INFORME GEOLÓGICO

PROYECTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA COMUNITARIA

Granja Solar Fotovoltaica — 1 MWn

JAC Sector Guadualejo | Municipio de Purificación | Departamento del Tolima

Coordenadas del proyecto:

3°49'45.4"N 74°57'51.5"W

Plancha Geológica SGC 283 — Purificación | Valle Superior del Magdalena

REGIÓN CENTRAL RAP-E Estamos Construyendo Región

egetsa Empresa Generadora de Energía del Tolima

1. Introducción

El presente informe geológico tiene como propósito caracterizar las condiciones geológicas, litológicas, estructurales, sísmicas, hidrogeológicas y de riesgo geológico del sitio de implantación de la granja solar fotovoltaica comunitaria de 1 MWn de la Junta de Acción Comunal del sector Guadualejo, municipio de Purificación, departamento del Tolima.

El estudio se fundamenta en la cartografía geológica oficial de la Plancha 283 — Purificación, escala 1:100.000, elaborada por el Servicio Geológico Colombiano (Cossio, Rodríguez y Rodríguez, 1994; versión estandarizada 2009), complementada con el Mapa Geológico de Colombia 2023 (SGC), el estudio de suelos de CMK Ingeniería y Geotecnia S.A.S. (diciembre 2025), y fuentes técnicas del IDEAM, la ANH y el SGC para los aspectos hidrogeológicos y de amenaza sísmica.

El área de interés se localiza en las coordenadas geográficas 3°49'45.4"N — 74°57'51.5"W, dentro de la llanura aluvial del río Magdalena en el sector sur del municipio de Purificación, a 329 m.s.n.m., en el contexto geológico regional del Valle Superior del Magdalena.

2. Localización y Marco Geográfico

Parámetro	Valor
Municipio	Purificación
Departamento	Tolima
Coordenadas del proyecto	3°49'45.4"N — 74°57'51.5"W (MAGNA-SIRGAS)
Sondeo S1	3°49'45.38"N — 74°57'51.45"W
Sondeo S2	3°49'44.35"N — 74°57'49.45"W
Sondeo S3	3°49'43.33"N — 74°57'51.42"W
Altitud	329 m.s.n.m.
Extensión territorial municipio	422 km²
Temperatura promedio	26 °C
Plancha geológica SGC	283 — Purificación (1:100.000)
Cuenca hidrográfica	Valle Superior del Magdalena
Cuerpo de agua más cercano	Río Magdalena / Sector Guadualejo

El municipio de Purificación se ubica en la margen derecha del río Magdalena, en la zona de transición entre el piedemonte de la Cordillera Oriental y la llanura de inundación del valle. El sitio del proyecto corresponde a terrenos planos de llanura aluvial activa, con cobertura de pastos y antiguas planicies de inundación del Magdalena.

3. Marco Geológico Regional

El municipio de Purificación se inscribe dentro del contexto geológico regional del Valle Superior del Magdalena (VSM), una depresión tectónica inter-andina ubicada entre las cordilleras Central y Oriental, que ha sido sede de una sedimentación continua desde el Cretácico hasta el Cuaternario reciente. La cartografía geológica de referencia es la Plancha 283 — Purificación (Cossio et al., 1994; SGC, versión 2009).

3.1 Contexto tectónico regional

El VSM es una cuenca de tipo transpresivo generada por la convergencia de las placas Nazca y Suramérica, con subsidencia activa controlada por los sistemas de fallas longitudinales que delimitan las cordilleras. El sitio del proyecto se localiza en la cuenca norte del VSM, donde el relleno sedimentario de edad Cretácica, Terciaria y Cuaternaria alcanza espesores considerables. Los sistemas de fallas que controlan la estructura regional son el Sistema de Fallas de Algeciras-Chusma al oriente y la Falla de Ibagué al norte, con expresión morfotectónica activa.

3.2 Unidades estratigráficas regionales

Las unidades litoestratigráficas identificadas en la Plancha 283 — Purificación, desde las más antiguas hasta las más recientes, son:

3.2.1 Unidades sedimentarias del Cretácico

Corresponden a las rocas más antiguas que afloran en el área de Purificación. Son parte de las cuencas marinas y deltaicas del Mesozoico tardío (Albiano-Maastrichtiano), representadas por:

- Lutitas, areniscas y calizas de ambiente marino y marino-deltaico, depositadas durante la inundación marina cretácica del VSM.
- Unidades como la Formación Villeta (lutitas calcáreas negras y calizas), Formación Cimarrona (calizas, areniscas y cherts) y Formación Monserrate (areniscas cuarzosas), con afloramientos en los flancos de la Cordillera Oriental y en colinas disectadas al oriente del área.
- Estas unidades presentan deformación tectónica intensa — fallas y pliegues — producida por los eventos compresivos del Paleógeno y el Neógeno.

3.2.2 Unidades Paleógenas — Terciarias

Sobre las rocas cretácicas, la cuenca del VSM registra una evolución hacia ambientes continentales durante el Paleógeno y Neógeno, con las siguientes unidades:

- Formación Barzalosa (Eoceno): secuencias de arcillas, limolitas y areniscas de ambiente fluvial meandriforme y llanuras de inundación. Litología heterogénea con variaciones laterales importantes.
- Lodolitas de Fusagasugá (Eoceno medio): materiales muy finos (lodolitas y arcillas) con intercalaciones de areniscas, depositados en ambiente de ríos meandriformes.
- Conglomerados de Carmen de Apicalá (Eoceno medio-Oligoceno): materiales gruesos (cantos a gravas), ambiente de ríos trenzados, levantamiento tectónico de la Cordillera Oriental.
- Formación Honda (Mioceno): areniscas, limolitas y conglomerados de ambiente fluvial, con frecuentes facies fluvio-lacustres. Aflora en colinas disectadas al pie de la Cordillera Oriental, al oriente del área de interés. En el VSM los estratos miocenos de la Fm. Honda aparecen basculados y recubiertos por aluviones cuaternarios.
- Estas unidades se mapean con códigos T1, T2, T3 en la cartografía de la Plancha 283 y constituyen la base del relleno terciario del VSM visible en colinas bajas al norte y oriente del municipio.

3.2.3 Depósitos Cuaternarios — Unidad de interés del proyecto

Los sedimentos más jóvenes corresponden al Cuaternario, depositados por el río Magdalena y sus tributarios durante el Pleistoceno y el Holoceno. Esta es la unidad geológica directamente relevante para el proyecto, dado que el sitio se localiza sobre depósitos cuaternarios de la llanura aluvial:

- Depósitos aluviales recientes (Qal): arenas, limos, arcillas y gravas poco consolidadas depositadas en la llanura de inundación y planicie fluvio-lacustre del río Magdalena. Se caracterizan por alta heterogeneidad vertical (facies de sedimentos finos con intercalaciones de arena y grava) y alto contenido de materia orgánica en horizontes superficiales. Corresponden a la unidad aflorante en el sitio del proyecto.
- Terrazas aluviales (Qt): depósitos heterométricos y heterogéneos de terrazas fluviales del Magdalena, a diversas cotas. Generalmente compuestos por materiales muy heterogéneos de cantos, gravas y arenas con matriz arcillosa.
- Abanicos aluviales (Qa): sedimentos no consolidados (fragmentos graníticos y andesíticos) procedentes de la erosión de la Cordillera Oriental. Compuestos por feldespatos potásicos, cuarzo, plagioclasas y micas (Cañas et al., 2019). Se localizan en el piedemonte de la cordillera, al oriente del área.
- Depósitos fluvio-lacustres (Qfl): sedimentos de llanura de inundación y planicie fluvio-lacustre, caracterizados por arcillas y limos con altos contenidos de materia orgánica. Relevantes en la interpretación de los estratos de arcilla CH identificados en los sondeos SPT.

Los depósitos cuaternarios suelen identificarse con el código 'Q' seguido de subdivisiones (Q2, Q2a) en la cartografía de la Plancha 283. Su espesor varía lateralmente en función de la dinámica fluvial histórica del Magdalena.

4. Litología del Sitio de Interés

Con base en la cartografía de la Plancha 283 — Purificación (SGC, 1994/2009), el Mapa Geológico de Colombia 2023 y los resultados del estudio geotécnico de CMK Ingeniería y Geotecnia S.A.S. (diciembre 2025), el sitio del proyecto (3°49'45.4"N — 74°57'51.5"W) se localiza sobre depósitos cuaternarios aluviales del río Magdalena. Los tres sondeos SPT realizados hasta 6.00 m de profundidad caracterizan la siguiente columna litológica:

Profundidad (m)	Clasif. SUCS	Descripción litológica
0.00 – 0.20	TN	Placa de concreto existente — nivel actual del terreno
0.20 – 4.00	CH	Arcilla de Alta Plasticidad (CH) color Café con oxidaciones. Correspondiente a depósitos fluvio-lacustres holocénicos del río Magdalena. LL = 50-57%, IP = 29-36%. Consistencia blanda a media firme (N campo = 3-16 golpes/pie).
4.00 – 6.00	SC	Arena Arcillosa (SC) color Café con oxidaciones. Correspondiente a depósitos aluviales de canal y barra del Magdalena. N campo = 15-20 golpes/pie. Consistencia media.

4.1 Descripción detallada por estrato

Estrato 1 — Arcilla CH (0.20 – 4.00 m)

Arcilla de Alta Plasticidad, color Café con manchas de oxidación rojiza-amarillenta, de origen fluvio-lacustre cuaternario. Las manchas de oxidación son indicativas de fluctuaciones históricas del nivel freático (proceso de gleización) asociadas a la dinámica de inundación del río Magdalena. Presenta los siguientes parámetros físicos medidos en laboratorio:

- Límite Líquido (LL): S1=55.9%, S2=54.7-54.2%, S3=56.7-56.8% — promedio ~55%
- Límite Plástico (LP): S1=21.4%, S2=20.6-21.2%, S3=20.9-21.2% — promedio ~21%
- Índice de Plasticidad (IP): 29-36% — ALTA plasticidad
- Clasificación SUCS: CH (A-7-6 AASHTO)
- Humedad natural: 22-25%
- Porcentaje de finos: 54-57%
- Peso específico: γ = 1.56 t/m³ / γsat = 1.75 t/m³
- POTENCIAL EXPANSIVO ALTO según Holtz (1956) y Chen (1975) — crítico para el diseño de cimentaciones

Estrato 2 — Arena Arcillosa SC (4.00 – 6.00 m)

Arena Arcillosa, color Café con oxidaciones, correspondiente a depósitos de canal fluvial del Magdalena. Mayor energía de depositación que el estrato suprayacente. Parámetros de laboratorio:

- Límite Líquido (LL): 41-42% — plasticidad media
- Índice de Plasticidad (IP): 19-20%

- Clasificación SUCS: SC (A-7-6 / A-2-7 AASHTO)
- Porcentaje de arenas: 63-68% / finos: 32-37%
- Consistencia media (N campo = 15-20 golpes/pie)

4.2 Correlación con la geología regional

Los estratos identificados en los sondeos son consistentes con los depósitos cuaternarios de llanura aluvial del río Magdalena descritos en la Plancha 283 — Purificación. El estrato de Arcilla CH corresponde a facies de llanura de inundación y planicie fluvio-lacustre (Qfl/Qal), mientras que el estrato de Arena SC corresponde a facies de canal y barra de meandro (Qal). La ausencia de nivel freático en los tres sondeos (hasta 6.00 m) se explica por la posición topográfica del sitio, ligeramente elevada respecto al cauce activo del Magdalena, en una terraza baja o planicie de inundación estacional.

5. Geología Estructural y Sistemas de Fallas

El área de Purificación se inscribe en un contexto estructural complejo, controlado por los grandes sistemas de fallas que delimitan el Valle Superior del Magdalena. La cartografía estructural de la Plancha 283 identifica las siguientes estructuras relevantes:

5.1 Sistema de Fallas de Algeciras (SFA)

El Sistema de Fallas de Algeciras constituye la principal falla activa del sector. Se trata de una falla de transcurrencia lateral derecha con rumbo NE-SW, de aproximadamente 220 km de longitud, que marca el límite oriental entre el Valle Superior del Magdalena y la Cordillera Oriental. Presenta:

- Tipo: Falla de transcurrencia dextral con componente inversa — fractura lateral derecha
- Rumbo: NE-SW (dirección noreste)
- Longitud: ~220 km desde el Huila hasta el Tolima central
- Evidencias de neotectonismo: desplazamiento de abanicos cuaternarios, lomos de presión, drenajes interrumpidos, ganchos de flexión, facetas triangulares y alineamientos morfotectónicos (París y Romero, 1994)
- Tasa de desplazamiento: moderada (Vergara, 1993)
- Sismos históricos asociados: el SFA ha sido vinculado a cuatro eventos históricos con M > 6.5 (desde el siglo XVII)
- Distancia al sitio del proyecto: el SFA se localiza al oriente del área urbana de Purificación, a una distancia aproximada de 8-12 km del sitio del proyecto

5.2 Sistema de Fallas de Chusma

El Sistema de Fallas de Chusma corre paralelo al SFA, marcando también el límite entre el VSM y la Cordillera Central. Junto con el SFA, delimita la cuenca de subsidencia del VSM donde se acumulan los sedimentos cuaternarios del área del proyecto. Presenta orientación NNE-SSW con cinemática inversa a transpresiva.

5.3 Falla de Ibagué

La Falla de Ibagué tiene rumbo E-W a EWE-SWS y se localiza al norte del área de Purificación. Es una falla de rumbo importante que ha sido relacionada con eventos sísmicos de magnitud significativa en el Tolima central. Se considera fuente sismogénica relevante para el sitio del proyecto.

5.4 Fallas locales — Plancha 283

La Plancha 283 identifica adicionalmente las fallas Altamira y Nazareth como fallas inversas en el sector NE de la plancha, así como lineamientos estructurales menores asociados al plegamiento de las unidades terciarias. Estas estructuras locales tienen expresión principalmente en las colinas terciarias al oriente del área, sin afectar directamente los depósitos cuaternarios donde se localiza el proyecto.

5.5 Pliegues

Los pliegues presentes en la Plancha 283 corresponden a estructuras anticlinales y sinclinales de orientación NNE en las unidades cretácicas y terciarias del sector oriental. Los depósitos cuaternarios del sitio del proyecto no presentan deformación por plegamiento, dado su carácter reciente y su posición en la llanura aluvial.

Estructura	Tipo	Rumbo	Distancia al sitio	Relevancia
Falla de Algeciras (SFA)	Transcurrencia dextral	NE-SW	~8-12 km al oriente	MUY ALTA — fuente sísmica
Falla de Chusma	Inversa a transpresiva	NNE-SSW	~15-20 km al occidente	ALTA — delimita cuenca
Falla de Ibagué	Transcurrencia	E-W	~40-50 km al norte	MEDIA — fuente sísmica
Fallas Altamira-Nazareth	Inversas locales	NNE	>20 km	BAJA — en sector NE plancha

6. Sismicidad y Amenaza Sísmica

Purificación se localiza en una de las zonas de mayor amenaza sísmica de Colombia, condicionada por la proximidad al Sistema de Fallas de Algeciras y la naturaleza del subsuelo cuaternario (Perfil Tipo E, NSR-10), que amplifica significativamente las ondas sísmicas.

6.1 Parámetros de amenaza sísmica — NSR-10

Parámetro sísmico NSR-10	Valor	Fuente
Zona de amenaza sísmica	ALTA	Mapa NSR-10 Fig. A.2.3-1
Aa — aceleración horizontal pico efectiva	0.25g	NSR-10 / CMK 2025
Av — velocidad horizontal pico efectiva	0.20g	NSR-10 / CMK 2025
Tipo de Perfil de suelo (NSR-10 Tabla A.2.4-2)	E (Vs < 180 m/s hasta 3 m prof.)	Estudio de suelos CMK 2025
Fa — amplificación periodos cortos	1.40	NSR-10 Tabla A.2.6-2 — Perfil E, Aa=0.25
Fv — amplificación periodos largos	3.20	NSR-10 Tabla A.2.6-3 — Perfil E, Av=0.20
Grupo de uso / Coeficiente I	III / 1.25	NSR-10 Tabla A.2.5-1

6.2 Efecto de sitio — Amplificación sísmica

El Perfil de suelo Tipo E determinado en el estudio de suelos (velocidad Vs < 180 m/s hasta 3 m de profundidad en los tres sondeos) es el tipo de perfil con mayor amplificación sísmica contemplado en la NSR-10. Los factores Fa=1.40 y Fv=3.20 son los valores más altos de la tabla para la zona sísmica ALTA de Colombia.

Esta amplificación se explica por las características de los depósitos cuaternarios aluviales del sitio: arcillas blandas a media firme de alta plasticidad (CH) con velocidades de onda cortante bajas (Vs = 113-171 m/s en los primeros 3 m), que actúan como amplificadores de las ondas sísmicas provenientes de las fuentes sismogénicas regionales (SFA, Falla de Ibagué).

6.3 Sismicidad histórica y registrada

El Sistema de Fallas de Algeciras ha generado históricamente eventos sísmicos significativos. Desde el siglo XVII se han atribuido al SFA cuatro eventos históricos con magnitud M > 6.5, según el análisis macroseísmico (Vargas et al.). La proximidad del SFA al área de Purificación (~8-12 km) convierte a esta falla en la fuente sismogénica dominante para el sitio.

El catálogo sísmico del SGC registra actividad sísmica moderada a frecuente en el departamento del Tolima, con epicentros asociados principalmente al SFA y sus ramales. La magnitud máxima esperada para la zona, considerando el SFA como fuente, es del orden de Mw 7.0, lo que justifica plenamente la clasificación de zona sísmica ALTA en la NSR-10.

6.4 Implicaciones para el diseño

- La zona sísmica ALTA con Perfil Tipo E impone las mayores demandas sísmicas posibles en la NSR-10. El análisis sísmico es OBLIGATORIO y no admite simplificaciones.
- Los factores de amplificación Fa=1.40 y Fv=3.20 deben aplicarse en el espectro de diseño para el análisis modal espectral de la estructura.
- El suelo blando (Perfil E) con alta plasticidad puede experimentar pérdida de resistencia bajo cargas cíclicas (cargas sísmicas repetidas), aunque para las cargas livianas del sistema fotovoltaico este efecto es mínimo.
- El potencial de expansión ALTO del estrato CH puede interactuar negativamente con los cambios de humedad inducidos por eventos de lluvia intensa asociados a períodos sísmicos.

7. Hidrogeología

El área de Purificación se localiza dentro del Sistema Acuífero del Valle Medio del Magdalena (SAVMM), uno de los sistemas acuíferos más importantes de Colombia, compuesto por unidades cuaternarias y terciarias poco consolidadas con características hidráulicas favorables.

7.1 Unidades hidrogeológicas presentes

Unidad	Tipo de acuífero	Profundidad (m)	Características
Depósitos aluviales Qal — capa superior (Arcilla CH)	Acuicludo / Acuitardo	0 – 4	Alta plasticidad, baja permeabilidad, impermeable relativo. Nivel freático no detectado en 3 sondeos hasta 6 m
Depósitos aluviales Qal — capa inferior (Arena SC)	Acuífero libre potencial	4 – 6+	Arena arcillosa, permeabilidad media-baja. Base del reconocimiento geotécnico
Depósitos aluviales profundos / Formación Mesa	Acuífero libre a semilibre	>6 – 50	Arenas y gravas, alta permeabilidad. Acuífero aprovechable del SAVMM
Fm. Honda / Terciario consolidado	Acuífero semiconfinado	50 – 150+	Areniscas y conglomerados cementados, permeabilidad secundaria

7.2 Nivel freático en el sitio

Los tres sondeos SPT realizados hasta 6.00 m de profundidad no detectaron nivel freático (NAF = No Presente en los tres puntos de exploración). Este resultado indica que el nivel freático se encuentra a profundidades mayores de 6.00 m bajo el nivel actual del terreno, lo que es consistente con la posición topográfica del sitio en una terraza aluvial baja del Magdalena.

Sin embargo, es importante advertir que el nivel freático en depósitos aluviales del Magdalena puede fluctuar significativamente en función de la estación del año (hasta 2-4 m de variación entre temporada seca y lluviosa). El estudio de suelos fue realizado en diciembre de 2025 (inicio de temporada seca), por lo que en temporada de lluvias el nivel freático podría ascender hacia los primeros metros del suelo.

7.3 Hidrogeoquímica

Los estudios regionales del SAVMM (Cañas et al., 2019) identifican en los depósitos cuaternarios aluviales del Magdalena una facia hidrogeoquímica bicarbonatada cálcica como dominante (51.4%), seguida de agua bicarbonatada sódica (26.4%). Estas aguas representan infiltración reciente con tiempos cortos de residencia, confirmando la dinámica activa del acuífero cuaternario superficial.

7.4 Implicaciones hidrogeológicas para el proyecto

- No se requiere drenaje subterráneo en condiciones actuales (NAF > 6.00 m).
- Se recomienda inspección del nivel freático en temporada de lluvias antes de iniciar excavaciones, especialmente si alguna zapata requiere profundidades mayores de 1.50 m.
- El suelo expansivo (CH de alta plasticidad) es muy sensible a cambios de humedad: absorbe agua y se expande, pierde agua y se contrae. Evitar acumulaciones de agua superficial cerca de fundaciones.
- Los rellenos de excavación deben ser de material granular (no arcilloso) para prevenir saturación capilar y activación del potencial expansivo.
- Los filtros tipo francés (subdrenajes) se recomiendan en el perímetro de las fundaciones si se detecta humedad persistente durante la construcción.

8. Geomorfología

El municipio de Purificación presenta una geomorfología dominada por la planicie aluvial del río Magdalena al occidente y las estribaciones del piedemonte de la Cordillera Oriental al oriente. El sitio del proyecto se localiza en la unidad geomorfológica de llanura aluvial activa:

Unidad geomorfológica	Descripción	Relevancia para el proyecto
Llanura aluvial activa (La)	Planicie de inundación y deposición del río Magdalena. Relieve plano a suavemente ondulado. Pendientes <2%.	Unidad donde se localiza el sitio del proyecto. Suelos arcillosos de alta plasticidad.
Terraza aluvial baja (Qt1)	Superficies planas ligeramente elevadas sobre la llanura activa. Compuestas por depósitos aluviales heterométricos.	Posible unidad de transición en el extremo del lote.
Terraza aluvial alta (Qt2)	Superficies más elevadas, disectadas por quebradas. Material más compacto y antiguo.	Presente en zonas alejadas del proyecto.

Unidad geomorfológica	Descripción	Relevancia para el proyecto
Piedemonte coluvio-aluvial (Pc)	Abanicos aluviales del piedemonte de la Cordillera Oriental al oriente.	Distante del proyecto (~5+ km al oriente).
Colinas terciarias (Ct)	Colinas disectadas en rocas de la Formación Honda (Mioceno). Relieve suave a moderado.	Al oriente y norte del área urbana.

El sitio específico del proyecto presenta topografía prácticamente plana, característica de la llanura de inundación del Magdalena, con pendiente menor al 2%. Esta condición, junto con la presencia de arcillas expansivas, hace necesario un manejo cuidadoso del drenaje superficial para evitar encharcamientos y cambios de humedad en el suelo de fundación.

9. Análisis de Riesgos Geológicos

A continuación, se presenta la evaluación de los principales riesgos geológicos identificados para el sitio del proyecto, con base en las características geológicas, geomorfológicas y sísmicas del área:

9.1 Riesgo sísmico

Amenaza	Nivel	Descripción y medidas
Sacudimiento sísmico	MUY ALTO	Zona sísmica ALTA NSR-10. Perfil Tipo E (máxima amplificación). Aa=0.25g, Fa=1.40, Fv=3.20. SFA a 8-12 km. Medida: diseño sísmico riguroso NSR-10, análisis modal espectral obligatorio.
Licuefacción	BAJO-MEDIO	El estrato CH (arcilla) es poco susceptible a licuefacción. El estrato SC podría presentar susceptibilidad limitada en profundidad. Por la carga liviana del FV no es factor crítico.
Fallas superficiales	BAJO	Las fallas principales (SFA, Ibagué) están a >8 km del sitio. No se identifican fallas activas superficiales en el área inmediata del proyecto.

9.2 Riesgo por expansividad del suelo

Amenaza	Nivel	Descripción y medidas
Expansividad suelo CH	ALTO	Potencial de expansión ALTO según Holtz (1956) y Chen (1975). LL=50-57%, IP=29-36%. Puede generar levantamiento y agrietamiento de fundaciones con cambios de humedad. MEDIDAS: escarificación + cal, drenaje perimetral, rellenos granulares.
Asentamientos diferenciales	BAJO	Asentamientos totales calculados = 0.29 cm (muy bajos). Perfil homogéneo en los 3 sondeos. Riesgo bajo de asentamientos diferenciales.

9.3 Riesgo por inundación

Amenaza	Nivel	Descripción y medidas
Inundación fluvial	MEDIO	El sitio se localiza en llanura aluvial del Magdalena. Eventos de inundación histórica documentados en el municipio. Medidas: verificar cotas de inundación del POMCA Magdalena. Elevar equipos sensibles sobre pedestales.
Encharcamiento superficial	MEDIO	Suelo de baja permeabilidad (CH). Riesgo de encharcamiento en temporada de lluvias. Medidas: pendientes mínimas de drenaje 1%, canaletas perimetrales.

9.4 Riesgo por erosión y remoción en masa

Amenaza	Nivel	Descripción y medidas
Erosión superficial	BAJO	Topografía plana (<2% pendiente). Sin escorrentías concentradas. Riesgo bajo de erosión superficial.
Deslizamientos	NO APLICA	El sitio se localiza en llanura aluvial plana. No hay taludes o pendientes que generen riesgo de remoción en masa.

9.5 Resumen de riesgos

Riesgo geológico	Nivel	Medida de mitigación clave
Sacudimiento sísmico	MUY ALTO	Diseño sísmico NSR-10 — análisis modal espectral
Expansividad suelo CH	ALTO	Estabilización con cal + drenaje perimetral
Inundación fluvial	MEDIO	Verificar POMCA + elevar equipos
Encharcamiento superficial	MEDIO	Sistema de drenaje superficial eficiente
Licuefacción	BAJO	No requiere medida especial
Erosión / Remoción en masa	BAJO / N.A.	No requiere medida especial

10. Investigaciones Recientes (2015 — 2024)

La última década ha producido avances significativos en el conocimiento geológico, neotectónico y sismológico del área de Purificación y el Valle Superior del Magdalena. A continuación se sintetizan los estudios más relevantes publicados entre 2015 y 2024 que complementan y actualizan la cartografía de la Plancha 283 (SGC, 1994):

10.1 Neotectónica y paleosismología de la Falla de Algeciras — SGC / UPTC (2019-2022)

El estudio más completo realizado sobre el Sistema de Fallas de Algeciras (SFA) en la última década fue ejecutado por el Servicio Geológico Colombiano (SGC), la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), investigadores internacionales de Holanda y Venezuela, y la Universidad del Norte, bajo el Convenio 022 de 2019 con recursos del Sistema General de Regalías. El resultado fue publicado en 2022 como:

Gómez-Hurtado, E. et al. (Eds.). (2022). Neotectónica y paleosismología de la Falla de Algeciras, Huila, Colombia. Vol. 44. Libros del Servicio Geológico Colombiano. (Descarga gratuita: https://libros.sgc.gov.co/index.php/editorial/catalog/book/96)

10.2 Sismicidad reciente del sector norte del SFA (2016-2022)

Un estudio publicado en el Boletín de Geología (Vol. 44, No. 1, 2022) por Chicangana et al. analizó la sismicidad y sismotectónica del sector norte del SFA entre los 3° y 4°N, precisamente el sector más cercano al municipio de Purificación:

Chicangana, G. et al. (2022). Sismicidad y sismotectónica para el sector norte del ámbito del Sistema de Fallas de Algeciras, Cordillera Oriental, Colombia. Boletín de Geología, 44(1), 111-134.

Eventos sísmicos instrumentales recientes documentados:

Fecha	Mw	Localización	Falla asociada
31 oct. 2016	Mw 5.3	Municipio de Colombia, Huila	Falla Altamira (inversa) — SFA
31 oct. 2016	Mw 4.8	Municipio de Colombia, Huila	Falla Altamira — SFA
06 feb. 2017	Mw 5.4	Municipio de Colombia, Huila	Falla Altamira — SFA
02 jul. 2017	Mw 4.7	Lejanías, Meta	Ramal norte SFA

Fecha	Mw	Localización	Falla asociada
19 jul. 2018	Mw 4.9	Municipio de Colombia, Huila	Falla Altamira — SFA
24 dic. 2019	Mw 6.0	Mesetas, Meta	Falla Algeciras, ramal Meta-SFA
24 dic. 2019	Mw 5.6	Mesetas, Meta	Réplica principal — SFA
2021 (inicio)	Mw 4.8	30 km al SO de Colombia, Huila	Falla Altamira — SFA

Los sismos de 2016-2018 en el municipio de Colombia, Huila — con profundidades focales ≤ 10 km — produjeron efectos de sitio documentados (grietas, hundimientos y procesos de remoción en masa) a pesar de no superar Mw 5.4. El sismo de Mesetas del 24 de diciembre de 2019 (Mw 6.0) generó 1.663 réplicas registradas en los 20 días posteriores. Estos eventos, todos asociados al SFA, confirman la alta actividad sísmica reciente del sistema en el sector relevante para Purificación.

10.3 Mapa Geológico de Colombia 2023 — SGC

El Servicio Geológico Colombiano publicó en 2023 la cuarta edición del Mapa Geológico de Colombia a escala 1:1.500.000, actualizado con los mapas geológicos a escala 1:100.000 publicados desde 2015 a 2022 y artículos científicos hasta marzo de 2022. Para el área de Purificación, esta versión:

- Actualiza la cartografía de fallas regionales incluyendo las Fallas Altamira y Nazareth como fallas inversas activas, que la Plancha 283 (1994) no indicaba explícitamente en este sector.
- Incorpora datos de GPS 2014 del Esquema Tectónico del Norte de Suramérica para la caracterización de movimientos de fallas.
- Armoniza los trazos y cinemática de fallas con datos de interpretaciones sísmicas del subsuelo (ANH/Ecopetrol).
- Está disponible en formatos SIG, PDF, Google Earth, 3D y TIFF en: https://www2.sgc.gov.co/MGC/Paginas/mgc_1_5M2023.aspx

10.4 Revisión de la historia geológica del VSM — Universidad de los Andes (2024)

Un estudio de 2024 de la Universidad de los Andes (publicado en diciembre de 2024) revisa de manera integrada la historia geológica del Valle Superior del Magdalena mediante sedimentología, estratigrafía, tectónica y SIG:

Repositorio Uniandes (2024). Revisión de la historia geológica del Valle Superior del Magdalena: un enfoque integrado de sedimentología, estratigrafía, tectónica y SIG.

Este estudio proporciona la comprensión más actualizada de cómo los eventos tectónicos desde el Jurásico hasta el Cenozoico han afectado la distribución de los depósitos sedimentarios del VSM, incluyendo los cuaternarios aluviales del área de Purificación. Sus resultados son esenciales para

entender los controles geológicos sobre la calidad y distribución de los sedimentos donde se cimenta el proyecto.

10.5 Catálogo de unidades litoestratigráficas del VSM — SGC (2015-2022)

El SGC publicó entre 2015 y 2022 el Catálogo de las Unidades Litoestratigráficas de Colombia para el Valle Superior del Magdalena (Libros SGC, 2022), que incluye:

- Cuarzomonzonita de Anchique (Huila-Tolima) — SGC, 2015
- Monzogranito de Altamira (Huila-Cauca) — SGC, 2015
- Caracterización detallada de la Formación Saldaña, Formaciones Cretácicas y unidades del Paleógeno del VSM
- Actualización de dataciones radiométricas de unidades del Tolima y Huila

Estas publicaciones complementan y actualizan la estratigrafía descrita en la Plancha 283, especialmente para las unidades más antiguas (Jurásico-Cretácico) aflorantes en las colinas al oriente de Purificación.

10.6 Modelo Nacional de Amenaza Sísmica de Colombia — SGC / GEM (2022)

El SGC, en colaboración con la Fundación Global Earthquake Model (GEM), desarrolló el Modelo Nacional de Amenaza Sísmica de Colombia con la información geológica, tectónica y sismológica más actualizada, clasificando la sismicidad en ambientes tectónicos de falla superficial, subducción inter e intraplaca y el nido sísmico de Bucaramanga. Este modelo constituye la base científica más reciente para la zonificación de amenaza sísmica que sustenta los coeficientes Aa=0.25g y Av=0.20g adoptados en el diseño del proyecto de Purificación.

10.7 Estudio de suelos — CMK Ingeniería y Geotecnia S.A.S. (2025)

El estudio geotécnico específico del sitio fue elaborado por CMK Ingeniería y Geotecnia S.A.S. (Ing. Carlos Andrés Báez Báez, Mat. 15202147445 BYC) en diciembre de 2025, con tres sondeos SPT a 6.00 m de profundidad. Constituye la exploración del subsuelo más reciente y directamente relevante para el área del proyecto. Sus resultados confirman las características geológicas cuaternarias descritas en la Plancha 283 — perfil de arcillas CH de alta plasticidad sobre arenas SC arcillosas — y aportan parámetros geomecánicos cuantitativos (q_adm, Cu, φ, γ) para el diseño de fundaciones.

Estudio / Publicación	Año	Aporte principal al informe geológico
SGC-UPTC: Neotectónica y paleosismología Falla Algeciras	2022	Confirmación Mw≥7.0 SFA, paleoterremotos, segmentación falla
Chicangana et al.: Sismicidad sector norte SFA	2022	Sismos instrumentales 2016-2021, Falla Altamira activa
SGC: Mapa Geológico Colombia 2023	2023	Actualización fallas, cinemática, trazos cartográficos

Estudio / Publicación	Año	Aporte principal al informe geológico
Uniandes: Historia geológica VSM	2024	Revisión integrada estratigrafía y tectónica VSM
SGC: Catálogo litoestratigráfico VSM	2015-2022	Actualización unidades Jurásico-Cretácico-Paleógeno
SGC-GEM: Modelo Nacional Amenaza Sísmica	2022	Base científica Aa=0.25g, Av=0.20g para Purificación
CMK Ingeniería y Geotecnia: Estudio suelos	2025	Exploración directa del sitio — parámetros geomecánicos

11. Conclusiones y Recomendaciones

10.1 Conclusiones geológicas

- El sitio del proyecto (3°49'45.4"N — 74°57'51.5"W) se localiza sobre depósitos cuaternarios aluviales del río Magdalena (Plancha SGC 283 — Purificación), específicamente en la unidad de llanura aluvial activa, dominada por arcillas CH de alta plasticidad (0.20-4.00 m) y arenas SC arcillosas (4.00-6.00 m).
- El perfil geológico es homogéneo y consistente en los tres sondeos, sin presencia de roca o materiales competentes en los primeros 6 m. El nivel freático no fue detectado hasta 6.00 m, aunque puede fluctuar estacionalmente.
- El marco estructural regional está dominado por el Sistema de Fallas de Algeciras (SFA) a ~8-12 km al oriente — falla activa con neotectonismo documentado y capacidad generadora de sismos M>6.5 — y la Falla de Ibagué al norte. No se identifican fallas activas superficiales en el área inmediata del proyecto.
- La zona de amenaza sísmica es ALTA (NSR-10), con Perfil de suelo Tipo E que genera la máxima amplificación sísmica (Fa=1.40, Fv=3.20). Este es el condicionante de diseño más crítico del proyecto.

Referencias bibliográficas

- Cossio, U., Rodríguez, G. y Rodríguez, M.A. (1994). Geología de la Plancha 283 — Purificación. Escala 1:100.000. INGEOMINAS. Ibagué. (Versión estandarizada SGC, 2009).
- Servicio Geológico Colombiano — SGC. (2023). Mapa Geológico de Colombia 2023. Escala 1:1.500.000. Bogotá.
- CMK Ingeniería y Geotecnia S.A.S. (2025). Estudio de Suelos para las Comunidades Energéticas — Contrato ANH32-2025, Municipio de Purificación, Tolima. Diciembre 2025.
- Cañas et al. (2019). Caracterización hidrogeoquímica de depósitos cuaternarios del Valle del Magdalena. Revista Boletín SGM.
- NSR-10. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Bogotá.

- París, G. y Romero, J. (1994). Fallas activas en Colombia. Boletín Geológico, INGEOMINAS, Vol. 34.
- IDEAM. (2013). Sistema Acuífero del Valle Medio del Magdalena — Modelo Hidrogeológico Conceptual. Bogotá.
- Holtz, W.G. (1956). Engineering properties of expansive clays. Transactions ASCE, Vol. 121.
- Chen, F.H. (1975). Foundations on Expansive Soils. Elsevier, Amsterdam.