito Nacional Manejo Integrado (Desierto de la Tatacoa)	Bosque Seco Tropical	Bosque ripario		
	EL ROSARIO	1	1	1	1	5		4	3	3,4	MEDIA
	LA ARENOSA	1	1	1	1				3	2,2	BAJA
	LA NUEVA ESPERANZA	1	1	2	1			4	3	3,2	MEDIA
	LOMAS MESAS DE SAN JUAN	1	1	1	1			4	3	2,8	MEDIA
	MESAS DE SAN JUAN	1	1	1	1			4	3	2,8	MEDIA
	SAN MIGUEL	1	1	1	1				3	2,2	BAJA
	TAMBO GUAYARCO	1	1	1	1			4	3	2,8	MEDIA
NATAGAIMA	ANACARCO	1	1	2	1			4	3	3,2	MEDIA
	BALOCA	1	1	1	1	5		4		3,4	MEDIA
	BALSILLAS	1	1	1	1	5				3,4	MEDIA
	GUASIMAL	1	1	1	1	5		4		3,4	MEDIA
	GUASIMAL MESAS	1	1	2	1	5		4	3	3,4	MEDIA
	LA MOLANA	1	1	1	1	5				3,4	MEDIA
	LA PALMITA	1	1	1	1	5				3,4	MEDIA
	MERCADILLO	1	1	2	1	5		4		3,4	MEDIA
	POCHARCO	1	1	1	2	5		4	3	3,4	MEDIA
	PUEBLO NUEVO	1	1	2	1	5		4	3	3,4	MEDIA
	RINCON	1	1	2	1			4	3	3,2	MEDIA
	SAN MIGUEL	1	1	1	1			4	3	2,8	MEDIA

Municipio	Vereda	Exposición 40%				Fragilidad 60%				Nivel	Vulnerabilidad Ambiental
		Sistemas lenticos (Lagos, lagunas y humedales)	Distrito Nacional Manejo Integrado (Desierto de la Tatacoa)	Bosque Seco Tropical	Bosque ripario	Sistemas lenticos (Lagos, lagunas y humedales)	Distrito Nacional Manejo Integrado (Desierto de la Tatacoa)	Bosque Seco Tropical	Bosque ripario		
	TAMIRCO	1	1	1	1			4	3	2,8	MEDIA
	TINAJAS	1	1	2	1	5		4		3,4	MEDIA
	VELU	1	1	2	1	5		4	3	3,4	MEDIA
	YARI	1	1	1	1			4	3	2,8	MEDIA
NEIVA	FORTALECILLA	2	1	1	1	5				3,8	ALTA
	GUACIRCO - SAN JORGE	1	1	1	1	5				3,4	MEDIA
	LA MATA	1	1	1	1				3	2,2	BAJA
	SAN ANDRES DE BUSIRACO	2	1	1	1	5			3	3,8	ALTA
	VENADO	1	1	1	1	5				3,4	MEDIA
PALERMO	AMBORCO	2	1	1	1	5				3,8	ALTA
	BETANIA	2	1	1	2	5			3	3,8	ALTA
	CUISINDE	2	1	1	1	5				3,8	ALTA
	EL JUNCAL	3	1	1	1	5				4,2	ALTA
	ORQUIDEA	1	1	1	1	5				3,4	MEDIA
	SAN MIGUEL	2	1	1	1	5			3	3,8	ALTA
PRADO	CHENCHITO	1	1	1	1	5			3	3,4	MEDIA
	LAS BRISAS	1	1	1	1				3	2,2	BAJA
	PEÑON ALTO	1	1	1	1	5		4	3	3,4	MEDIA
	PRIMAVERA	1	1	2	1			4	3	3,2	MEDIA

Municipio	Vereda	Exposición 40%				Fragilidad 60%				Nivel	Vulnerabilidad Ambiental
		Sistemas lenticos (Lagos, lagunas y humedales)	Distrito Nacional Manejo Integrado (Desierto de la Tatacoa)	Bosque Seco Tropical	Bosque ripario	Sistemas lenticos (Lagos, lagunas y humedales)	Distrito Nacional Manejo Integrado (Desierto de la Ratacoa)	Bosque Seco Tropical	Bosque ripario		
	TORTUGAS	2	1	3	1	5		4	3	3,8	ALTA
	VIRGINIA	1	1	1	1	5				3,4	MEDIA
PURIFICACIÓN	CAIRO LETICIA	1	1	1	1	5				3,4	MEDIA
	EL TAMBO	1	1	2	1			4	3	3,2	MEDIA
	EL TIGRE	1	1	2	1			4	3	3,2	MEDIA
	LA MATA	1	1	1	1			4	3	2,8	MEDIA
	SABANETA	1	1	1	1	5		4	3	3,4	MEDIA
	SALITRE	2	1	1	1	5			3	3,8	ALTA
	SAN FRANCISCO	2	1	1	1	5				3,8	ALTA
	SANTA LUCIA BAJA	1	1	1	1			4	3	2,8	MEDIA
	RIVERA	ARENOSO	2	1	1	1	5				3,8
EL ALBADAN		2	1	1	1	5		4	3	3,8	ALTA
RÍO FRÍO		2	1	1	1	5			3	3,8	ALTA
RIVERITA		1	1	4	1	5		4	3	4	ALTA
TELLO	CUCHARITO	1	1	1	1				3	2,2	BAJA
VILLAVIEJA	EL CUSCO	1	3	1	1		5			4,2	ALTA
	HATO NUEVO	1	1	1	1	5				3,4	MEDIA
	LA CALERA	1	1	2	1			4		3,2	MEDIA
	LA VICTORIA	1	2	1	1	5	5			3,8	ALTA
	LIBANO	1	2	1	1	5	5			3,8	ALTA

Municipio	Vereda	Exposición 40%				Fragilidad 60%				Nivel	Vulnerabilidad Ambiental
		Sistemas lenticos (Lagos, lagunas y humedales)	Distrito Nacional Manejo Integrado (Desierto de la Tatacoa)	Bosque Seco Tropical	Bosque ripario	Sistemas lenticos (Lagos, lagunas y humedales)	Distrito Nacional Manejo Integrado (Desierto de la Ratacoa)	Bosque Seco Tropical	Bosque ripario		
	POLONIA	1	2	1	1		5			3,8	ALTA
	SAN JUANITO	1	1	2	1			4		3,2	MEDIA
	SAN NICOLAS GAVIOTAS	1	5	1	1	5	5			5	MUY ALTA
YAGUARÁ	LETRAN	1	1	1	1				3	2,2	BAJA

✓ **Distrito Nacional de Manejo Integrado Desierto De La Tatacoa**

De acuerdo con los análisis de vulnerabilidad ambiental realizados para la zona del desierto de la Tatacoa se obtuvo como resultado una categorización de vulnerabilidad ambiental muy alta. Pese a que es un área con características de región semiárida, procesos de desertificación, degradación de sus suelos y agotamiento de los recursos hídricos, esto debido al resultado de las actividades humanas desarrolladas en una zona frágil, aún se conservan algunas especies de flora y fauna que se han adaptado a las condiciones áridas y semiáridas del sitio, desarrollando adaptaciones relacionadas con el acceso al agua del suelo (raíces horizontales y verticales)¹⁰⁰, que son consideradas de importancia para el equilibrio del sitio. Entre las especies vegetales se pueden encontrar algunas típicas de zonas desérticas como el cactus, uno de los cuales produce una baya roja comestible y el algodón de monte. Especies de fauna asociada como serpientes de cascabel, arácnidos (arañas y escorpiones), águilas, lagartos y comadrejas.

Actualmente, según el Acuerdo número 008 del 25 de septiembre de 2014 expedido por el consejo de la CAM, LA Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena, declaró el desierto de La Tatacoa como distrito regional de manejo integrado, dividiendo el área en cuatro zonas, una de preservación, otra de restauración, la tercera para uso sostenible y la que será dedicada en forma general para uso público¹⁰¹.

Por otra parte, se debe destacar que el desierto de la Tatacoa es un lugar que alberga una riqueza arqueológica de gran magnitud, se han descubierto fósiles de moluscos, tortugas, roedores, armadillos y perezosos gigantes (algunos del tamaño de un elefante y de más de 60.000 años de antigüedad) hallados por los científicos han llevado a plantear que para albergar y mantener tal diversidad de fauna del terciario y la época pleistocénica. Por lo que es una zona de importancia para la conservación actual de la flora y fauna existe y la memoria histórica de los ecosistemas que alguna vez se desarrollaron en la zona.

✓ **Lagos, lagunas y humedales**

Para el análisis de vulnerabilidad ambiental se considera los lagos, lagunas y humedales dentro de la categoría de fragilidad muy alta debido a que se consideran refugio de fauna y flora que prestan innumerables beneficios a la sociedad; adicional a los usos del agua para diferentes actividades. Entre los servicios ecosistémicos que prestan los humedales se encuentran la regulación hídrica (tanto superficial como subterránea), lo cual permite la provisión en épocas de estiaje y la mitigación de impactos en temporada de lluvias. Así como, el control de la erosión y el transporte de sedimentos, aportando directamente a los procesos de adaptación al cambio climático.

Los beneficios de los humedales comprenden una gran variedad de bienes, servicios y usos para la sociedad, la flora y la fauna silvestre, así como para el mantenimiento de sistemas y procesos naturales. Los humedales figuran entre los ecosistemas más productivos de la tierra y son fuentes de diversidad biológica, pues aportan el agua y la productividad primaria de la que innumerables especies vegetales y animales dependen para su supervivencia. Sustentan elevadas concentraciones de aves, mamíferos, reptiles, anfibios, peces y especies invertebradas. Los humedales son asimismo importantes lugares de almacenamiento de material genético vegetal. El arroz, por ejemplo, una planta común de los humedales, es el alimento básico de más de la mitad de la humanidad.

✓ **Bosque seco tropical**

De acuerdo con el análisis de vulnerabilidad de las coberturas boscosas y cuerpos de agua que podrían verse afectados si ocurre una rotura de presa, descarga o déficit de agua se encuentra el bosque seco tropical, su

¹⁰⁰ Disponible en <http://ecosistemaestrategicotatacoa.blogspot.com/>

¹⁰¹ Disponible en <https://www.lanacion.com.co/2014/10/01/la-tatacoa-fue-declarado-distrito-regional/>

fragilidad se considera alta. Este resultado surge dadas las condiciones de fragilidad, poca representatividad en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas y el alto nivel de amenaza en el que se encuentra a nivel mundial. En Colombia de acuerdo con las investigaciones realizadas por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH); cubría más de un millón y medio de hectáreas las cuales existían a lo largo de una franja adyacente al río Magdalena, sobre llanuras de desborde y sectores de terrazas en pendientes cortas y fuertes; pero actualmente se estima que la cobertura del bosque seco del país es del 1,5 % de su cobertura original. Dicho remanente estaría presente en áreas de intenso uso agropecuario, como es el caso de la región Caribe y los valles interandinos (Cauca y Magdalena), lo cual genera una presión muy fuerte para mantener las pequeñas zonas conservadas actualmente.



Fuente: WSP., 2018

Debe considerarse además que el bosque seco tropical es de suma importancia ya que posee una biodiversidad única de plantas y animales que se han adaptado a condiciones de estrés hídrico, lo cual deriva en altos niveles de endemismo, alrededor de ochenta y tres (83) especies de plantas, treinta y tres (33) especies de aves y tres (3) especies de mamíferos. De igual forma presenta servicios fundamentales para las comunidades humanas como la regulación hídrica, la retención de suelos, y la captura de carbono que regula el clima y la disponibilidad de agua y nutrientes, suministran especies de leguminosas forrajeras, ornamentales y frutales importantes para el sustento y el bienestar de los pobladores aledaños a ellos¹⁰².

Aunque los bosques secos contienen especies que se han adaptado a condiciones de sequía a través de modificaciones físicas en su estructura como hojas compuestas pequeñas, cortezas lisas y presencia de aguijones o espinas o la más evidente, la pérdida de la totalidad de hojas, están sujetas a estacionalidades y su resiliencia se enmarca dentro de los ciclos normales de sequía. Sin embargo, si en el proceso confluye un factor externo que afecta la disponibilidad de agua y altera los procesos normales de disponibilidad de agua, los individuos tenderán a sufrir un estrés hídrico mayor al habitual y podrán verse afectados y perecer, ocasionando la pérdida de especies vegetales propias de los bosques secos tropicales, tan sensibles y vulnerables por afectaciones antrópicas. En cuanto a los bosques riparios encargados de la regulación de

¹⁰² Pizano, C y H. García (Editores). 2014. El bosque Seco Tropical en Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá. D.C., Colombia

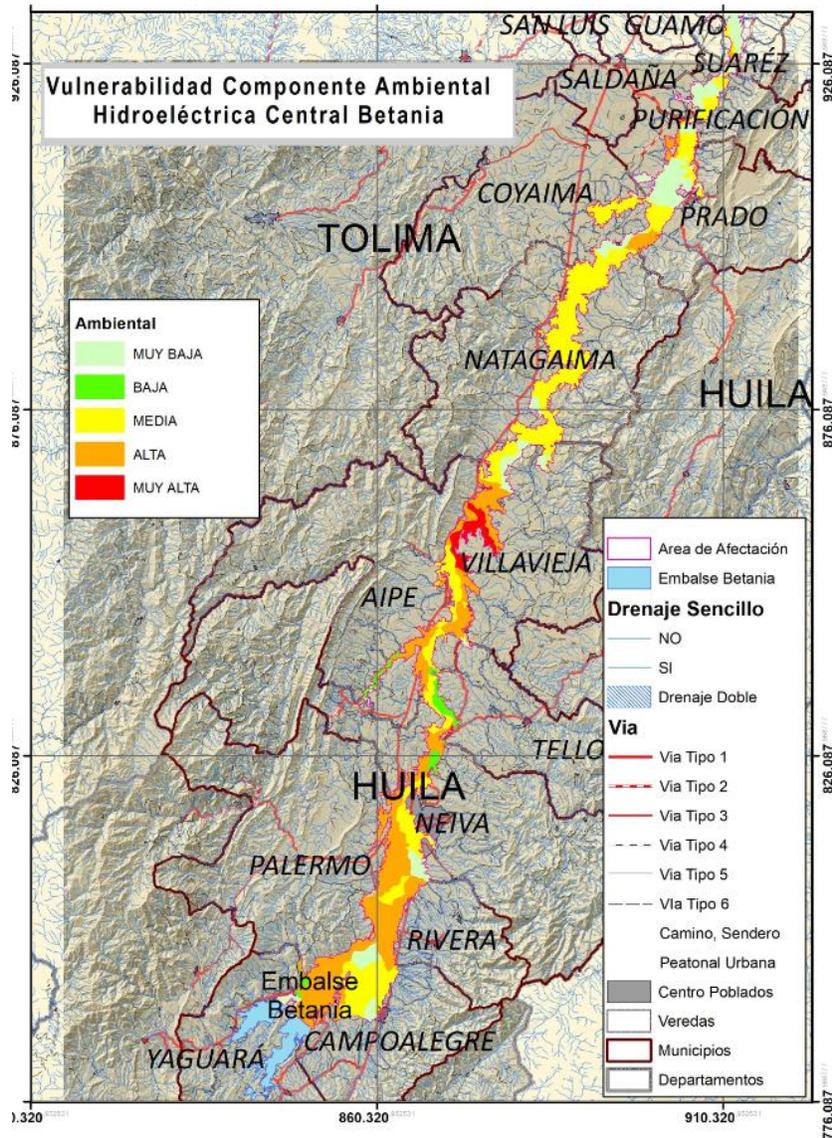
los caudales que entran a los ríos, tendrían que recurrir a los reservorios de agua del suelo y su probabilidad de afectación sería menor comparada con los bosques secos tropicales.

✓ **Bosque Ripario**

De acuerdo con los análisis de fragilidad, la cobertura de bosque ripario se catalogó con una vulnerabilidad ambiental media debido a que contribuye al equilibrio ecológico, ofreciendo protección para las aguas y el suelo, reduciendo la sedimentación y la fuerza de las aguas que llegan a ríos, lagos y represas, manteniendo la calidad del agua e impidiendo la entrada de contaminantes al medio acuático. Forman, además, corredores que contribuyen a la conservación de la biodiversidad, suministran alimento y refugio para la fauna; constituyen barreras naturales contra la propagación de plagas y enfermedades de la agricultura; y, durante su crecimiento, absorben y fijan dióxido de carbono. Sin embargo, por su ubicación y fácil acceso se convierten en puntos vulnerables y una de las primeras coberturas que se verían afectadas en caso de ocurrir una rotura de presa, descarga o déficit de agua.

En la Figura 1-104 se presenta la zonificación por vulnerabilidad ambiental por unidades de análisis (veredas, centros poblados y cabeceras municipales) para el área de posible inundación por rotura o descargas de la central hidroeléctrica de Betania.

Figura 1-104 Zonificación de la vulnerabilidad ambiental



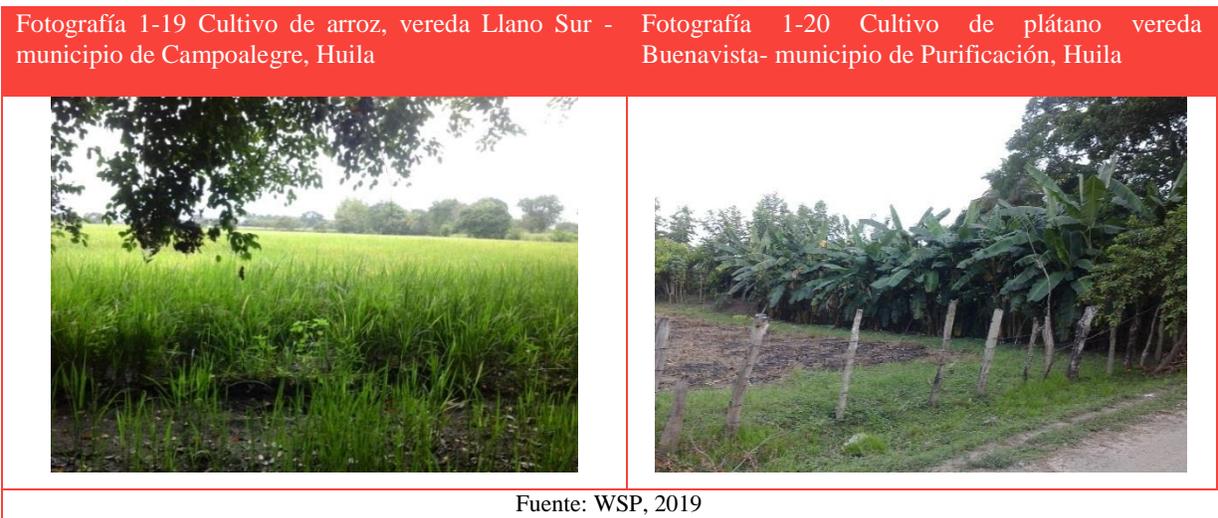
Fuente: WSP, 2019

1.2.3.3.5.3 Evaluación de vulnerabilidad Económica

El análisis de la exposición por factores económicos relaciona el área potencialmente afectada ante la ocurrencia de una inundación en las unidades territoriales del área de estudio frente al área productiva.

En este sentido cabe señalar la alta dependencia de la población hacia las actividades del sector primario, basados principalmente en el cultivo de arroz, plátano, yuca y frutales (ver Fotografía 1-19 y Fotografía 1-20) y en la producción pecuaria (cría de aves y ganado bovino, porcino, caprino). Las tierras cultivables se consolidan sobre zonas planas en cercanías de quebrada y ríos que pueden verse afectados por

inundaciones hecho que representa un gran impacto sobre la calidad de vida de las comunidades ya que se afectan sus medios de subsistencia.



Para el análisis de la fragilidad por factores económicos se toma como referencia los rangos de propiedad definidos por El Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). A cada rango de tamaño de predio se asociada un nivel de fragilidad, entre menor sea el tamaño del predio mayor es la fragilidad, como se presenta en la Tabla 1-90.

Tabla 1-90 Tamaño de predios y fragilidad asociada

	Tamaño del predio	Nivel Fragilidad
Microfundio	Predios menores de 3 hectáreas	5
Minifundio	Predios entre 3 y 10 hectáreas	4
Pequeña	Predios entre 10 y 20 hectáreas	3
Mediana	Predios entre 20 y 200 hectáreas	2
Grande	Predios con una extensión mayor a 200 hectáreas	1

Fuente: IGAC, 2012.

Para el cálculo de la vulnerabilidad económica se realizó una ponderación entre la exposición y la fragilidad, asignándole una proporción del 40% a la exposición y una del 60% a la fragilidad. De esta manera, se analiza el nivel de exposición definida según el área productiva y la fragilidad según el tamaño de predio, valores a partir de los cuales se obtuvo la vulnerabilidad económica para las unidades territoriales del área de posible inundación.

El nivel de exposición para todas las unidades territoriales del departamento del Huila es muy bajo (Ver en la Tabla 1-91), es decir que el área productiva posiblemente afectada por vereda con respecto al total del área productiva dentro del área de posible inundación es menor al 10%. Sin embargo, cabe señalar que al hacer la relación entre el área productiva o de cultivos por unidad territorial con respecto al total del área afectada en la unidad territorial se observa que en el 70,9% de las unidades territoriales del departamento del Huila, se afecta más del 50% del área productiva, lo que representa una afectación de magnitud considerable, más aún, si se tiene en cuenta la vocación agrícola de las comunidades rurales.

El 89,1% de las veredas del área de posible inundación pertenecientes al departamento del Huila presentan una fragilidad muy alta de acuerdo con el tamaño del predio, es decir que los predios tienen un área inferior a 3 ha. Respecto al 10,9% restante, es importante señalar algunas particularidades: las veredas de El Cuzco y San Alfonso en el municipio de Villavieja y Sardinata en Palermo presentan una fragilidad alta, mientras que en la vereda Vega de Oriente de Campoalegre la fragilidad es media. Se observa además que las veredas Bejucal Bajo en Campoalegre y el Líbano en Villavieja, presentan una fragilidad media. No hay unidades territoriales con fragilidad económica muy baja, es decir que no hay predios dentro del área de estudio de más de 200 ha.

Tabla 1-91 Nivel de vulnerabilidad económica de las unidades territoriales del departamento del Huila

Departamento	Municipio	Vereda	Exposición	Fragilidad	Nivel	Vulnerabilidad Económica
Huila	Aipe	Arrayan	1	5	3	Media
		Dina	1	5	3	Media
		Dindal	1	5	3	Media
		La Manga	1	5	3	Media
		Pata	1	5	3	Media
		Río Aipe	1	5	3	Media
		San Antonio	1	5	3	Media
		Ventanas	1	5	3	Media
	Campoalegre	Bejucal Bajo	1	2	2	Baja
		El Rincón	1	5	3	Media
		El Viso	1	5	3	Media
		La Esperanza	1	5	3	Media
		La Sardinata	1	5	3	Media
		La Vuelta	1	5	3	Media
		Llano Norte	1	5	3	Media
		Llano Sur	1	5	3	Media
		Piravante Bajo	1	5	3	Media
		Vega De Oriente	1	3	2	Baja
	Neiva	Caguán	1	5	3	Media
		El Centro Sur	1	5	3	Media
		Fortalecilla	1	5	3	Media
		Guacirco - San Jorge	1	5	3	Media
		La Jagua	1	5	3	Media
		La Mata	1	5	3	Media
		Peñas Blancas	1	5	3	Media
		San Andrés de Busiraco	1	5	3	Media
		Venado	1	5	3	Media
	Palermo	Amorco	1	5	3	Media
		Betania	1	5	3	Media
		Cuisinde	1	5	3	Media
		El Juncal	1	5	3	Media
		Orquídea	1	5	3	Media
		San Miguel	1	5	3	Media
		Sardinata	1	4	3	Media
	Rivera	Arenoso	1	5	3	Media
		El Albadan	1	5	3	Media

Departamento	Municipio	Vereda	Exposición	Fragilidad	Nivel	Vulnerabilidad Económica
	Tello	El Dinde	1	5	3	Media
		Río Frío	1	5	3	Media
		Riverita	1	5	3	Media
		Cucharito	1	5	3	Media
		Mesa Redonda	1	5	3	Media
	Villavieja	El Cusco	1	4	3	Media
		Golondrinas	1	5	3	Media
		Hato Nuevo	1	5	3	Media
		La Calera	1	5	3	Media
		La Victoria	1	5	3	Media
		Líbano	1	2	2	Baja
		Polonia	1	5	3	Media
		Potosi	1	5	3	Media
		San Alfonso	1	4	3	Media
		San Juanito	1	5	3	Media
	San Nicolas Gaviotas	1	5	3	Media	
	Yaguará	Jaguar	1	5	3	Media
		Letran	1	5	3	Media
		Vilu	1	5	3	Media

Fuente: IGAC, Adaptado por WSP, 2019

Bajo la misma línea de análisis, en la Tabla 1-92 se presenta el nivel de exposición y fragilidad definidas para las unidades territoriales del departamento de Tolima a partir de las cuales se obtuvo la vulnerabilidad económica respectiva.

Tabla 1-92 Nivel de vulnerabilidad económica de las unidades territoriales del departamento del Tolima

Departamento	Municipio	Vereda	Exposición	Fragilidad	Rango	Vulnerabilidad Económica
Tolima	Coyaima	Acevedo y Gómez	1	5	3	Media
		Bellavista	1	5	3	Media
		Buenos Aires Bocas de Hilarco	1	5	3	Media
		Cascabel	1	5	3	Media
		Chili	1	5	3	Media
		Coyarco	1	5	3	Media
		El Rosario	1	5	3	Media
		Hilarco Guayaquil	1	5	3	Media
		La Arenosa	1	2	2	Baja
		La Nueva Esperanza	1	5	3	Media
		Lomas Mesas de San Juan	1	5	3	Media
		Lusitania	1	1	1	Muy Baja
		Mesas de Inca	1	5	3	Media
		Mesas de San Juan	1	5	3	Media
		San Miguel	1	5	3	Media
		Tambo Guayarco	1	5	3	Media
		Natagaima	Anacarco	1	5	3
	Baloca		1	5	3	Media

Departamento	Municipio	Vereda	Exposición	Fragilidad	Rango	Vulnerabilidad Económica
		Balsillas	1	5	3	Media
		Guasimal	1	5	3	Media
		Guasimal Mesas	1	5	3	Media
		La Molana	1	5	3	Media
		La Palmita	1	5	3	Media
		Mercadillo	1	5	3	Media
		Morro La Maria	1	5	3	Media
		Palmalta	1	1	1	Muy Baja
		Pocharco	1	5	3	Media
		Pueblo Nuevo	1	5	3	Media
		Rincón	1	5	3	Media
		San Miguel	1	5	3	Media
		Tamirco	1	5	3	Media
		Tinajas	1	5	3	Media
		Velu	1	5	3	Media
		Yaco	1	5	3	Media
		Yari	1	5	3	Media
	Prado	Catalán	1	5	3	Media
		Chenchito	1	5	3	Media
		Conchal	1	5	3	Media
		La Chica	1	4	3	Media
		Las Brisas	1	5	3	Media
		Peñón Alto	1	5	3	Media
		Primavera	1	5	3	Media
		Tortugas	1	5	3	Media
		Virginia	1	5	3	Media
	Purificación	Baura	1	5	3	Media
		Buenavista	1	5	3	Media
		Cairo Brisas	1	5	3	Media
		Cairo Leticia	1	5	3	Media
		Cairo Socorro	1	5	3	Media
		Cairo Santa Helena	1	5	3	Media
		El Consuelo	1	5	3	Media
		El Tambo	1	5	3	Media
		El Tigre	1	5	3	Media
		Hilarco	1	5	3	Media
		Holanda	1	5	3	Media
		La Mata	1	5	3	Media
		Las Damas	1	5	3	Media
		Madroño	1	5	3	Media
		Peñones Altos	1	1	1	Muy Baja
		Remolinos	1	5	3	Media
		Sabaneta	1	5	3	Media
		Salitre	1	5	3	Media
	San Francisco	1	5	3	Media	
	Santa Lucia Baja	1	5	3	Media	
	Tamarindo	1	5	3	Media	

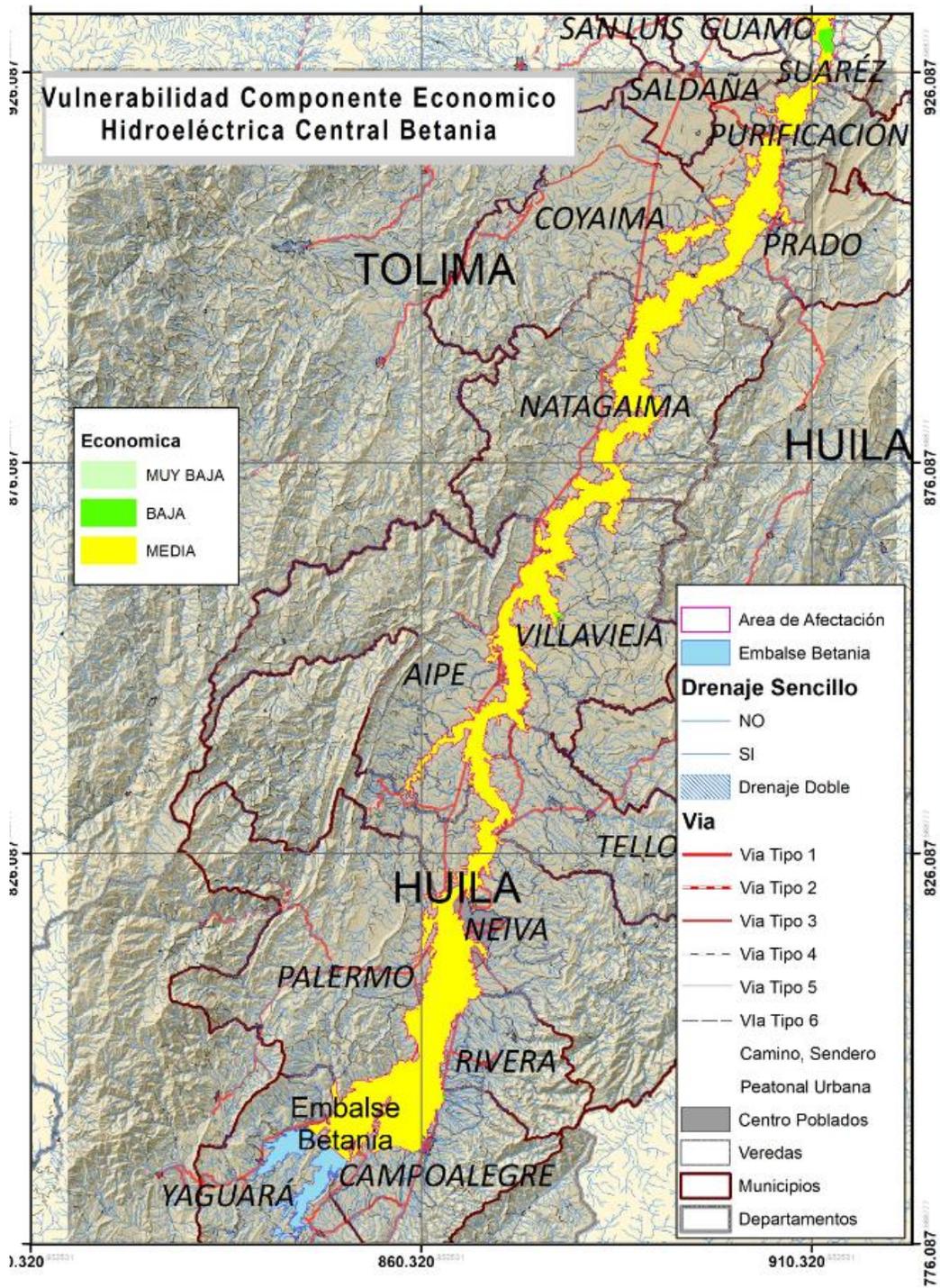
Fuente: IGAC, Adaptado por WSP, 2019.

Al igual que para las unidades territoriales del departamento del Huila, en el Tolima, el nivel de exposición es muy bajo, es decir que el área productiva posiblemente afectada por vereda con respecto al total del área productiva dentro del área de estudio es menor al 10%. Cabe señalar que al hacer la relación entre el área productiva o de cultivos por unidad territorial con respecto al total del área afectada en la unidad territorial se observa que en el 62,0% de las unidades territoriales del departamento del Tolima, se afecta más del 50% del área productiva

Respecto al nivel de fragilidad, se obtiene que en el 90,1% de las unidades territoriales el nivel de fragilidad es muy alta, es decir predomina los predios de menos de 3 ha. La vereda La Chica en el municipio de Prado presenta una fragilidad alta, mientras que en la vereda Agua Blanca del municipio de Suárez la fragilidad es media. Por otra parte, se observa que las veredas La Arenosa en Coyaima y La Honda en Suárez presentan una fragilidad media y en las veredas de Lusitania en Coyaima y Palmalta en Natagaima donde predomina los predios de más de 200 ha la fragilidad frente a la amenaza es muy baja.

En la Figura 1-105 se presenta la zonificación de la vulnerabilidad económica a nivel de vereda para el área de posible inundación por rotura de presa o descargas.

Figura 1-105 Zonificación de la vulnerabilidad económica



Fuente: WSP, 2019

1.2.3.3.5.4 Evaluación de vulnerabilidad social

Los factores sociales que a continuación se describen incluyen el tipo de población asentada, la distribución poblacional por rangos de edad y las coberturas en los servicios sociales de educación y salud, a partir de las dos categorías de análisis establecidas: exposición y fragilidad.

En lo relacionado con la *exposición social*, esta se tuvo en cuenta la concentración relativa de la población asentada en cada unidad territorial (vereda, centro poblado y cabecera municipal), identificando los resguardos indígenas. Asimismo, se consideran dentro del análisis las condiciones de *fragilidad de la población*, concebida como la predisposición de las comunidades de ser afectadas por una inundación. Para la valoración de fragilidad se tuvieron en cuenta las siguientes variables: rangos de edad de la población entre los 0 y los 5 años de edad, población mayor de 63 años de edad, cobertura escolar, cobertura de salud de la población y necesidades básicas insatisfechas.

Para la ponderación de estas variables se establecieron los siguientes porcentajes:

- Necesidades Básicas Insatisfechas-NBI: 60%
- Rangos de edad: 20%
- Cobertura del servicio de Salud: 10%
- Cobertura del servicio de Educación: 10%

A continuación, se relacionan los resultados del análisis de vulnerabilidad social discriminados por departamentos, municipios y unidades de análisis definidos para el área de posible inundación. (Ver Tabla 1-93, Tabla 1-94 y Tabla 1-95)

Tabla 1-93 Nivel de exposición y fragilidad factor social- Departamento del Huila

Municipio	Unidad Territorial	Exposición (40%)	Fragilidad (60%)				Nivel	Vulnerabilidad Social	
		Población en el área de estudio	Rangos de edad (20%)	Población por debajo del NBI (60%)	Cobertura escolar (10%)	Cobertura de salud (10%)			Total
Aipe	Arrayán	1	2	3	1	1	3	2	Baja
	Dina	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	Dindal	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	La Manga	1	2	4	1	1	3	2	Baja
	Pata	1	1	4	1	1	3	2	Baja
	Rio Aipe	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	San Antonio	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	Ventanas	1	2	4	1	1	3	2	Baja
Campoalegre	Bejucal Bajo	1	2	3	1	1	2	2	Baja
	El Rincón	1	2	3	1	1	2	2	Baja
	El Viso	1	2	3	1	1	2	2	Baja
	La Esperanza	1	2	3	1	1	2	2	Baja
	La Sardinata	1	3	3	1	1	3	2	Baja
	La Vuelta	1	2	3	1	1	2	2	Baja
	Llano Norte	1	3	3	1	1	3	2	Baja
	Llano Sur	1	2	3	1	1	2	2	Baja
	Piravante Bajo	1	2	3	1	1	2	2	Baja
	Vega de Oriente	1	2	3	1	1	2	2	Baja
Neiva	Caguán	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	El centro sur	1	2	4	1	1	3	2	Baja
	Fortalecilla	1	2	4	1	1	3	2	Baja
	Guacirco - San Jorge	1	3	4	3	1	3	2	Baja
	La Jagua	1	2	4	1	1	3	2	Baja

Municipio	Unidad Territorial	Exposición (40%)	Fragilidad (60%)				Nivel	Vulnerabilidad Social	
		Población en el área de estudio	Rangos de edad (20%)	Población por debajo del NBI (60%)	Cobertura escolar (10%)	Cobertura de salud (10%)			Total
	La Mata	1	2	4	2	1	3	2	Baja
Neiva	Peñas Blancas	1	2	4	1	1	3	2	Baja
	San Andrés de Busiraco	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	Venado	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	Amborco	1	3	3	1	1	3	2	Baja
Palermo	Betania	1	3	3	1	1	3	2	Baja
	Cuisinde	1	3	3	1	1	3	2	Baja
	El Juncal	1	3	3	1	1	3	2	Baja
	Orquídea	1	3	3	1	1	3	2	Baja
	San Miguel	1	2	3	1	1	2	2	Baja
	Sardinata	1	3	3	1	1	3	2	Baja
	Arenoso	1	3	3	1	1	3	2	Baja
Rivera	El Albadan	1	2	3	1	1	2	2	Baja
	El dinde	1	3	3	1	1	3	2	Baja
	Río frío	1	3	3	1	1	3	2	Baja
	Riverita	1	3	3	1	1	3	2	Baja
	Cucharito	1	2	4	2	1	3	2	Baja
Tello	Mesa Redonda	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	El cusco	1	2	4	1	1	3	2	Baja
Villavieja	Golondrinas	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	Hato nuevo	1	2	4	1	1	3	2	Baja
	La calera	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	La victoria	1	2	4	1	1	3	2	Baja
	Líbano	1	3	4	1	1	3	2	Baja

Municipio	Unidad Territorial	Exposición (40%)	Fragilidad (60%)				Nivel	Vulnerabilidad Social	
		Población en el área de estudio	Rangos de edad (20%)	Población por debajo del NBI (60%)	Cobertura escolar (10%)	Cobertura de salud (10%)			Total
Villavieja	Polonia	1	2	4	1	1	3	2	Baja
	Potosí	1	2	4	1	1	3	2	Baja
	San Alfonso	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	San Juanito	1	2	4	1	1	3	2	Baja
	San Nicolás Gaviotas	1	3	4	1	1	3	2	Baja
Yaguará	Jaguar	1	2	4	1	1	3	2	Baja
	Letrán	1	2	4	2	1	3	2	Baja
	Vilú	1	2	4	1	1	3	2	Baja

Fuente: Fichas de caracterización socioeconómica- WSP, 2019, DANE, 2005, DNP, 2017, Ministerio de Salud y Protección Social, 2017.

Existen algunas unidades de análisis en las que se prevé mayor vulnerabilidad por el número de habitantes que concentran, dentro de estas se desatacan los Corregimientos Fortalecilla de Neiva y El Juncal de Palermo con 5.500 y 6.000 habitantes respectivamente (Ver Fotografía 1-21 y Fotografía 1-22); por el contrario, las veredas El Centro Sur de Neiva y La Calera de Villavieja registran las cifras más bajas de población con 9 y 15 habitantes en total. Asimismo, es de resaltar que, en el área de posible inundación en el área rural del departamento del Huila, los mayores porcentajes de población a nivel municipal se localizan en el municipio de Palermo con el 2,29%, le sigue Neiva con el 2,28% y Villavieja con el 1,37%.

Fotografía 1-21 Subestación de Policía -Corregimiento Fortalecilla, Neiva

Fotografía 1-22 Institución educativa El Juncal, sede El Juncal-Corregimiento Juncal, Palermo



Fuente: WSP, 2019

Para el análisis de la categoría de fragilidad en los criterios de cobertura de los servicios sociales de educación y salud, la ponderación cambia con respecto al porcentaje de cobertura, puesto que, a mayor cobertura del servicio social, menor será la fragilidad de la población. Ahora, al revisar los indicadores establecidos para este análisis, se identificó que la categoría Baja corresponde al 17% del total de las veredas y Corregimientos del municipio del Huila, mientras que el 83% se localiza en la categoría Media, lo que representa fragilidad social con porcentajes entre el 20% y el 40%. La ponderación de fragilidad Baja se registra especialmente en las veredas del municipio de Campoalegre y las veredas San Miguel y El Albadán de Palermo y Rivera respectivamente, esta cifra obedece principalmente a que los porcentajes de NBI son los más bajos para el área de estudio, con indicadores entre el 30% y el 38% y la fragilidad de la población en los rangos de edad considerados más vulnerables oscilan entre el 14% y el 20%.

Asimismo, se estima que el indicador de fragilidad con mayor vulnerabilidad corresponde al de Necesidades Básicas Insatisfechas -NBI, pues la mitad de la población cuenta con al menos una de las condiciones que determinan la pobreza, razón por la que se ubican en la categoría de fragilidad Alta, con índices entre el 41% y el 60%, siendo las veredas de Tello las que albergan más personas que tienen al menos una de las condiciones que determinan la pobreza.

Ahora, para definir la fragilidad de la población por rangos de edad, se seleccionaron dos grupos de población: entre 0 y 5 años y los mayores de 63 años, puesto que se estima que estos rangos son los que representan un mayor estado de desprotección o incapacidad frente a inundación. En este sentido, la mayor población identificada dentro de estos rangos se encuentra en categoría Baja con el 51%; por su parte, el

46% se ubica en categoría Media y el 3% restante, en la categoría Muy Baja, registrada en las veredas El Pata de Aipe y Vanites de Neiva.

Finalmente, al revisar la cobertura de los servicios sociales, es de precisar que son aquellos que cumplen con una función social en el territorio, para el presente ítem se analizan las coberturas de los regímenes subsidiado, contributivo y especiales en salud en la totalidad de la población; así como la cobertura de educación, para la población en edad escolar, tomando como base los datos suministrados por los líderes comunitarios y la registrada en las páginas web del Ministerio de Salud y Departamento Nacional de Planeación. Al respecto, se identificó que, en el departamento del Huila, el 93% de la población registra cobertura escolar arrojando nivel 1, con fragilidad Muy Baja, le sigue el 5% de la población con fragilidad Baja y un 2% con fragilidad Media, localizada en la vereda Guacirco-San Jorge de Neiva, cuya cobertura escolar es del 40% de la población. Con relación a la cobertura de salud, el 95% se encuentra en la categoría Muy Baja, presente en 53 veredas, el 5% restante indica Baja fragilidad en las veredas Arrayan y Dindal del municipio de Aipe, con cobertura del servicio de salud entre el 49% y 45% respectivamente.

En la Tabla 1-94 se relacionan los resultados del análisis de vulnerabilidad social frente a inundaciones por rotura de presa o descargas.

Tabla 1-94 Nivel de exposición y fragilidad factor social- Departamento del Tolima

Municipio	Unidad Territorial	Exposición (40%)	Fragilidad (60%)				Nivel	Vulnerabilidad Social	
		Población en el área de estudio	Rangos de edad (20%)	Población por debajo del NBI (60%)	Cobertura escolar (10%)	Cobertura de salud (10%)			Total Fragilidad
Coyaima	Acevedo y Gómez	1	3	5	1	1	4	3	Media
	Bellavista	1	3	5	1	1	4	3	Media
	Buenos Aires Bocas de Hilarco	1	3	5	1	1	4	3	Media
	Cascabel	1	3	5	1	1	4	3	Media
	Chili	1	3	5	1	1	4	3	Media
	Coyarco	1	3	5	1	1	4	3	Media
	El Rosario	1	3	5	1	1	4	3	Media
	Hilarco Guayaquil	1	3	5	1	1	4	3	Media
	La Arenosa	1	3	5	1	1	4	3	Media
	La Nueva Esperanza	1	3	5	1	1	4	3	Media
	Lomas Mesas de San Juan	1	3	5	1	1	4	3	Media
	Lusitania	1	3	5	1	1	4	3	Media
	Mesas de Inca	1	3	5	1	1	4	3	Media
	Mesas de san Juan	1	3	5	1	1	4	3	Media
	San Miguel	1	3	5	1	1	4	3	Media
Tambo Guayarco	1	3	5	1	1	4	3	Media	
Natagaima	Anacarco	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	Baloca	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	Balsillas	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	Guasimal	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	Guasimal mesas	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	La molana	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	La palmita	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	Mercadillo	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	Morro la María	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	Palmalta	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	Pocharco	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	Pueblo nuevo	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	Rincón	1	3	4	1	1	3	2	Baja
San miguel	1	3	4	1	1	3	2	Baja	

Municipio	Unidad Territorial	Exposición (40%)	Fragilidad (60%)					Nivel	Vulnerabilidad Social
		Población en el área de estudio	Rangos de edad (20%)	Población por debajo del NBI (60%)	Cobertura escolar (10%)	Cobertura de salud (10%)	Total Fragilidad		
	Tamirco	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	Tinajas	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	Velu	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	Yaco	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	Yari	1	3	4	1	1	3	2	Baja
Prado	Catalán	1	2	4	1	1	3	2	Baja
	Chenchito	1	2	4	1	1	3	2	Baja
	Conchal	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	La chica	1	2	4	1	1	3	2	Baja
	Las brisas	1	1	4	1	1	3	2	Baja
	Peñón alto	1	2	4	1	1	3	2	Baja
	Primavera	1	2	4	2	2	3	2	Baja
	Tortugas	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	Virginia	1	2	4	2	2	3	2	Baja
Purificación	Baura	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	Buenavista	1	2	4	1	1	3	2	Baja
	Cairo brisas	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	Cairo Leticia	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	Cairo socorro	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	Cairo Santa Helena	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	El consuelo	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	El Tambo	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	El Tigre	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	Hilarco	1	2	4	1	1	3	2	Baja
	Holanda	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	La mata	1	2	4	1	1	3	2	Baja
	Las damas	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	Madrono	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	Peñones Altos	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	Remolinos	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	Sabaneta	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	Salitre	1	3	4	1	1	3	2	Baja
San francisco	1	3	4	1	1	3	2	Baja	

Municipio	Unidad Territorial	Exposición (40%)	Fragilidad (60%)				Total Fragilidad	Nivel	Vulnerabilidad Social
		Población en el área de estudio	Rangos de edad (20%)	Población por debajo del NBI (60%)	Cobertura escolar (10%)	Cobertura de salud (10%)			
	Santa Lucia Baja	1	3	4	1	1	3	2	Baja
	Tamarindo	1	3	4	1	1	3	2	Baja

Fuente: Fichas de caracterización socioeconómica- WSP, 2019, DANE, 2005, DNP, 2017, Ministerio de Salud y Protección Social, 2017.

Aunque la población expuesta ubicada en el departamento del Tolima es del 3,7% con respecto a la población total expuesta en el área de posible inundación, se considera importante mencionar que algunas veredas registran un número significativo de habitantes, dentro de las que se destacan las veredas San Miguel de Coyaima, y Cairo Brisas de Purificación, con 932 y 824 habitantes respectivamente. Por el contrario, las veredas Baloca, Anarco y Morro La Maria de Natagaima registran las cifras más bajas de población expuesta con 6, 10 y 17 habitantes en total, lo que indica una menor vulnerabilidad por exposición en estos territorios.

Con respecto a la fragilidad de las veredas del Tolima, el 72% se encuentran en categoría Media con porcentajes de fragilidad para los cuatro (4) criterios seleccionados que oscilan entre el 20% y el 40%, mientras que el 28% restante se localiza en el rango de categoría Alta con porcentajes de vulnerabilidad entre en 40% y el 60%. El índice de Necesidades Básicas Insatisfechas -NBI, es la categoría con mayores rangos de vulnerabilidad cuyos porcentajes oscilan entre el 39% y el 79% de la población, esta cifra es significativa en los municipios de Coyaima con el 79%, representando fragilidad Muy Alta; le siguen con fragilidad Alta, los municipios de Natagaima, Prado y Purificación con NBI del 58%, 54% y 43%.

Respecto a la fragilidad de la población por rangos de edad, la mayor población identificada se encuentra en categoría Media con el 86%; por su parte, el 13% se ubica en categoría Baja, en las veredas de Prado y Purificación cuyos rangos de población están entre el 13% y el 20% y finalmente, el 1% restante, está en la categoría Muy Baja, correspondiente a la vereda Las Brisas del municipio de Prado, cuya población en esta categoría equivale al 10%.

Ahora, al revisar la cobertura de los servicios sociales en el Tolima, este indicador denota Muy Baja fragilidad de la población con el 96% y Baja fragilidad en el 4% de la población restante. Frente a la cobertura de salud, las cifras de afiliados a los regímenes de salud son altas con coberturas que oscilan entre el 59% y el 100%. En lo relacionado con las coberturas en educación, la vereda Virginia de Prado registra menores porcentajes con el 42%, indicando posiblemente una mayor deserción escolar y por ende, mayor vulnerabilidad de la población escolar.

Finalmente, en la Tabla 1-95 se presenta la descripción de exposición y fragilidad de las características sociales de las cabeceras municipales de Neiva y Villavieja del Huila y Natagaima, Prado y Purificación del Tolima.

Tabla 1-95 Nivel de exposición y fragilidad factor social- Cabeceras municipales

Departamento	Cabecera Municipal	Exposición (40%)	Fragilidad (60%)					Nivel	Vulnerabilidad Social
		Población en el área de estudio	Rangos de edad (20%)	Población por debajo del NBI (60%)	Cobertura escolar (10%)	Cobertura de salud (10%)	Total Fragilidad		
Huila	Neiva	5	2	2	1	1	2	3	Media
	Villavieja	1	3	3	1	1	3	2	Baja
Tolima	Natagaima	1	3	4	1	1	4	3	Baja
	Prado	1	3	2	1	1	2	2	Baja
	Purificación	1	3	3	1	1	3	2	Baja

Fuente: Fichas de caracterización socioeconómica- WSP, 2019, DANE, 2005, DNP, 2017, Ministerio de Salud y Protección Social, 2017.

Se observa en la tabla anterior que el 80% de las cabeceras municipales dieron como resultado vulnerabilidad social Baja (Villavieja, Prado y Purificación) y el 20% restante, muestran vulnerabilidad social Media en Neiva. Con relación a la exposición de la población del área, el municipio de Neiva es el que mayor número de habitantes registra con 329.369 habitantes, haciéndolo más vulnerable a exposición, por tanto, su categoría es Muy Alta; con relación a las demás cabeceras municipales, estas no superan el 5% del total de la población total de estudio, generando una exposición Muy Baja.

Ahora, al verificar la fragilidad promedio para las cabeceras municipales, los resultados son relativamente homogéneos, por un lado, arrojó rango Bajo para los municipios de Villavieja, Natagaima, Prado y Purificación y Media, en el municipio de Neiva. Es de resaltar que los criterios de rangos de edad y NBI registraron los mayores índices para fragilidad, siendo Alto el nivel de fragilidad por NBI en la cabecera municipal de Natagaima con el 41%, cifra que representa menores condiciones de vida para la población que habita en esta cabecera. Por su parte, los mayores porcentajes de fragilidad por población ubicada en los rangos de edad establecidos se registran en Natagaima, Prado y Purificación con el 24%.

Finalmente, las coberturas de los servicios de salud y educación en las cabeceras municipales es aceptable, arrojando una fragilidad Muy Baja para el 100% de los municipios, pues se estima que las coberturas son mayores del 60%. Ver y .

Fotografía 1-23 Parque Santander, Neiva-Huila



Fotografía 1-24 Iglesia, Prado-Tolima



Fuente: WSP, 2019

- Presencia de comunidades étnicas en el área de posible inundación por rotura de presa o descargas

El territorio nacional cuenta con la presencia de un sinnúmero de comunidades étnicas en los diferentes departamentos y municipios del país, quienes han modificado algunos aspectos culturales de acuerdo con los cambios históricos que se han suscitado a lo largo del tiempo. En el área de estudio de los departamentos del Huila y Tolima, se encuentran asentadas comunidades étnicas organizadas en Resguardos Indígenas, de acuerdo con la información registrada en la página web del Sistema de Información Geográfica para la Planeación y el Ordenamiento Territorial- SIGOT-, 2017.

Los Resguardos Indígenas identificados pertenecen a la étnia Pijao, quienes fueron una federación tribal que compartía características culturales y lingüísticas y mantenían relaciones sociales y económicas principalmente con los pueblos Coyaimas y Natagaimas¹⁰³.

De acuerdo con la información reportada por el DANE, 58.810 personas se auto reconocen como pertenecientes al pueblo Coyaima Natagaima, de los cuales el 51% son hombres y el 49% mujeres, el 91% del pueblo se concentra en el Tolima, el 5% en Bogotá y el 2% en el departamento del Huila. La población Coyaima Natagaima representa el 4,2% de la población indígena de Colombia¹⁰⁴. Es de señalar que en el área de estudio se identificaron 20 Resguardos Indígenas relacionados en la Tabla 1-96.

¹⁰³ Ministerio de Cultura. Caracterizaciones de los pueblos indígenas de Colombia. Dirección de Poblaciones. Sin fecha [Consultado el 04/03/2019]. Disponible en: <http://www.mincultura.gov.co/prensa/noticias/Documents/Poblaciones/PUEBLO%20PIJAO.pdf>.

¹⁰⁴ ONIC-Organización Nacional Indígena de Colombia. Sin fecha. fecha [Consultado el 4 de abril de 2019]. Disponible en: <https://www.onic.org.co/onic>

Tabla 1-96 Resguardos localizados en el área de estudio

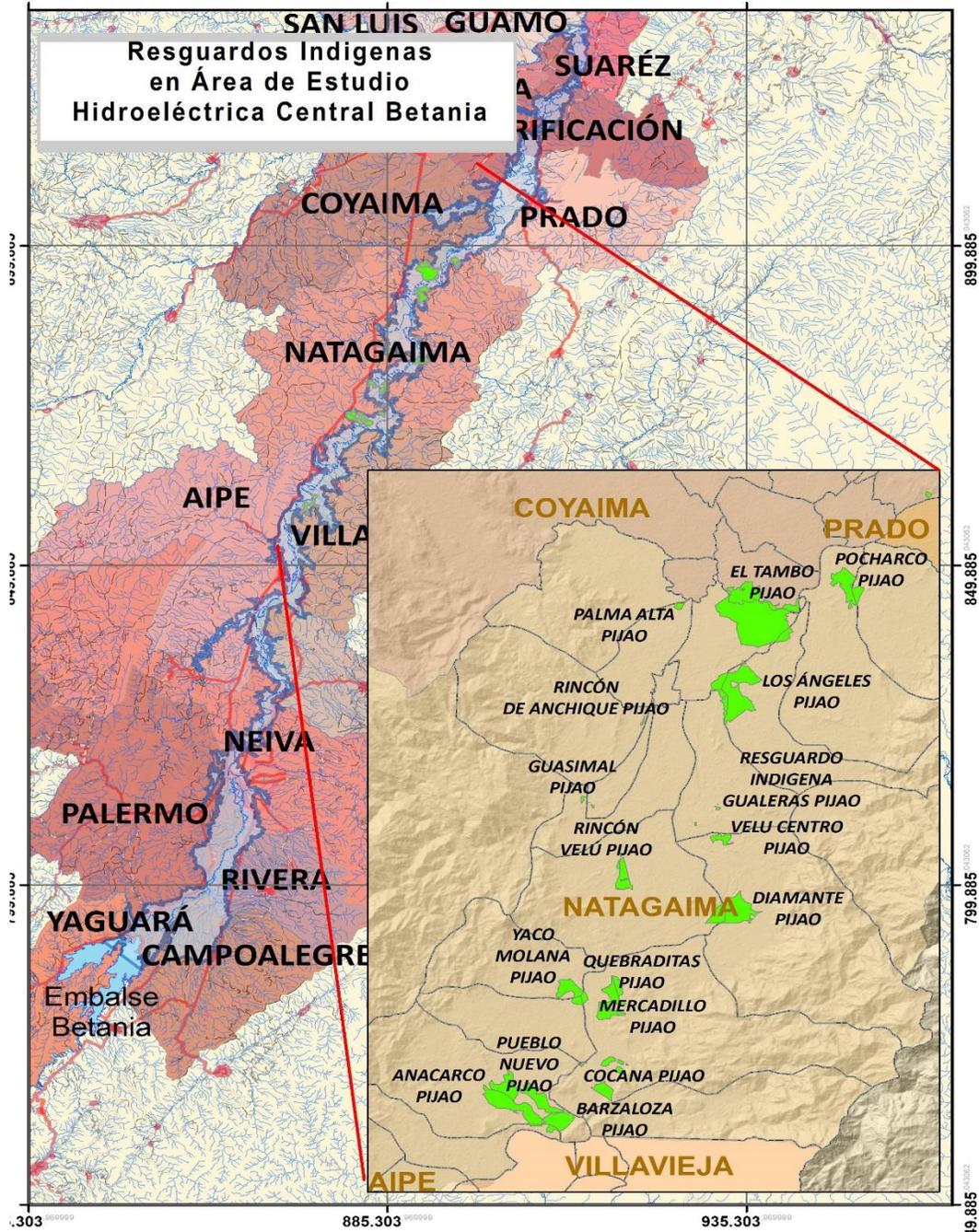
Departamento	Municipio	Vereda	Resguardo Indígena	Área (Ha)
Tolima	Natagaima	Pueblo Nuevo	Anarco	74,52
Tolima	Natagaima	Balsillas, Pueblo Nuevo y Mercadillo	Barzalozza	83,34
Tolima	Natagaima	Mercadillo	Cocana	70,21
Tolima	Natagaima	Tinajas, Velu	Diamante	174,86
Tolima	Coyaima y Natagaima	Acevedo y Gómez, Baloca y Tamirco	El Tambo	593,32
Tolima	Natagaima	Guasimal Mesas y Rincón	Guasimal	4,61
Tolima	Natagaima	Guasimal	Gualeras	3,11
Tolima	Coyaima	Mesas de Inca	Las Palmas	4,72
Tolima	Natagaima	Baloca, Tamirco y Guasimal	Los Ángeles	271,35
Tolima	Natagaima	Mercadillo	Mercadillo	34,77
Tolima	Coyaima	Bellavista y Lomas Mesas de San Juan	Mesas de San Juan	8,65
Tolima	Natagaima	Palmalta y San Miguel	Palma Alta	9,5
Tolima	Natagaima	Yari y Pocharco	Pocharco	113,87
Tolima	Natagaima	Balsillas y Pueblo Nuevo	Pueblo Nuevo	232,43
Tolima	Natagaima	Mercadillo	Quebraditas	87,65
Tolima	Natagaima	Morro La Maria	Rincón de Anchique	2
Tolima	Natagaima	Velu	Rincón Velu	59,95
Tolima	Natagaima	Tinajas y Guasimal	Velu Centro	26,52
Tolima	Natagaima	Mercadillo, Yaco y La Molana	Yaco Molana	83,72
Huila	Villavieja	San Nicolas Gaviotas	La Tatacoa	189,78
Total				1781,24

Fuente: Sistema de Información Geográfica para la Planeación y el Ordenamiento Territorial- SIGOT-, 2017.

Como se observa en la tabla anterior, el 95% de los Resguardos Indígenas se localizan en el departamento del Tolima y el 5% restante en el Huila, de los cuales el 80% se localizan en Natagaima, el 10% en el municipio de Coyaima, el 5% de los resguardos se localizan entre los municipios de Coyaima y Natagaima y el 5% restante en el municipio de Villavieja en el Huila. En la Figura 1-106 se ilustra la localización de los Resguardos Indígenas localizados en el área de estudio.

No se realizó una valoración específica de vulnerabilidad social para las comunidades étnicas debido a la complejidad de las variables que se requieren para este tipo de análisis y la ausencia de información. Por lo tanto solo se hace referencia a la localización de los resguardos.

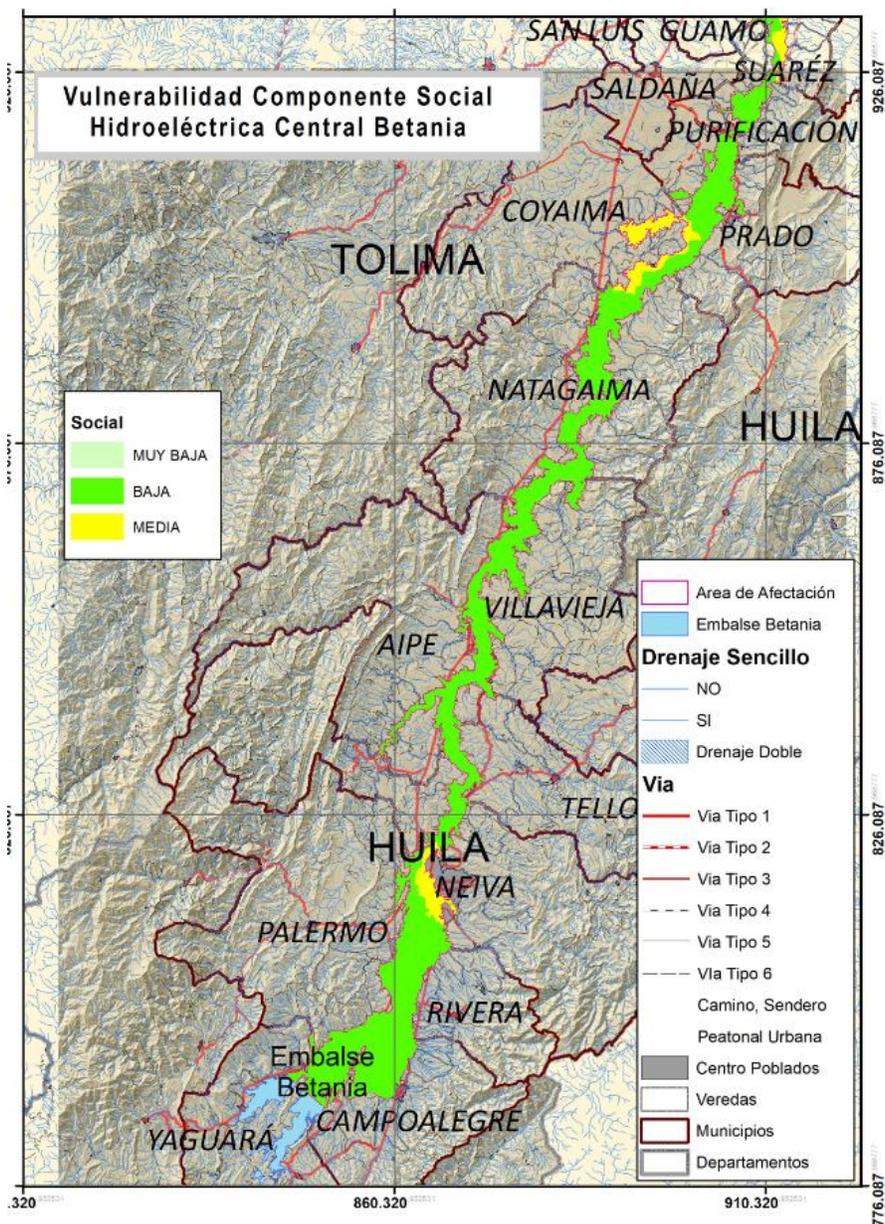
Figura 1-106 Resguardos Indígenas ubicados en el área de estudio



Fuente: Sistema de Información Geográfica para la Planeación y el Ordenamiento Territorial- SIGOT-, 2017. Adaptado por WSP, 2019.

En la Figura 1-107 se presenta la zonificación de la vulnerabilidad social frente a inundaciones por rotura de presa o descargas.

Figura 1-107 Zonificación de la vulnerabilidad social



Fuente: WSP, 2019.

1.2.3.3.6 Evaluación de vulnerabilidad por resiliencia

Adicional a la evaluación de la vulnerabilidad por exposición y fragilidad se realizó un análisis de la vulnerabilidad por resiliencia tanto social como institucional a partir de la visitas de campo y las entrevistas con los diferentes actores institucionales y sociales. No se incorporó la valoración de la vulnerabilidad por resiliencia al cálculo de la vulnerabilidad total debido a que no se contó con parámetros que permitan

calificar de manera relativa cada una de las unidades de análisis. Esta evaluación se presenta en detalle en el anexo 1-4.

1.2.3.3.7 Zonificación de vulnerabilidad Total

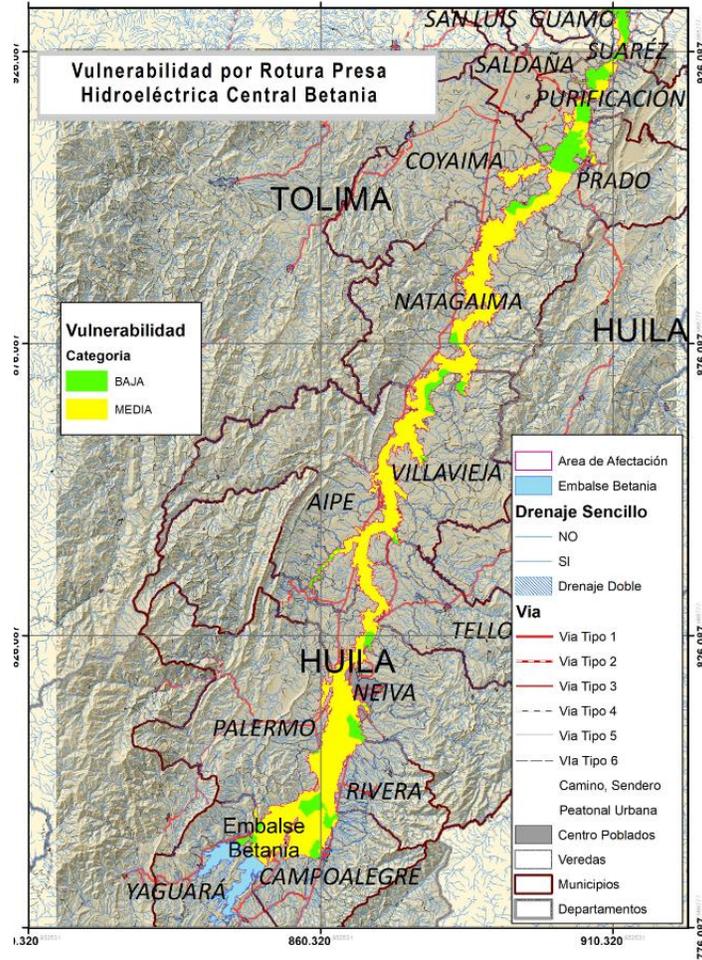
A continuación, en la Tabla 1-97 se presenta los rangos utilizados para la calificación de vulnerabilidad y en la Figura 1-108 se muestra la zonificación de vulnerabilidad total frente a inundaciones por rotura de presa o descargas.

Tabla 1-97 Calificación de vulnerabilidad

Vulnerabilidad	Descripción
Muy Alta	Concentración superior al 20% del total de elementos expuestos (Infraestructura, población, ecosistemas sensibles y Áreas productivas), con muy alta fragilidad frente inundaciones y/o avenidas torrenciales por vereda y centros poblados.
Alta	Concentración entre el 16% y 20% del total de elementos expuestos (Infraestructura, población, ecosistemas sensibles y Áreas productivas), con alta fragilidad frente inundaciones y/o avenidas torrenciales por vereda y centros poblados.
Media	Concentración entre el 11% y 15% del total de elementos expuestos (Infraestructura, población, ecosistemas sensibles y Áreas productivas), con fragilidad media frente inundaciones y/o avenidas torrenciales por vereda y centros poblados.
Baja	Concentración entre el 6% y 10% del total de elementos expuestos (Infraestructura, población, ecosistemas sensibles y Áreas productivas), con baja fragilidad frente inundaciones y/o avenidas torrenciales por vereda y centros poblados.
Muy baja	Concentración igual o inferior a 5% del total de elementos expuestos (Infraestructura, población, ecosistemas sensibles y Áreas productivas), con muy baja fragilidad frente inundaciones y/o avenidas torrenciales por vereda y centros poblados.

Fuente: WSP, 2019

Figura 1-108 Zonificación de vulnerabilidad total



Fuente: WSP, 2019

1.2.3.3.8 Zonificación de riesgos de inundación del área de estudio de posible afectación

La combinación de la calificación de amenaza (alta, media y baja) con la calificación de vulnerabilidad (muy alta, alta, media, baja y muy baja) nos arroja una valoración del riesgo que puede representarse de la siguiente forma:

Tabla 1-98 Riesgo en función de amenaza y vulnerabilidad

	Vulnerabilidad Muy Alta	Vulnerabilidad Alta	Vulnerabilidad Media	Vulnerabilidad Baja	Vulnerabilidad Muy Baja
Amenaza alta	Alto Riesgo (Rojo)			Medio Riesgo (Amarillo)	Bajo Riesgo (Verde)
Amenaza media	Alto Riesgo (Rojo)		Medio Riesgo (Amarillo)	Bajo Riesgo (Verde)	Muy Bajo Riesgo (Verde Oscuro)
Amenaza Baja	Medio Riesgo (Amarillo)	Bajo Riesgo (Verde)	Muy Bajo Riesgo (Verde Oscuro)	Muy Bajo Riesgo (Verde Oscuro)	Muy Bajo Riesgo (Verde Oscuro)

Fuente: WSP, 2019

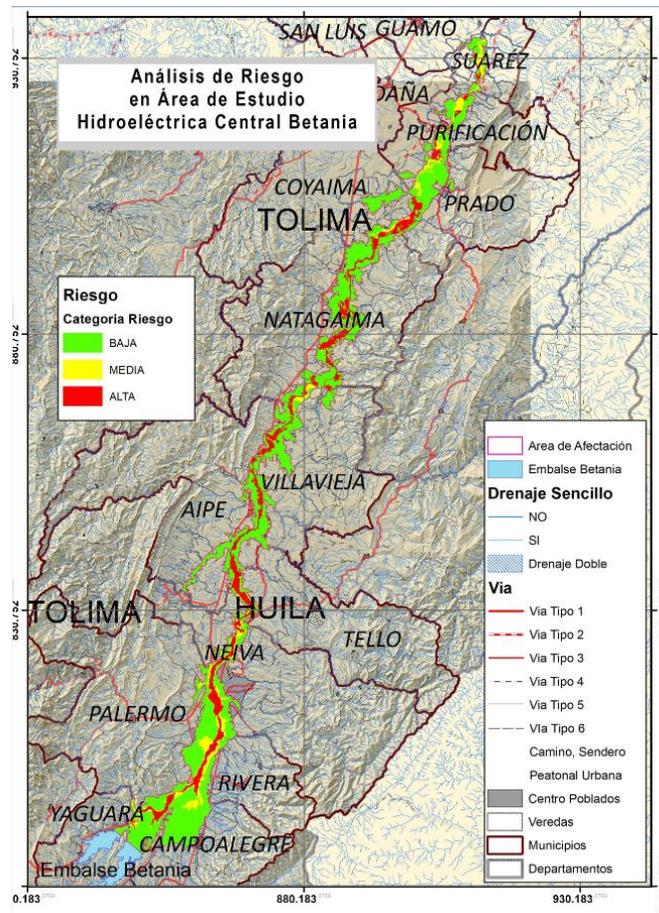
A continuación, en la Tabla 1-99 se presenta los rangos utilizados para la calificación del riesgo y en la Figura 1-109 se muestra la zonificación de riesgo de inundación por rotura de presa o descargas

Tabla 1-99 Criterios para la zonificación de riesgo de inundación por rotura de presa o descargas

Riesgo	Descripción
Alto	Zonas con amenaza alta por avenidas torrencial/inundación por rotura o descargas con vulnerabilidad total (Física, social, económica y ambiental) muy alta, alta o media y amenaza media con vulnerabilidad muy alta y alta.
Medio	Zonas con amenaza alta por avenidas torrencial/inundación por rotura o descargas con vulnerabilidad total (Física, social, económica y ambiental) baja. Amenaza media y vulnerabilidad media y baja y amenaza baja y vulnerabilidad muy alta y alta.
Bajo	Zonas con amenaza alta por avenidas torrencial/inundación por rotura o descargas con vulnerabilidad total (Física, social, económica y ambiental) muy baja y amenaza media y vulnerabilidad muy baja. Amenaza baja y vulnerabilidad media, baja y muy baja.

Fuente: WSP, 2019

Figura 1-109 Riesgo de inundación por rotura de presa o descarga



Fuente: WSP, 2019

1.2.3.3.9 Cálculo de pérdidas esperadas

1.2.3.3.9.1 Pérdidas económicas por daños a infraestructura y equipamiento físico

La valoración de las pérdidas por daños causados a la infraestructura y al equipamiento de la central hidroeléctrica de Betania se obtiene como el producto del valor de los activos expuestos por la probabilidad de ocurrencia de cada una de las amenazas y el grado de severidad del daño asociado a la magnitud del evento o desastre (siniestro).

1.2.3.3.9.1.1 VALORACIÓN DE ACTIVOS EXPUESTOS

Este ítem corresponde a los costos de las obras civiles y equipos electromecánicos que se encuentran expuestos a una amenaza y que podrían ser afectados por un desastre (siniestro). Se tienen en cuenta los componentes de tipo civil, mecánico y eléctrico tales como túneles, tuberías, presa principal, diques, vertederos de compuertas, bocatomas, casa de máquinas, turbinas, transformadores de potencia y generadores, sistemas de control, entre otros, y cuyo costo estimado de inversión se muestra en la Tabla 1-100.

Tabla 1-100 Resumen de costo estimado de inversión de la central hidroeléctrica de Betania

Central	Capacidad (MW) ¹⁰⁵	Costo inversión (MM USD 2018)	Valor contable (MM USD 2018)
Betania	540,0	1.257,9	284,1

Fuente: WSP,2019 con base en información entregada por Emgesa

Los valores de costos de la Tabla 1-100 fueron estimados a través de dos procedimientos diferentes. El primero, correspondiente al costo de inversión, se obtuvo con base en un estudio publicado por *The Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) de las Naciones Unidas¹⁰⁶. El capítulo quinto del documento citado presenta un análisis del uso de la generación hidroeléctrica como instrumento para la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero y referencia una compilación de estudios de diferentes autores en los que se deducen fórmulas empíricas para estimar los costos requeridos para desarrollar centrales hidroeléctricas. De ellas se emplea por facilidad de aplicación la fórmula deducida por Hall et al. (2003)¹⁰⁷, la cual predice la inversión requerida en dólares de Estados Unidos a precios de 2002 en función de la capacidad instalada de la central. Con base en la capacidad instalada de las centrales hidroeléctricas en estudio, se estimaron los valores que se actualizaron a precios de 2018 usando la variación del índice de precios al productor de Estados Unidos entre diciembre de 2002 y diciembre de 2018, publicada por la *Organization for Economic Cooperation and Development* (OECD) en su página Web¹⁰⁸.

¹⁰⁵ ENEL – EMGESA. Memoria Anual 2018. p. 107

¹⁰⁶ Kumar, A., T. Schei, A. Ahenkorah, R. Caceres Rodriguez, J.-M. Devernay, M. Freitas, D. Hall, Å. Killingtveit, Z. Liu, 2011: *Hydropower. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation* [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

¹⁰⁷ Hall, D.G., Hunt, R.T., Reeves, K.S. and Carroll, G.R., (2003). *Estimation of Economic Parameters of U.S. Hydropower Resources*. INEEL/EXT-03-00662, U.S. Department of Energy Idaho Operations Office, Idaho Falls, ID, USA, 25 pp.

¹⁰⁸ <https://data.oecd.org/price/producer-price-indices-ppi.htm#indicator-chart> – Consultada el 14/05/2019

El segundo procedimiento parte de información contable entregada por Emgesa en una tabla en formato Excel¹⁰⁹. Esta tabla contiene una relación detallada de los activos físicos que componen cada central junto con el valor de adquisición (Val.adq.), amortización acumulada (Amo acum.) y el valor contable actual (Val.cont.). No se especifica la fecha de corte y dada la naturaleza contable del reporte se deduce que las cifras están expresadas a precios corrientes; por lo anterior se asume que los valores están a diciembre 31 de 2018 y con base en ello se convierten a dólares de Estados Unidos de dicha fecha utilizando una tasa representativa de mercado -TRM de COP 3.249,75 publicada por el Banco de la República¹¹⁰.

En el mismo documento citado del IPCC¹¹¹, se referencia un estudio hecho por Alvarado-Ancieta (2009)¹¹² en el cual se presenta el desarrollo de una fórmula empírica para estimar el costo típico de los equipos electromecánicos de centrales hidroeléctricas. El enfoque es similar al seguido por Hall et al. (2003), se obtiene el costo del equipo en función de la capacidad instalada, en este caso a precios de diciembre de 2008. Aplicando la fórmula con las capacidades instaladas de las centrales y actualizando los valores con la variación del índice de precios al productor en Estados Unidos entre diciembre de 2008 y diciembre de 2018, se obtiene la estimación de los costos de los equipos electromecánicos que se muestra en la Tabla 1-101. Comparando las estimaciones de los costos de equipos electromecánicos con los costos totales de los centrales obtenidos de la fórmula de Hall et al. (2003), se halla que los equipos corresponden a un porcentaje promedio del orden del 14% del costo total de la central.

Tabla 1-101 Resumen de costo estimado de equipos electromecánicos de la central hidroeléctrica de Betania

Central	Capacidad (MW)	Costo equipo electromecánico (MM USD 2018)	Participación sobre costo inversión
Betania	540,0	173,2	13,8%
Total		1.027,2	14,1%

Fuente: WSP,2019

En síntesis, como se aprecia en la Tabla 1-100, la diferencia en cifras obtenidas de las fórmulas empíricas y los registros contables es significativa; siendo más notorio en los casos de las plantas más antiguas. Teniendo en cuenta las necesidades de aseguramiento, el valor contable no se considera particularmente útil por estar expresado como una agregación de valores corrientes que no consideran los efectos de las variaciones de precios y porque lo que se necesita es conocer cuánto se debe gastar para recuperar la capacidad operativa de un activo ante la ocurrencia del desastre (siniestro). En este orden de ideas, la aproximación de valorar a precios índices, mientras no se haga un estudio de valoración de reposición, es más razonable que el empleo de información contable.

¹⁰⁹ Karex contable vidas utiles Centrales Hidro.xlsx

¹¹⁰ <http://www.banrep.gov.co/es/tasa-cambio-del-peso-colombiano-trm> – Consultada el 14/05/2019

¹¹¹ Kumar et al. Op. cit., p. 447.

¹¹² Alvarado-Ancieta, C.A. (2009). *Estimating E&M powerhouse costs. International Water Power and Dam Construction*, 17 February 2009, pp. 21-25

1.2.3.3.9.1.2 ANÁLISIS DE DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE DESASTRES (SINIESTROS) Y SEVERIDAD DE DAÑOS

A falta de suficientes datos empíricos y con base en la literatura de la estadística y el conocimiento adquirido en la caracterización de los riesgos y vulnerabilidad a lo largo del estudio, esta consultoría desarrolló las funciones de probabilidad de ocurrencia de las amenazas priorizadas, a las cuales se asociaron las respectivas funciones de severidad de daño como se describe a continuación.

1.2.3.3.9.1.2.1 Sismo

Para la amenaza sísmica se consideraron los escenarios de periodo de retorno (Tr) de 10, 50, 100, 250, 1.000, 2.500 años, a los que se les estima una probabilidad de no excedencia (PNE) en un año dado según la Ecuación 1.1

Ecuación 1.1

$$P_{NE} = 1 - \frac{1}{Tr}$$

A cada uno de los Tr referenciados se asoció una distribución de probabilidad de severidad del daño que se resume en la Tabla 1-102.

Tabla 1-102 Función de distribución de severidad de daños por amenazas sísmicas

Tr (años)	Función distribución de severidad de daño	Observaciones
10	U (0% - 0,01%)	Adoptando el criterio de Laplace ¹¹³ , se asume una distribución uniforme en un rango entre 0% - 0,01% sobre el valor del activo afectado.
50	U (0,01% - 0,05%)	Daño estimado entre el 0,01% y 0,05% del valor del activo
100	U (0,05% - 2%)	Daño estimado entre el 0,05% y 2% del valor del activo
250	U (2% - 5%)	Daño estimado entre el 2% y 5% del valor del activo
1.000	U (5% - 20%)	Daño estimado entre el 2% y 20% del valor del activo
2.500	U (20% - 100%)	Daño estimado entre el 20% y 100% del valor del activo

Fuente: WSP,2019

1.2.3.3.9.1.2.2 Avenidas torrenciales

Para la amenaza por las avenidas torrenciales se utilizó el mismo enfoque que para la amenaza sísmica. En la Tabla 1-103 se presentan las funciones de distribución de severidad de daños asumidas para este tipo de amenaza.

¹¹³ A falta de mejor información, cualquier valor tiene igual probabilidad de ocurrencia dentro del rango considerado.

Tabla 1-103 Función de distribución de severidad de daños por amenaza de avenidas torrenciales

Tr (años)	Función distribución de severidad de daño	Observaciones
10	U (0% - 0,01%)	Distribución uniforme en un rango entre 0% - 0,01% sobre el valor del activo afectado.
50	U (0,01% - 1%)	Daño estimado entre el 0,01% y 1% del valor del activo
100	U (1% - 5%)	Daño estimado entre el 1% y 5% del valor del activo
250	U (5% - 10%)	Daño estimado entre el 5% y 10% del valor del activo
1.000	U (10% - 50%)	Daño estimado entre el 10% y 50% del valor del activo
2.500	U (50% - 100%)	Daño estimado entre el 50% y 100% del valor del activo

Fuente: WSP,2019

1.2.3.3.9.1.2.3 Daños en equipos

Para la estimación de los daños en equipos, se requiere estimar la probabilidad de ocurrencia del número de eventos durante un año y luego la magnitud del daño de cada evento. En la Tabla 1-104 se presentan las distribuciones del número de eventos para equipos eléctricos y mecánicos.

Tabla 1-104 Función de distribución de probabilidad de ocurrencia de eventos de daño

Tipo equipo	Función distribución de eventos de daño	Observaciones
Eléctrico	Weibull (1,1)	Lambda = 1 (un evento por año) k = 1 (la tasa de fallos constante en el tiempo)
Mecánico	Weibull (1,1)	Lambda = 1 (un evento por año) k = 1 (la tasa de fallos constante en el tiempo)

Fuente: WSP,2019

Por su parte en la Tabla 1-105 se muestran las funciones de distribución de daños en términos porcentuales del valor de los activos expuestos.

Tabla 1-105 Función de distribución de severidad de daños por amenaza de avenidas torrenciales

Tipo equipo	Función distribución de severidad de daño	Observaciones
Eléctrico	Beta-Pert (0,01% - 1% - 10%)	La distribución Beta-Pert se basa en 3 escenarios: optimista, más probable y pesimista y su comportamiento se aproxima a una distribución normal con los siguientes parámetros: $\mu = \frac{\text{optimista} + 4 * \text{más probable} + \text{pesimista}}{6}$ $\sigma = \frac{\text{pesimista} - \text{optimista}}{6}$

Tipo equipo	Función distribución de severidad de daño	Observaciones
Mecánico	Beta-Pert (0,01% - 1% - 10%)	<p>La distribución Beta-Pert se basa en 3 escenarios: optimista, más probable y pesimista y su comportamiento se aproxima a una distribución normal con los siguientes parámetros:</p> $\mu = \frac{\text{optimista} + 4 * \text{más probable} + \text{pesimista}}{6}$ $\sigma = \frac{\text{pesimista} - \text{optimista}}{6}$

Fuente: WSP,2019

1.2.3.3.9.1.2.4 Movimientos o remoción en masa

Para este análisis, se incluye la afectación que puede generar los movimientos o remoción en masa a las obras de infraestructura de las centrales; no se considera la remoción en masa que afecta la capacidad de almacenamiento de embalses por sedimentación. Se adopta un enfoque similar al usado para daños de equipos, es decir, se estima la probabilidad de ocurrencia del número de eventos durante un año y luego la magnitud del daño de cada evento. En la Tabla 1-106 se presentan las distribuciones del número de eventos de remoción en masa.

Tabla 1-106 Función de distribución de probabilidad de ocurrencia de eventos de remoción en masa

Función distribución de eventos de daño	Observaciones
Weibull (1,1)	<p>Lambda = 0,05 (un evento cada 20 años) k = 1 (la tasa de fallos constante en el tiempo)</p>

Fuente: WSP,2019

En la Tabla 1-107 se muestran las funciones de distribución de daños en términos porcentuales del valor de los activos expuestos.

Tabla 1-107 Función de distribución de severidad de daños por amenaza de remoción en masa

Función distribución de severidad de daño	Observaciones
Beta-Pert (0,01% - 5% - 20%)	<p>La distribución Beta-Pert se basa en 3 escenarios: optimista, más probable y pesimista y su comportamiento se aproxima a una distribución normal con los siguientes parámetros:</p> $\mu = \frac{\text{optimista} + 4 * \text{más probable} + \text{pesimista}}{6}$ $\sigma = \frac{\text{pesimista} - \text{optimista}}{6}$

Fuente: WSP,2019

1.2.3.3.9.1.3 RESULTADOS DE PÉRDIDAS

Para estimar las pérdidas se elaboró un modelo de simulación de Montecarlo de acuerdo con la metodología y herramienta computacional desarrollada por el profesor Sam L. Savage¹¹⁴ y publicado en la página Web de la fundación *Probability Management*¹¹⁵. Los resultados de la estimación se presentan la Tabla 1-108 ; debido a la naturaleza estocástica del ejercicio, se muestran los resultados del valor promedio de la pérdida, el máximo valor y el percentil 95, este último parámetro implica un porcentaje de excedencia del 5%.

Tabla 1-108 Estimación de pérdidas de infraestructura y equipamiento físico de la central hidroeléctrica de Betania

Central	Escenario	Amenaza	Componente	Valoración daño físico planta		
				Promedio valor daño (miles millones COP)	Máximo valor daño (miles millones COP)	Percentil 95 (miles millones COP)
Betania	Del entorno a la central	Sismo	Presa	1,82	350,5	5,04
			Casa de máquinas	0,58	205,6	1,01
		Avenida torrencial	Presa y embalse	5,32	1.848,0	13,15
	Internos	Daños en los equipos por fallas eléctricas		6,71	47,4	19,20

Fuente: WSP,2019

1.2.3.3.10 Pérdida por incapacidad de operación

Este daño o perjuicio se refiere a los ingresos dejados por percibir por la central al no poder cumplir su objetivo de generar y contribuir al sistema interconectado, también se denomina lucro cesante. Corresponde al costo de la energía no generada ni vendida, a la potencia, al cargo por confiabilidad y los servicios complementarios como la regulación secundaria de frecuencia durante el tiempo que las centrales afectadas no operen. Su estimación es el resultado del producto del tiempo durante el cual la planta no opera debido a la ocurrencia del desastre (siniestro) por el valor de los ingresos que hubiera percibido.

1.2.3.3.10.1 Valoración de LA ENERGÍA GENERADA

Inicialmente se calcula el valor de la energía generada. En la Tabla 1-109 se presenta un ejercicio de estimación del costo de la energía por un día valorada a precios de bolsa. La estimación se hizo con base en las cifras publicadas por Emgesa en su Memoria Anual¹¹⁶, las cifras de Generación Portafolio EMGESA (GWh) de 2018 se dividen por 365 días para obtener la generación promedio diaria, la cual se valora aplicando el Precio de Bolsa Nacional (\$/kWh) del mismo año publicada en la Memoria referida¹¹⁷.

¹¹⁴ SAVAGE, Sam; THIBAUT, Marc, and EMPEY, Dave. SIPmath™ Modeler Tools for Excel - REFERENCE MANUAL. SIPmath Modeler Tools Version 3.4.0. Rev. 29 May 2017

¹¹⁵ <https://www.probabilitymanagement.org/>

¹¹⁶ ENEL – EMGESA. Memoria Anual 2018. p. 31

¹¹⁷ Ibid. p. 31

Tabla 1-109 Estimación de costo de energía hidroeléctrica

Concepto	Generación 2018 (GWh)	Generación promedio diaria (GWh)	Costo generación promedio diaria (MM COP)
Hidroeléctrica (GWh)	13.730	37,6	4.363,5
Betania	2.128	5,8	676,3

Fuente: WSP,2019 con base en información de Emgesa

1.2.3.3.10.2 análisis de distribuciones de probabilidad de suspensión de generación

Los mismos riesgos de desastre que pueden producir daños físicos a los activos infraestructura también pueden implicar que las plantas dejen de operar y no generen energía, lo cual implica una pérdida monetaria por los ingresos dejados de percibir, en la Tabla 1-110 se presenta la distribución de probabilidad de duración de suspensión de operación asociada a la ocurrencia de las diferentes amenazas.

Tabla 1-110 Función de distribución de suspensión de generación

Amenaza	Tr (años)	Función distribución de suspensión de energía	Observaciones
Sismo	10	Exponencial (20)	El parámetro lambda (λ) es la inversa de la duración promedio de un evento de no operación de 0,05 días
	50	Exponencial (5)	Duración promedio de un evento de no operación de 0,2 días
	100	Exponencial (0,5)	Duración promedio de un evento de no operación de 2 días
	250	Exponencial (0,2)	Duración promedio de un evento de no operación de 60 días
	1.000	Exponencial (0,01)	Duración promedio de un evento de no operación de 180 días
	2.500	Exponencial (0,003)	Duración promedio de un evento de no operación de 360 días
Avenida o flujo torrencial	10	Exponencial (200)	El parámetro lambda (λ) es la inversa de la duración promedio de un evento de no operación de 0,01 días
	50	Exponencial (50)	Duración promedio de un evento de no operación de 0,02 días
	100	Exponencial (20)	Duración promedio de un evento de no operación de 0,05 días
	250	Exponencial (5)	Duración promedio de un evento de no operación de 0,20 días
	1.000	Exponencial (0,01)	Duración promedio de un evento de no operación de 180 días
	2.500	Exponencial (0,003)	Duración promedio de un evento de no operación de 360 días
Daño equipo eléctrico		Normal (5,1)	Distribución normal con duración promedio por evento de 5 días y con desviación estándar de un 1 día
Daño equipo mecánico		Normal (5,1)	Distribución normal con duración promedio por evento de 5 días y con desviación estándar de un 1 día
Movimientos - remoción en masa		Normal (30,10)	Distribución normal con duración promedio por evento de 30 días y con desviación estándar de 10 días

Fuente: WSP,2019

1.2.3.3.10.3 resultados de pérdidas

Aplicando la técnica de modelación de Montecarlo, se estima el valor de la pérdida por la energía no generada que se muestra en la Tabla 1-111.

Tabla 1-111 Estimación de pérdidas por no operación

Central	Escenario	Amenaza	Componente	Valoración pérdida generación		
				Promedio valor daño (miles millones COP)	Máximo valor daño (miles millones COP)	Percentil 95 (miles millones COP)
Betania	Del entorno a la central	Sismo	Presa	5,66	3.995,91	1,14
			Casa de máquinas	3,22	1.303,62	1,13
			Avenida torrencial	11,62	10.603,11	0,11
	Internos	Daños en los equipos por fallas eléctricas	3,42	5,53	4,63	

Fuente: WSP,2019

1.2.3.3.11 Pérdida por daños a terceros

La rotura de presas o las descargas no controladas conllevan a inundaciones y avenidas torrenciales que afectan los activos de terceros ubicados aguas abajo de las centrales. La estimación del valor de las pérdidas se hace mediante el producto de la probabilidad de ocurrencia del evento por la severidad del daño y el valor de los activos de terceros expuestos a partir de los resultados de la zonificación de riesgos por inundación realizado para la central de Betania.

1.2.3.3.11.1 Valoración de activos expuestos

La valoración de los activos de terceros expuestos se hace con base en el inventario de los elementos expuestos a partir de la zonificación de amenaza realizada en cada uno de los planes de gestión del riesgo de desastres y que se sintetizan en la Tabla 1-112.

Tabla 1-112 Inventario de activos expuestos de terceros

Central	Tipo de inundación	Área Total ha	Área Afectada ha	Viviendas			Población Und.	Área Productiva ha	Ecosistemas Estratégicos ha
				Urbana Und.	Rural Und.	Total			
Betania	Descarga de vertederos (amenaza alta)	296.446,9	14.371,4	1.041	947	1.988	46.243	7.438,3	243,9
	Rotura de presa (amenaza baja)		67.358,7	4.685	5.054	9.739	164.110	39.263,6	2.699,4

1.2.3.3.11.2 análisis de distribuciones de probabilidad de ocurrencia de amenazas y severidad de daños

Como se aprecia en la Tabla 1-113, las dos amenazas consideradas que afectarían a terceros ubicados aguas abajo de los embalses de Betania corresponden a rotura de presa y a descargas no controladas de vertederos. En la Tabla 1-113 se presentan las funciones de distribución de probabilidad para estos dos tipos de amenazas.

Tabla 1-113 Función de distribución de probabilidad de ocurrencia de eventos de daño a terceros

Tipo amenaza	Función distribución de eventos de daño	Observaciones
Descarga de vertederos	Weibull (1,1)	Lambda = 1 (un evento por año) k = 1 (la tasa de descargas constante en el tiempo)
Rotura de presa	0,001	Se considera que en el diseño y construcción de las presas se emplearon las mejores prácticas de ingeniería con la adopción de factores de seguridad adecuados y así mismo que la operación y mantenimiento son los correctos para preservar la integridad estructural de la obra.

Fuente: WSP,2019

En la Tabla 1-114 se muestran las funciones de distribución de severidad de daños en términos porcentuales del valor de los activos de terceros expuestos.

Tabla 1-114 Función de distribución de severidad de daños a terceros

Tipo amenaza	Función distribución de severidad de daño	Observaciones
Descarga de vertederos	Beta-Pert (0,01% - 5% - 5%)	La distribución Beta-Pert se basa en 3 escenarios: optimista, más probable y pesimista y su comportamiento se aproxima a una distribución normal con los siguientes parámetros: $\mu = \frac{\text{optimista} + 4 * \text{más probable} + \text{pesimista}}{6}$ $\sigma = \frac{\text{pesimista} - \text{optimista}}{6}$
Rotura de presa	U (5% - 100%)	Se asume una distribución uniforme en un rango entre 5% - 100% sobre el valor del activo afectado

Fuente: WSP,2019

1.2.3.3.11.3 resultados de pérdidas

Como se ha hecho para los otros escenarios, se aplica la técnica de modelación de Montecarlo para estimar el valor de la pérdida por daños a terceros que se consolida en la Tabla 1-115.

Tabla 1-115 Estimación de pérdidas por daño a terceros

Central	Escenario	Amenaza	Valoración daños a terceros		
			Promedio valor daño (miles millones COP)	Máximo valor daño (miles millones COP)	Percentil 95 (miles millones COP)
Betania	De la central al entorno	Inundación por rotura de presa	0,43	0,80	0,76
		Inundación por descargas	3,27	24,93	9,79

Fuente: WSP,2019

1.2.3.4 PRIORIZACIÓN DE RIESGOS

1.2.3.4.1 Valoración de riesgos del entorno a la central

A continuación, en la Tabla 1-116 se desarrolla el consolidado del análisis de riesgo del entorno a la central.

Tabla 1-116 Consolidado del análisis de riesgos del entorno a la central

AMENAZA	PROBABILIDAD	COMPONENTE	VULNERABILIDAD					RIESGO
			Víctimas	Daño ambiental	Afectación de la operación	Pérdidas económicas	Daño a la imagen	
Sismo	Ocasional	Embalse	Insignificante	Insignificante	Insignificante	Insignificante	Insignificante	Riesgo Bajo
		Presa	Catastrófica	Relevante	Desastrosa	Desastrosa	Relevante	Riesgo Alto
		Casa de Maquinas	Relevante	Marginal	Desastrosa	Relevante	Relevante	Riesgo Medio
		Túneles y tuberías de carga y descarga de agua (del embalse a casa de máquinas y de casa de máquinas al río)	Media	Relevante	Relevante	Media	Media	Riesgo Bajo
Contaminación de agua	Ocasional	Embalse	Relevante	Marginal	Desastrosa	Relevante	Relevante	Riesgo Medio
Avenidas Torrenciales o crecientes	Moderado	Embalse	Insignificante	Relevante	Relevante	Media	Marginal	Riesgo Bajo
		Presa	Desastrosa	Desastrosa	Desastrosa	Desastrosa	Desastrosa	Riesgo Alto
		Casa de Maquinas	Marginal	Marginal	Marginal	Relevante	Media	Riesgo Bajo
		Túneles y tuberías de carga y descarga de agua (del embalse a casa de máquinas y de casa de máquinas al río)	Insignificante	Media	Media	Media	Marginal	Riesgo Bajo

Fuente: WSP, 2019

1.2.3.4.2 Valoración de riesgos internos

En la Tabla 1-74 se presenta el resultado consolidado de la evaluación de riesgos a nivel interno producto de las condiciones intrínsecas de la actividad, equipos e infraestructura de la central, tomando como base las descripciones realizadas en los numerales anteriores.

Tabla 1-117 Evaluación de la probabilidad, gravedad y riesgo interno de la central

COMPONENTE	RIESGO	PROBABILIDAD	VULNERABILIDAD				RIESGO	
			VICTIMAS	DAÑO AMBIENTAL	AFECTACIÓN DE LA OPERACIÓN	PÉRDIDAS ECONÓMICAS		DAÑO A LA IMAGEN
Casa de Maquinas	Parada de la central por incendio	Frecuente	Insignificante	Insignificante	Relevante	Relevante	Marginal	Riesgo Bajo
	Parada de la central por explosiones	Improbable	Desastrosa	Marginal	Relevante	Relevante	Marginal	Riesgo Bajo
	Daños a los equipos por Inundación	Ocasional	Insignificante	Insignificante	Relevante	Relevante	Marginal	Riesgo Bajo
	Daños en los equipos por fallas eléctricas	Ocasional	Desastrosa	Marginal	Relevante	Relevante	Marginal	Riesgo Medio
	Daños en los equipos por fallas mecánicas	Moderado	Insignificante	Insignificante	Relevante	Relevante	Marginal	Riesgo Bajo

Fuente: WSP, 2019.

1.2.3.4.3 Valoración de riesgos de la central al entorno

En correspondencia a lo anterior, se presenta la Tabla 1-79 donde se evidencia el resultado consolidado de la evaluación de riesgos generados desde la Central hacia su Entorno, como parte de la actividad y operación normal de la central, tomando como base las descripciones realizadas en los numerales anteriores

Tabla 1-118. Evaluación de la probabilidad, gravedad y riesgo de la central al entorno

COMPO- NENTES	RIESGO	PROBABILIDAD	VULNERABILIDAD					RIESGO
			VICTIMAS	DAÑO AMBIENTAL	AFECTACIÓN DE LA OPERACIÓN	PÉRDIDAS ECONÓMICAS	DAÑO A LA IMAGEN	
Embalse y Presa	Inundación por rotura de presa	Remoto	Catastrófica	Catastrófica	Desastrosa	Catastrófica	Desastrosa	Riesgo Medio
	Inundación por descargas	Frecuente	Relevante	Relevante	Marginal	Marginal	Relevante	Riesgo Alto

Fuente: WSP, 2019.

1.2.3.5 RIESGOS PRIORIZADOS

A continuación, en la Tabla 1-119 se presentan los riesgos priorizados después de la evaluación.

Tabla 1-119 Priorización de riesgos

Escenarios de riesgos	Componentes de la central	RIESGO	Componentes de la central	EVALUACIÓN DEL RIESGO
Entorno a la Central		Sismo	Presa	Riesgo Alto
			Casa de Maquinas	Riesgo Medio
		Contaminación de agua	Embalse	Riesgo Medio
		Avenidas Torrenciales	Presa	Riesgo Alto
Internos	Casa de Maquinas	Fallas eléctricas		Riesgo Medio
De la Central al Entorno	Embalse y presa	Inundaciones por rotura de presa		Riesgo Medio
		inundaciones por descargas		Riesgo Alto

Fuente: WSP, 2019

1.3 MONITOREO DEL RIESGO

1.3.1 SISTEMAS DE MONITOREO E INSTRUMENTACIÓN INSTALADA

En el Plan de Contingencia Quimbo – Betania (MCO-EMG-FSS036-IT-RH-001-0 diciembre, 2017) se plantea la implementación de un sistema de monitoreo hidrometeorológico, con el fin de suministrar información del comportamiento del río Magdalena y Páez y de las precipitaciones en las cuencas en tiempo real, información que servirá como criterio junto con los niveles de operación del embalse para la toma de decisiones sobre posibles reboses por los vertederos.

1.3.1.1 MONITOREO SISMICO - ACELEROGRAFOS

En la Hidroeléctrica Betania se encuentran instalados dos acelerógrafos, los cuales hacen parte de la Red Nacional de Acelerógrafos (RNA) del Servicio Geológico Colombiano (SGC). En la Figura 1-110 se muestra la localización en planta de los acelerógrafos, mientras que en la Tabla 1-120 se muestran las características de las estaciones.

Se resalta, que las dos estaciones presentadas se encuentran activas, instaladas en roca, lo cual, garantiza que no hay efecto de sitio en las lecturas. Por otro lado, se destaca que la topografía del sitio es Ondulada para la estación CBETA, mientras que la estación CBET2 se instaló en una topografía plana. Esta diferencia implica que las señales tomadas por la estación CBETA tendrá inmerso el efecto de la topografía, lo cual, podría generar amplificaciones en las ondas sísmicas.

Figura 1-110 Localización de los acelerógrafos - Hidroeléctrica Betania



Fuente: WSP, 2019

Tabla 1-120 Características acelerógrafos Betania

ID	Nombre	Coordenadas			Geología	Topografía	Instalación
		Latitud	Longitud	Altitud			
CBETA	EMBALSE DE BETANIA	2,708	-75,438	577	ROCA	ONDULADA	
CBET2	BETANIA, ESTACION SISMOLOGICA	2,722	-75,417	557	ROCA	PLANA	2012-oct-05

Fuente: Emgesa

Se considera que la red de acelerógrafos que tiene la Hidroeléctrica es adecuada para monitorear el nivel de amenaza sísmica en el sitio, ya que se encuentra activa, en buen estado e instalada en roca, lo cual, hace que no tenga problemas de efecto local.

1.3.1.2 MONITOREO HIDROLOGICO E HIDRAULICO

Dentro del monitoreo del riesgo que lleva a cabo en el para el embalse de Betania, se puede indicar que la empresa cuenta con una red de estaciones hidrometeorológicas que registran el comportamiento de las variables climatológicas principales en la cuenca como son la precipitación, evaporación, temperatura, etc. Este monitoreo, sumado con el monitoreo de los afluentes al embalse son analizados por ENEL para conocer el comportamiento de la cuenca aguas arriba y vigilar el comportamiento del embalse. Con base en la información recibida, ENEL toma decisiones de permitir la elevación del embalse, aumentar la generación, abrir compuertas del vertedero, etc.

1.4 BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía mayor de Bogotá D.C. Red Prestadora de Servicios de Salud. 2016 – 2020. [Consultado el 05 de abril de 2019]. Disponible en http://www.saludcapital.gov.co/Documents/Red_prestadora_Ser_Salud_2017.pdf
- Alcaldía municipal de Facatativá. Esquema de Ordenamiento Territorial. (2002). [en línea]. [consultado 3 abril. 2019]. Disponible en <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/5eot%20-%20esquema%20de%20ordenamiento%20territorial%20-%20glosario%20-%20facativ%C3%A0%20-%20cundinamarca%20-%202002.pdf>
- Alcaldía municipal de Natagaima. Programa Nacional de Capacitación Municipal Convenio ESAP – Unión Europea. Bogotá. 2010. [Consultado 31 marzo. 2019]. Disponible en: http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/informe%20de%20consultor%C3%ADa_correcciones%20reactivaci%C3%B3n%20econ%C3%B3micas_natagaima_tolima_2002.pdf
- Alcaldía Municipal de Prado. Caracterización Municipal. [Consultado 5 abril. 2019]. Disponible en: <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/pd%20-%20prado%20-%20tolima%20-%202004%20-%202007.pdf>
- Análisis de Riesgos. 1998. Centro de Estudios sobre Desastres y Riesgos Naturales, del Departamento Civil de la Universidad de los Andes.
- Asociación Sísmica Colombiana. Estudio de Amenaza Sísmica de Colombia 2009. Comité AIS-300: Amenaza Sísmica. Bogotá: 2010, 226p.
- Barrero, D. (1979). Geology of the Central Western Cordillera, West of Buga and Roldanillo, Colombia. Publicaciones Geológicas Especiales del Ingeominas. Vol. 4. 1–75pp. Bogotá.
- CIAT. (2011). Memoria técnica, medio natural del Departamento del Huila.
- Colombia. Departamento Nacional de Planeación. Base de datos TerriData [Base de datos en Línea]. [Consultado 31 marzo. 2019]. Disponible en <https://terridata.dnp.gov.co/#/perfiles/25001>
- Convenio especial de cooperación Ministerio del Medio Ambiente y CONIF 042/96. Mapa de riesgos de incendios en plantaciones forestales en Colombia. 1998
- Corredor, F. 2003. Seismic strain rates and distributed continental deformation in the northern Andes and three-dimensional seismotectonics of northwestern South America. *Tectonophysics*, 372: 147-166.
- Cooper, M. A., Addison, F. T., Álvarez, R., Coral, M., Graham, R. H., Hayward, S. H., Martínez, J., Naar, J., Peñas, R., Pulham, A. J., y Tabora, A. 1995. Basin development and tectonic history of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 79 (10): 1421-1443.
- Contraloría General de la Nación. (2017). Los recursos de la Asignación Especial del SGP para Resguardos y el reto para los pueblos indígenas en el ejercicio de la función pública.
- Corporación Autónoma Regional De Cundinamarca CAR. Plan De Manejo Ambiental Distrito Regional De Manejo Integrado Complejo Lagunar Fúquene, Cucunubá Y Palacio. (<https://www.car.gov.co/uploads/files/5c23a797dceff.pdf>)
- Universidad Militar Nueva Granada. Plan de Manejo Ambiental del Distrito de Manejo Integrado Juaitoque. (<https://www.car.gov.co/uploads/files/5ac7c57053985.pdf>)

- Corporación Autónoma Regional de Chivor – CORPOCHIVOR. Plan De Manejo Ambiental del Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) Cuchillas negras y Guanaque 2015. Componente estratégico (<http://fauna.corpochivor.gov.co/wp-content/uploads/2016/04/componente-Estrategico-DRMI-CNG-2015v3.pdf>)
- Corporación Autónoma del Magdalena – CAM. plan de manejo ambiental distrito regional de manejo integrado – DRMI La Tatacoa (<https://www.cam.gov.co/areas-protegidas/planes-de-manejo/category/205-drmi-tatacoa.html?download=1371:pma-drmi-la-tatacoa>)
- Cortés, M., and Angelier, J. 2005. Current states of stress in the northern Andes as indicated by focal mechanisms of earthquakes. *Tectonophysics*, 403: 29-58.
- Consorcio Consultoría Concesiones Viales de Colombia. Informe De Zonas Homogéneas Físicas Y Geoeconómicas Urbanas Y Rurales. ftp://ftp.ani.gov.co/Segunda%20Ola/Santana%20Mocoa%20Neiva/CDAT%20C3/E/EI/EI11/INFORME%20ESTUDIO%20DE%20PRECIOS%20-%20NEIVA%20-%20SANTANA%20-%20MOCOA%20%2004_05_14.pdf
- DANE. Censo general 2005 a 30 de junio de 2012.
- DANE. Estimaciones de población 1985-2005 y proyecciones de población 2005-2020 total municipal por área.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística -DANE-. Estimación y Proyección de Población Nacional Departamental y Municipal Total por Área 1985 – 2020. 2005. [Consultado el 05 de abril de 2019]. 2019. Disponible en <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>
- Departamento Nacional de Estadística -DANE-. Censo de Vivienda, Déficit de Vivienda. 2005 [Base de datos en Línea]. [Consultado 5 abril. 2019]. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/pobreza-y-condiciones-de-vida/deficit-de-vivienda>
- Departamento Nacional de Planeación. (2017) Asignación especial del Sistema General de Participaciones para resguardos indígenas, una propuesta de distribución.
- Departamento administrativo de la presidencia de la república. Decreto 2157 de diciembre de 2017. Bogotá D.C.: República De Colombia,2017.
- Departamento administrativo de la presidencia de la república. Ley 1523 de abril de 2012. Bogotá D.C.: República De Colombia,2012.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística -DANE-. Estimación y Proyección de Población Nacional Departamental y Municipal Total por Área 1985 – 2020. 2005. [Consultado el 05 de abril de 2019]. 2019. Disponible en <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>
- Diario del Huila. Sistema de monitoreo para piscicultura en embalse de Betania continuará en funcionamiento, 2018. <https://diariodelhuila.com/sistema-de-monitoreo-para-piscicultura-en-embalse-de-betania-continuara-en-funcionamiento>.
- DNP. Base de Datos Índice Municipal de Riesgo de Desastres Ajustado por Capacidades. 2018 [Consultado el 1 de abril de 2019]. Disponible en: <https://www.dnp.gov.co/programas/ambiente/gestion-del-riesgo/Paginas/gestion-del-riesgo.aspx>.
- DNP. Índice Municipal de Riesgos de Desastres ajustado por capacidades. 2018 [Consultado el 1 de abril de 2019]. Disponible en <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/IndiceMunicipaldeRiesgodeDesastres.pdf>

- EMGESA S.A.S. Estudio de impacto ambiental capítulo 3 del proyecto hidroeléctrico El Quimbo.2008.
- EMGESA. Informe Monitoreo Limnológico Del Embalse Betania - Caracterización Hidrobiológica. Primer Monitoreo Semestral.2017. Informe mensual código TB-05-5543b
- https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Presentaci%C3%B3n%C3%8D%C3%8Dndice_Municipal_de_Riesgo_de_Desastres.pdfEMGESA. Plan de contingencia para las centrales de generación de energía de Emgesa S.A E.S.P. 2012
- EMGESA. Plan de contingencia para las centrales de generación de energía de Emgesa S.A E.S.P. Anexo 2.4 Central Betania. 2012
- EMGESA. Plan de Contingencia Quimbo – Betania (MCO-EMG-FSS036-IT-RH-001-0 diciembre, 2017).
- Fichas de caracterización socioeconómica- WSP, 2019, IGAC, 2012, DANE, 2005, DNP,2017, Ministerio de Salud y Protección Social, 2017, Aguas del Huila, 2019.
- Fichas de caracterización socioeconómica- WSP, 2019 y DANE- Déficit cualitativo de vivienda, 2005.
- EMGESA. Plan de manejo ambiental de Betania en Operación. Central hidroeléctrica de Betania, Capitulo 1. 2018
- EMGESA. Plan de manejo ambiental de Betania en Operación. Central hidroeléctrica de Betania, Capitulo 2. 2018
- Esquema de ordenamiento territorial municipal. Yaguara, Huila. 1999
- GOAL Organización Humanitaria Internacional. Herramientas para medir la resiliencia comunitaria ante desastres. 2015.
- Gobernación del Huila. Huila en contexto. En: Plan Huila 2050. [en línea]. Consultado el 7 de febrero de 2019. Disponible en: <http://planhuila2050.com/huila-en-contexto#seccion-63>
- Gobernación del Tolima. Plan Departamental de Agua del Tolima. EDAT S.A., E.S.P. [Consultado 5 abril. 2019]. Disponible en: <http://www.edat.gov.co/wp-content/uploads/2018/12/PGEI-2016-2019.pdf>
- Guoxing Chen, Dandan Jina, JinMaoa, Hongmei Gaoa, ZhihuaWang, Liping Jing. Yongqiang Li c, Xiaojun Li. (2014). Seismic damage and behavior analysis of earth dams during the 2008 Wenchuan earthquake, China. *Engineering Geology* 180 (2014) 99–129.
- Gómez, E. (2001). Tectonic controls on the late Cretaceous to Cenozoic sedimentary fill of theMiddle Magdalena Valley Basin, Eastern Cordillera and Llanos Basin, Colombia. Cornell university. PhD thesis. Vol 1. 616pp. New York.
- Guevara Julieth, Hurtado Julio Cesar, Plan de prevención, control y mitigación de incendios forestales para el área de compensación biótica y restauración ecológica del Proyecto Hidroeléctrico el Quimbo, Huila.
- Humboldt, I. A. (1998). El Bosque Seco Tropical (Bs-T) en Colombia. programa de inventario de la biodiversidad, Grupo de Exploraciones y Monitoreo Ambiental GEMA.
- <http://ecosistemaestrategicotatacoa.blogspot.com/>
- <https://www.desinventar.org/es/>
- https://www.invima.gov.co/images/nos_publican/2015/Abril/Monitoreo_Invima_2015-Abr-22.pdf
- <http://omal.info/spip.php?article3879>
- <https://www.lanacion.com.co/2014/10/01/la-tatacoa-fue-declarado-distrito-regional/>

- <https://www.rcnradio.com/colombia/region-central/grave-contaminacion-mortalidad-peces-betania-huila>
- <http://www.siac.gov.co/inundaciones>
- IDEAM. *Estudio Nacional del agua*, 2018.
- IDEAM, Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal - Escala 1:100.000 Bogotá, D. C., 2011. 109 pag.
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, Cancillería. 2017. Tercera Comunicación Nacional De Colombia a La Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático (CMNUCC). Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. IDEAM, PNUD, MADS, DNP, Cancillería, FMAM. Bogotá D.C., Colombia.
- EMGESA. Informe Monitoreo Limnológico Del Embalse Betania - Caracterización Hidrobiológica. Primer Monitoreo Semestral.2017. Informe mensual código TB-05-5543b
- INGEOMINAS. Catálogo de sismos de Colombia para Estudios de Amenaza Sísmicas, 2001.
- ISDR (2009), Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres
- Manual de incendios forestales. Dirección general de protección civil y emergencias. Grupo Tragsa. España
- Martínez, P.M., Delgado, J.F. y Muñoz; J.F. (2016). Diversidad de géneros de fitoplancton del embalse de Betania-Huila y su importancia como bioindicadores. Revista científica del, 25,241-251. Doi: 10.14483/udistrital.jour.RC.2016.25.a8)
- Merino Maria Claudia, Bonilla Sara patricia y Bages Fernando. 2013 diagnóstico de la Acuicultura en Colombia. Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca- AUNAP. Bogotá, mayo de 2013.
- Merlano, J. M. (2006). Bosque Seco Tropical de Colombia. Cali, Colombia: Editorial banco de Occidente
- Ministerio de agricultura y desarrollo rural. Programa de Vivienda de Interés Rural. 2018. [Consultado 5 abril. 2019]. Disponible en <https://www.minagricultura.gov.co/Paginas/vivienda-rural.aspx>
- Ministerio de Cultura. Caracterizaciones de los pueblos indígenas de Colombia. Dirección de Poblaciones. Sin fecha [Consultado el 04/03/2019. Disponible en: <http://www.mincultura.gov.co/prensa/noticias/Documents/Poblaciones/PUEBLO%20PIJAO.pdf>.
- Ministerio de minas y energía. Cobertura del Servicio de gas Natural. Segundo Trimestre del 2017. [Base de datos en Línea]. [Consultado 31 marzo. 2019]. Disponible en https://www.minenergia.gov.co/documents/10192/23883779/140917_reporte_consolidado_GN_2017_II.pdf/bc1b6661-7647-4ac3-a489-957e38b4e4d0
- Montes, N.; Velandia, F.; Osorio, J.; Audemard, F.; Diederix, H. interpretación morfotectónica de la falla Ibagué para su caracterización paleosismológica. Boletín de Geología, Vol. 27, No. 1, enero-junio de 2005
- M. West, M.M.(2018). A guide to breach prediction.
- ONU. IASC. Mesa sectorial de Alojamientos. El Salvador. Efectos de las inundaciones en la estructura de las viviendas. [en línea]. Sin fecha. [revisado 01 de abril 2019]. Disponible en Internet: <https://www.sheltercluster.org/sites/default/files/docs/Efectos%20de%20las%20inundaciones%20en%20el%20estado%20de%20las%20viviendas-%20final.pdf>
- Notas Geológicas: Algunas anotaciones sobre la Formación Gualanday; Galvis, J., Tamara A. 1985
- ONIC-Organización Nacional Indígena de Colombia. Sin fecha. fecha [Consultado el 4 de abril de 2019]. Disponible en: <https://www.onic.org.co/onic>

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Resiliencia. [en línea]. Sin fecha. [revisado 01 de abril 2019]. Disponible en Internet: <http://www.fao.org/emergencias/como-trabajamos/resiliencia/es/>.
- Paula Martinez-Silva, Jorge Leonardo Muñoz-Yustres y Natalia Rodriguez Charry (2018). Structure of zooplanktonic community in a tropical dam (Betania-Colombia) with High environmental tension. Contemporary Engineering Sciences, Vol. 11, 2018, no. 59, 2931 - 2948 HIKARI Ltd, www.m-hikari.com <https://doi.org/10.12988/ces.2018.86300>.
- Paula Martínez Silva, Jorge Leonardo Muñoz Yustres, Luis Alexander Carvajal Pinilla y Ruthber Rodriguez Serrezuela. 2018. Contemporary Engineering Sciences, Vol. 11, 2018, no. 10, 451 – 465 HIKARI Ltd, www.m-hikari.com <https://doi.org/10.12988/ces.2018.8233>
- Pardos Jose Alberto. Incendios en los montes, cambio climático y emisión/mitigación de CO2: Triangulo de influencias reciprocas
- Pizano, C y H. García (Editores). 2014. El bosque Seco Tropical en Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogota. D.C., Colombia
- Plan básico de ordenamiento territorial del municipio de Coyaima. Tomo I. Diagnóstico. [Consultado 5 abril. 2019]. Disponible en: <http://www.coyaima-tolima.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionControl/Diagn%C3%B3stico%20PBOT.pdf>
- Plancha 345, Municipio Campoalegre
- Red Ormet. Diagnóstico socioeconómico y del mercado del trabajo. 2012. p 20. [Consultado el 7 de diciembre de 2018 100%]. 2017. Disponible en <http://hacienda.cartagena.gov.co/images/papers/Diagnostico-socioeconomico-y-del-mercado-de-trabajo.pdf>
- SIGOT, Sistema de Información Geográfica para la Planeación y el Ordenamiento Territorial, 2017
- SGC. Plancha 345, Municipio Campoalegre. Servicio geológico colombiano. 1999
- Stolk, M. E., P. A. Verweij, M. Stuip, C. J. Baker and W. Oosterberg (2006). Valoración Socioeconómica de los Humedales en América Latina y el Caribe. Wetlands International. Los Países Bajos.
- Unidad de Planeación Minero-Energética -UPME-. Plan Indicativo de Expansión de Cobertura de Energía Eléctrica. 2013-2017. [Consultado 5 abril. 2019]. Disponible en: http://www.upme.gov.co/Siel/Siel/Portals/0/Piec/Libro_PIEC.pdf
- Vesga Rojas, Harvy Fabián. Nuevas formas para optimizar la gestión del riesgo desde la perspectiva de territorios resilientes en Colombia. 2018. En Revista Espacios. No. 8, Vol. 39; p.10.
- Villa-Navarro Francisco Antonio, Zúñiga-Upegui Pamela Tatiana, Castro-Roa Denise, García-Melo Jorge Enrique, García-Melo Luis José y Herrada-Yara Mercy Eloisa. Peces del alto Magdalena, cuenca del río Magdalena.
- Wong Julio Cesar. Evaluación de incendios forestales y su disponibilidad en incendios forestales: un estudio en el parque Nacional La Malinche. 2007