



Guayepo Solar
El sol que genera energía

Estudio de Impacto Ambiental para la Modificación de Licencia Ambiental del Parque Solar fotovoltaico Guayepo 400 MW, su Línea de Evacuación 500 kV y Bahía de Conexión

Capítulo 5.1. Caracterización Al Abiótica

22 de febrero de 2023

Proyecto Núm.: 0638755

DETALLES DEL DOCUMENTO	Los detalles ingresados a continuación se muestran automáticamente en la portada y en el pie de página de la página principal.
TÍTULO	Estudio de Impacto Ambiental para la Modificación de Licencia Ambiental del Parque Solar fotovoltaico Guayepo 400 MW, su Línea de Evacuación 500 kV y Bahía de Conexión
SUBTÍTULO	Capítulo 5.1. Caracterización AI Abiótica
NÚMERO DEL PROYECTO	0638755
FECHA	22 de febrero de 2023
VERSIÓN	5
AUTOR	Guayepo Solar S.A.S.E.S.P.
NOMBRE DEL CLIENTE	Guayepo Solar S.A.S.E.S.P.

CONTROL DE VERSIONES DEL DOCUMENTO						
VERSIÓN	REVISIÓN	AUTOR	REVISADO POR	APROBACIÓN PARA EMITIR		COMENTARIOS
				NOMBRE	FECHA	
Versión 1 (preliminar)	11/07/2022	DA JE CT	MH	DM	12/07/2022	
Versión 2	26/08/2022	DA JE CT	MH	DM	8/09/2022	
Versión 3	10/09/2022	DA JR CT	Guayepo solar	Guayepo solar	11/09/2022	
Versión 4	29/09/2022	DA JR CT	VPD ANLA	Guayepo solar	06/10/2022	
Versión 5	22/02/2023	EM DA JRM CB	MH	Guayepo solar	22/02/2023	

ÍNDICE GENERAL

5	CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA	25
5.1	CARACTERIZACIÓN ABIÓTICA	25
5.1.1	Geología.....	25
5.1.1.1	Estratigrafía.....	28
5.1.1.2	Geología local	34
FOTOGRAFÍA 5-5 FRAGMENTOS SUPERFICIALES DE LOS DEPÓSITOS COLUVIO-ALUVIAL (QCAL)		37
5.1.1.3	Geología Estructural/Tectónica.....	38
5.1.1.4	Sismicidad.....	41
5.1.1.5	Unidades Geológicas Superficiales (UGS)	44
5.1.2	Geomorfología	55
5.1.2.1	Geomorfoestructura	57
5.1.2.2	Provincia Geomorfológica	57
5.1.2.3	Región Geomorfológica	58
5.1.2.4	Unidades Geomorfológicas.....	58
5.1.2.5	Subunidades Geomorfológicas.....	68
5.1.2.6	Análisis multitemporal	78
5.1.3	Suelos y uso del suelo	84
5.1.3.1	Descripción de unidades cartográficas	85
5.1.3.2	Clasificación agrológica del suelo	129
5.1.3.3	Uso actual de los suelos	131
5.1.3.4	Capacidad de uso del suelo.....	143

5.1.3.5	Conflictos de uso del suelo	144
5.1.3.6	Estado actual de los suelos	148
5.1.4	Hidrología.....	159
5.1.4.1	Área de influencia	159
5.1.4.2	Inventario de estaciones	161
5.1.4.3	Análisis de calidad de la información	162
5.1.4.4	Localización de sistemas lénticos y lóticos	167
5.1.4.5	Características morfométricas	179
5.1.4.6	Patrón de drenaje e interacción agua superficial-Agua subterránea.....	183
5.1.4.7	Análisis de caudales	184
5.1.4.8	Caudales medios y máximos calculados mediante un balance hídrico a largo plazo	196
5.1.4.9	Índices.....	205
5.1.4.10	Caudal ambiental	206
5.1.4.11	Dinámica fluvial.....	206
5.1.5	Calidad del agua	207
5.1.5.1	Resultados ensayos in situ	212
5.1.5.2	Parámetros de análisis en laboratorio.....	218
5.1.5.3	Índices de calidad y contaminación del agua.....	234
5.1.6	Usos del agua	238
5.1.6.1	Información secundaria de usos y usuarios	239
5.1.6.2	Información primaria de usos y usuarios.....	243
5.1.6.3	Estimación de conflictos actuales o potenciales por disponibilidad y usos del agua	245
5.1.7	Hidrogeología.....	246

5.1.7.1	Contexto hidrogeológico regional.....	247
5.1.7.2	Unidades hidrogeológicas.....	248
5.1.7.3	Acuíferos presentes en el área de influencia	249
5.1.7.4	Caracterización hidrogeológica del área de influencia.....	251
5.1.7.5	Inventario puntos de agua subterránea	254
5.1.7.6	Prospección geo eléctrica	259
5.1.7.7	Dirección de flujo	262
5.1.7.8	Zonas de recarga y descarga	264
5.1.7.9	Evaluación y clasificación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos ..	269
5.1.8	Geotecnia.....	277
5.1.8.1	Evaluación de variables	279
5.1.8.2	Zonificación geotécnica	296
5.1.8.3	Campaña Geotécnica	299
5.1.9	Atmósfera.....	300
5.1.9.1	Identificación de fuentes de emisiones atmosféricas	300
5.1.9.2	Información meteorológica.....	306
5.1.9.3	Calidad del aire	354
5.1.9.4	Ruido.....	422

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5-1 Localizaciones estaciones de control de campo geología.....	27
Tabla 5-2 Unidades geológicas presentes en el área de influencia	30
Tabla 5-3 Unidades geológicas superficiales presentes en el área de influencia.....	48
Tabla 5-4 Atributos de las geoformas y rangos utilizados para la caracterización geomorfológica.....	59
Tabla 5-5 Rangos de pendientes en el área de influencia objeto modificación	61
Tabla 5-6 Registro de procesos morfodinámicos identificados en la región.....	66
Tabla 5-7 Unidades y subunidades presentes en la región del área de influencia.....	69
Tabla 5-8 Unidades geomorfológicas en el área de influencia	69
Tabla 5-9 Imágenes y aerofotografías usadas en el análisis multitemporal	78
Tabla 5-10 Paisajes y códigos.....	86
Tabla 5-11 Clima ambiental y códigos	86
Tabla 5-12 Fase por pendientes.....	86
Tabla 5-13 Fases por erosión en el mapa de suelos.....	87
Tabla 5-14 Unidades de suelo del área de influencia.....	87
Tabla 5-15 Descripción de la calicata de caracterización. Unidad Cartográfica LWA	90
Tabla 5-16 Propiedades químicas unidad cartográfica LWA.....	92
Tabla 5-17 Propiedades físicas unidad cartográfica LWA.....	93
Tabla 5-18 Análisis de metales unidad cartográfica LWA	94
Tabla 5-19 Descripción calicata de caracterización. Unidad cartográfica LWB.....	96
Tabla 5-20 Propiedades químicas unidad cartográfica LWB.....	98
Tabla 5-21 Propiedades físicas unidad cartográfica LWB.....	99
Tabla 5-22 Análisis de metales unidad cartográfica LWB	100
Tabla 5-23 Descripción calicata de caracterización. Unidad cartográfica LWC.....	103
Tabla 5-24 Propiedades químicas. Unidad cartográfica LWC	104
Tabla 5-25 Propiedades físicas unidad cartográfica LWC.....	105
Tabla 5-26 Análisis de metales unidad cartográfica LWC	106
Tabla 5-27 Descripción calicata de caracterización. Unidad cartográfica RWD.....	109

Tabla 5-28 Propiedades químicas unidad cartográfica RWD	111
Tabla 5-29 Propiedades físicas unidad cartográfica RWD	111
Tabla 5-30 Análisis de metales unidad cartográfica RWD	112
Tabla 5-31 Descripción calicata de caracterización unidad cartográfica RWG.	115
Tabla 5-32 Propiedades químicas unidad cartográfica RWG.....	117
Tabla 5-33 Propiedades físicas unidad cartográfica RWG.....	118
Tabla 5-34 Análisis de metales unidad cartográfica RWG	119
Tabla 5-35 Descripción calicata de caracterización unidad cartográfica RWI.	125
Tabla 5-36 Propiedades químicas unidad cartográfica RWI	126
Tabla 5-37 Propiedades físicas. Unidad cartográfica RWI	127
Tabla 5-38 Análisis de metales unidad cartográfica RWI	128
Tabla 5-39 Clasificación agrológica y uso potencial del suelo.....	129
Tabla 5-40 Clasificación agrológica del suelo dentro del área de estudio.....	130
Tabla 5-41 Usos del suelo.....	133
Tabla 5-42 Áreas usos del suelo	133
Tabla 5-43 capacidad de uso del suelo.....	144
Tabla 5-44 Tabla de decisión para determinar conflictos de uso de los suelos según CORPOICA	145
Tabla 5-45 Conflictos de uso de los suelos dentro del área de estudio	146
Tabla 5-46 Resultados de análisis químico para metales	148
Tabla 5-47 Evaluación de la fertilidad de los suelos.....	150
Tabla 5-48 Cálculo de fertilidad.....	150
Tabla 5-49 Rangos de valoración de la Fertilidad total (FT).....	150
Tabla 5-50 Análisis de fertilidad	151
Tabla 5-51 Valores de densidad aparente por clase textural	152
Tabla 5-52 Valores densidad aparente y profundidad efectiva del suelo.	153
Tabla 5-53 Tipos de erosión dentro del área de influencia.....	154
Tabla 5-54 calificación de la salinidad.....	156
Tabla 5-55 Resultados químicos reportados para las muestras de suelo	157
Tabla 5-56 Tendencia de la degradación por desertificación	158

Tabla 5-57 Inventario estaciones analizadas	162
Tabla 5-58 Cuerpos de agua Lénticos en el área de influencia	170
Tabla 5-59 Cuerpos de agua Lóticos	176
Tabla 5-60 Categorías para la clasificación de la cuenca de acuerdo con el coeficiente de compacidad	180
Tabla 5-61 Característica de la cuenca según el factor de forma	181
Tabla 5-62 Clasificación Índice de Sinuosidad	182
Tabla 5-63 Características morfométricas cuencas proyecto Guayepo	183
Tabla 5-64 Análisis de rachas. Registros tomados en la Estación Calamar.	189
Tabla 5-65 Análisis de rachas – Resultados	191
Tabla 5-66 Características estadísticas de la serie 1973 – 1992. Registros tomados en la Estación Calamar.	192
Tabla 5-67 Características estadísticas de la serie 1993 – 2011. Registros tomados en la Estación Calamar.	192
Tabla 5-68 Análisis de consistencia para caudales medios diarios. Registros tomados en la Estación Calamar.	193
Tabla 5-69 Ajuste caudales máximos anuales - Estación Calamar (Weibull).....	195
Tabla 5-70 Balance hídrico área del proyecto	197
Tabla 5-71 Excedencias de caudales en la cuenca Guayepo (m ³ /s)	198
Tabla 5-72 Excedencias de caudales en la cuenca Carreto (m ³ /s)	198
Tabla 5-73 Excedencias de caudales en la cuenca Manga (m ³ /s)	199
Tabla 5-74 Excedencias de caudales en la cuenca Fistola (m ³ /s)	200
Tabla 5-75 Excedencias de caudales en la cuenca El Cojo (m ³ /s)	200
Tabla 5-76 Número de Curva cuencas en el área de interés	204
Tabla 5-77 Caudales máximos (m ³ /s)	205
Tabla 5-78 Ubicación e información de puntos de monitoreo – Calidad de agua	209
Tabla 5-80. Clasificación de la DBO ₅	218
Tabla 5-81. Clasificación de la DQO.	220
Tabla 5-82. Clasificación de los sólidos suspendidos totales.....	222
Tabla 5-83. Índices de contaminación – ICOs (lluvia y seca).....	234

Tabla 5-84. Índice de calidad del agua – ICA (lluvias y seca)	237
Tabla 5-85 Cobertura de servicios de acueducto y alcantarillado en los municipios Sabanalarga y Ponedera.....	240
Tabla 5-86 Inventario de usos concedidos por la CRA	241
Tabla 5-87 Inventario de usos y usuarios.....	243
Tabla 5-88 Sistemas acuíferos presentes en el área de influencia objeto de la modificación	250
Tabla 5-89 Resumen de los puntos de agua subterránea inventariados	255
Tabla 5-90 Localización de los puntos de agua subterránea	255
Tabla 5-91 Coordenadas de los sondeos Eléctricos Verticales.....	260
Tabla 5-92 Variables y evaluación de zonas de recarga	265
Tabla 5-93 Distribución de las zonas de recarga en el área de influencia	269
Tabla 5-94 Valoraciones parámetros método GOD	271
Tabla 5-95 Índices y vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación.....	273
Tabla 5-96 Categorías y valores de susceptibilidad para el análisis de las variables ..	279
Tabla 5-97 Valores de susceptibilidad a la inestabilidad por litología.....	280
Tabla 5-98 Valores de susceptibilidad a la inestabilidad por geomorfología	283
Tabla 5-99 Valores de susceptibilidad a la inestabilidad por hidrogeología	284
Tabla 5-100 Valores de susceptibilidad a la inestabilidad por pendientes	286
Tabla 5-101 Valores de susceptibilidad a la inestabilidad por uso actual y cobertura vegetal de suelo	287
Tabla 5-102 Ponderación de cuerpos hídricos según su tipo.....	289
Tabla 5-103 Intervalos para categorizar la densidad de drenajes sobre el área de influencia	289
Tabla 5-104 Intervalos para categorizar la susceptibilidad general del terreno a procesos de remoción en masa por factores intrínsecos	291
Tabla 5-105 Categorías de susceptibilidad a procesos de remoción en masa	292
Tabla 5-106 Valores de susceptibilidad a la inestabilidad por amenaza sísmica	294
Tabla 5-107 Valores de susceptibilidad e inestabilidad por precipitación.....	295
Tabla 5-108 intervalos para categorizar la zonificación geotécnica	297

Tabla 5-109 Categorías de la zonificación geotécnica del área de influencia	297
Tabla 5-110 Fuentes fijas puntuales y dispersas	302
Tabla 5-111 Vías principales aforadas	304
Tabla 5-112 Características fuentes lineales de emisión	305
Tabla 5-113 Inventario de estaciones meteorológicas para el análisis climático del Área de Influencia	308
Tabla 5-114 Temperatura media, media máxima y media mínima mensual en °C, para la E. Juan de Acosta, Apto E Cortissoz y Normal Manatí – Periodo 1990-2014	311
Tabla 5-115 Valores de temperatura media anual (°C)	314
Tabla 5-116 Inventario de información de precipitación de las estaciones IDEAM disponibles	318
Tabla 5-117 Precipitación media mensual (mm) período 1990 – 2014	329
Tabla 5-118 Precipitación media anual (mm) periodo 1990 – 2014	334
Tabla 5-119 Humedad relativa media, media máxima y media mínima mensual (%) periodo 1990 – 2014 Estaciones Apto E Cortissoz y Normal Manatí	340
Tabla 5-120 Humedad relativa media anual (%) periodo 1990 – 2014 Estaciones Apto E Cortissoz y Normal Manatí	342
Tabla 5-121 Tabla de frecuencias de vientos	344
Tabla 5-122 Valores para la interpretación de nubosidad	352
Tabla 5-123 Nubosidad media (octas) de las estaciones Apto E Cortissoz y Normal Manatí	353
Tabla 5-124. Fecha de monitoreo.	356
Tabla 5-125. Descripción del entorno y las fuentes de emisión Estación 1	358
Tabla 5-126. Descripción del entorno y las fuentes de emisión Estación 2	360
Tabla 5-127. Descripción del entorno y las fuentes de emisión Estación 3	362
Tabla 5-128. Descripción del entorno y las fuentes de emisión Estación 4	364
Tabla 5-129 Ficha técnica de Estación 1.	365
Tabla 5-130. Ficha técnica de Estación 2.	368
Tabla 5-131. Ficha técnica de Estación 3.	370
Tabla 5-132. Ficha técnica de Estación 4.	373

Tabla 5-133 Equipos empleados en el monitoreo de calidad de aire.	375
Tabla 5-134. Responsable del Informe.	378
Tabla 5-135 Resumen variables meteorológicas promedio diario.	380
Tabla 5-136. Escala de Beaufort.	381
Tabla 5-137. Resultados de concentraciones y estadísticas de PM ₁₀ Estación 1 y 2.	388
Tabla 5-138. Resultados de concentraciones y estadísticas de PM ₁₀ Estación 3 y 4.	388
Tabla 5-139. Resultados de concentraciones y estadísticas de PM _{2.5} Estación 1 y 2.	390
Tabla 5-140. Resultados de concentraciones y estadísticas de PM _{2.5} Estación 3 y 4.	391
Tabla 5-141. Resultados de concentraciones y estadísticas de NO ₂ en la Estación 1 y 2.	393
Tabla 5-142. Resultados de concentraciones y estadísticas de NO ₂ en la Estación 3 y 4.	394
Tabla 5-143. Resultado de concentraciones y estadísticas de SO ₂ Estación 1 y 2.	397
Tabla 5-144. Resultado de concentraciones y estadísticas de SO ₂ Estación 3 y 4.	397
Tabla 5-145. Comparación de resultados concentración Parámetros Evaluados respecto al límite máximo permisible para tiempos de exposición anual.	398
Tabla 5-146. Índices de Calidad del Aire en la estación 1.	399
Tabla 5-147. Índices de Calidad del Aire en la estación 2.	399
Tabla 5-148. Índices de Calidad del Aire en la estación 3.	400
Tabla 5-149. Índices de Calidad del Aire en la estación 4.	400
Tabla 5-150. Factores de emisión fuentes móviles	413
Tabla 5-151 Emisiones gramo por día fuentes móviles.	413
Tabla 5-152 Concentraciones medias - estaciones calidad de aire	414
Tabla 5-153 Emisión material particulado sin medidas de control.	414
Tabla 5-154 Emisión material particulado con medidas de control	414
Tabla 5-155 Diseño modelaciones	415
Tabla 5-156 Resultados modelaciones para la construcción	420
Tabla 5-157 Resultados de los modelos de dispersión de contaminantes.	421

Tabla 5-158. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo.....	425
Tabla 5-159. Información general de los puntos de muestreo – día ordinario jornada diurna y nocturna.....	425
Tabla 5-160. Información general de los puntos de muestreo – día dominical jornada diurna y nocturna.....	426
Tabla 5-161. Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental expresados en decibeles ponderados A dB(A).....	428
Tabla 5-162. Puntos de muestreo clasificados como sectores, subsectores inmersos y límites máximos permisibles.....	429
Tabla 5-163. Resultados y ajustes K mediciones día ordinario en horario diurno.	431
Tabla 5-164. Datos meteorológicos monitoreo día ordinario en jornadas diurna y nocturna	432
Tabla 5-165. Datos meteorológicos monitoreo del día dominical en jornadas diurna y nocturna.	432
Tabla 5-166. Resultados y ajustes K mediciones del día ordinario en horario nocturno.	433
Tabla 5-167. Resultados y ajustes K mediciones del día dominical en horario diurno.	433
Tabla 5-168. Resultados y ajustes K mediciones del día dominical en horario nocturno.	434
Tabla 5-169. Incertidumbre de ruido ambiental día ordinario y dominical en jornada diurna y nocturna.....	434
Tabla 5-170. Comparación niveles de ruido ambiental día ordinario con la normatividad	435
Tabla 5-171. Comparación de niveles de ruido ambiental día dominical con la normatividad.....	436
Tabla 5-172. Aforo vehicular según tamaño y utilidad, en el tiempo del registro día ordinario y dominical para los horarios diurno y nocturno.	436
Tabla 5-173. Código de colores definidos por la Resolución 627 de 2006.....	440
Tabla 5-174. Condiciones de atenuación del sonido en el espacio libre ISO 9613-2...	449
Tabla 5-175 Puntos de monitoreo de ruido ambiental EIA 2020	450

Tabla 5-176 Inventario fuentes fijas y homologación	451
---	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 5-1 Localización del proyecto en la geología regional.....	26
Figura 5-2 Estaciones de control de campo sobre unidades geológicas presentes en el área de influencia	27
Figura 5-3 Columna estratigráfica en correlación de las unidades geológicas que componen el cinturón de San Jacinto	29
Figura 5-4 Sección transversal asociada al área del proyecto	30
Figura 5-5 Unidades geológicas locales asociadas al Proyecto.....	34
Figura 5-6 Localización del área de influencia en relación con los Cinturones de Sinú y San Jacinto.....	39
Figura 5-7 Mapa tectónico regional de la zona en que se ubica el proyecto	40
Figura 5-8 Sismicidad y estructuras geológicas, a 25 km alrededor del área de influencia del proyecto.....	42
Figura 5-9 Amenaza sísmica en el área de influencia del proyecto	44
Figura 5-10 Unidades geológicas superficiales presentes en el área de influencia	47
Figura 5-11 Esquema de jerarquización geomorfológica	57
Figura 5-12 Mapa de pendientes en área de influencia objeto de la modificación	64
Figura 5-13 Clasificación de procesos morfodinámicos	65
Figura 5-14 Localización procesos morfodinámicos identificados en la región	68
Figura 5-15 Mapa de unidades geomorfológicas en el área de influencia	77
Figura 5-16 Procesos morfodinámicos identificados para el año 2002	80
Figura 5-17 Procesos morfodinámicos en Imagen 2018	81
Figura 5-18 Distribución espacial de las unidades de suelos, cajuelas de observación y calicatas de caracterización dentro del área de influencia	88
Figura 5-19 Clasificación agrológica	131
Figura 5-20 Uso actual del suelo.....	142
Figura 5-21 Capacidad de uso del suelo.....	143
Figura 5-22 Conflicto de uso del suelo.....	147
Figura 5-23 Degradación del suelo por erosión.....	154

Figura 5-24 Degradación por salinización	157
Figura 5-25 Degradación por desertificación.....	159
Figura 5-26 Ubicación estaciones hidrométricas.....	161
Figura 5-27 Localización de cuerpos lénticos y lóticos.....	168
Figura 5-28 Análisis Gráfico - Serie de tiempos de caudal medio diario (panel izquierdo) y caudal medio diario normalizado – Registros tomados en la Estación Calamar.	185
Figura 5-29 Análisis gráfico – Gráfico de masa y diferencial de masa. Registros tomados en la Estación Calamar.	186
Figura 5-30 Análisis Gráfico – Caudales medios mensuales y medios anuales. En los paneles de la izquierda se encuentran los valores medidos y a la derecha los valores normalizados sobre el registro promedio. Registros tomados en la Estación Calamar.	187
Figura 5-31 Análisis Gráfico – Curva de duración de caudales, medida (panel de la izquierda) y normalizada (panel de la derecha). Registros tomados en la Estación Calamar.....	188
Figura 5-32 Análisis Gráfico – Gráficos de caja (Box-plots). Registros tomados en la Estación Calamar.	188
Figura 5-33 Análisis Gráfico – Histograma correspondiente a los de caudales medios diarios (panel de la izquierda) y distribución acumulada de los caudales (panel de la derecha). Registros tomados en la Estación Calamar.	189
Figura 5-34 Análisis Gráfico – Caudales máximos anuales estación Calamar (m^3/s) (panel izquierdo) y caudal máximo anual normalizado (panel derecho) – Registros tomados en la Estación Calamar.	194
Figura 5-35 Ajuste caudales máximos anuales - Estación Calamar (Weibull).....	195
Figura 5-36 Balance hídrico y curva de duración de caudales área del proyecto	197
Figura 5-37 Mapa de zonas inundables	207
Figura 5-38 Localización general de las estaciones de calidad de agua (época seca).	211
Figura 5-39. Unidades de pH.	213
Figura 5-40. Oxígeno disuelto y porcentaje de saturación de oxígeno.	215

Figura 5-41. Temperatura	216
Figura 5-42 Conductividad	217
Figura 5-43. Concentración de DBO ₅	219
Figura 5-44. Concentración de DQO.....	221
Figura 5-45. Sólidos suspendidos totales y turbiedad (lluvia y seca)	223
Figura 5-46. Sólidos disueltos totales y conductividad (lluvia y seca).....	224
Figura 5-47. Coliformes fecales.....	226
Figura 5-48. Coliformes totales.....	227
Figura 5-49. Alcalinidad total.....	228
Figura 5-50. Dureza cálcica.....	229
Figura 5-51 Fósforo total.....	231
Figura 5-52. Turbiedad.....	233
Figura 5-53 Georeferenciación de uso de los recursos hídricos concedidos y vigentes por la CRA.....	242
Figura 5-54 Georreferenciación de usos y usuarios identificados	244
Figura 5-55 Localización de la provincial hidrogeológica del Sinú San Jacinto.....	247
Figura 5-56 Unidades hidrogeológicas en el área de influencia	250
Figura 5-57 Localización de los puntos de agua subterránea inventariados	256
Figura 5-58 Localización de SEV del año 2020 en el área de influencia.....	260
Figura 5-59 Dirección de flujo somero en el área de influencia del medio abiótico	264
Figura 5-60 Distribución de zonas de recarga en el área de influencia	269
Figura 5-61 Categorización de vulnerabilidad intrínseca de acuíferos a la contaminación	274
Figura 5-62 Localización perfil A-A' representativo sobre unidades hidrogeológicas en el área de influencia	275
Figura 5-63 Perfil A-A' representativo de las unidades hidrogeológicas en el área de influencia	276
Figura 5-64 Esquema metodológico para la zonificación del área de influencia	278
Figura 5-65 Mapa de zonificación por litología	281
Figura 5-66 Mapa de zonificación por geomorfología	283

Figura 5-67 Mapa de zonificación por hidrogeología.....	285
Figura 5-68 Mapa de zonificación por pendientes.....	286
Figura 5-69 Mapa de zonificación por uso actual y cobertura vegetal del suelo	288
Figura 5-70 Mapa de zonificación por densidad de drenajes	290
Figura 5-71 Mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa (Factores intrínsecos).....	293
Figura 5-72 Mapa de zonificación por amenaza sísmica	294
Figura 5-73 Mapa de zonificación por precipitación	296
Figura 5-74 Mapa de zonificación Geotécnica en el área de influencia	298
Figura 5-75 Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas cercanas al.....	309
Figura 5-76 Comportamiento de la temperatura media mensual (°C) – Período 1990 – 2014	312
Figura 5-77 Variación temporal de la temperatura media mensual (°C) – Período 1990 – 2014	313
Figura 5-78 Variación mensual de las temperaturas medias máximas y medias mínimas mensuales (°C) – Período 1990 – 2014	314
Figura 5-79 Temperaturas medias anuales (°C) Estaciones Juan de Acosta, Apto E Cortissoz y Normal Manatí – Período 1990 – 2014.....	315
Figura 5-80 Distribución espacial de la temperatura – Período 1990 – 2014.....	316
Figura 5-81 Análisis gráfico de precipitación (mm) Estación Sabanalarga – 1990 – 2014	320
Figura 5-82 Análisis gráfico de precipitación (mm) - Estación Usiacuri – 1990 – 2014	321
Figura 5-83 Análisis gráfico de precipitación (mm) Estación Montebello – 1990 – 2014	322
Figura 5-84 Análisis gráfico de precipitación (mm) Estación Lena – 1990 – 2014	323
Figura 5-85 Análisis gráfico de precipitación (mm) Estación Los Campanos – 1990 – 2014	324
Figura 5-86 Análisis gráfico de precipitación (mm) Estación San Rafael – 1990 – 2014	325

Figura 5-87 Análisis gráfico de precipitación (mm) Estación Juan de Acosta – 1990 – 2014	326
Figura 5-88 Análisis gráfico de precipitación (mm) Estación Apto E Cortissoz – 1990 – 2014	327
Figura 5-89 Análisis gráfico de precipitación (mm) Estación Normal Manatí – 1990 – 2014	328
Figura 5-90 Distribución temporal de la precipitación media mensual (mm) 1990 – 2014	331
Figura 5-91 Distribución temporal de la precipitación media mensual (mm) consolidad 1990 – 2014	333
Figura 5-92 Distribución temporal de la precipitación media anual (mm) 1990 – 2014	335
Figura 5-93 Distribución temporal de la precipitación media anual (mm) consolidada 1990 – 2014	337
Figura 5-94 Distribución espacial de la precipitación – Período 1990 – 2014	338
Figura 5-95 Humedad relativa media mensual (%) Estación Normal Manatí y Apto E Cortissoz – 1990 – 2014	340
Figura 5-96 Humedad relativa media máxima y media mínima mensual (%) Estación Normal Manatí y Apto E Cortissoz – 1990 – 2014.....	341
Figura 5-97 Humedad relativa anual (%) Estación Normal Manatí y Apto E Cortissoz – 1990 – 2014	342
Figura 5-98 Rosa de los vientos – Estación Apto E. Cortissoz.....	343
Figura 5-99 Diagrama Boxplot – Estación Apto E Cortissoz	344
Figura 5-100 Promedio horario de la velocidad del viento. Periodo 1981-2010	345
Figura 5-101 Promedio horario de la dirección del viento o ciclo horario	346
Figura 5-102 Promedio mensual de la velocidad del viento	347
Figura 5-103 Promedio mensual de la dirección del viento	348
Figura 5-104 Promedios mensuales de irradiación global media recibida en superficie para la estación Apto E Cortissoz	349
Figura 5-105 Promedios mensuales de brillo solar en horas de sol al día	350
Figura 5-106 Promedios mensuales del número de días sin brillo solar	350

Figura 5-107 Valores promedio de ozono mensual multianual en Unidades Dobson ..	351
Figura 5-108 Variación de la nubosidad media mensual (octas).....	353
Figura 5-109. Criterios de Ubicación puntos de monitoreo de Calidad del aire.....	357
Figura 5-110 Localización de las estaciones de muestreo	357
Figura 5-111. Estación meteorológica ubicada en la Estación 2.	379
Figura 5-112. Velocidad del viento durante el tiempo de muestreo.....	381
Figura 5-113 Rosa de viento diurna.	382
Figura 5-114 Rosa de viento nocturna.	382
Figura 5-115 Rosa de vientos total.....	383
Figura 5-116. Registros temperaturas horarias.	384
Figura 5-117. Temperatura promedio diaria °C.	385
Figura 5-118. Temperatura promedio multihorario °C.	385
Figura 5-119. Precipitación acumulada diaria.	386
Figura 5-120. Distribución llluvias por categoría.	386
Figura 5-121. Datos de calidad del aire para PM ₁₀	389
Figura 5-122. Diagrama de caja para PM ₁₀	390
Figura 5-123. Datos de calidad del aire para PM _{2.5}	392
Figura 5-124. Diagrama de caja para PM _{2.5}	393
Figura 5-125. Datos de calidad del aire para NO ₂	395
Figura 5-126. Diagrama de cajas para NO ₂	396
Figura 5-127. Índices de Calidad del aire.....	401
Figura 5-128. Mapa isoconcentración PM₁₀.	402
Figura 5-129. Mapa isoconcentración PM _{2.5}	403
Figura 5-130. Mapa isoconcentración NO ₂	404
Figura 5-131 Modelo de elevación digital en el área del Parque solar fotovoltaico	409
Figura 5-132 Modelo de elevación digital en el área de la Línea de evacuación y bahía de conexión	409
Figura 5-133 Resultados modelaciones en Línea base – Monitoreo- Línea de evacuación y parque solar fotovoltaico.....	416

Figura 5-134 Resultados modelaciones en Línea base – Vía- Línea de evacuación y parque solar fotovoltaico	417
Figura 5-135 Resultados modelaciones sin medidas de control	418
Figura 5-136 Resultados modelaciones con medidas de control	419
Figura 5-137. Imagen satelital de los puntos de medición.	424
Figura 5-138. Resultados de Ruido ambiental jornada diurna día ordinario y dominical.	437
Figura 5-139. Resultados de Ruido ambiental jornada nocturna día ordinario y dominical.	439
Figura 5-140 Indicador Acumulativo - Línea Base.....	456
Figura 5-141 Indicador Acumulativo– Línea Base – Monitoreo Ruido EIA 2020	457
Figura 5-142 Indicador Acumulativo – Construcción Parque Fotovoltáico	458
Figura 5-143 Indicador Acumulativo LD–Operación Parque Fotovoltáico	459
Figura 5-144 Indicador Acumulativo–Construcción – Línea de Evacuación.....	460

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Página
Fotografía 5-1 Depósitos de Llanura aluvial (Qlal)	35
Fotografía 5-2 Depósitos Coluvio-Aluvial (Qcal).....	35
Fotografía 5-3 Fragmentos de conchas en Formación Tubará (Ngt)	37
Fotografía 5-4 Areniscas de la Formación Tubará (Ngt)	37
Fotografía 5-5 Fragmentos superficiales de los Depósitos Coluvio-Aluvial (Qcal)	37
Fotografía 5-6 Canto suelto de la unidad Gravas de Rotinet (Qpr)	37
Fotografía 5-7 Depósitos de llanura aluvial (Ngt)	38
Fotografía 5-8 Lodolitas grises meteorizadas de la Formación Hibácharo (Ngh).....	38
Fotografía 5-9 Suelos residuales de la Formación Tubará (Srft).....	49
Fotografía 5-10 Suelos residuales de la Formación Tubará (Srft).....	49
Fotografía 5-11 Material meteorizado de la Formación Hibácharo (Srfh).....	50
Fotografía 5-12 Agrietamiento en Suelos residuales de la Formación Hibácharo (Srfh)	50
Fotografía 5-13 Suelos transportados fluviolacustres (Stf).....	51
Fotografía 5-14 Niveles de Suelos transportados coluvio-aluviales (Stncca).....	52
Fotografía 5-15 Suelos transportados coluvio-aluviales (Stncca).....	52
Fotografía 5-16 Suelos transportados de llanura aluvial (Stlla)	53
Fotografía 5-17 Suelos transportados no consolidados de gravas (Stcng)	54
Fotografía 5-18 Suelos transportados antrópicos (Sta) de explanaciones	55
Fotografía 5-19 Suelos transportados antrópicos (Sta) asociados a construcciones	55
Fotografía 5-20 Laderas ligeramente convexas asociadas a la unidad de Montículo y ondulaciones denudacionales (Dmo)	62
Fotografía 5-21 Laderas rectas asociadas a la unidad de Terraza de acumulación antigua (Ftan).....	63
Fotografía 5-22 Zonas de extracción de material en Lomas residuales (Dlor)	71
Fotografía 5-23 Laderas de la unidad Lomas residuales (Dlor).....	71
Fotografía 5-24 Lomas poco disectadas (Dlpd) localizadas una continua a la otra.....	72
Fotografía 5-25 Erosión laminar sobre Lomas poco disectados (Dlpd)	72

Fotografía 5-26 Montículos y ondulaciones denudacionales (Dmo).....	73
Fotografía 5-27 Carcavamiento dentro de Montículos y ondulaciones denudacionales (Dmo)	73
Fotografía 5-28 Plano anegadizo (Fpa).....	74
Fotografía 5-29 Morfología plana asociada a la unidad de Terraza de acumulación antigua (Ftan).....	76
Fotografía 5-30 Valle amplio de arroyo dentro de la unidad de Terraza de acumulación antigua (Ftan)	76
Fotografía 5-31 Zona explanada y rellenos para construcción. Áreas antrópicas (Aa) ..	77
Fotografía 5-32 Cajuela B2	90
Fotografía 5-33 Cajuela B3	95
Fotografía 5-34 Cajuela B4	95
Fotografía 5-35 Cajuela E6	95
Fotografía 5-36 Cajuela F6.....	95
Fotografía 5-37 Cajuela F7.....	96
Fotografía 5-38 Cajuela C3	101
Fotografía 5-39 Cajuela F5.....	101
Fotografía 5-40 Cajuela G5.....	101
Fotografía 5-41 Cajuela I6.....	101
Fotografía 5-42 Cajuela I8.....	102
Fotografía 5-43 Cajuela K7	102
Fotografía 5-44 Cajuela K8	102
Fotografía 5-45 Cajuela L7.....	102
Fotografía 5-46 Cajuela S7	107
Fotografía 5-47 Cajuela S9	107
Fotografía 5-48 Cajuela T7.....	107
Fotografía 5-49 Cajuela T8.....	107
Fotografía 5-50 Cajuela T9.....	108
Fotografía 5-51 Cajuela U7	108
Fotografía 5-52 Cajuela U8	108

Fotografía 5-53 Cajuela U9	108
Fotografía 5-54 Cajuela U10	109
Fotografía 5-55 Cajuela V8	109
Fotografía 5-56 Cajuela G7	113
Fotografía 5-57 Cajuela G8	113
Fotografía 5-58 Cajuela H7	114
Fotografía 5-59 Cajuela H8	114
Fotografía 5-60 Cajuela R11	114
Fotografía 5-61 Cajuela S11	114
Fotografía 5-62 Cajuela T10	115
Fotografía 5-63 Cajuela T11	115
Fotografía 5-64 Cajuela L8	120
Fotografía 5-65 Cajuela L9	120
Fotografía 5-66 Cajuela M7	120
Fotografía 5-67 Cajuela N7	120
Fotografía 5-68 Cajuela N8	121
Fotografía 5-69 Cajuela O7	121
Fotografía 5-70 Cajuela O8	121
Fotografía 5-71 Cajuela O9	121
Fotografía 5-72 Cajuela P6	122
Fotografía 5-73 Cajuela P7	122
Fotografía 5-74 Cajuela P8	122
Fotografía 5-75 Cajuela P9	122
Fotografía 5-76 Cajuela Q8	123
Fotografía 5-77 Cajuela Q10	123
Fotografía 5-78 Cajuela R7	123
Fotografía 5-79 Cajuela R8	123
Fotografía 5-80 Cajuela S6	124
Fotografía 5-81 Cajuela S8	124
Fotografía 5-82 Cajuela S10	124

Fotografía 5-83 Tejido urbano continuo	134
Fotografía 5-84 Tejido urbano discontinuo sector Cascajalito-Chocorito	134
Fotografía 5-85 Zonas industriales	135
Fotografía 5-86 Red vial	136
Fotografía 5-87 Áreas deportivas	136
Fotografía 5-88 Plátano y Banano	137
Fotografía 5-89 Otros cultivos permanentes arbóreos	137
Fotografía 5-90 Cultivo de mango	138
Fotografía 5-91 Pastos limpios	139
Fotografía 5-92 Lagunas	140
Fotografía 5-93 Bosque fragmentado con vegetación secundaria	140
Fotografía 5-94 Bosque de galería y/o ripario	141
Fotografía 5-95 Plantación de latifoliadas	142
Fotografía 5-96 Aljibe A01	257
Fotografía 5-97 Aljibe A04	257
Fotografía 5-98 Pozo P01	258
Fotografía 5-99 Pozo P02	258

5 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

5.1 CARACTERIZACIÓN ABIÓTICA

5.1.1 Geología

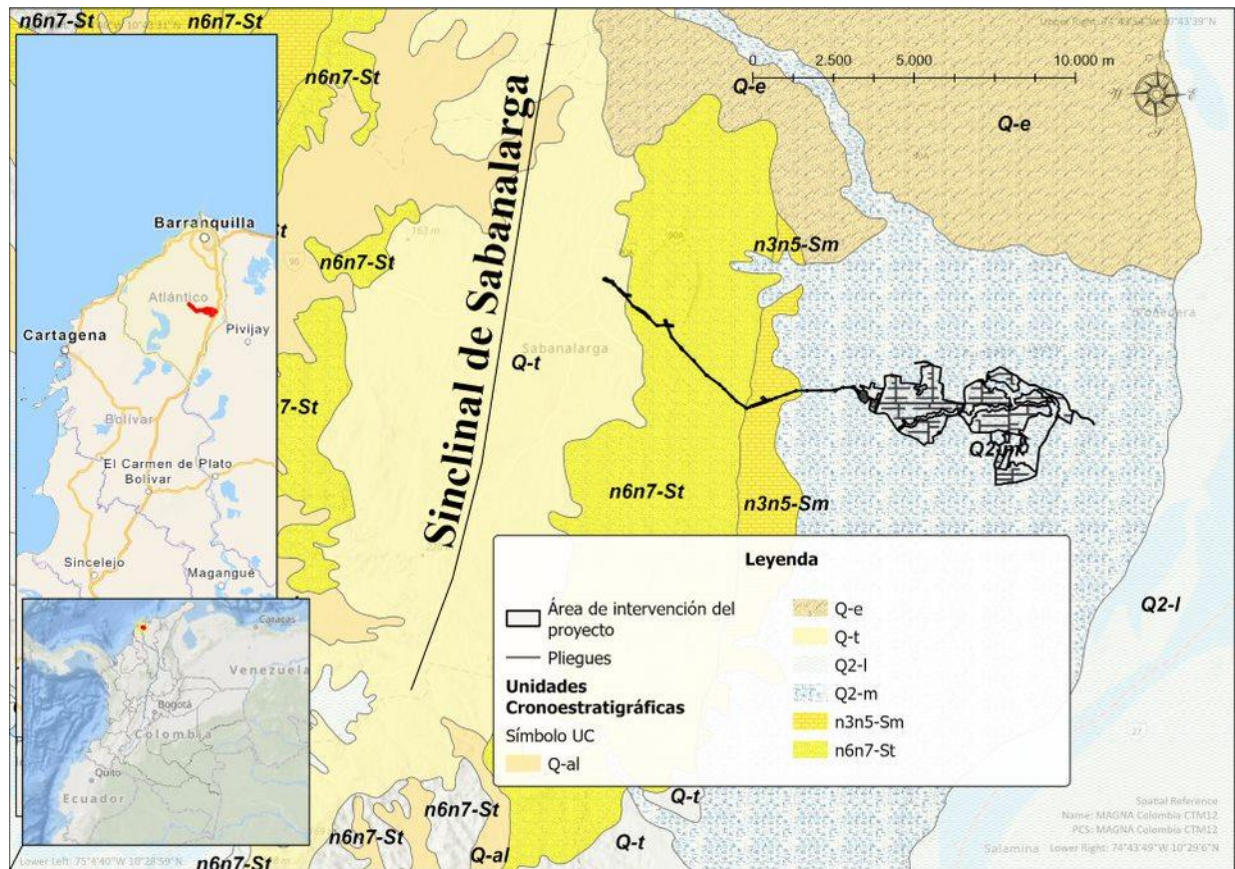
Para la presente modificación de licencia ambiental, la caracterización geológica del área de influencia del Proyecto, parte de la caracterización reportada en el EIA, 2020, presentado para el licenciamiento ambiental del proyecto “*Parque Solar Fotovoltaico Guayepo 400 Mw, su línea de Evacuación 500 kv y Bahía de Conexión*”, otorgada por la ANLA mediante Resolución 981 de 2021, el cual a su vez se basó en información oficial de cartografía geológica, geomorfológica e hidrogeológica obtenida del Servicio Geológico Colombiano (SGC), imágenes satelitales obtenidas de Google Earth, imágenes aéreas, topografía LIDAR y de las memorias explicativas correspondientes a las bases cartográficas consultadas. Para este documento, se complementa y actualiza con información de campo y análisis de imágenes satelitales, en los aspectos aplicables como se describe a continuación.

En consecuencia, el modelo geológico presentado en el este EIA resume la información contenida en el EIA, 2020 elaborado por la empresa EIA PROYECTO GUAYEPO SOLAR, con las respectivas revisiones y actualizaciones asociadas a las actividades objeto de modificación, a partir de información obtenida mediante recorridos de campo, en donde se buscó corroborar los principales rasgos geológicos, geomorfológicos y estructurales del área del proyecto, y así determinar las características actuales de las diferentes unidades allí presentes. Estos recorridos y la verificación de campo se adelantaron desde el 04 al 13 de abril de 2022.

El Proyecto se localiza en el departamento del Atlántico en los municipios de Sabanalarga y Ponedera. (Figura 5-1). Geológicamente, se ubica en el sector norte del Cinturón de San Jacinto, el cual está compuesto por una serie de sedimentitas con edades que varían desde el Paleoceno hasta el Reciente, depositadas en ambientes

marino profundo, litoral y continental, que han desarrollado una morfología de colinas denudativas y llanuras.

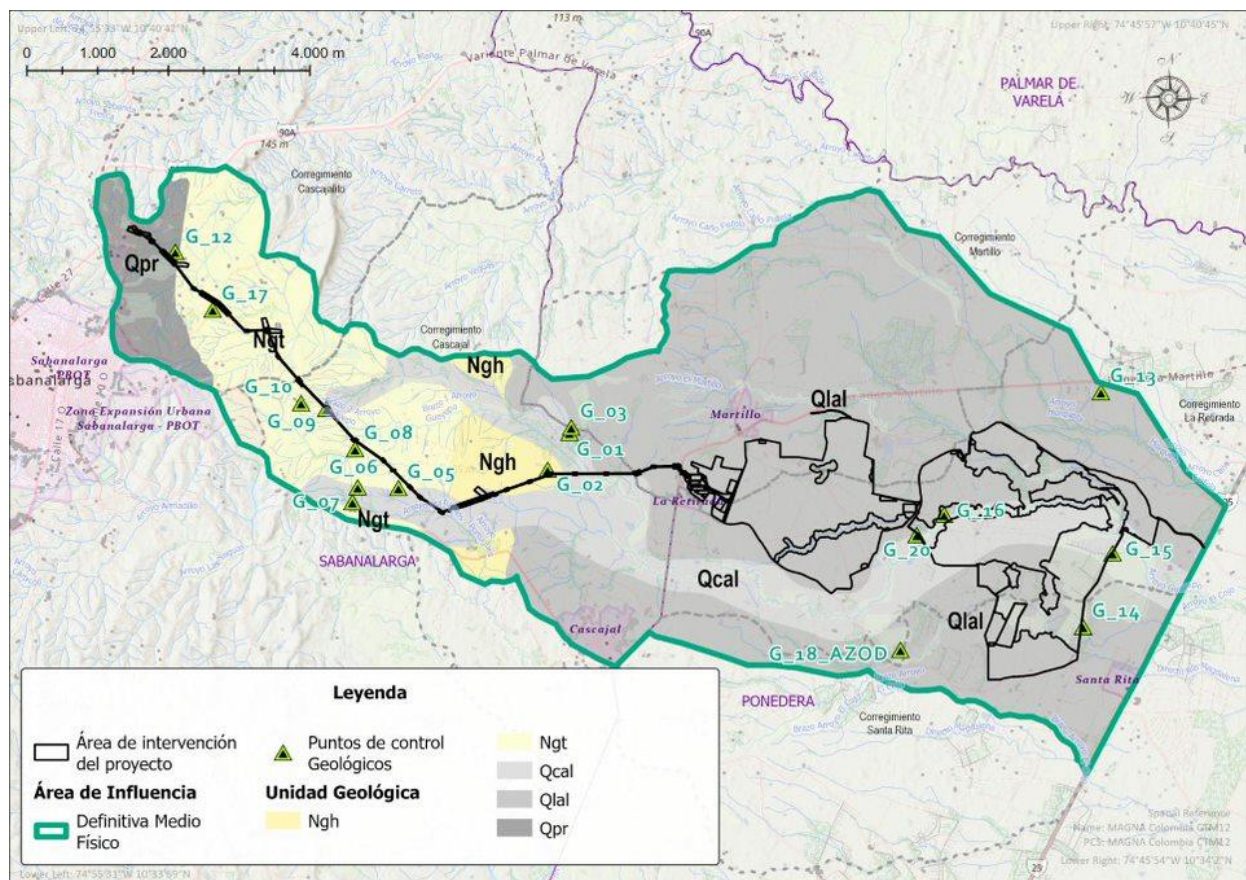
Figura 5-1 Localización del proyecto en la geología regional



Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

En la Figura 5-2 se presentan los puntos de control de campo utilizados para la verificación y actualización de información de las unidades geológicas presentes en el área de influencia objeto de la modificación.

Figura 5-2 Estaciones de control de campo sobre unidades geológicas presentes en el área de influencia



Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

De la misma manera, en la Tabla 5-1 se registran las coordenadas de las estaciones de control de campo para el componente de geología.

Tabla 5-1 Localizaciones estaciones de control de campo geología

Nombre o ID Campo	Coordenadas Magna Sirgas – Origen Nacional	
	Este	Norte
G_01	4797353,5	2732676,4
G_02	4797043,1	2732155,1
G_03	4797377,8	2732752,4
G_05	4794933,9	2731896,1
G_06	4794358,8	2731905,8
G_07	4794284,0	2731695,5
G_08	4794321,6	2732445,0
G_09	4793916,3	2733017,8
G_10	4793558,6	2733096,2
G_12	4791778,2	2735236,5

Nombre o ID Campo	Coordenadas Magna Sirgas – Origen Nacional	
	Este	Norte
G_13	4804869,6	2733251,1
G_14	4804617,8	2729931,0
G_15	4805034,6	2730974,1
G_16	4802650,9	2731518,8
G_17	4792307,1	2734417,5
G_18_AZOD	4802033,7	2729607,43
G_19	4808734,9	2729567,9
G_20	4802263,4	2731231,0
G_21	4801661,4	2372045,0

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

A continuación, se presenta una reseña acerca de la geología regional del área donde se desarrollará el proyecto sumado a los aspectos más relevantes asociados con el contexto tectónico de la zona.

5.1.1.1 Estratigrafía

Teniendo en cuenta la ubicación del área de influencia del Proyecto objeto de modificación en el norte del Cinturón de San Jacinto, se presenta en la Figura 5-3 la columna estratigráfica generalizada de las unidades aflorantes en la región Caribe de este cinturón.

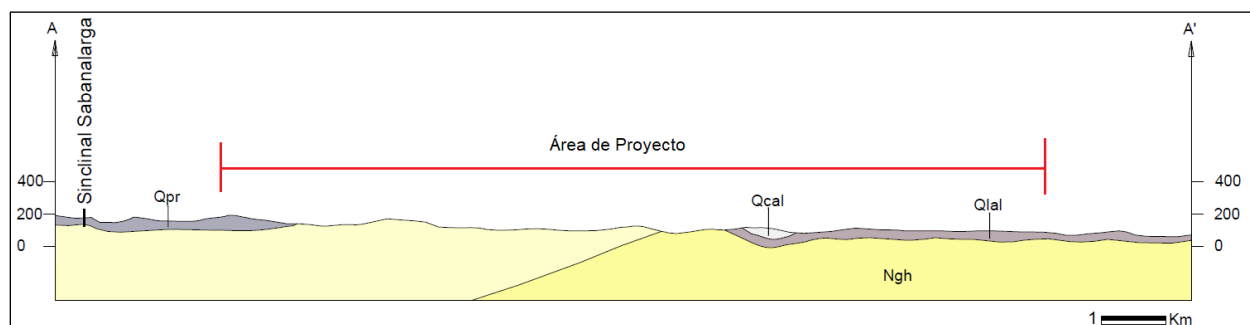
Figura 5-3 Columna estratigráfica en correlación de las unidades geológicas que componen el cinturón de San Jacinto

PERIODOS	ÉPOCA		CINTURÓN				
			SINU NORTE	SAN JACINTO			NORTE
			PLANCHAS 23-29-30	PLANCHA 52	PLANCHAS 44-52	PLANCHAS 29-30-36-37-38	PLANCHAS 16-17-23-24
CUATERNARIO	HOLOCENO						
	PLEISTOCENO		Formación Popa	Formación Betulia	Formación Betulia	Qcal	Formación La Popa
		0.01					
			Fm. Amayo Grande	Fm. Sincelajo	Fm. Sincelajo	Fm. Rotinet	Fm. Rotinet
		1.64					
NEÓGENO	PLIOCENO	S					
		3.4					
		I					
	MIOCENO	S	Formación Bayunca	Formación Cerrito	Formación Cerrito	Formación Zambrano	Formación Turbará
		5.2					
		10.4				Fm. Jesus del Monte	
						Miembro Mandatu	Formación Hibácharo
						Fm. Rancho	
		16.3					
		21.6					
		23.3	Formación Arjona	Fm. Carmen		Formación Carmen	Formación Perdices
					Formación Carmen		
		29.3		Formación Ciénaga de Oro		Mbr. Areniscas del Oso	
						Fm. Carmen	
		35.4				Fm. San Jacinto	Fm. Arroyo de Piedra
		38.6			Formación Toluviejo	Fm. Chagusa	
		50.0		Fm. La Trampa		Fm. Maca	Fm. Peridales
		56.5	Formación San Cayetano	Formación San Cayetano	Formación San Cayetano	Formación San Cayetano	Formación San Cayetano
		60.5					
		65.0					
CRETÁCICO SUPERIOR	MAASTRICHTIANO			Formación Cansona	Formación Cansona	Formación Cansona	
	CAMPANIANO						
		74.0					
		83.0					

Fuente: (INGEOMINAS, 2001)

El proyecto se encuentra en la zona norte del cinturón de San Jacinto, sobre depósitos cuaternarios correspondientes a Llanuras Aluviales, Depósitos Fluvio-lacustres y Depósitos Coluvio -Aluviales, y sobre una franja de suelos residuales de las Formaciones Tubará e Hibácharo, asociadas al flanco oriental del sinclinal de Sabanalarga (ver Figura 5-4).

Figura 5-4 Sección transversal asociada al área del proyecto



Fuente: (modificado de INGEOMINAS, 1998)

En la Tabla 5-2 se presentan las unidades litológicas existentes en el área de influencia generada para la modificación de la licencia.

Tabla 5-2 Unidades geológicas presentes en el área de influencia

ERA	PERIODO	ÉPOCA	NOMENCLATURA	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	AREA DE INFLUENCIA MODIFICACIÓN	
						(Ha)	(%)
CENOZOICO	CUATERNARIO	Holoceno	Qfl	Depósitos Fluvio-lacustres	Materiales finos tipo arcilla o limo, producto de las fluctuaciones de temporadas secas y lluviosas, que influyen en el aporte de sedimentos a zonas de inundación	0,00	0,0%
			Qcal	Depósitos Coluvio-aluviales	Cantos, bloques, arenas y arcillas, mezclados a gradados, cubren unidades rocosas y depósitos cuaternarios más antiguos	1064,72	15,9%
			Qlal	Depósitos de Llanura Aluvial	Arenas, arcillas y en menor proporción, gravas	4198,11	62,7%
		Pleistoceno	Qpr	Gravas de Rotinet	Capas gruesas de gravas u arenas conglomeráticas con estratificación cruzada de alto ángulo.	264,36	4,0%
	NEÓGENO	Plioceno	Ngt	Formación Tubará	Areniscas de grano fino a grueso, cuarzosas, algunas calcáreas y niveles bioclásticos. Intercalaciones de lodolitas grises a negras.	959,19	14,3%
		Mioceno	Ngh	Formación Hibácharo	Limolitas negras carbonosas, lodolitas grises y amarillas, areniscas de grano fino y costras de oxidación estratiformes. Esporádicos niveles bioclásticos	205,74	3,1%
TOTAL						6692,11	100,0%

Fuente: Modificado de EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020, GUAYEPO SOLAR, 2022

A continuación, se presenta un resumen de las características regionales de estas unidades, desde la más antigua a la más reciente, de acuerdo con lo establecido en los Términos de Referencia TdR-015 de 2017 y TdR-017 de 2018, para la elaboración de Estudios de Impacto Ambiental (EIA) en proyectos de uso de energía solar fotovoltaica y proyectos de sistemas de transmisión de energía eléctrica, respectivamente. Las columnas estratigráficas de cada unidad levantada por el INGEOMINAS se muestran a detalle en el EIA presentado para la obtención de licencia ambiental, otorgada mediante Resolución 981 de 2021.

5.1.1.1.1 Neógeno

Formación Hibácharo (Ngh)

La Formación Hibácharo fue referenciada por Raasveldt en 1953, citado por (Ingeominas, 2001) quién dio este nombre por el caserío de Hibácharo, localizado al norte del municipio de Luruaco. Además, menciona que la formación está constituida por arcillolitas, limolitas y areniscas de grano fino a conglomeráticas.

La Formación Hibácharo aflora en los alrededores del caserío del mismo nombre, con un registro de espesores que van desde 488 m hasta los 800 m. De acuerdo con Raasveldt, 1995, citado por (INGEOMINAS, 2001), se ha determinado que los sedimentos originales de las rocas de esta formación pertenecen a depósitos de un abanico submarino, parte media a proximal. Se le asigna una edad del Mioceno Medio. La Formación Hibácharo se correlaciona con la Formación Rancho del Anticlinorio de San Jacinto.

Formación Tubará (Ngt)

La referencia original de esta unidad se debe a Anderson, 1929, citado por (Ingeominas, 2001) quién la llamó inicialmente “Tuberá Group”, consistente en lodolitas fósiles, areniscas arcillosas y areniscas, aflorantes en el municipio de Tubará. Raasveldt, 1953 y Bürgl et al., 1955, citado por (Ingeominas, 2001) hablan de ella como formación y mencionan una sección de referencias en el arroyo Saco, Atlántico.

La Formación Tubará aflora en los flancos del Sinclinal de Sabanalarga, en el Anticlinal de Sibarco, en el cierre del Sinclinal de Tubará, al oriente de Hibácharo y en los alrededores de los municipios de San Estanislao y Villa Rosa.

La Formación Tubará yace discordante sobre la Formación Hibácharo, mientras que el techo se encuentra cubierto discordantemente, bien por las Gravas de Rotinet, o por depósitos cuaternarios. El espesor parcial medido en la sección del arroyo Gallinazo es de 206 m; en la sección de la carretera La Cordialidad, el espesor medido es de 145 m, faltando el techo.

Según Duque-Caro, 1973, citado por (Ingeominas, 2001) pertenece a la facies de turbiditas. Observando las características de las asociaciones litológicas presentes en las columnas estratigráficas, se considera para esta formación un depósito en un ambiente de abanico submarino en su parte proximal.

Desde Anderson, 1929; Bürgl, 1957, Redmon, 1953; y De Porta et al., 1974, citado por (Ingeominas, 2001) por la Formación Tubará se ha considerado de edad Miocena; ubicándola en el Mioceno Medio, le asignan una edad del Mioceno temprano; la coloca en el Mioceno Medio y Superior.

5.1.1.1.2 Cuaternario

Gravas de Rotinet (Qpr)

De Porta et al., 1974, en (Ingeominas, 2001) introduce el término Rotinet Gravels para designar un abanico formado por cantos y bloques de rocas ígneas, calizas y chert negro que se extienden en los alrededores de la ciénaga del Guájaro.

Caro et al., 1985, citado por (Ingeominas, 2001) designan informalmente Gravas de Rotinet, a sedimentos que afloran en inmediaciones de la población de Rotinet y la Aguada de Pablo. Según ellos, las Gravas de Rotinet están constituidas por gravas inconsolidadas compuestas por fragmentos subredondeados de rocas ígneas, chert y granos subangulares de cuarzo lechoso de tamaño entre 2 y 30 cm.

Las Gravas de Rotinet afloran en los alrededores del embalse del Guájaro, teniendo sus mejores exposiciones al occidente del Corregimiento de Rotinet y los alrededores del caserío Aguada de Pablo.

Las Gravas de Rotinet descansan discordantemente sobre las formaciones Hibácharo y Tubará y el techo está cubierto parcialmente por depósito aluviales. El espesor medido en sección compuesta es de 41 m, observada en tres canteras; el espesor máximo se calcula en unos 50 m, con base en corte estructural.

Las características físicas, como la granulometría, las estructuras internas, la geometría de las capas y su ocurrencia en paleovalles, sugieren un ambiente de depósito fluvial, tal vez relacionado con paleocursos del río Magdalena.

En la cantera Barrera, al occidente de Rotinet, Caro et al., 1985, citado por (Ingeominas, 2001) mencionan el hallazgo de restos de vertebrados, que vivieron durante el Pleistoceno. De acuerdo con las relaciones estratigráficas de las Gravas de Rotinet, se podría asignar una edad del Pleistoceno Inferior.

Depósitos de llanura Aluvial (Qlal)

Estos depósitos son de origen aluvial y han desarrollado formas planas, como terrazas, ligeramente inclinados hacia la dirección de la escorrentía; están localizados al occidente del río Magdalena y en los alrededores del Municipio de Repelón; son de poco espesor, generalmente cubiertos por suelo y vegetación, constituidos por arenas, arcillas y, en menor proporción, gravas.

Depósitos Coluvio-aluviales (Qcal)

Los depósitos coluvio-aluviales agrupan la sedimentación fluvial reciente y actual, y la generada por coluviones igualmente recientes, relacionados con arroyos y con los piedemontes. Están constituidos por cantos, bloques, arenas y arcillas, mezclados a gradados, cubriendo a las unidades rocosas y a los depósitos cuaternarios más antiguos.

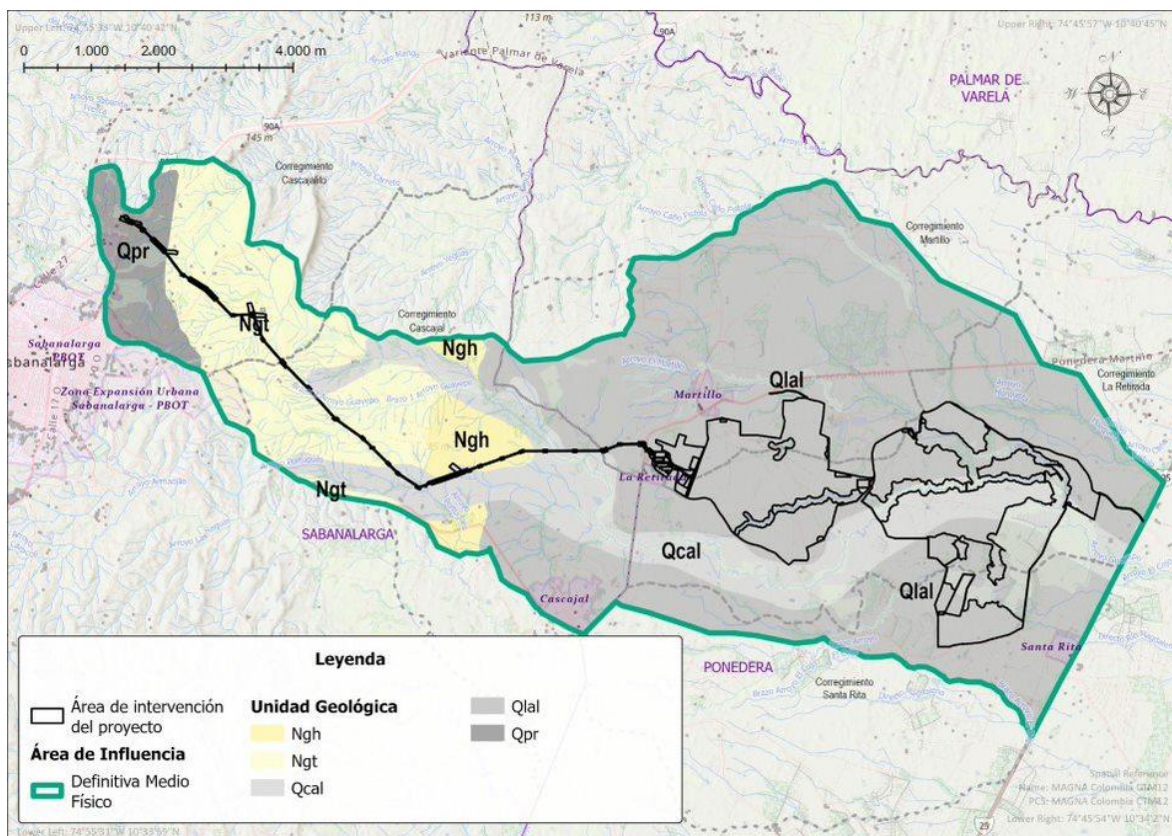
Depósitos Fluviolacustres (Qfl)

Los depósitos Fluviolacustres están localizados y asociados al río Magdalena, Canal del Dique y ciénaga del Guájaro. Están constituidos principalmente por materiales finos tipo arcilla o limo, producto de las fluctuaciones de temporadas secas y lluviosas, que influyen en el aporte de sedimentos a estas zonas de inundación.

5.1.1.2 Geología local

A continuación, se presentan las características geológicas verificadas durante los recorridos de campo, de las unidades mencionadas en la Tabla 5-2 sobre las que se localiza el proyecto, con la excepción de la unidad geológica de Depósitos Fluviolacustres, sobre la cual no se localiza ningún componente de este (Figura 5-5).

Figura 5-5 Unidades geológicas locales asociadas al Proyecto



Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

5.1.1.2.1 Parque Solar Fotovoltaico

El área licenciada del Parque Solar Fotovoltaico Guayepo 400MW se localiza sobre dos unidades geológicas que son, los **Depósitos de Llanura Aluvial (Qlal)** y **Depósitos Coluvio-Aluviales (Qcal)**. La mayor parte del área del parque se encuentra en los Depósitos de Llanura Aluvial, que son de poco espesor, generalmente cubiertos por suelo y vegetación, constituidos por arenas, arcillas y, en menor proporción, gravas. Tal como se observa en la Fotografía 5-1, en estos depósitos predomina el material fino, el cual se encuentra en gran parte meteorizado y descompuesto en las zonas donde se logran evidenciar sus afloramientos.

Así mismo, pero en menor porcentaje, el parque se encuentra sobre los Depósitos Coluvio-Aluviales que están constituidos por cantos, bloques, arenas y arcillas, mezclados a gradados, cubriendo otros depósitos cuaternarios más antiguos. Estos depósitos fueron evidenciados en campo asociados principalmente a valles de drenajes o en zonas donde se observa el paso de varios arroyos. Sus clastos son heterogéneos, se encuentran altamente decolorados y desintegrados y son evidencia de largos desplazamientos desde su lugar de origen, con sedimentación intermitente y esporádica en momentos de altos afluentes por acción fluvial (Fotografía 5-2).

Fotografía 5-1 Depósitos de Llanura aluvial (Qlal)



Coordenada: E 4.804.870 N 2.733.251
Municipio: Ponedera
Vereda: Guayepo

Fotografía 5-2 Depósitos Coluvio-Aluvial (Qcal)



Coordenada: E 4.802.263 N 2.731.231
Municipio: Ponedera
Vereda: Guayepo

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

5.1.1.2.2 Línea de evacuación

La línea de evacuación a 500kV, se encuentra sobre cinco unidades geológicas: los **Depósitos de Llanura Aluvial (Qlal)**, **Depósitos Coluvio-Aluviales (Qcal)**, **Gravas de Rotinet (Qpr)**, **Formación Tubará (Ngt)** y **Formación Hibácharo (Ngh)**.

En su mayor recorrido sobre terrenos derivados de la Formación Tubará, compuesta por areniscas arcósicas de grano medio a muy grueso, blancuzcas a gris verdoso, donde debido a la meteorización y erosión, no son observable sus capas. Se evidencian intercalaciones de areniscas calcáreas fosilíferas, arcillolitas gris oscuras y lodolitas síliceas. A continuación, en las Fotografía 5-5 y la Fotografía 5-6 se muestran los sitios donde se realizó control geológico de esta unidad.

En segundo lugar, sobre Depósitos Coluvio-Aluviales, que corresponden a derrubios acumulados en los cauces de los actuales arroyos y en valles intermontanos, estrechamente relacionados a dichos arroyos localizados entre las colinas, compuestos por cantos, bloques, arenas y arcillas (Fotografía 5-5).

En menor proporción, en el sector de la Bahía de Conexión, el alineamiento se ubica sobre las Gravas de Rotinet, que consiste en una sucesión inconsolidada de gravas con tamaño variable desde gránulos hasta guijarros de rocas volcánicas, cuarcitas, cuarzo lechoso y chert; arenas cuarzo feldespáticas de grano medio a grueso, deleznales, color amarillo (Fotografía 5-6).

El trazado de la línea se ubica también sobre los Depósitos de Llanura Aluvial, que están conformados por arenas, arcillas y, en menor proporción, gravas depositadas discordantemente sobre las formaciones más antiguas (Fotografía 5-9). En la zona se identificaron espesores bajos (entre 2 y 1 m) evidenciados en áreas donde, a través de excavaciones para la realización de jagueyes, se pueden encontrar las unidades neógenas que los subyacen.

Así mismo, la línea se localiza sobre suelos residuales de la Formación Hibácharo, que está constituida por capas gruesas de arenitas de grano fino a grueso, intercalaciones

de arcillolita gris a verde oliva y concreciones (Fotografía 5-8); en la parte media y superior de la sección, es notable el predominio de lodolitas grises oscuras, la ocurrencia de las arenitas y láminas arenosas entre las lodolitas es más frecuente, esporádicamente son fosilíferas, en capas delgadas, ondulosas y discontinuas.

Fotografía 5-3 Fragmentos de conchas en Formación Tubará (Ngt)



Coordenada: E 4.793.558 N 2.733.096
Municipio: Sabanalarga
Vereda: Cascajal

Fotografía 5-4 Areniscas de la Formación Tubará (Ngt)



Coordenada: E 4.793.558 N 2.733.096
Municipio: Sabanalarga
Vereda: Cascajal

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-5 Fragmentos superficiales de los Depósitos Coluvio-Aluvial (Qcal)



Coordenada: E 4.794.359 N 2.731.906
Municipio: Sabanalarga
Vereda: Cascajal

Fotografía 5-6 Canto suelto de la unidad Gravas de Rotinet (Qpr)



Coordenada: E 4.791.778 N 2.735.236
Municipio: Sabanalarga
Vereda: Municipio

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-7 Depósitos de llanura aluvial (Ngt)



Coordenada: E 4.801.661 N 2.732.045
Municipio: Sabanalarga
Vereda: Cascajal

Fotografía 5-8 Lodolitas grises meteorizadas de la Formación Hibácharo (Ngh)



Coordenada: E 4.795.625 N 2.731.488
Municipio: Sabanalarga
Vereda: Cascajal

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

5.1.1.2.3 Bahía de conexión

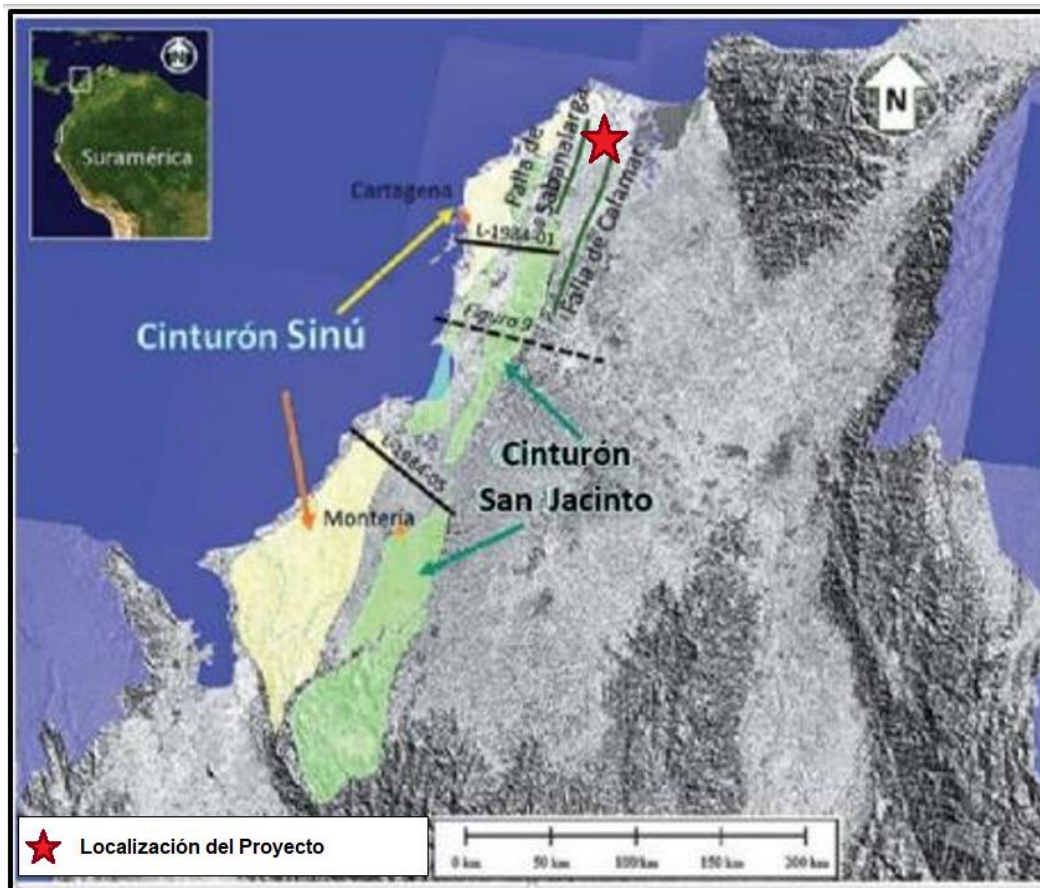
La Bahía de Conexión se encuentra sobre la unidad de Gravas de Rotinet, que muestra en la zona capas horizontales, que tienen formas de lomas redondeadas y mesetas disectadas de poca altura, conformadas por gravas de tamaño variable, arenas cuarzo-feldespáticas, deleznales y localmente, concreciones de arcillolitas y limolitas ferruginosas, con estratificación cruzada y antiguos canales.

5.1.1.3 Geología Estructural/Tectónica

El análisis estructural del área de influencia del Proyecto objeto de modificación, corresponde al análisis estructural regional descrito y detallado en el EIA, 2020, el cual a su vez proviene de información del Servicio Geológico Colombiano (SGC, antes INGEOMINAS) de sus planchas geológicas y respectivas memorias, además de informes de la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) y del “Mapa de Fallas y Pliegues Cuaternarias de Colombia” del (U.S Geological Survey - USGS, 2000) en donde se cartografiaban las fallas activas en el Cuaternario.

A nivel regional, el Proyecto se encuentra en una zona de interacción de placas Suramérica y Caribe en la parte más norte del Cinturón de San Jacinto, tal como lo afirma Duque – Caro, 1980, citado por (Ingeominas, 2001); (ver Figura 5-6), cuyo núcleo ocupado por la Formación San Cayetano, evidencia intenso tectonismo reflejado en fallamiento inverso, plegamiento estrecho e inversión de estratos, con vergencia predominante hacia el occidente.

Figura 5-6 Localización del área de influencia en relación con los Cinturones de Sinú y San Jacinto



Fuente: (modificado de Sociedad Colombiana de Geología, 2016)

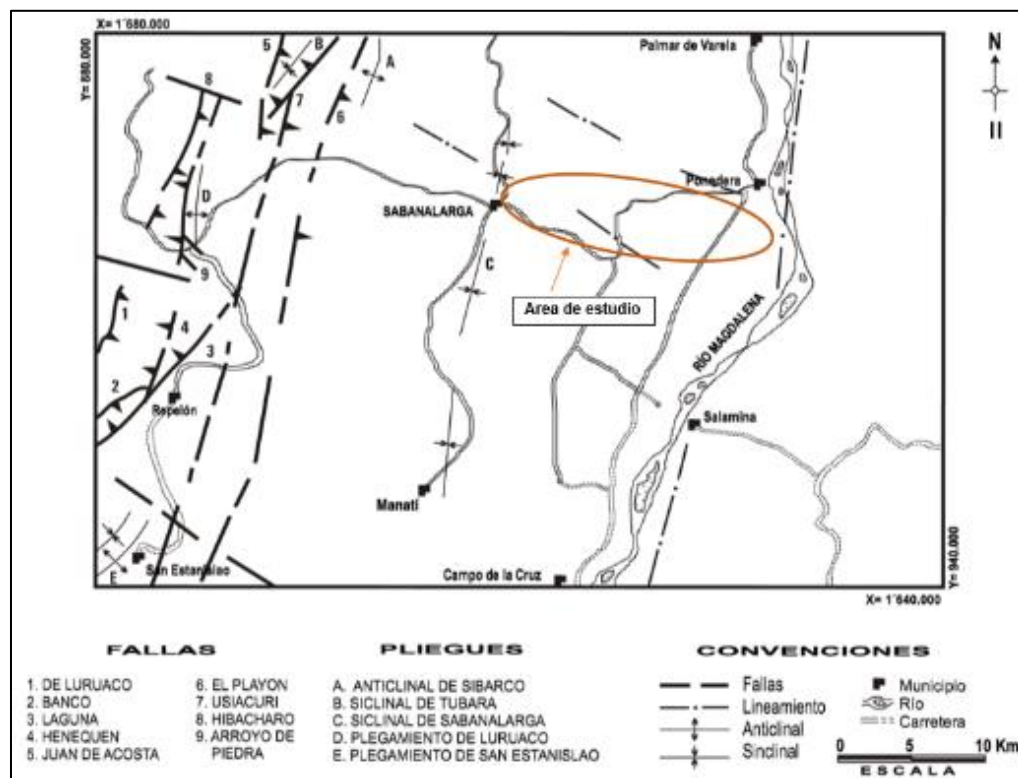
En la Figura 5-7 se identifica claramente dos sectores con procesos deformativos característicos. El sector occidental, limitado al oriente por la Falla El Playón, presenta alta deformación tectónica, en la cual hay un predominio de las fallas sobre el

plegamiento. El fallamiento es inverso y, por la geometría que muestra, corresponde a un sistema de cabalgamiento, imbricado, con vergencia predominante hacia el oeste, Mc Clay, 1992; citado por (Ingeominas, 2001) de ahí la gran cantidad de bloques fallados entre sí.

El sector oriental, donde se encuentra localizado el proyecto, está menos deformado; como estructura importante, se destaca el Sinclinal de Sabanalarga; aparte de ésta, se observa el lineamiento del río Magdalena de dirección N10°E y otros lineamientos menores en dirección NW.

El dominio de fallamiento inverso lleva a interpretar un estilo tectónico comprensivo para el área, en dirección NW-SE, que presenta su zona axial en el sector occidental, reflejado en la alta deformación. El sector oriental se encuentra alejado de la zona axial, sus unidades litoestratigráficas son más jóvenes y no sufrió una deformación tan intensa.

Figura 5-7 Mapa tectónico regional de la zona en que se ubica el proyecto



Fuente: Modificada de Ingeominas, 2001

Los ejes de las principales estructuras regionales como fallas y pliegues se encuentran en su gran mayoría a más de 10 km de distancia del área de influencia del proyecto. La identificación y descripción de estas se encuentran con mayor detalle en el EIA de 2020.

A nivel local, en el área de influencia no se presentan lineamientos, estructuras como fallas, diaclasas, espejos de falla, escarpes ni rasgos de afectaciones tectónicas. La estructura más cercana corresponde al Sinclinal de Sabanalarga, el cual presenta su eje a menos de 1 km al occidente del área de influencia del Proyecto, y se describe a continuación.

5.1.1.3.1 Sinclinal de Sabanalarga

El Sinclinal de Sabanalarga está localizado en inmediaciones de los municipios de Manatí y Sabanalarga y la localidad de Campeche. Su zona axial está ocupada por las Gravas de Rotinet, pero sus flancos, en rocas de las formaciones Hibácharo y Tubará, son más o menos simétricos con algunas variaciones en el flanco oriental, donde se ven algunos sinclinales y anticlinales de muy limitada extensión. Hacia el norte, el flanco oriental queda cubierto por depósitos cuaternarios, que enmascaran su expresión en superficie; al sur, aparentemente se genera un cierre en la Formación Tubará en el sector del Municipio de Manatí.

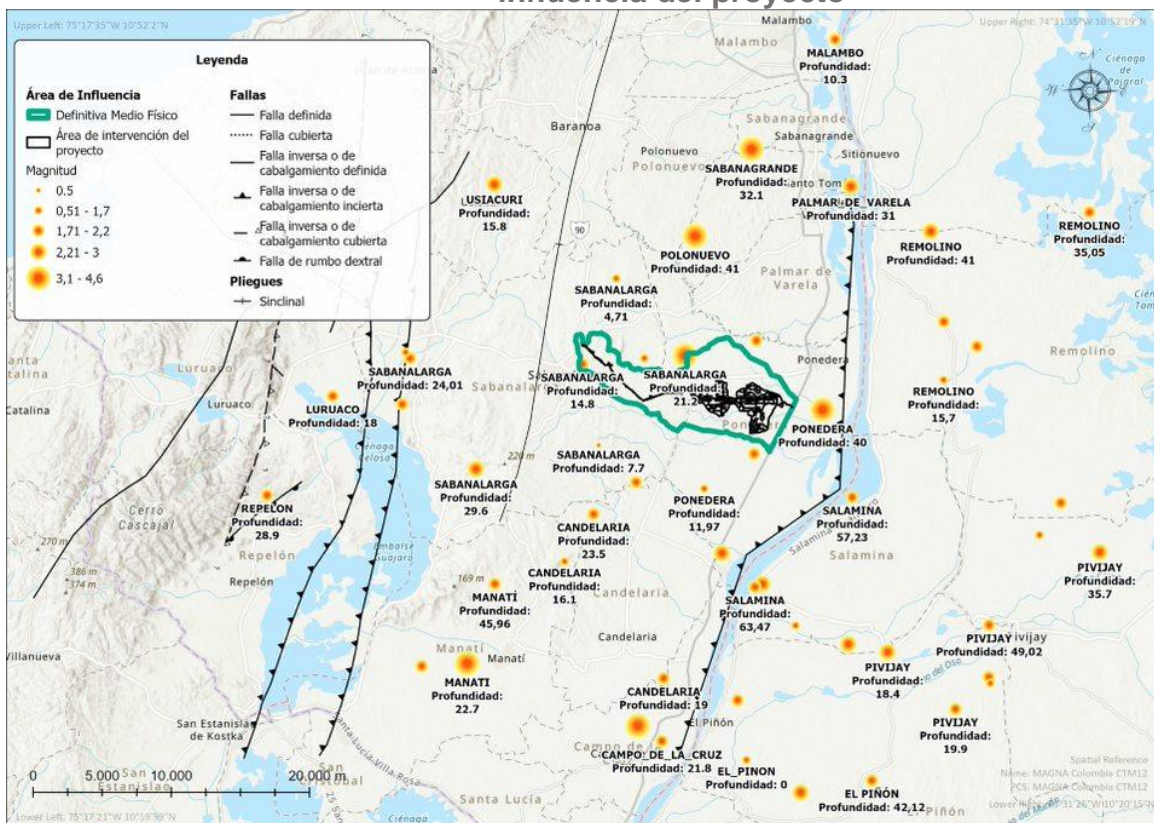
5.1.1.4 Sismicidad

La sismicidad se describe de acuerdo con los parámetros que pueden caracterizar un fenómeno sísmico tales como momento, magnitud, intensidad, desplazamiento del suelo y aceleración. “La magnitud y el momento sísmico están relacionados con la energía liberada en el foco del terremoto, mientras que la intensidad y la aceleración, velocidad y desplazamiento del suelo lo están con la energía recibida en un punto cualquiera de la superficie. La intensidad del área epicentral también se toma como medida del tamaño del terremoto ya que, aunque no mide la energía liberada y en su valor influye la profundidad a la que se encuentra el foco y el tipo de fractura que da lugar al terremoto,

es el único parámetro que da una idea del tamaño para la época no instrumental, de la que no se cuenta con valores de magnitud” (Muñoz, 1989, citado por (Ingeominas, 2001).

En la Figura 5-8 se observa la localización de los eventos sísmicos instrumentales registrados a una distancia de 25 km alrededor del área del proyecto, entre los años 1993 y 2022, de acuerdo con el registro existente en el catálogo sísmico de la Red Sismológica Nacional de Colombia (Ver Anexo 5.1.1 – Geología), así como la relación al eje de las estructuras de falla y de pliegues identificados a nivel regional. Se identificaron 35 eventos sísmicos entre los años 1993 y 2018 presentado para el EIA de 2020, y 17 eventos sísmicos a partir del año 2018 a la actualidad (mayo de 2022) para un total de 52 eventos en un área de 25 km alrededor del proyecto.

Figura 5-8 Sismicidad y estructuras geológicas, a 25 km alrededor del área de influencia del proyecto



Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

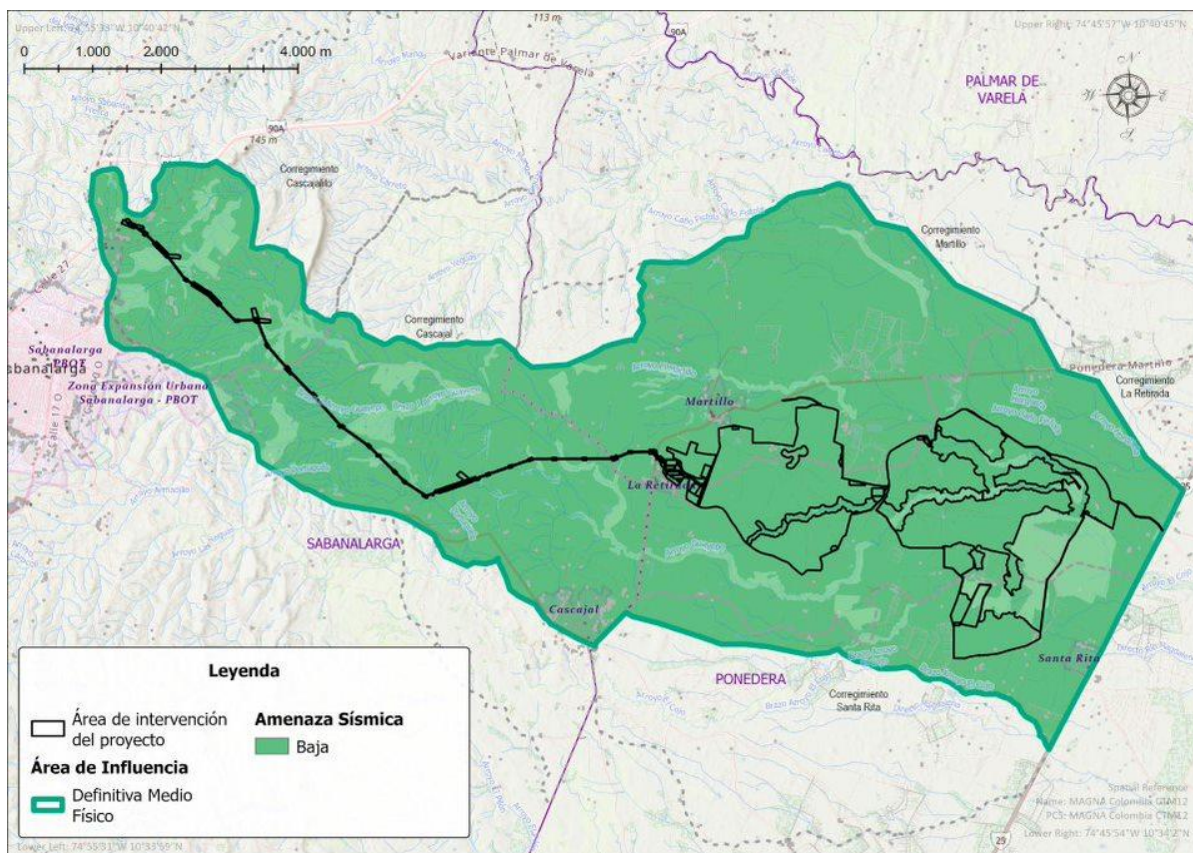
Se observa que, en el área definida dentro de los 25 km señalados, los sismos registrados en la región tienen un predominio de profundidad superficial, menor a 30 km (59,6%); con magnitud que oscila entre 0,5 y 4,6. El 41,4% restante, ha tenido una profundidad que varía entre 31 y 68,9 km con magnitud entre 1,4 y 4,6.

Sin embargo, aunque se registraron algunos sismos cerca o casi sobre los ejes de las fallas y plegamientos que se ubican en la zona, no presentan una tendencia que los relacione con las estructuras geológicas regionales existentes en la zona; sino que puede tener relación con eventos a nivel regional de placas tectónicas.

De otra parte, acorde con el Mapa Nacional de Amenaza Sísmica de Colombia, publicado por la red sismológica nacional del Servicio Geológico Colombiano y los valores de susceptibilidad asociados a cada uno de los rangos de aceleración horizontal máxima del terreno en roca (PGA), el proyecto se encuentra totalmente en un área de amenaza sísmica “Baja” con valores de PGA entre 50 y 100 cm/s² (Figura 5-9).

Debe tenerse en cuenta que en cada zona el coeficiente de aceleración depende de las condiciones del terreno tales como fallas geológicas, rellenos naturales no consolidados y otros factores que puedan amplificar las ondas sísmicas; entre más alto sea el coeficiente, no obstante, estos valores son uno de los insumos fundamentales en los cálculos estructurales, en la etapa de diseño detallado del proyecto.

Figura 5-9 Amenaza sísmica en el área de influencia del proyecto



Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Así mismo, no se observa una relación entre la localización de dichos sismos con los procesos morfodinámicos presentes en el área de influencia preliminar del medio abiótico.

5.1.1.5 Unidades Geológicas Superficiales (UGS)

Se denomina Unidad Geológica Superficial (UGS) al conjunto de materiales que conforman la superficie del terreno, hasta profundidades que no superan las decenas de metros, que provienen del mismo origen y conservan características físicas y de comportamiento geomecánico similar; estas unidades incluyen rocas con diferentes grados de meteorización, suelos y depósitos inconsolidados.

Las UGS reflejan el resultado de diferentes procesos que modelan la superficie de la tierra, tanto exógenos como endógenos, que le confieren al terreno una serie de propiedades físicas que las definen¹. La clasificación principal de estas unidades en rocas y suelos está determinada por la intervención de factores como son: el origen, la diagénesis, historia tectónica y los procesos de meteorización a los que son expuestos los materiales.

La caracterización y descripción de las UGS presentes en el área de influencia del Proyecto se realiza teniendo en cuenta la metodología propuesta por el Servicio Geológico Colombiano (2017), donde se establecen los criterios necesarios para definir los materiales superficiales de roca, así como para las unidades suelo, basado en las propiedades físicas de dichos materiales.

Teniendo en cuenta que en esta área afloran solo unidades de suelo, se analizan los materiales de acuerdo con su origen, características y propiedades del suelo como selección, gradación color, tamaño, forma y composición de las partículas, meteorización, consistencia y su condición de humedad. Estas características son identificadas a través de observaciones de campo, la descripción de los primeros metros de suelo y el análisis de las imágenes satelitales disponibles. Igualmente, se hace uso de la información disponible en el estudio geotécnico preliminar realizado para este Proyecto por INGETEC en el año 2020, el cuál zonifica el área en tres (3) zonas homogéneas según sus características geomecánicas, como se muestra a continuación (Ver Anexo 5.1.8 Geotecnia):

- Zona homogénea 1: La clasificación de los materiales está controlada por la fracción fina conformada por arenas finas arcillosas (SC) y arcillas de alta plasticidad (CH), pocas arenas limosas (SM) y arcillas de baja plasticidad (CL), sin gravas, con coloraciones principalmente amarillentas y verdosas. Los niveles freáticos se hallan a una profundidad entre 3,00 y 4,00 m o no fueron detectados

¹ SGC. Guía Metodológica para la zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa Escala 1:25.000. Bogotá. 2017.

durante la campaña de exploración. Presenta un comportamiento predominantemente cohesivo, de consistencia firme a muy firme superficialmente, y a partir de los 2,0 m de profundidad su consistencia se incrementa hasta dura a muy dura. Su humedad natural arroja resultados porcentuales de 4,8; 21,6 y 17,9, y un grado de saturación cercano al 70%. Su cohesión es igual a 36 kPa y tiene un potencial de expansión bajo.

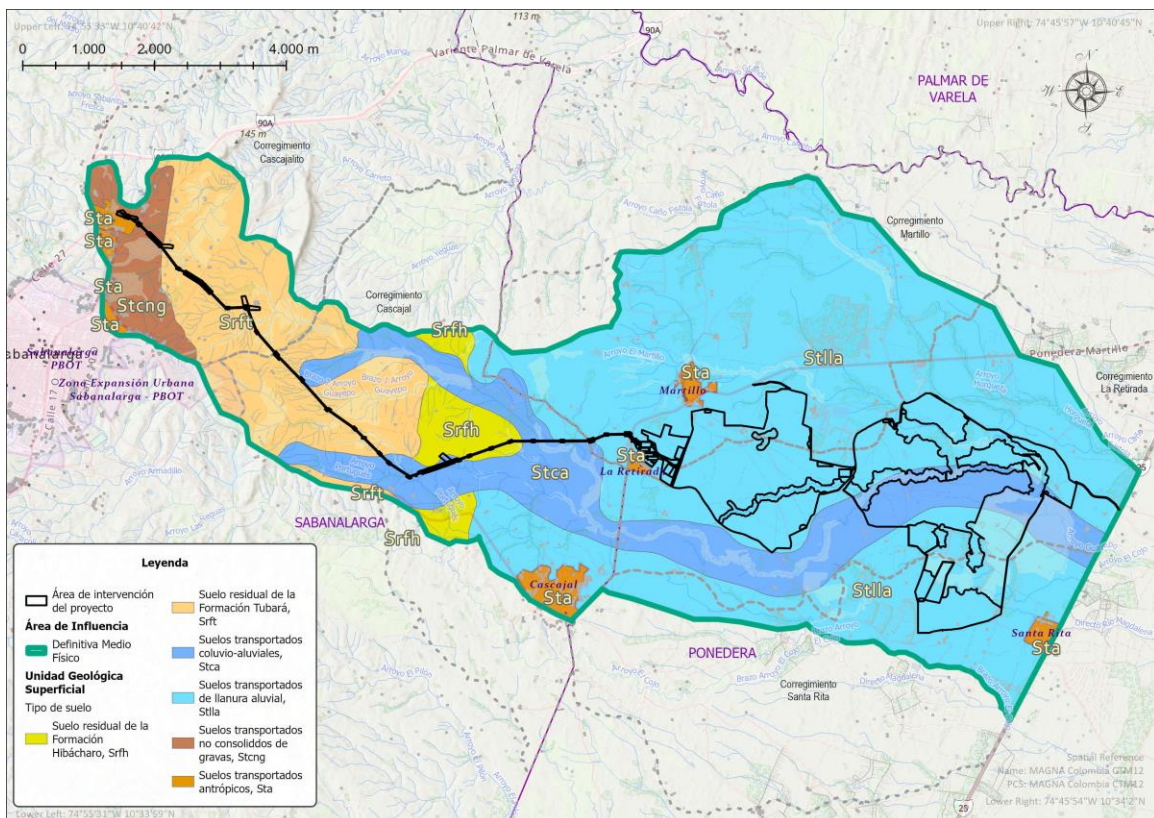
- Zona homogénea 2: La clasificación de los materiales está controlada por la fracción fina conformada por arcillas de alta plasticidad (CH), pocas arenas arcillosas de grano fino (SC), en algunos casos se detectaron trazas de gravas. La capa superficial de aproximadamente 20 cm corresponde a suelo con vegetación y materia orgánica. Las coloraciones principalmente son marrón amarillento, verdoso o verde oliva. No se identificaron niveles freáticos durante la campaña de exploración. Zona de comportamiento predominantemente cohesivo, de presencia textural de finos plásticos con algo de arenas. Las plasticidades abarcan un amplio abanico de valores entre 20 y 60. De consistencia entre muy firme y muy dura, con un incremento aproximadamente lineal a profundidad. Los 50 cm superficiales se presentan en el rango de consistencia firme. Su humedad natural se halla en un rango entre 11 y 20, con media aritmética de 17 y grados de saturación entre 50 y 70%. Presenta cohesión igual a 33kPa y está clasificada como de expansividad baja.
- Zona homogénea 3: La clasificación de los materiales está controlada por la fracción fina, aunque presenta una variabilidad apreciable en su contenido como en las plasticidades, conformados por arenas arcillosas de grano fino (SC), arcillas de baja plasticidad (CL) y suelos de doble clasificación como (SC-SM), no se detectó la presencia de gravas, sin embargo, la geología prevé la presencia de fragmentos rocosos de origen ígneo y sedimentario, posiblemente presentes a mayores profundidades. Las coloraciones principalmente son marrón amarillento, verde y gris. No se identificaron niveles freáticos durante la campaña de exploración. Presenta alta variación granulométrica y de plasticidades de

comportamiento cohesivo. Su consistencia es variable, en un rango entre muy firme a muy dura. De humedad natural en un rango porcentual entre 16 y 23, con media aritmética en 19 con saturaciones estimadas entre 50 y 70%. Su cohesión es igual a 34kPa con potencial de expansión bajo a alto.

Los resultados en detalle de la campaña geotécnica realizada para el Proyecto se encuentran en el Anexo 5.1.8. Geotecnia

Dentro del área de influencia se identificaron 7 unidades geológicas superficiales (UGS) distribuidas como se observa en la Figura 5-10, y en la Tabla 5-3, las cuales se asocian a las Zonas homogéneas delimitadas en el informe geotécnico previo.

Figura 5-10 Unidades geológicas superficiales presentes en el área de influencia



Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Tabla 5-3 Unidades geológicas superficiales presentes en el área de influencia

ORIGEN		UNIDAD GEOLÓGICA SUPERFICIAL	NOME NCLA TURA	ZONIFICACIÓN CAMPANA GEOTECNICA*	ÁREA	
					Ha	%
Derivada de roca insitu	Formación Tubará	Suelo residual de la Formación Tubará	Srft	Zona Homogénea 2	959,19	14,3%
	Formación Hibácharo	Suelo residual de la Formación Hibácharo	Srfh		205,74	3,1%
Suelos transportados	Lacustres	Suelos transportados Fluviolacustres	Stf	Zona homogénea 1	0,00	0,0%
	Coluvio Aluviales	Suelos transportados Coluvio-aluviales	Stca		1064,64	15,9%
	Llanura aluvial	Suelos transportados de llanura aluvial	Stlla		4101,69	61,3%
	Fluviales	Suelos transportados no consolidados de gravas	Stncg	Zona homogénea 3	224,14	3,3%
	Antrópico	Suelos transportados antrópicos	Sta	Independiente	136,72	2,0%
Total					6692,1	100,0%

*Zonificación realizada en Informe Geotécnico Parque Solar Guayepo (INGETEC; 2020).

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2023

Suelo residual de la formación Tubará (Srft)

Suelos asociados a material desintegrado, decolorado y descompuesto proveniente de la Formación Tubará, que aflora en el sector occidental del proyecto, asociado directamente a la línea de evacuación. Se componen de material tamaño arena fina a gruesa, con presencia de lodos y arcillas, que pueden llegar a presentar diferentes grados de meteorización, dependiendo de la composición predominante y por lo tanto su morfología.

Hacia los sectores más occidentales, se identificó material grueso, correspondiente a rocas bioclásticas, areniscas de tonos amarillos, donde debido a las pendientes más elevadas la meteorización superficial por acción del agua sido menor. Se presenta una leve decoloración y desintegración de los materiales, con espesores de suelo con materia orgánica que rondan los 20cm (Fotografía 5-9). Presenta una textura matriz soportado, con un 70% de matriz y 30% clastos, de permeabilidad cualitativa baja, y humedad

relativa seca. La forma de sus clastos son esféricos a discoidales, subredondeados a subangulares, y orientados de manera isotrópica. La composición mineralógica corresponde principalmente a cuarzos y feldespatos alcalinos. La matriz presenta tonos amarillos a naranjados, es de granulometría de arcilla a arena fina, y se caracteriza por ser poco plástica y de densidad relativa suelta.

Por otro lado, hacia el oriente se evidencia una predominancia en material fino, y morfología levemente más plana, donde el agua se mantiene más en el terreno. Los tonos amarillos de las rocas se han desvanecido en mayor medida, y ahora se observan tonos cafés. El espesor de suelo con material descompuesto y gran cantidad de materia orgánica ahora alcanzan el metro de profundidad (Fotografía 5-10). Es igualmente matriz soportado, con porcentaje mayor de matriz, cercano al 80%, no se evidencia texturas o estructuras de la roca original y su permeabilidad cualitativa es baja. Las características de sus clastos son similares, y su densidad relativa también es suelta.

Fotografía 5-9 Suelos residuales de la Formación Tubará (Srft)



Coordenada: E 4.793.558 N 2.733.096
Municipio: Sabanalarga
Vereda: Cascajal

Fotografía 5-10 Suelos residuales de la Formación Tubará (Srft)



Coordenada: E 4.794.834 N 2.731.995
Municipio: Sabanalarga
Vereda: Cascajal

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Suelos residuales de la formación Hibácharo (Srfh)

Suelos asociados a las arenas y arcillas de la Formación Hibácharo, los cuales se localizan hacia la mitad del trayecto de la línea de evacuación. Este material se encuentra

altamente meteorizado y sus afloramientos son muy reducidos pues están cubiertos en su gran mayoría por una gruesa capa vegetal, y por depósitos cuaternarios de la llanura aluvial, y los coluvio -aluviales.

Estos suelos se componen de fragmentos de cuarzo erosionados, y minerales arcillosos producto de la meteorización de las rocas de la Formación Hibácharo, presentan alto grado de decoloración y desintegración del material, con tonos cafés claros en la matriz y tonos blancos y grises en los clastos. En algunos puntos el material arcilloso gris presenta una oxidación alta, llevando a una decoloración a tonos amarillos oscuros. Se caracterizan por presentar espesores con materia orgánica cercanos a los 2m. Evidencian una textura matriz soportado, con un porcentaje de matriz de entre 90% y 60%, con un 10% a 40% de clastos. Estos tienden a ser subangulares a angulares, esféricos a tabulares, y están orientados de manera anisotrópica (Fotografía 5-11 y Fotografía 5-12).

La permeabilidad cualitativa de esta UGS es de media a baja, humedad relativa seca, de plasticidad baja y resistencia al corte media.

Fotografía 5-11 Material meteorizado de la Formación Hibácharo (Srfh)



Coordenada: E 4.797.043 N 2.732.155
Municipio: Sabanalarga
Vereda: Cascajal

Fotografía 5-12 Agrietamiento en Suelos residuales de la Formación Hibácharo (Srfh)



Coordenada: E 4.797.043 N 2.732.155
Municipio: Sabanalarga
Vereda: Cascajal

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Suelos transportados Fluviolacustres (Stf)

Esta unidad se presenta solo al oriente del Proyecto en cercanías al río Magdalena, por fuera del área de intervención, y corresponde a suelos transportados y sedimentados en periodos de baja energía en grandes planicies a borde del río. Está compuesta principalmente de minerales arcillosos, meteorizados y descompuesto en gran medida a suelo. No se logró evidenciar en campo el espesor real de esta unidad debido a la baja calidad de los afloramientos y la morfología tan plana del terreno.

Se identificaron tonos cafés del material completamente decolorado, con mucha presencia de material orgánico. Son suelos bien seleccionados, de consistencia blanda, y una plasticidad ligera a media. Su textura es matriz soportado, con un porcentaje de matriz cercano al 90%, de material no cohesivo. No se observan estructuras relictas o discontinuidades que los afecten (Fotografía 5-13).

Fotografía 5-13 Suelos transportados fluviolacustres (Stf)



Coordenada: E 4.808.735 N 2.729.568

Municipio: Ponedera

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Suelos transportados Coluvio-aluviales (Stca)

Material heterogéneo reciente dispuesto a lo largo de los principales drenajes de la zona, correspondiente a suelos transportados de origen fluvial provenientes de depósitos

coluvio -aluviales. Se componen en su gran mayoría de arenas y lodos como matriz, y fragmentos de grava fina y arena depositados durante eventos de fuertes precipitaciones y paso de arroyos por la zona.

Son suelos de consistencia media y de plasticidad media. Presentan en su gran mayoría bajo contenido de materia orgánica, los clastos están compuestos principalmente por cuarzo y feldespatos alcalinos, acompañados de clastos indiferenciables altamente meteorizados. Estos fragmentos son subredondeados a subangulares, de formas esféricas a discoidales, y están orientados de forma anisotrópica. En las zonas de mayor acción del agua, en los valles de los arroyos más recientes, presentan un menor grado de meteorización y un contenido más bajo de materia orgánica; el material evidencia predominantemente una desintegración física (Fotografía 5-14 y Fotografía 5-15).

Fotografía 5-14 Niveles de Suelos transportados coluvio-aluviales (Stncca)



Coordenada: E 4.802.263 N 2.731.231
Municipio: Ponedera
Vereda: Guayepo

Fotografía 5-15 Suelos transportados coluvio-aluviales (Stncca)



Coordenada: E 4.802.263 N 2.731.231
Municipio: Ponedera
Vereda: Guayepo

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Suelos transportados de llanura aluvial (Stlla)

Son suelos transportados de origen fluvial asociados a una llanura aluvial, configurando terrazas, los cuales se encuentran cubriendo la mayor parte del terreno asociado a la

instalación del parque solar, al oriente del área de influencia del medio físico. Se componen predominantemente de arcillas y arena fina, con un alto grado de meteorización.

Presentan espesores bajos, menores a 1m, con niveles superficiales de materia orgánica, decoloración marcada con tonos cafés claros y oscuros producto de la oxidación y meteorización, una desintegración física sin presencia de estructuras o texturas de los depósitos originales, y una cantidad considerable de materia orgánica. Su textura es de matriz soportada, con un 90% de matriz, permeabilidad cualitativa baja y humedad relativa clasificada como seca. En varios sectores se observaron acumulaciones de agua, con sedimentaciones locales de material más fino, y una meteorización mayor. Son suelos de compacidad y densidad suelta ya que se desmoronan o rompen con poca presión de los dedos (Fotografía 5-16).

Fotografía 5-16 Suelos transportados de llanura aluvial (Stlla)



Coordenada: E 4.804.573 N 2.729.921
Municipio: Ponedera
Vereda: Santa Rita

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Suelos transportados no consolidados de gravas (Stcng)

Estos suelos están cubiertos en gran parte por superficies artificiales asociadas a suelos transportados antrópicos, y sus afloramientos son muy reducidos, producto del

intemperismo y la erosión. Se localizan hacia el occidente del proyecto, bajo la subestación de Sabanalarga y la llegada de la línea de evacuación. No es posible determinar un espesor aproximado con las observaciones de campo. Teniendo en cuenta que los clastos que presentan estos suelos son de tamaño grava, se clasifican como suelos gruesos.

Los cantos se componen principalmente de areniscas de grano fino a grueso, así como de fragmentos calizas bioesparíticas y conglomerados polimígticos. Presentan forma esférica, y un grado de redondez de redondo a subangular. No se evidencia ningún tipo de gradación, con cierto grado de empaquetamiento o compactación, donde los clastos se han acomodado en diferentes espacios, con una orientación anisotrópica. Presenta una textura matriz soportada de 60% de matriz a 40% de clastos, meteorización moderada, con tonos amarillos de oxidación leve, y material poco descompuesto de bajo porcentaje de materia orgánica. Densidad relativa suelta a densa, que puede ser excavado en algunas zonas con pala, y es fácilmente triturado entre los dedos.

Fotografía 5-17 Suelos transportados no consolidados de gravas (Stcng)



Coordenada: E 4.791.330 N 2.734.817

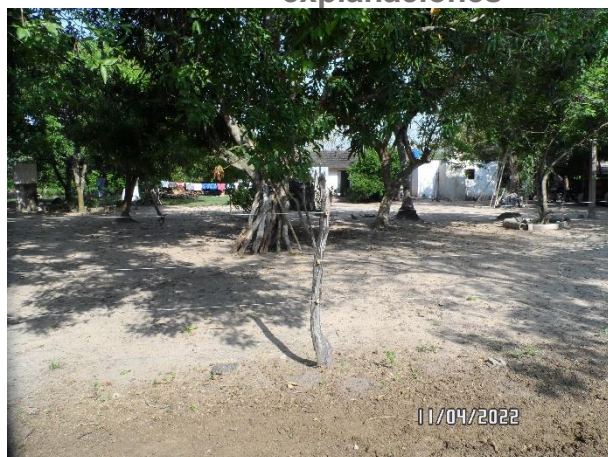
Municipio: Sabanalarga

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Suelos transportados antrópicos (Sta)

Estos suelos hacen referencia a los materiales de relleno y procesos antrópicos que se han adelantado sobre la superficie del terreno para la adecuación de infraestructuras. Para el área de influencia del proyecto están asociadas a las explanaciones que se han desarrollado para la construcción de viviendas, zonas industriales y/o de los terraplenes que existen para las vías de acceso a dichas viviendas. Son materiales variados, de diferentes orígenes, que tienden a ser de tamaño de grano de arena gruesa a grava., así como superficies en cemento. Presentan buena compactación y densidades altas (Fotografía 5-18 y Fotografía 5-19).

Fotografía 5-18 Suelos transportados antrópicos (Sta) de explanaciones



Coordenada: E 4.798.899 N 2.731.895
Municipio: Ponedera
Vereda: Mojan

Fotografía 5-19 Suelos transportados antrópicos (Sta) asociados a construcciones



Coordenada: E 4.792.348 N 2.733.245
Municipio: Sabanalarga
Vereda: Cascajal

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

5.1.2 Geomorfología

La geomorfología es la ciencia de la tierra que estudia de manera sistemática la génesis, clasificación y evolución de las formas antiguas y actuales del terreno, como respuesta a los diferentes procesos naturales, que se encargan de esculpir y modelar la superficie terrestre, unas veces de manera lenta, casi imperceptible para el hombre y en otras tan rápida, que causan catástrofes.

Para la caracterización y cartografía geomorfológica del área de influencia objeto de modificación del Proyecto, se empleó la metodología utilizada en el EIA del 2020, presentado para la licencia ambiental de este Proyecto, otorgada mediante Resolución 981 de 2021, la cual se basa en la metodología del INGEOMINAS (2011) ahora (SGC), donde se propone una estructura piramidal para el establecimiento de las categorías geomorfológicas que pueden definir una región, relacionando la escala de trabajo con la subdivisión geomorfológica (geomorfoestructura, provincia geomorfológica, región geomorfológica y unidades/subunidades geomorfológicas), como se muestra en la Figura 5-11.

Así mismo para este documento se complementó con la información contenida en el Mapa Geomorfológico Aplicado a Movimientos en Masa, Escala 1:100.000 Plancha 24 – Sabanalarga (SGC, 2016) y siguiendo lo requerido en los Términos de Referencia TdR-015 de 2017 y TdR-017 de 2018, para la elaboración de Estudios de Impacto Ambiental (EIA) en proyectos de uso de energía.

De acuerdo con la jerarquización geomorfológica y a la escala de trabajo utilizada se toma como referencia la subunidad geomorfológica (1:10.000, 1:25.000); categoría que se encuentra definida fundamentalmente por los contrastes morfométricos que relacionan las diferencias litoestratigráficas con la topografía del terreno y los procesos morfodinámicos activos identificados.

Figura 5-11 Esquema de jerarquización geomorfológica



Fuente: INGEOMINAS, 2011

Teniendo en cuenta los conceptos aplicados en la jerarquización, se agrupan las geoformas relacionadas genéticamente, desde la categoría Región geomorfológica, en ambientes morfogenéticos, los cuales aluden a las condiciones físicas, químicas, bióticas y climáticas bajo las cuales se formaron las geoformas. Se determinan con base en la expresión e interpretación de los procesos geomorfológicos registrados en el terreno, que dieron lugar a la formación, evolución y modificación de éstas.

5.1.2.1 Geomorfoestructura

Para el área del proyecto, por su ubicación geológica regional, la geomorfoestructura corresponde a la Megacuenca de Sedimentación denominada “Sinú – San Jacinto”, definida a escala 1:2.500.000, por sus estructuras geológicas y topografía regional asociada.

5.1.2.2 Provincia Geomorfológica

A nivel de Provincia geomorfológica, el área de influencia objeto de modificación se localiza dentro de la cuenca sedimentaria de la Serranía de San Jacinto, definida por un

relieve de moderadas a bajas pendientes y formas de laderas cóncavas y rectas. Está delimitada, para escalas entre 1:1.000.000 – 1:500.000, por macro relieves y fallas regionales como el sistema de Fallas de Romeral hacia el oriente, con la costa actual del Mar Caribe hacía el norte y nor-occidente, con el sistema de fallas de Uramita al occidente, y por último con rocas sedimentarias y volcánicas de la cordillera occidental al sur.

5.1.2.3 Región Geomorfológica

La región geomorfológica comprende la agrupación de geoformas relacionadas genética y geográficamente, definidas por los ambientes morfogenéticos y geológicos, afectados por procesos morfodinámicos parecidos; características que aplicadas para el área de interés del Proyecto corresponden principalmente a un **ambiente morfogenético fluvial (F)**, a un **ambiente morfogenético denudacional (D)**, y en menor proporción a un **ambiente morfogenético antropogénico (A)**.

5.1.2.4 Unidades Geomorfológicas

Para la escala de trabajo del presente documento, las unidades y subunidades geomorfológicas se describen a partir de la: a) Morfogénesis u origen de las formas del terreno, b) Morfografía o análisis de las formas de las laderas, crestas y valles, c) Morfodinámica o análisis de los procesos dinámicos activos sobre la superficie del terreno y d) Morfoestructura o análisis de las formas de tipo estructural, como se describen a continuación:

5.1.2.4.1 Morfogénesis

De acuerdo con la propuesta metodológica de INGEOMINAS (2011); y teniendo en cuenta tanto la ubicación del área de influencia objeto de la modificación como la respectiva escala de trabajo, se pudo definir que el ambiente predominante dentro del proyecto es el fluvial, resultado de la sedimentación y depositación de material proveniente de la acción del río Magdalena, conformando geoformas con relieves planos

con pendientes bajas a muy bajas, asociados a terrazas. Hacia el occidente del proyecto se ubican las unidades más antiguas asociadas con un ambiente denudacional, donde se suspende la depositación de material y ahora predomina la erosión, con geoformas de relieve moderado provocado por incisiones de los drenajes locales.

5.1.2.4.2 Morfografía

Las propiedades morfográficas de las geoformas son atributos cuantitativos del paisaje y están derivados de la elevación del terreno y de la red de drenaje que lo acompaña. Para el análisis y clasificación morfográfica se hace uso del procesamiento digital de imágenes satelitales y la generación y categorización de modelos digitales de elevación a diferentes escalas, para así obtener los valores de los parámetros geomorfológicos descriptivos. Para la caracterización del área de influencia objeto de la modificación, se tuvieron en cuenta los aspectos y clasificaciones que se relacionan en la Tabla 5-4.

Tabla 5-4 Atributos de las geoformas y rangos utilizados para la caracterización geomorfológica

TIPO DE RELIEVE		RELIEVE RELATIVO	
TIPO	ELEVACIÓN (M)	DESCRIPCIÓN	ELEVACIÓN (M)
Montañoso	> 500	Muy bajo	< 29
Colina	201- 499	Bajo	30- 74
Loma	50- 200	Moderado	75- 149
Planicie – Montículos	0- 49	Alto	150- 249
		Muy alto	250- 499
		Extremadamente Alto	>500
PATRÓN DE DRENAJE		PENDIENTES	
CLASE		PENDIENTE (%)	DESCRIPCIÓN
Paralelo		0 – 1%	A Nivel
Subparalelo		1 -3%	Ligeramente plana
Dendrítico		3 – 7%	Ligeramente Inclínada
Subdendrítico		7 – 12%	Moderadamente Inclínada
Pinado		12 – 25%	Fuertemente Inclínada
Rectangular		25 – 50%	Ligeramente Escarpada
Radial		50 – 75%	Moderadamente Escarpada
Anular		75 – 100%	Fuertemente Escarpada
Multicuenca		>100%	Totalmente escarpada

Contorsionado		
FORMAS DE LADERA		LONGITUD DE LADERA
Clase	Longitud (m)	Descripción
Recta	< 50	Muy Corta
Cóncava	51-250	Corta
Convexa	251-500	Moderada
Irregular	501-1000	Larga
Compleja	1001-2500	Muy Larga
	> 2500	Extremadamente Larga
FORMA DE CRESTA		FORMAS DE VALLE
Tipo	Tipo	
Aguda	Artesa	
Redondeada	Forma de "V"	
Convexa amplia	Forma de "U"	
Convexa plana		
Plana Disectada		
Plana		

Fuente: Tomado y adaptado de INGEOMINAS, 2011.

Tipo de relieve

Hace referencia a los niveles que permiten caracterizar y generalizar a las irregularidades que se presentan en la corteza. Teniendo en cuenta las cotas máximas que alcanzan las geoformas identificadas dentro del área de influencia del Proyecto, con elevaciones menores a 200 m, el tipo de relieve asociado es de Lomas para las zonas más altas y de Planicie y montículos de manera predominante.

Relieve relativo

Es un factor que representa la rugosidad natural del terreno, la cual es definida como la mayor diferencia de alturas por unidad geomorfológica. Como resultado, se identifica que para el área de influencia del Proyecto el relieve relativo predominante es "muy bajo", con diferencias de alturas menores a 29 m, y "bajo" con diferencias entre 30 y 74 m. Teniendo en cuenta estos valores se puede afirmar que el AI se encuentra dentro de un área geomorfológicamente madura dominada por estructuras de depositación antigua y en menor proporción una zona de leve erosión.

Pendientes

La inclinación o pendiente de las laderas es la respuesta de la dureza y disposición estructural y estratigráfica de los sedimentos presentes en un área. Para identificar y clasificar las pendientes en el área de influencia del proyecto, se utilizaron los rangos señalados por Ingeominas (2011) y relacionados en la tabla anterior. (Tabla 5-4). El cubrimiento espacial de cada rango se muestra en la Tabla 5-5 y en la Figura 5-12.

Tabla 5-5 Rangos de pendientes en el área de influencia objeto modificación

Rango (%)	Nombre	Área influencia	
		Área (Ha)	Área (%)
0 – 3	A nivel – Ligeramente plana	12,6	0,19%
3 – 7	Ligeramente inclinada	6011,5	89,83%
7 – 12	Moderadamente inclinada	605,8	9,05%
12 – 25	Fuertemente inclinada	62,3	0,93%
25 – 50	Ligeramente escarpada o ligeramente inclinada	0,0	0,00%
50 – 75	Moderadamente escarpada o moderadamente inclinada	0,0	0,00%
75 – 100	Fuertemente escarpada o fuertemente empinada	0,0	0,00%
> 100	Totalmente escarpada	0,0	0,00%
Total		6692,1	100.00%

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Forma y longitud de las laderas

La longitud y forma de las laderas se asocia a la distribución espacial y resistencia mecánica ante los procesos erosivos por parte de las diferentes unidades geológicas presentes en el área de evaluación, relacionándose directamente con el ambiente morfogenético.

La forma de las laderas que predominan en el área de influencia es ligeramente convexa, relacionadas a las formas del terreno en un ambiente denudacional. Las laderas de estos ambientes son de longitudes cortas a muy cortas con crestas redondeadas, con rangos predominantes de pendientes de Moderadamente inclinada (7-12%) a Fuertemente inclinada (12-25%) (Fotografía 5-22).

Fotografía 5-20 Laderas ligeramente convexas asociadas a la unidad de Montículo y ondulaciones denudacionales (Dmo)



Coordenada: E 4.794.343 N 2.731.825
Municipio: Sabanalarga
Vereda: Cascajal

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Por otra parte, las laderas de los ambientes fluviales asociados a las unidades de Terraza de acumulación antigua (Ftan) y Plano anegadizo (Fpa) presentan formas de ladera rectas, y crestas Planas y Planas disectadas, con longitudes de ladera Largas a Muy Largas. Las pendientes de estas laderas con de predominancia Ligeramente inclinada (3-7%) (Fotografía 5-23).

**Fotografía 5-21 Laderas rectas asociadas a
unidad de Terraza de acumulaci
antigua (Ftan)**



Coordenada: E 4.802.034 N 2.729.607

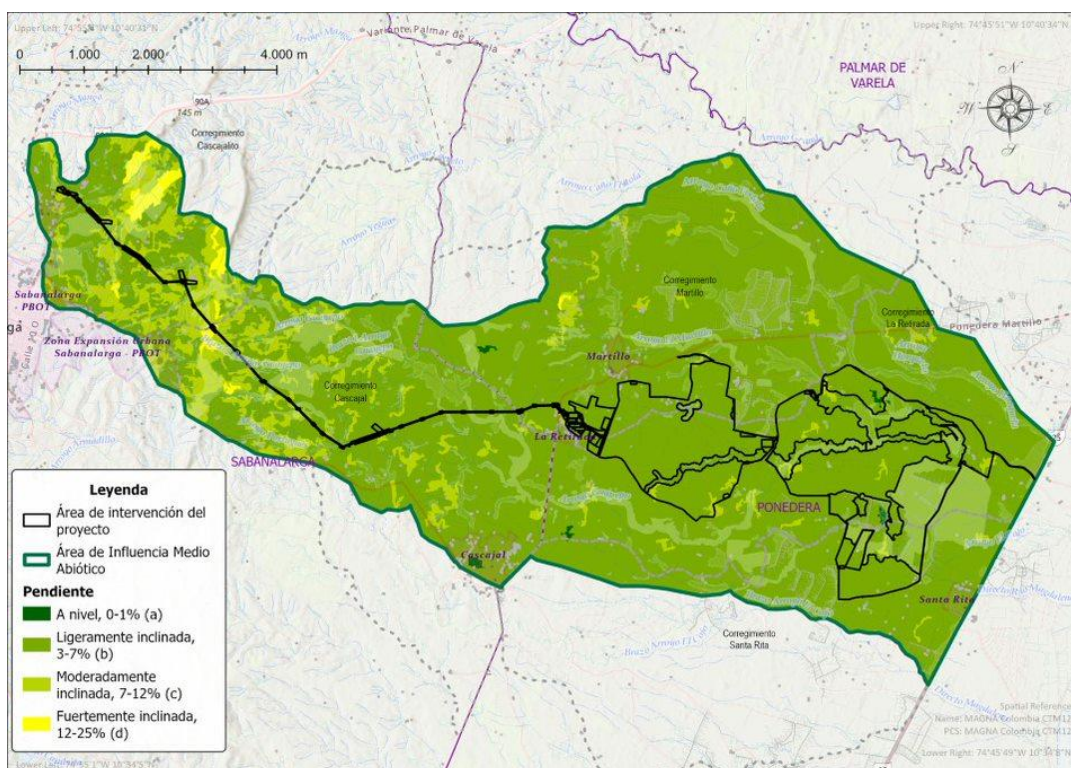
Municipio: Ponedera

Vereda: Guayepo

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

En la Figura 5-12 se observa que en el área proyectada para el Parque Solar Fotovoltaico el resultado que predomina son pendientes ligeramente inclinadas (3 – 7%); este rango de pendientes se asocia principalmente a la unidad geomorfológica de Terrazas de Acumulación Antigua (Ftan), que tienen un índice de relieve muy bajo. En menor proporción se presentan pendientes moderadamente inclinadas (7 – 12%) y a nivel (0 – 1%).

Figura 5-12 Mapa de pendientes en área de influencia objeto de la modificación



Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

—En la Línea de Evacuación, el resultado que prevalece, son pendientes ligeramente inclinadas (3 – 7%); asociado principalmente a la unidad geomorfológica de Terrazas de Acumulación Antigua (Ftan), con índice de relieve muy bajo. En menor proporción se presentan pendientes moderadamente inclinadas (7 – 12%) y fuertemente inclinada (12 – 25%).

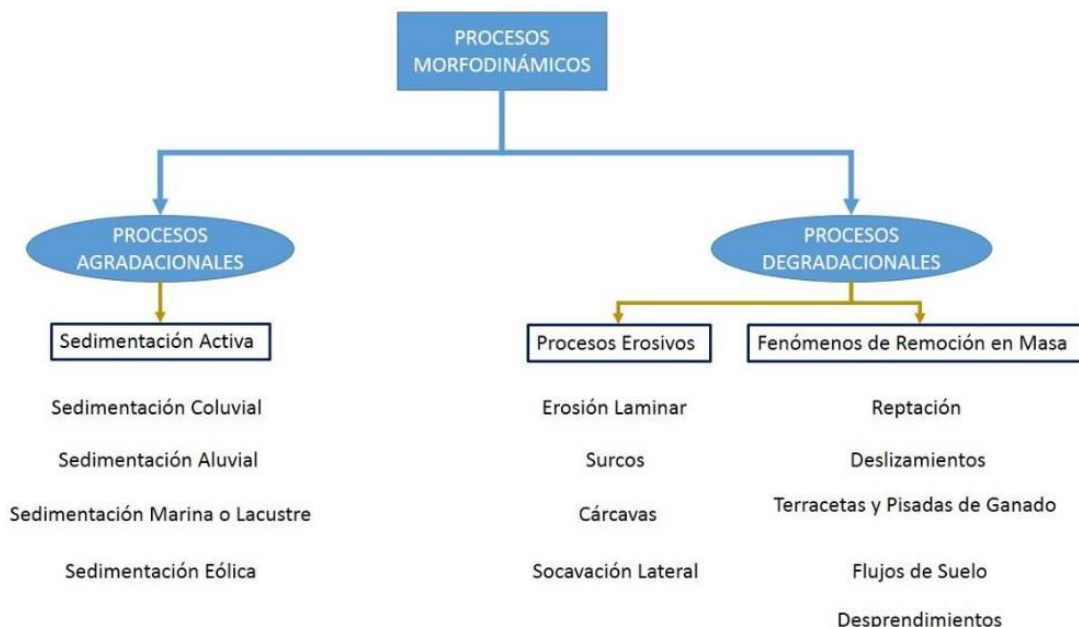
Finalmente, en el sector de la Bahía de Conexión, predominan pendientes ligeramente inclinadas (3 – 7%) asociadas principalmente a la unidad geomorfológica de Terrazas de Acumulación Antigua (Ftan); y en menor proporción, se presentan pendientes moderadamente inclinadas (7 – 12%).

5.1.2.4.3 Morfodinámica

La morfodinámica es una rama de la geomorfología que estudia los procesos dinámicos activos o aquellos que pueden activarse en el futuro sobre la superficie del terreno,

procesos formadores del relieve que pueden ser agradacionales o denudaciones (Figura 5-13)

Figura 5-13 Clasificación de procesos morfodinámicos



Fuente: tomado y modificado de IGAC, 2005

Los procesos superficiales agradacionales son aquellos que generan la elevación de la superficie terrestre y están asociados principalmente a procesos de acumulación o sedimentación de material, como el caso de depósitos aluviales. Los procesos de degradación o denudacionales, son los que contribuyen a la degradación y reducción de los relieves iniciales, tales procesos son la erosión y los fenómenos de remoción en masa.

La erosión es un término amplio aplicado a las diversas maneras de cómo los agentes móviles (agua, viento y glaciares), desprenden y transportan los productos de la meteorización y de la sedimentación, produciendo pérdidas de materiales en la superficie de la corteza terrestre. Los procesos de remoción en masa abarcan el conjunto de procesos denudativos, relacionados con la deformación del terreno, y el desplazamiento y trasposición más o menos rápida y localizada de diferentes volúmenes de suelo.

Movilizan mantos completos de meteorización, incluyendo material de suelo, detritos, bloques y masas rocosas, cuesta abajo por incidencia de las fuerzas de desplazamiento (gravedad y movimientos sísmicos) a veces con participación mayor o menor del agua, del suelo, del hielo y otros agentes.

Para el caso del área de influencia del Proyecto objeto de modificación, de acuerdo con las características físicas del terreno, climáticas, litológicas, cobertura vegetal y de uso del suelo, incluidas las actividades antrópicas, se identificó que en esta zona predomina la presencia de procesos degradacionales tipo erosión laminar, surcos y cárcavas y procesos agradacionales (asociada a sedimentación lacustre en cuerpos de agua artificiales de la zona). Se destaca que no se evidenciaron fenómenos de remoción en masa y los procesos más relevantes se asocian a la acción fluvial y a la actividad de ganadería.

Para este documento, la identificación y definición de estos procesos se actualizó de la base presentada en el EIA del año 2020 con observaciones de campo e interpretación de sensores remotos. Las áreas cartografiables afectadas por procesos morfodinámicos, asociadas principalmente a erosión laminar y sedimentación lacustre se presentan más adelante en el ítem de Análisis multitemporal (5.1.2.6). Los puntos identificados afectados por erosión en surcos, y cárcavamiento identificados en campo para la presente modificación, se listan a continuación:

Tabla 5-6 Registro de procesos morfodinámicos identificados en la región

ID PM*	TIPO DE PROCESO	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	DESCRIPCIÓN	COORD ESTE	COORD NORTE
ERO01	Carcavamiento	Montículo y ondulaciones denudacionales (Dmo)	Erosión generada por drenaje de la zona de más de 2 metros de profundidad	4794834	2731994
ERO02	Erosión en surcos	Loma residual (Dlor)	Cima de ladera destapada	4793567	2733097

			afectada por acción pluvial		
ERO03	Erosión surcos	en	Lomeríos poco disectados (Dlpd)	Rastros en sentido W-E generados por acción fluvial	4791831 2734896
ERO04	Cantera		Loma residual (Dlor)	Zona de extracción de material arenoso	4793476 2733121
ERO05	Erosión surcos	en	Terraza de acumulación Antigua (Ftan)	Rastros en sentido SE generados por acción fluvial	4797310 2731814
ERO06	Erosión surcos	en	Terraza de acumulación Antigua (Ftan)	Rastros en sentido NE generados por acción fluvial	4802649 2731492
ERO07	Erosión surcos	en	Terraza de acumulación Antigua (Ftan)	Rastros en sentido NE generados por acción fluvial	4802767 2729926
Nota: * = ID PM: Identificador final de procesos morfodinámicos					

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

The figure is a detailed geological map of the Sabanalarga area, illustrating geomorphological units and morphodynamic processes. The map includes a scale bar from 0 to 4,000 meters and a north arrow. Key locations marked include AA Dlpd, Dlpr, Ftan, Dmo, Marillo, La Retirada, Ponedera, and Santa Rita. Morphodynamic processes are indicated by red stars labeled ERO01 through ERO07. The map shows various landforms such as lomas, monticuli, and terraces, along with rivers like Arroyo Yeguas and Arroyo Cascajal. A legend box in the bottom left corner defines the symbols used.

Legenda

- Área de Influencia Medio Abiótico
- Área de intervención del proyecto
- Procesos Morfodinámicos
- Unidad Geomorfológica SGC
- Loma residual
- Lomeríos poco disectados
- Montículo y ondulaciones denudacionales
- Terraza de acumulación antigua
- Área antrópica

5.1.2.4.4 Morfoestructura

5.1.2.5 Subunidades Geomorfológicas

Guayepo Solar
El sol que genera energía

Tabla 5-7 Unidades y subunidades presentes en la región del área de influencia

Ambiente	Unidad geomorfológica	Subunidad geomorfológica	Símbolo subunidad geomorfológica
Denudacional	Ladera denudada	Loma residual	Dlor
	Ladera denudada	Lomerios poco disectados	Dlpd
	Ladera denudada	Montículo y ondulaciones denudacionales	Dmo
Fluvial	Llanura	Plano anegadizo	Fpa
	Terrazas fluviales	Terraza de acumulación antigua	Ftan
Antropogénico	Terrazas fluviales	Área antrópica	Aa

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Tabla 5-8 Unidades geomorfológicas en el área de influencia

Ambiente	Símbolo	Subunidad geomorfológica	Descripción	Área de influencia	
				Área (Ha)	Área (%)
Denudacional	Dlor	Loma Residual	Geoforma definida por ser una prominencia topográfica con una altura de 65m sobre su nivel de base local, con una morfología alomada y elongada con laderas muy cortas a cortas, convexas y con pendientes muy inclinadas. Dentro de la zona de estudio, al suroriente y oriente del Municipio de Sabanalarga se encuentran expresiones de esta unidad, elongadas y con dirección NE, compuestas litológicamente por sedimentos de la formación Tubará.	76,10	1,14%
	Dlpd	Lomerios poco disectados	Son prominencias topográficas de morfología alomada, relieve relativo bajo, con cimas subredondeadas, de laderas muy cortas a cortas, con formas rectas y cóncavas, caracterizados por tener procesos de insición y drenajes tipo subdendrítico. En el municipio de Sabanalarga se encuentra la mayor expresión de esta unidad, elongada, en dirección NS.	704,29	10,48%
	Dmo	Montículo y ondulaciones denudacionales	Son elevaciones del terreno, de relieve bajo, con alturas cercanos a los 50m sobre su nivel de base local, con una morfología colinada, cóncava o convexa, suavemente inclinada y con drenaje divergente. En la zona, esta unidad se presenta como un área elongada entre los Corregimientos de Cascajal, Leña y el Municipio de Candelaria.	767,43	11,47%
Fluvial	Fpa	Plano anegadizo	Superficie en forma de artesa, casi plana e irregular, con pendiente suave, localizada en áreas planas mal-drenadas. Dentro del área de estudio esta unidad se localiza en el límite oriental, asociado al margen del Río Magdalena, caracterizado por ser una zona muy plana y con escaso drenaje, compuesto litológicamente por depósitos de llanura fluvioacustre.	0.0	0,00%

	Ftan	Terraza de acumulación antigua	Unidad geomorfológica de morfología plana, con pendientes plana a suavemente inclinada, con índice de relieve muy bajo y modelada sobre sedimentos aluviales, que se presentan en forma paralela a lo largo del cauce del Río Magdalena. En el área de estudio esta unidad se encuentra al occidente del Río Magdalena, comprendido en su extensión el área del corregimiento de Ponedera. Caracterizada por ser una ladera basculada hacia el cauce del Río Magdalena.	5005,91	74,79%
Antropogénico	Aa	Área antrópica	Superficies de terreno intervenidas para construcción de infraestructura vial, férrea, industrial, urbana o ejecución de viviendas.	138,39	2,12%
TOTAL				6692,1	100.00%

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

5.1.2.5.1 Ambiente denudacional

Incluye las geoformas cuya expresión morfológica está definida por la acción combinada de procesos de meteorización, erosión y transporte, que rejuvenecen paulatinamente el relieve o geoformas preexistentes, de igual manera crean nuevas geoformas por la acumulación de sedimentos.

Dentro de este ambiente, en el área de influencia del Proyecto se encuentran las unidades de Lomas Residuales (Dlor), los Lomeríos poco Disectados (Dlpd) y, los Montículos y Ondulaciones Denudacionales (Dmo).

Lomas residuales (Dlor)

Son geoformas definidas por ser una prominencia topográfica con una altura de 65 m sobre su nivel de base local, con una morfología alomada y elongada, con laderas muy cortas a cortas, convexas y con pendientes muy inclinadas. Predominan en esta unidad las pendientes de rangos Moderadamente inclinada (7-12%) y en menor proporción las de Ligeramente inclinadas (3-7%) y Fuertemente inclinadas (12-25%).

Dentro del área de influencia, esta unidad se agrupa en el sector noroccidental del proyecto, en cercanías de la línea, se presenta como dos polígonos elongados en dirección NS, compuesto litológicamente por sedimentos de la formación Tubará; en el

suroriente al oriente de la cabecera urbana del municipio de Sabanalarga. Asociados a esta unidad no se identificaron procesos morfodinámicos naturales, pero se identificó una cantera donde se extrae material que ha afectado tanto las geoformas del terreno como la susceptibilidad a presentar procesos morfodinámicos asociados a erosión (Fotografía 5-22 y Fotografía 5-23).

Fotografía 5-22 Zonas de extracción de material en Lomas residuales (Dlor)



Coordenada: E 4.793.519 N 2.733.185
Municipio: Sabanalarga
Vereda: Cascajal

Fotografía 5-23 Laderas de la unidad Lomas residuales (Dlor)



Coordenada: E 4.793.519 N 2.733.185
Municipio: Sabanalarga
Vereda: Cascajal

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Lomas poco disectados (Dlpd)

Corresponden a prominencias topográficas de morfología alomada, relieve relativo bajo, con cimas subredondeadas, de laderas muy cortas a cortas, con formas rectas y cóncavas, caracterizados por tener procesos de incisión muy leves y drenajes tipo subdendrítico.

Esta unidad se encuentra entre las torres 29 a la 22 en el municipio de Sabanalarga, expresada con pendientes que van desde los rangos Ligeramente inclinada (3-7%) hasta Fuertemente inclinadas (12-25%), y de manera elongada en dirección NS, levemente disectada por el arroyo Carreto y el arroyo Manga. Está compuesta litológicamente por

sedimentos de la Formación Tubará (Ngt) y Gravas de Rotinet (Qpr). Asociados a esta unidad se identificaron procesos morfodinámicos relacionados a erosión laminar sobre la cima de las lomas, sin evidencias de fenómenos de remoción en masa.

Fotografía 5-24 Lomas poco disectadas (Dlpd) localizadas una continua a la otra



Coordenada: E 4.794.092 N 2.734.134
Municipio: Sabanalarga
Vereda: Cascajal

Fotografía 5-25 Erosión laminar sobre Lomas poco disectados (Dlpd)



Coordenada: E 4.792.079 N 2.734.668
Municipio: Sabanalarga
Vereda: Municipio

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Montículos y ondulaciones denudacionales (Dmo)

Son geoformas definidas por ser zonas con elevación del terreno con una altura cercana a los 50 m, con una morfología colinada, cóncava o convexa, suavemente inclinada y con drenaje divergente.

Dentro de la zona, esta unidad se agrupa entre las torres 9 y 21: se encuentran compuestas litológicamente por sedimentos de la Formación Hibácharo (Ngh), la Formación Tubará (Ngt) y Depósitos Coluvio-aluviales (Qca), y se localiza entre los municipios de Sabanalarga y Ponedera. Presentan rangos de pendientes entre: Ligeramente inclinada (3-7%) predominantemente, hasta un rango máximo de Fuertemente inclinadas (12-25%) en una pequeña zona al occidente de esta unidad. Sus cimas son redondeadas y presentan escasos afluentes en sus áreas.

Debido a las bajas pendientes es común que se formen zonas de encharcamientos donde se dan procesos erosivos de baja intensidad. Esta unidad presenta un basculamiento hacia el río Magdalena, en dirección SE, evidenciado en varios puntos afectados con erosión laminar, donde el agua siempre se mueve en el mismo sentido. Además, se identificaron procesos de carcavamientos, asociados a la incisión de los principales drenajes los cuales fluyen en la misma dirección del basculamiento, como lo hace el Arroyo Portugués (Fotografía 5-26 y Fotografía 5-27).

**Fotografía 5-26 Montículos y
ondulaciones
denudacionales (Dmo)**



Coordenada: E 4.795.161 N 2.731.831
Municipio: Sabanalarga
Vereda: Cascajal

**Fotografía 5-27 Carcavamiento dentro
de Montículos y
ondulaciones
denudacionales (Dmo)**



Coordenada: E 4.794.935 N 2.731.994
Municipio: Sabanalarga
Vereda: Cascajal

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

5.1.2.5.2 Ambiente fluvial y lagunar

Corresponde a las geoformas generadas por los procesos de erosión y sedimentación, asociados a corrientes de agua como ríos y quebradas, y lagos y lagunas.

En el área de influencia del medio abiótico objeto de la modificación, el Ambiente Fluvial está representado por las unidades de Plano anegadizo (Fpa) y Terraza de acumulación antigua (Ftan).

Plano anegadizo (Fpa)

Corresponde a una superficie en forma de artesa, casi plana e irregular, con pendiente suave, localizada en áreas planas mal-drenadas. Esta unidad se localiza en la desembocadura del arroyo Guayepo al Río Magdalena, por fuera de la zona de intervención, al occidente del área de influencia del medio abiótico.

La unidad está asociada al margen izquierdo del río Magdalena, y a manera regional la unidad se encuentra en las cabeceras urbanas de los corregimientos de Remolino, Ponedera, Santa Rita, San José de las Casitas, Guaimaro, San Rafael, Dividivi, Carmen del Magdalena, Puerto Giraldo, Salamina, Bohórquez, La Loma, Campo Alegre, El Piñón y Campo de la Cruz. Esta unidad se caracteriza por ser de zonas muy planas y con escaso drenaje, está compuesta litológicamente por depósitos de llanura fluvio lacustre, con rangos de pendientes entre A nivel (0-1%) y Ligeramente inclinada (9-7%). Se evidencian varios terraplenes sobre esta unidad que construyen la comunidad para que las vías y viviendas no resulten afectadas por inundaciones (Fotografía 5-28).

Fotografía 5-28 Plano anegadizo (Fpa)



Coordenada: E 4.808.735 N 2.729.568

Municipio: Ponedera

Vereda: Municipio

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Terraza de acumulación antigua (Ftan)

Es una unidad geomorfológica se caracteriza por presentar relieve bajo, de geoformas planas (Fotografía 5-29) con pendientes que predominan en el rango de Ligeramente

inclinada (3-7%) a Moderadamente inclinada (7-12%) y pequeñas zonas a nivel (0-1%). Esta modelada sobre sedimentos aluviales, dispuesta en forma paralela y de manera regional a lo largo del cauce del río Magdalena.

Dentro del área de influencia del medio abiótico, esta unidad cubre la mayor parte del AI, involucrando la totalidad del área del parque solar fotovoltaico Guayepo y el sector inicial de la línea de evacuación, comprendiendo en su extensión las cabeceras urbanas de los corregimientos de Ponedera, Martillo, La Retirada, Cascajal, Santa Rita, Leña, Puerto Giraldo y Candelaria, además de los arroyos El Cojo, Guanábano, Guayepo y Orijata, ente otros.

La Terraza de Acumulación Antigua, se caracteriza por ser una ladera basculada hacia el occidente, en dirección al cauce del río Magdalena, limitada por escarpes de disección. Está compuesta litológicamente por depósitos de llanura aluvial. Debido a su basculamiento es el lugar donde nacen arroyos como El Cojo, Guanabano, Guayepo y Orijata entre otros afluentes que desembocan en el río Magdalena. Debido a las bajas pendientes de esta unidad, no se identificó asociada a ningún proceso de remoción en masa, sólo se evidencian algunas zonas con erosión laminar, acentuada por acción fluvial localizada de los arroyos, y algunas pisadas de ganado. En el área del parque solar fotovoltaico se presentan algunos sitios con erosión por surcos amplios y rectos resultado de intervención antrópica, y donde la mayor utilización del suelo es para pastoreo de ganado, lo que ha ocasionado sectores propensos a encharcamientos.

Así mismo, los drenajes (arroyos) en esta unidad presentan valles anchos, muy planos, de bajas incisiones, presentan migración lateral y áreas de depositación bastante amplias y variadas facilitado por las bajas pendientes del área (Fotografía 5-30).

Fotografía 5-29 Morfología plana asociada a la unidad de Terraza de acumulación antigua (Ftan)



Coordenada: E 4.802.034 N 2.729.607
Municipio: Ponedera
Vereda: Guayepo

Fotografía 5-30 Valle amplio de arroyo dentro de la unidad de Terraza de acumulación antigua (Ftan)



Coordenada: E 4.804.268 N 2.732.287
Municipio: Ponedera
Vereda: Guayepo

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

5.1.2.5.3 Ambiente antropogénico

Incluye las geoformas originadas como resultado de la intervención del hombre sobre el terreno, en la mayoría de los casos con el objetivo de realizar construcción de vivienda, obras de ingeniería, disposición de desechos o escombros, adecuación y construcción de vías, que modifican la morfología natural del terreno. En el área, el Ambiente antropogénico se encuentra concentra principalmente hacia los centros urbanos y vías que los comunican.

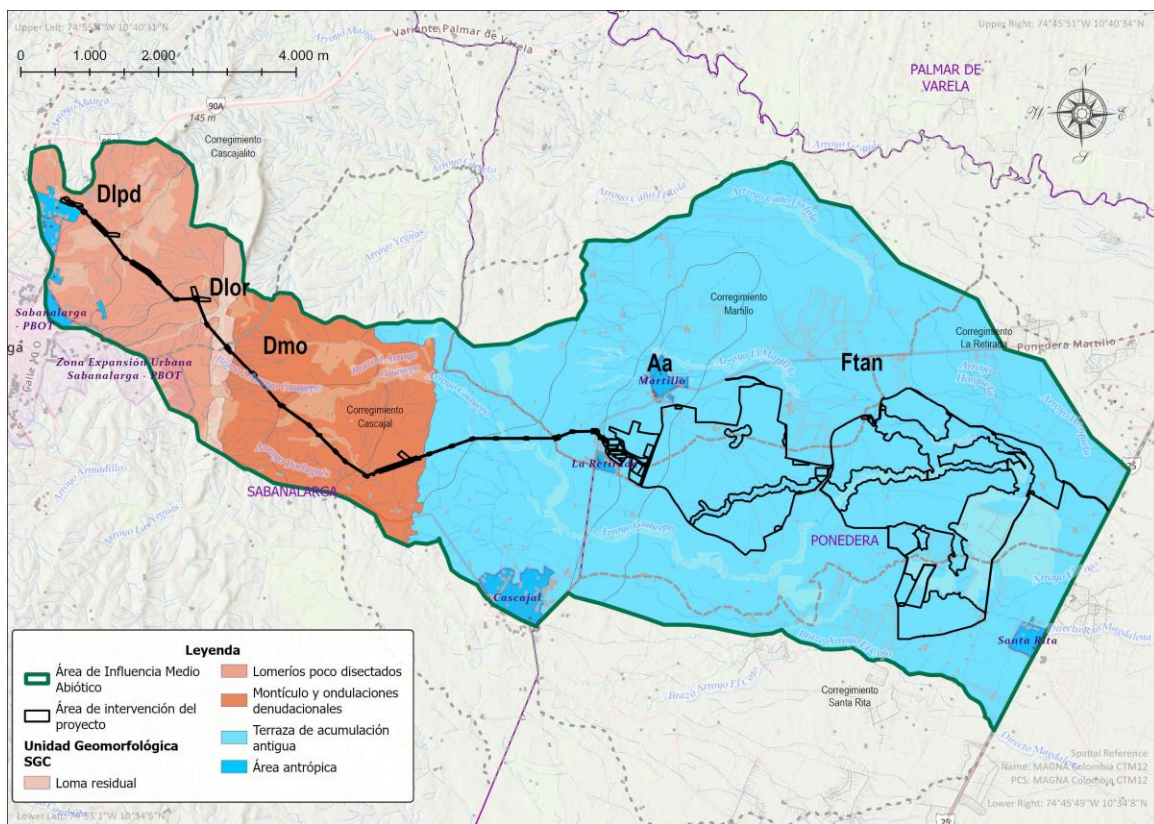
Áreas antrópicas (Aa)

En el área de influencia objeto de modificación del proyecto se encuentra infraestructura vial, además de algunos centros poblados (Martillo, Santa Rita, Cascajal, Sabanalarga) que han generado un modelado de intervención antrópica al que se denominó para este proyecto Áreas antrópicas.

A photograph of a dirt road in a rural area, lined with trees and a fence. A large log and a white bag are on the left. In the background, there are several vehicles and a white building. A date stamp '07/04/2022' is in the bottom right corner.

Vereda: Cascajal

Figura 5-15 Mapa de unidades geomorfológicas en el área de influencia



Guayepo Solar
El sol que genera energía

5.1.2.6 Análisis multitemporal

El análisis multitemporal de la presente solicitud de modificación de licencia analiza y reincorpora el estudio ejecutado para el EIA del año 2020, donde se realizó una compilación e interpretación de la información disponible de imágenes satelitales y aerofotografías de diferentes años para la zona del área de influencia, teniendo en cuenta que las condiciones y caracterizaciones analizadas hacen referencia al pasado del área de influencia y no presentan modificaciones.

A continuación, se presenta el análisis realizado para el EIA 2020:

Este análisis se realizó con base en la interpretación visual de un mosaico de fotografías aéreas existentes en los archivos del instituto geográfico Agustín Codazzi (IGAC), del año 2002 y de la imagen satelital disponible para el proyecto en el servidor ESRI del año 2018.

Lo anterior, debido a que una vez revisados los vuelos de aerofotografías disponibles en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), se encontró que, de una parte no hay escalas detalladas tipo 1:10.000 o mayor, y de otra, la disponibilidad de aerofotografías del área de influencia del medio abiótico son escasas, y de la zona solo existen para el área de influencia preliminar del medio abiótico escalas 1:50.000 a 1:24.000, cuya resolución no permite mapear con un mayor detalle los procesos existentes en el sector.

Tabla 5-9 Imágenes y aerofotografías usadas en el análisis multitemporal

Aerofotografía/imagen	Año de toma	Escala/resolución espectral
Vuelo C-2711	2002	1:24.000
Imagen servidor ESRI	2018	2.5 m

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

La interpretación visual consistió en la identificación y delimitación sobre las imágenes, de los procesos morfodinámicos, y de esta manera, posteriormente, establecer las variaciones espaciales de la evolución positiva o negativa de los procesos, acorde con la disminución o intensificación de las áreas afectadas. A continuación, se presenta una

descripción de los procesos definidos en cada imagen, y al final las conclusiones del análisis.

5.1.2.6.1 Aerofotografías 2002

Las aerofotografías del año 2002 a escala aproximada 1:24.000, muestran principalmente en el área de influencia del proyecto, sectores con presencia de erosión concentrada, predominantemente hacia el sector occidental, además algo de erosión laminar hacia el centro y oriente de esta. Debido a la escala de las fotos, difícilmente se pueden mapear polígonos individuales con erosión, por lo que se hicieron polígonos que encierran suelos desnudos, erosión concentrada y erosión laminar, que se denominaron focos erosivos. No se observan procesos de remoción en masa.

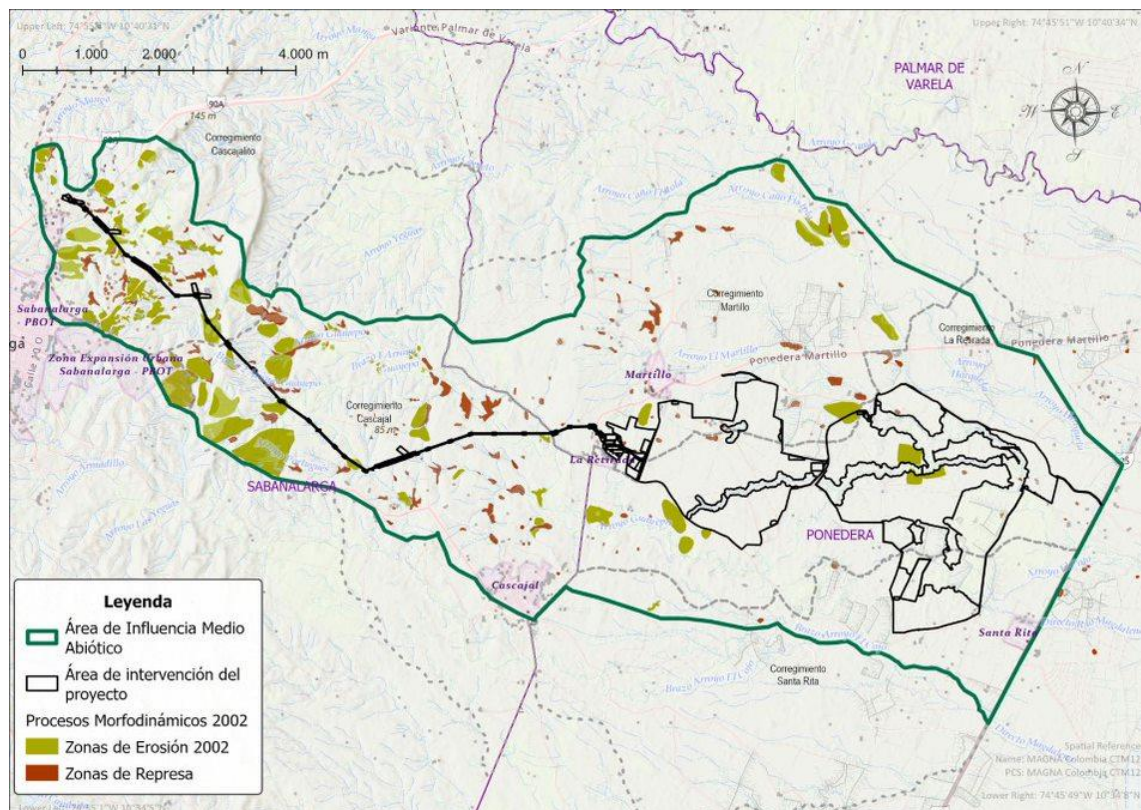
Al occidente del área de influencia objeto de modificación del medio abiótico, sobre los sectores de lomeríos y lomas residuales, se observan procesos de erosión concentrada, adyacentes a las cabeceras de los drenajes existentes en la zona, como el Arroyo Manga, Arroyo Carreto, Arroyo Guayepo y sus afluentes, que se muestran en un patrón subdendrítico. Se identifican algunos sitios con cambio de la cobertura vegetal, para siembra de cultivos y pastos, así como algunas zonas desprotegidas de cobertura, generadas por los accesos a diferentes viviendas y a desarrollos urbanísticos en la región.

En el centro y oriente del área de influencia preliminar del medio abiótico, sobre la morfología de terraza, se observa menor presencia de procesos morfodinámicos; la erosión que se identifica corresponde a zonas con sobrepastoreo, la cobertura nativa en gran medida se ha reemplazado por cultivos y pastos.

De otra parte, se observa una importante captura de agua superficial a manera de represamiento de los cauces de los arroyos, para almacenamiento de aguas superficiales, al parecer con fines agrícolas y silvopastoriles. Si bien, esto se presenta en toda la zona, se observa con mayor densidad en el sector centro-occidental del área de

influencia preliminar del medio abiótico, sobre los cauces de los Arroyos Manga, Carreto, Guayepo y sus afluentes, Portugués, El Cojo y El Martillo, entre otros (Figura 5-16).

Figura 5-16 Procesos morfodinámicos identificados para el año 2002



Fuente: Modificado EIA GUAYEPO SOLAR; 2020, GUAYEPO SOLAR, 2022

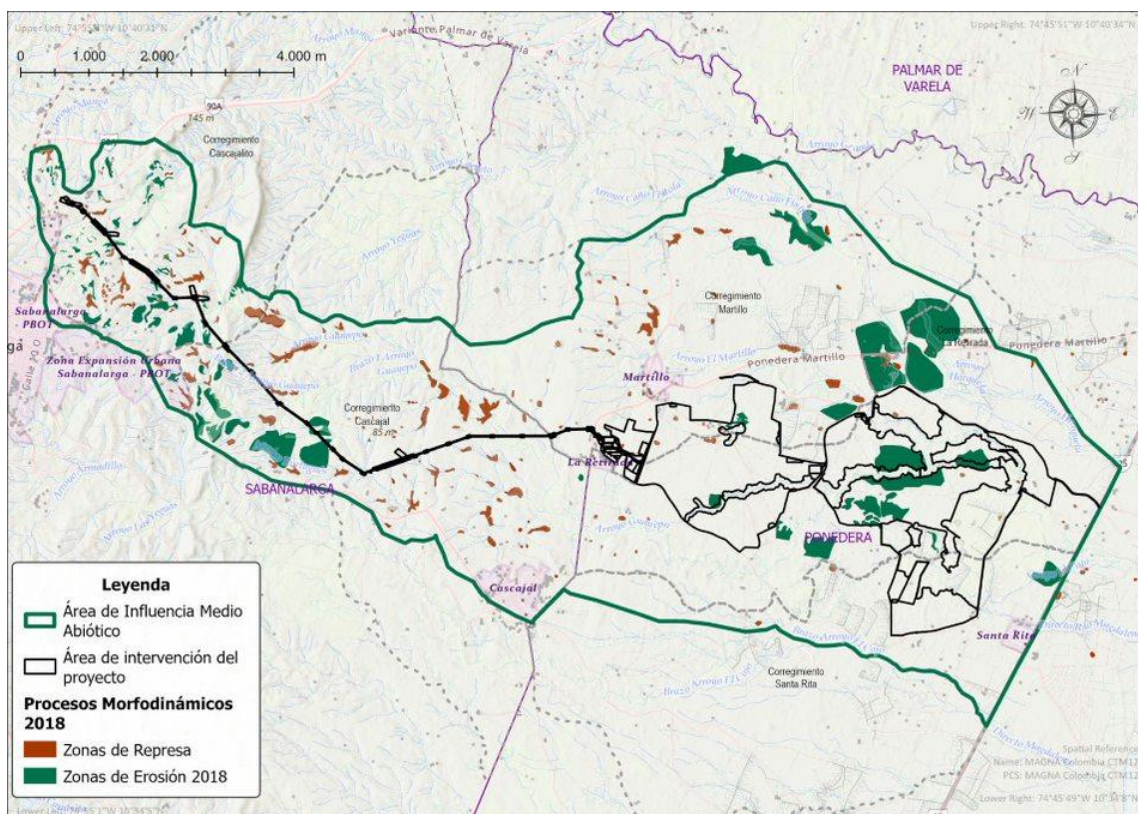
5.1.2.6.2 Imágenes 2018

La imagen satelital usada para el proyecto muestra en el área de influencia objeto de modificación del medio abiótico, procesos de erosión laminar principalmente, como producto de la eliminación de la cobertura vegetal, por cambio del uso del suelo a actividades agrícolas, pastoriles, silvopastoriles y constructivas. No se identifican procesos de remoción en masa (Figura 5-17).

Al occidente del área de influencia, se observan procesos de erosión laminar adyacentes a los represamientos de agua que se encuentran en esa zona; por ejemplo, al norte de la bahía de conexión, formados por la captura del cauce del Arroyo Manga en el sector.

Al sur de la subestación, se observan procesos erosivos dispersos e incipientes, producto de la apertura de accesos hacia sitios residenciales y al parecer, de extracción puntual de estos materiales para dichas construcciones; en este sector, se observa el represamiento de los cursos de agua del Arroyo Carreto y sus tributarios. La zona muestra un patrón de drenaje subdendrítico, de incisión leve.

Figura 5-17 Procesos morfodinámicos en Imagen 2018



Fuente: Modificado EIA GUAYEPO SOLAR; 2020, GUAYEPO SOLAR, 2022

Un poco más hacia el centro-occidente del área de influencia del medio abiótico (oriente y suroriente de la subestación, en cercanías de la zona de servidumbre de la línea de transmisión), se observan procesos de erosión laminar, producto de eliminación de la cobertura vegetal, por actividades silvopastoriles; se presenta la captura de los tributarios incipientes del Arroyo Guayepo y de éste, para represamiento de aguas superficiales. En la zona se observan puntualmente, flujos de tierra sobre un par de lomas, dada la

eliminación de la cobertura vegetal y susceptibilidad de los materiales existentes a procesos erosivos.

En la zona central del área de influencia (y hacia la mitad del alineamiento), los terrenos muestran pequeños sectores alomados u ondulados, con erosión laminar; no obstante, en gran medida, los terrenos se encuentran con cobertura vegetal de pastos arbolados, y el Arroyo Portugués con algunas captaciones de sus cauces para represamiento de agua superficial. A partir de este sector y hacia el oriente, el patrón de drenaje cambia de subdendrítico a subparalelo, y fluye hacia el río Magdalena, con un desnivel topográfico suave.

En el centro y oriente del área de influencia, se observan en general terrenos estables con pastizales y algunos focos erosivos por sobrepastoreo, asociado a actividades ganaderas. Se tienen algunas áreas para cultivo, cerca del cauce del Arroyo Guayepo, además de captura y represamiento de aguas superficiales en algunos puntos del Arroyo El Martillo y Arroyo El Cojo.

Se identifica mayor densidad de represamientos de cursos de agua al occidente del área de influencia preliminar del medio abiótico en relación con el sector central y oriental, posiblemente porque esta zona tiene una mayor oferta de recurso hídrico hacia el río Magdalena.

Así mismo, se identifican también sectores dispersos de encharcamiento, en la zona centro-oriental del área de influencia preliminar del medio abiótico y definitiva físico biótica, debido a las bajas pendientes, fuerte precipitación e inundación del río Magdalena, en cuyas zonas adyacentes se dan procesos erosivos leves.

5.1.2.6.3 Conclusiones análisis

El mosaico de aerofotografías del año 2002 permite identificar polígonos con concentración de procesos erosivos, principalmente hacia el sector occidental del área de influencia preliminar del medio abiótico, sobre los lomeríos y lomas de la zona, los

cuales, en la imagen de 2018, presentan una mayor evolución a erosión laminar, predominantemente en los sectores adyacentes a los represamientos de cauces.

Tanto en las fotos aéreas como en la imagen, la región central y oriental del área de influencia del medio abiótico, sobre la terraza antigua, no se aprecian procesos erosivos relevantes; en las dos imágenes se identifican procesos de reemplazo de cobertura vegetal, para actividades agrícolas, silvopastoriles y ganaderas, que eventualmente dejan desprotegido el suelo y permiten la generación de erosión laminar, que luego se atenúa con la siembra de cultivos y/o gramíneas, asociado a las actividades productivas de la zona.

En términos generales, se observa mayor cubrimiento de cobertura vegetal en el área de influencia del medio abiótico en la imagen del 2018, en relación con las aerofotografías del 2002, por lo que se presenta consecuentemente, menor frecuencia y densidad de procesos erosivos. No se identifican procesos de remoción en masa.

En las aerofotografías y en la imagen, se identifica de manera preferencial al centro y occidente del área de influencia del medio abiótico, la captura de cauces de los arroyos de la zona para represamiento de agua superficial, lo que ha generado que los cursos de agua pierdan por sectores la continuidad de sus cauces y éste sea muy angosto y poco definido, aguas abajo.

No obstante, se observa una evolución positiva entre las fotos aéreas y la imagen, sobre los cordones de la vegetación protectora existente alrededor de los cursos de agua, de la mayoría de estos represamientos. Por ejemplo, sobre los represamientos al sureste y oriente de la subestación, conformados sobre el Arroyo Carreto, y sobre el Arroyo Guayepo; así como en los represamientos del Arroyo El Martillo, en los alrededores de la población con este mismo nombre, al norte del parque solar fotovoltaico. Cabe anotar que, en algunos puntos, tal como al norte de la población de Cascajal, no se observa ese crecimiento en la vegetación, sino más bien eliminación de cobertura vegetal, sobre El Guayepo, por sobrepastoreo; y en otros casos, la vegetación permanece igual, sin

embargo, de forma general, la tendencia es que los represamientos de agua han generado repoblación vegetativa.

El diseño del parque solar fotovoltaico no se encuentra ni cruza los mencionados cuerpos de agua (represamientos ni cauces). El trazado del alineamiento, en el sector occidental del área de influencia preliminar del medio abiótico, definitiva físico biótica y llegada a la subestación, cruza algunos de los drenajes, así como un par de esos represamientos. La bahía de conexión se ubica en una zona sin drenajes.

5.1.3 Suelos y uso del suelo

La caracterización de los suelos existentes que conforman el área de influencia tiene por objeto determinar su valor desde el punto de vista productivo y socio económico, con base en sus características físicas, sus propiedades químicas, y su grado de vulnerabilidad frente a las perturbaciones que se puedan originar a consecuencia de las diferentes actividades desarrolladas en el proyecto. Lo anterior, con el propósito de establecer los impactos tanto positivos como negativos y, en consecuencia, establecer las medidas de manejo necesarias para su prevención, protección, control, mitigación, restauración, recuperación y/o compensación.

La identificación, clasificación y análisis de las unidades de suelo existentes en el área de influencia se fundamentan en: cartografía escala 1:100.000 del Servicio Geológico Colombiano (anteriormente geológica y geomorfológica INGEOMINAS), el estudio realizado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi – Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento del Atlántico, Escala 1:100.000, año 2007, y en el EIA presentado en el año 2020 para el licenciamiento ambiental del Proyecto, otorgada por la ANLA mediante Resolución 981 de 2021.

La clasificación taxonómica de los suelos se llevó a cabo teniendo en cuenta las Claves para la Taxonomía de Suelos, Soil Survey Staff Departamento de Agricultura de los Estados Unidos Servicio de Conservación de Recursos Naturales Décima segunda

Edición, 2014. La clasificación de la cobertura vegetal establecida por CORINE LAND COVER y adoptada por el IDEAM para la descripción de las coberturas de la tierra en Colombia.

Para la caracterización del suelo dentro del área de influencia directa, se realizaron 50 cajuelas de verificación y seis (6) calicatas de caracterización en las unidades de suelo identificadas, como generación de información nueva, diferente a la reportada en el EIA de 2020, a fin de cumplir con la escala determinada por los términos de referencia 1:10.000.

Las cajuelas de verificación obedecen a los vértices de una grilla que ubica puntos cada 50 hectáreas, dentro de los predios viabilizados por el cliente, para un total de 50 cajuelas realizadas, monitoreando el 97% de los predios. Las calicatas de caracterización fueron ubicadas según los suelos encontrados en las cajuelas de verificación. En la calicata realizada se describen en forma completa y detallada las características internas y externas de los suelos, excavando a profundidades de 100 cm. Las características que se evaluaron fueron: entorno o paisaje, propiedades físico-químicas y la morfología de cada uno de los horizontes y/o capas del suelo. Toda la información recopilada complementa lo reportado en el muestreo de suelos del EIA de 2020.

5.1.3.1 Descripción de unidades cartográficas

Dentro de la descripción y generación del mapa de suelos los símbolos de las unidades están representados por un símbolo (UCS), el cual está compuesto por un identificador de carácter alfanumérico, cuyos componentes deberán tener el siguiente orden, de izquierda a derecha:

En primer lugar, una letra mayúscula que corresponde a la inicial del paisaje, en segundo lugar, una letra mayúscula que identifique al clima ambiental, seguido de otra letra mayúscula que identifica la clase de UCS, y sus componentes taxonómicos y, finalmente, una o más letras minúsculas y/o números, que indican los criterios de fases, siguiendo el orden consecutivo de las mismas.

Tabla 5-10 Paisajes y códigos

CODIGO	PAISAJES
A	Altillanura
L	Lomerío
M	Montaña
P	Piedemonte
R	Planicie
V	Valle

Tabla 5-11 Clima ambiental y códigos

CODIGO	DENOMINACIÓN
X	Cálido muy seco
W	Cálido seco
V	Cálido húmedo
U	Cálido muy húmedo
T	Cálido pluvial
Q	Templado húmedo
M	Frio seco
L	Frio húmedo

Fuente: IGAC – Instructivo para los Levantamientos de Suelos (Manual de códigos) Grupo Interno de Trabajo Levantamiento de Suelos, Cód. P40200-01/10, Versión 1. 2010.

Una fase es una subdivisión de un (taxón) identificado en el sistema taxonómico de clasificación. Las fases se diferencian con base en criterios seleccionados para crear unidades útiles para el uso y manejo de los suelos. Para este proyecto se seleccionaron los siguientes criterios de fases de suelos, los que aparecen con el símbolo de la UCS, en el orden que a continuación se describen:

Pendientes: Para pendientes simples y pendientes complejas, según el caso en el mapeo de suelos:

Tabla 5-12 Fase por pendientes

SÍMBOLO	RANGO (%)	DESCRIPCIÓN
a	Pendiente 0-1%	A nivel
	Pendiente 1-3%	Ligeramente plana.
B	Pendiente 3-7%	Ligeramente inclinada
c	Pendiente 7-12%	Moderadamente inclinada
d	Pendiente 12-25%	Fuertemente inclinada
e	Pendiente 25-50%	Ligeramente escarpada

Fuente: IGAC – Instructivo para los Levantamientos de Suelos (Manual de códigos) Grupo Interno de Trabajo Levantamiento de Suelos, Cód. P40200 01/10, Versión 1. 2010.

Erosión: Se refiere a los procesos de la pérdida de la capa superficial de la corteza terrestre por acción del agua y/o del viento, que es mediada por los seres humanos, y trae consecuencias ambientales, sociales, económicas y culturales.

Tabla 5-13 Fases por erosión en el mapa de suelos.

SÍMBOLO	GRADO
1	Grado de erosión ligero
2	Grado de erosión moderado
3	Grado de erosión severo

Fuente: IGAC – Instructivo para los Levantamientos de Suelos (Manual de códigos) Grupo Interno de Trabajo Levantamiento de Suelos, Cód. P40200-01/10, Versión 1. 2010. 31 p.

La descripción de los suelos y sus componentes taxonómicos (a nivel categórico de familia), se hace de acuerdo con los lineamientos del Sistema Taxonómico Americano (USDA, 2014). A continuación, se describen las unidades de suelo de acuerdo con el orden de presentación en la leyenda del mapa de suelos. En la Tabla 5-14 se muestran las unidades cartográficas de suelo del área de influencia del medio abiótico para la presente modificación de licencia ambiental, y en la Figura 5-18 se presenta su distribución espacial correspondiente.

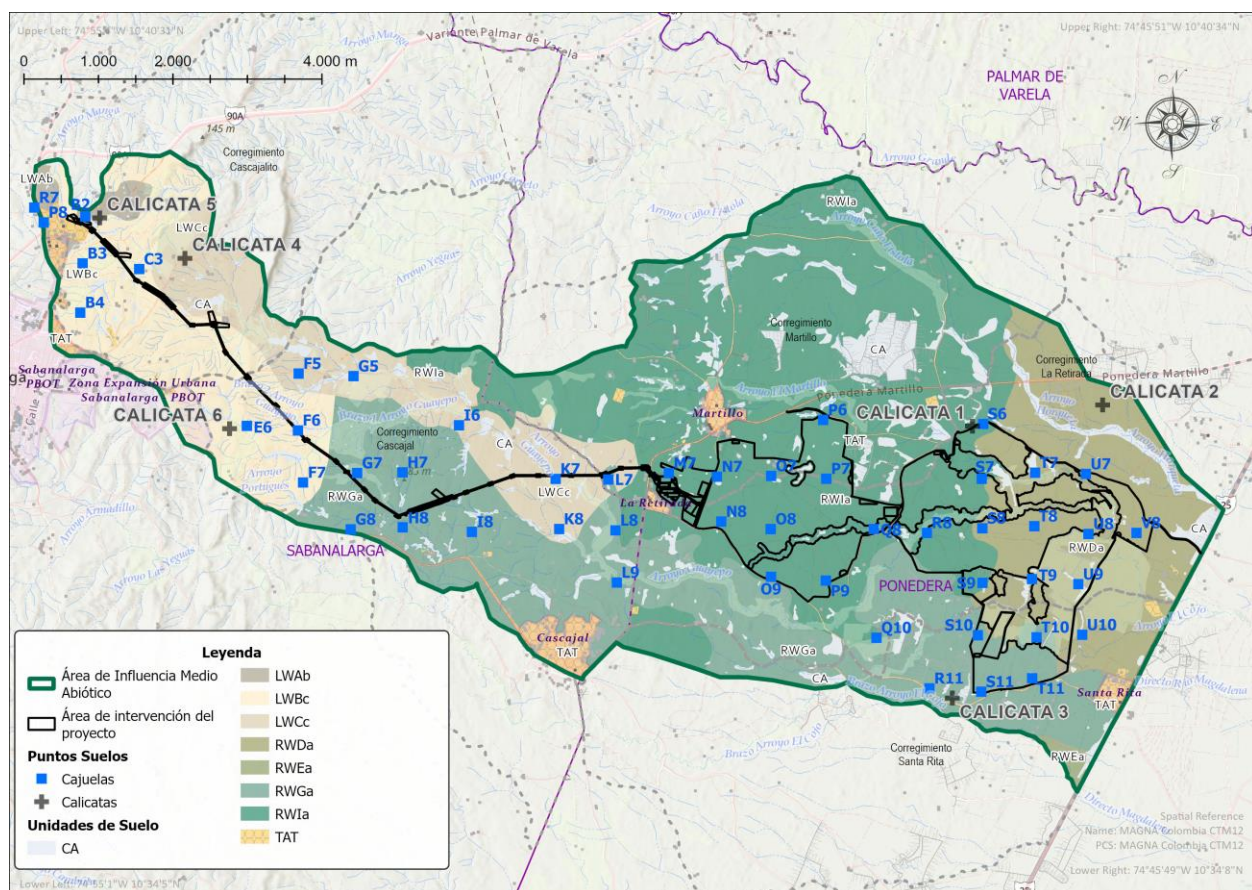
Tabla 5-14 Unidades de suelo del área de influencia

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	ÁREA	%
LWA	Estos suelos se han desarrollado a partir de sedimentos del Terciario, y de materiales de texturas finas provenientes de la alteración de lutitas. Tienen una moderada evolución genética, son moderadamente profundos, bien drenados, texturas gruesas y finas, moderadamente alcalinos.	49,4	0,7%
LWB	Los suelos de esta consociación se han desarrollado a partir de arcillas provenientes de la alteración de lutitas débilmente consolidadas que incluyen nódulos de areniscas calcáreas; se caracterizan por ser profundos, bien a moderadamente bien drenados y de texturas moderadamente finas.	690,5	10,3%
LWC	Los suelos se han desarrollado a partir de materiales de texturas finas, provenientes de la alteración de lutitas micáceas blandas. Se caracterizan por ser profundos, bien drenados, texturas finas y ligeramente ácidos.	574,8	8,6%
RWD	Los suelos se han desarrollado a partir de depósitos aluviales limo-arcillosos, se caracterizan por ser moderadamente profundos, bien drenados, texturas finas y moderadamente finas, muy fuertemente ácido y fuertemente ácidos y saturación de bases muy alta.	917,4	13,7%
RWE	Estos suelos se han originado a partir de depósitos aluviales finos (limo-arcillosos) y se caracterizan por ser moderadamente profundos, imperfectamente drenados, texturas finas, moderadamente ácidos a neutros y saturación de bases muy alta.	19,5	0,3%

RWG	Estos suelos se han desarrollado a partir de materiales depositados por el río Magdalena y de materiales coluvio aluviales transportados desde las lomas y colinas adyacentes. Se caracterizan por ser moderadamente profundos, moderadamente bien drenados, texturas finas, moderadamente finas y ácidos.	1452,9	21,7%
RWI	Se han originado estos suelos de materiales de textura gruesa posiblemente de origen eólico que recubren a depósitos aluviales (limo-arcillosos) y se caracterizan por ser moderadamente profundos, moderadamente bien drenados, texturas gruesas a moderadamente finas y muy fuertemente ácidos en superficie.	2294,1	34,3%
CA	Cuerpos de agua	374,1	5,6%
TAT	Territorios artificializados	319,4	4,8%
TOTAL		6692,1	100%

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2023

Figura 5-18 Distribución espacial de las unidades de suelos, cajuelas de observación y calicatas de caracterización dentro del área de influencia



Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2023

5.1.3.1.1 Suelos de Lomerío

Consociación Vertic Haplustepts. Símbolo LWA

Esta consociación se localiza en el municipio de Sabanalarga, en clima cálido seco, temperatura promedio de 28°C, precipitación promedio anual de 1200 mm y una altitud promedio de 100 metros; según Holdridge corresponde a la zona de vida de bosque seco tropical (bs-T). La unidad geomorfológicamente se encuentra en el paisaje de lomerío, en un relieve ligeramente ondulado con pendientes cortas y muy suaves no mayores al 7%. Estos suelos se han desarrollado a partir de sedimentos del Terciario, y de materiales de texturas finas provenientes de la alteración de lutitas. Tienen una moderada evolución genética, son moderadamente profundos, bien drenados, texturas gruesas y finas, moderadamente alcalinos. A partir de los 70 cm, se encuentran horizontes muy duros que dificultan la permeabilidad y el drenaje.

La cobertura vegetal está compuesta principalmente por matorrales y arbustos, dedicados a ganadería extensiva. La consociación está integrada por los suelos clasificados como Vertic Haplustolls en un 90%.

De acuerdo con las variaciones de la pendiente encontradas en el área de estudio se encuentra la siguiente fase: LWAb: Consociación Vertic Haplustolls, fase ligeramente ondulada, pendientes 3- 7%.

A continuación, se muestra la cajuela ubicada en la unidad cartográfica LWA.

Fotografía 5-32 Cajuela B2



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4791353 Norte: 2735555
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Tabla 5-15 Descripción de la calicata de caracterización. Unidad Cartográfica LWA

UNIDAD CARTOGRÁFICA DE SUELO UNIDAD LWA	ESPESOR	DESCRIPCIÓN
	Horizonte A 0 – 45 cm	Color café parduzco, textura franco-arenosa, sin estructura, migajosa; consistencia en húmedo friable, en mojado no pegajosa; buena cantidad de poros finos. Presencia de raíces, finas, vivas, localizadas en el horizonte; no presenta actividad de macroorganismos. pH 7,45, reacción ligeramente alcalina. Terreno en pastos arbolados con presencia de ganado.
	Horizonte B 45 – 69 cm	Color grisáceo, textura arenosa, sin estructura, migajosa; consistencia en húmedo friable y en mojado no pegajosa; sin presencia de raíces ni actividad de macroorganismos; límite gradual y plano. Profundidad efectiva 47 cm. pH 8,31, reacción moderadamente alcalina.

UNIDAD CARTOGRÁFICA DE SUELO UNIDAD LWA	ESPESOR	DESCRIPCIÓN
	<p>Horizonte C 69 – 100 cm</p>	<p>Color grisáceo, aparente cambio de coloración por presencia de humedad, textura arcillo arenosa, estructura en Bloques subangulares débiles; consistencia en húmedo poco friable, en mojado ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; sin presencia de raíces. Sin actividad de macroorganismos; límite gradual y plano.</p>

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Propiedades Químicas

El pH indica la condición ácida o alcalina de una muestra de suelo, con valores de 7,45 y 8,31, para los horizontes A y B respectivamente, mostrando suelos ligera y moderadamente alcalinos, siendo restrictivos para algunos cultivos, para su mejora se recomienda la aplicación de enmiendas.

Los macronutrientes se necesitan en grandes cantidades, los suelos pueden ser naturalmente pobres en nutrientes, o pueden llegar a ser deficientes debido a la extracción de los nutrientes por los cultivos a lo largo de los años, o cuando se utilizan variedades de rendimientos altos, las cuales son más demandantes en nutrientes que

las variedades locales. Dentro del grupo de los macronutrientes, necesarios para el crecimiento de las plantas en grandes cantidades se encuentran el nitrógeno, fósforo y potasio. El Fosforo disponible registra concentraciones de 77,41 mg/kg, el Nitrógeno total reporta 0,10% y por último el Potasio registra concentraciones de 0,18 meq/100g. De manera general se evidencian concentraciones bajas de los tres nutrientes para el punto analizado.

La Capacidad de Intercambio Catiónico registra valores <4 meq/100g lo cual indica una CIC en valores bajos, evidenciado con los contenidos bajos de materia orgánica (1,62%) presente en los suelos caracterizados, esto puede influir en la absorción de nutrientes y la fertilidad.

La Salinidad es evaluada mediante varios parámetros, de los cuales el PSI presenta valores normales, la conductividad eléctrica registra valores de 0,09 dS/cm, estimados como normales de acuerdo con la tabla de consideraciones generales para interpretar los análisis de suelos del IGAC.

Tabla 5-16 Propiedades químicas unidad cartográfica LWA

Unidad Cartográfica de Suelo	pH (1:1):	Conductividad Eléctrica (1:5) (CE)	Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	% Sodio Intercambiable (PSI)	% de Saturación de bases	% de Saturación de Aluminio	RAS
	Unidades	dS/m	meq/100g	%	%	%	
Calicata 5 HA	7.45	0.09	<4.00	7.51	100.00	N.A.	7.86
Calicata 5 HB	8.31	0.19	<4.00	55.47	100.00	N.A.	52.03

Fuente: Dr. Calderón Labs 2022

Propiedades Físicas

La Densidad Aparente registra valores de 1,49 g/cm³, mientras que la Densidad Real viene dada por la relación existente entre el peso de los sólidos del suelo y el volumen de estos. Ésta reporta concentraciones ligeramente mayores correspondientes a valores de 2,27 g/cm³, estando acorde con las características texturales de los suelos analizados.

La Materia Orgánica reporta porcentajes de 1,62%, estando en rangos bajos para climas cálidos.

El análisis textural indica de manera general que los suelos son de textura franco arenosa, estando acorde con sus características de fertilidad baja y densidad aparente.

Tabla 5-17 Propiedades físicas unidad cartográfica LWA

Unidad Cartográfica de Suelo	Carbono Orgánico Total	Materia Orgánica	Densidad Aparente	Densidad Real	% de humedad
	%	%	g/cm ³	g/cm ³	
Calicata 5 HA	0.94	1.62	1.49	2.27	15.36
Calicata 5 HB	0.29	0.50	1.45	2.50	2.32

Fuente: Dr. Calderón Labs 2022

Verificación Protocolo de Louissiana

El pH como indicador de múltiples propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, influye directamente sobre la disponibilidad de nutrientes, se reporta un valor de pH 7,45 Unidades, las cuales se encuentran asociadas a suelos ligeramente alcalinos, Normativamente, cumple de manera indicativa con lo establecido por el rango de unidades, ya que registran valores dentro del límite de 6 Unidades a 9 unidades establecido en el Protocolo de Louisiana 29B.

La Salinidad medida en forma de conductividad eléctrica registra valores bajos de 0,09 dS/cm lo cual representa un bajo contenido de sales en el suelo evaluado, con respecto a la normatividad, se evidencia de manera indicativa un cumplimiento satisfactorio al límite máximo permisible de 4 dS/cm.

Según las medidas de sodicidad, el PSI (Porcentaje de Sodio Intercambiable) analizado se encuentra en valores de 7,51% inferior al 15% recomendado por el Protocolo de Louisiana 29B.

Los valores de Grasas y Aceites, Arsénico Total, Selenio Total, Bario Total, Mercurio Total, Plomo Total, Cadmio Total, Cromo Total y Cromo Hexavalente presentan valores

dentro de los rangos permitidos en el protocolo de Louisiana 29B sin mostrar evidencia de suelos contaminados.

Tabla 5-18 Análisis de metales unidad cartográfica LWA

Unidad Cartográfica de Suelo	Grasas y Aceites:	Hidrocarburos	Arsénico Total:	Bario Total:	Mercurio Total:	Cadmio Total:	Plomo Total:
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Calicata 5 HA	240.36	216.32	0.41	317.29	<0.005	<0.20	15.09
Calicata 5 HB	240.38	216.34	0.41	109.62	<0.005	<0.20	9.03

Fuente: Dr. Calderón Labs 2022

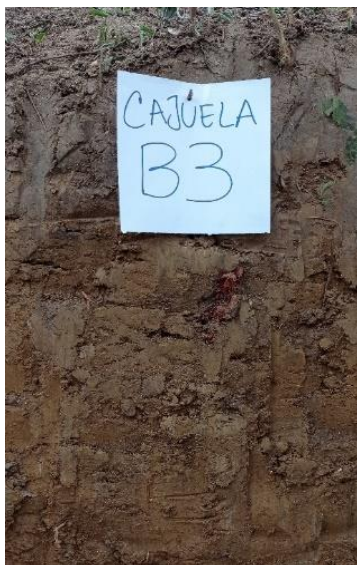
Consociación Typic Haplustepts. Símbolo LWB

Los suelos que componen esta consociación se localizan en el municipio de Sabanalarga, en clima cálido seco, temperatura promedio de 28°C, precipitación promedio anual de 1200 mm y una altitud media de 140 metros; según Holdridge corresponde a la zona de vida de bosque seco tropical (bs-T). Los suelos de esta consociación se han desarrollado a partir de arcillas provenientes de la alteración de lutitas débilmente consolidadas que incluyen nódulos de areniscas calcáreas; se caracterizan por ser profundos, bien a moderadamente bien drenados y de texturas moderadamente finas. Estos suelos están dedicados a una ganadería de tipo extensivo y semi extensivo. La vegetación natural está compuesta por trupillo y guásimo, entre otras.

Esta consociación está conformada por los suelos clasificados como Typic Haplustepts en un 90% y en un 10% como inclusión, por los suelos clasificados como Typic Ustorthents. De acuerdo con las variaciones de la pendiente en el área de estudio se encuentra la fase y el grado de erosión LWBb: Consociación Typic Haplustepts, fase ligeramente ondulada, pendiente 3 – 7%.

A continuación, se muestran las cajuelas de observación ubicadas en la unidad cartográfica LWB.

Fotografía 5-33 Cajuela B3



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4791317
Norte: 2734925
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-34 Cajuela B4



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4791285
Norte: 2734264
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-35 Cajuela E6



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4793522
Norte: 2732744
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-36 Cajuela F6



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4794207
Norte: 2732684
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

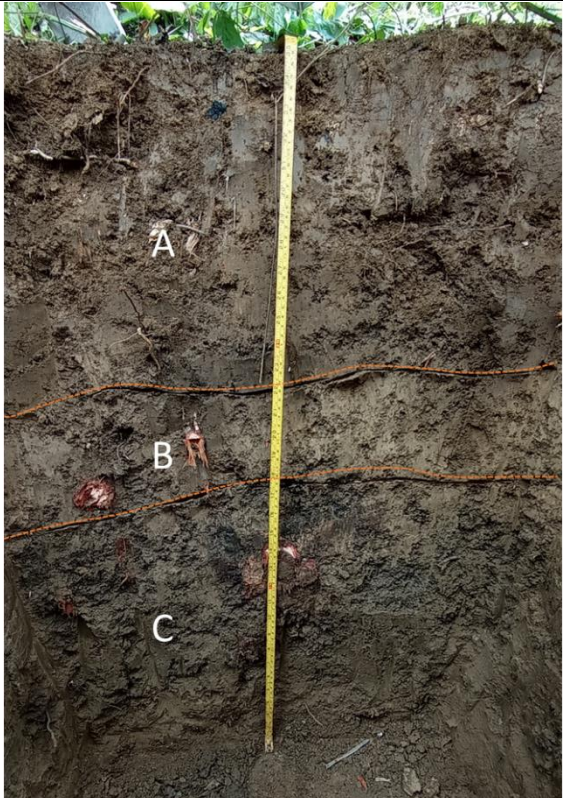
Fotografía 5-37 Cajuela F7



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4794276 Norte: 2731985
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Tabla 5-19 Descripción calicata de caracterización. Unidad cartográfica LWB.

UNIDAD CARTOGRÁFICA DE SUELO UNIDAD LWB	ESPESOR	DESCRIPCIÓN
	Horizonte A 0 – 35 cm	Color café pardo, textura arcillo limosa, estructura Blocosa subangular media gruesa; consistencia en húmedo no friable, en mojado pegajosa y ligeramente plástica; baja cantidad de poros finos. Presencia de raíces, finas, vivas, localizadas en el horizonte; no presenta actividad de macroorganismos. pH 5,93, reacción moderadamente ácida.
	Horizonte A 35 – 48 cm	Color amarillo pálido, textura arcillo limosa, estructura en Bloques subangulares medios; consistencia en mojado ligeramente pegajosa y plástica. Presencia de raíces finas, vivas en el perfil. Sin actividad de macroorganismos; límite gradual y plano. pH 5,93, reacción moderadamente ácida.

UNIDAD CARTOGRÁFICA DE SUELO UNIDAD LWB	ESPESOR	DESCRIPCIÓN
	Horizonte A 48 – 100 cm	Color pardo grisáceo, textura arcillo limosa, estructura en Bloques subangulares medios; consistencia en mojado ligeramente pegajosa y plástica. Presencia de raíces finas, vivas en el horizonte. Sin actividad de macroorganismos; límite gradual y plano. Profundidad efectiva 90 cm.

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Propiedades Químicas

El pH indica la condición ácida o alcalina de una muestra de suelo, con valores de 5,93 para los horizontes A y B, mostrando suelos moderadamente ácidos, siendo restrictivos para algunos cultivos, para su mejora se recomienda la aplicación de enmiendas.

Los macronutrientes se necesitan en grandes cantidades, los suelos pueden ser naturalmente pobres en nutrientes, o pueden llegar a ser deficientes debido a la extracción de los nutrientes por los cultivos a lo largo de los años, o cuando se utilizan variedades de rendimientos altos, las cuales son más demandantes en nutrientes que las variedades locales. Dentro del grupo de los macronutrientes, necesarios para el crecimiento de las plantas en grandes cantidades se encuentran el nitrógeno, fósforo y potasio. El Fosforo disponible registra concentraciones de 11,28 mg/kg, el Nitrógeno total reporta 0,14% y por último el Potasio registra concentraciones de 0,35 meq/100g. De

manera general se evidencian concentraciones bajas de los tres nutrientes para el punto analizado.

La Capacidad de Intercambio Catiónico registra valores 26,78 meq/100g lo cual indica una CIC en valores altos, contrarrestado con los contenidos bajos de materia orgánica (1,88%) presente en los suelos caracterizados, esto puede influir en la baja absorción de nutrientes y baja fertilidad de los suelos.

La Salinidad es evaluada mediante varios parámetros, de los cuales el PSI presenta valores normales, la conductividad eléctrica registra valores de 0,08 dS/cm, estimados como normales de acuerdo con la tabla de consideraciones generales para interpretar los análisis de suelos del IGAC.

Tabla 5-20 Propiedades químicas unidad cartográfica LWB

Unidad Cartográfica de Suelo	pH (1:1):	Conductividad Eléctrica (1:5) (CE)	Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	% Sodio Intercambiable (PSI)	% de Saturación de bases	% de Saturación de Aluminio	RAS
	Unidades	dS/m	meq/100g	%	%	%	
Calicata HA 6	5.93	0.08	26.78	0.60	100.00	N.A.	0.78
Calicata HB 6	5.93	0.05	25.74	0.99	100.00	N.A.	1.62

Fuente: Dr. Calderón Labs 2022

Propiedades Físicas

La Densidad Aparente registra valores de 1,08 g/cm³, mientras que la Densidad Real viene dada por la relación existente entre el peso de los sólidos del suelo y el volumen de estos. Ésta reporta concentraciones ligeramente mayores correspondientes a valores de 1,92 g/cm³, estando acorde con las características texturales de los suelos analizados.

La Materia Orgánica reporta porcentajes de 1,88%, estando en rangos bajos para climas cálidos.

El análisis textural indica de manera general que los suelos son de textura arcillo limosa, estando acorde con sus características de fertilidad baja y densidad aparente.

Tabla 5-21 Propiedades físicas unidad cartográfica LWB

Unidad Cartográfica de Suelo	Carbono Orgánico Total	Materia Orgánica	Densidad Aparente	Densidad Real	% de humedad
	%	%	g/cm ³	g/cm ³	
Calicata 6 HA	1.09	1.88	1.08	1.92	15.57
Calicata 6 HB	1.16	2.00	1.10	2.08	13.44

Fuente: Dr. Calderón Labs, 2022

Verificación Protocolo de Louissiana

El pH como indicador de múltiples propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, influye directamente sobre la disponibilidad de nutrientes, se reporta un valor de pH 5,93 Unidades, las cuales se encuentran asociadas a suelos medianamente ácidos, Normativamente, cumple de manera indicativa con lo establecido por el rango de unidades, ya que registran valores muy cercanos al límite de 6 Unidades a 9 unidades establecido en el Protocolo de Louisiana 29B.

La Salinidad medida en forma de conductividad eléctrica registra valores bajos de 0,08 dS/cm lo cual representa un bajo contenido de sales en el suelo evaluado, con respecto a la normatividad, se evidencia de manera indicativa un cumplimiento satisfactorio al límite máximo permisible de 4 dS/cm.

Según las medidas de sodicidad, el PSI (Porcentaje de Sodio Intercambiable) analizado se encuentra en valores de 0,60% inferior al 15% recomendado por el Protocolo de Louisiana 29B.

Los valores de Grasas y Aceites, Arsénico Total, Selenio Total, Bario Total, Mercurio Total, Plomo Total, Cadmio Total, Cromo Total y Cromo Hexavalente presentan valores dentro de los rangos permitidos en el protocolo de Louisiana 29B sin mostrar evidencia de suelos contaminados.

Tabla 5-22 Análisis de metales unidad cartográfica LWB

Unidad Cartográfica de Suelo	Grasas y Aceites:	Hidrocarburos	Arsénico Total:	Bario Total:	Mercurio Total:	Cadmio Total:	Plomo Total:
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Calicata 6 HA	264.41	264.41	1.69	86.51	<0.005	<0.20	15.80
Calicata 6 HB	168.24	120.17	0.91	103.81	<0.005	<0.20	7.87

Fuente: Dr. Calderón Labs 2022

Consociación Typic Haplusterts. Símbolo LWC

Esta consociación se localiza en el municipio de Sabanalarga, en clima cálido seco, temperatura promedio de 28°C, precipitación media anual de 1200 mm y una altitud media de 80 metros; según Holdridge, corresponde a la zona de vida de bosque seco tropical (bs-T). Los suelos se han desarrollado a partir de materiales de texturas finas, provenientes de la alteración de lutitas micáceas blandas. Se caracterizan por ser profundos, bien drenados, texturas finas y ligeramente ácidos. Estos suelos en su mayoría están cubiertos por rastrojos, dedicados a ganadería extensiva. Esta consociación está conformada por los suelos clasificados como Typic Haplusterts en un 85% y en un 10% por los suelos Lithic Ustorthents, como inclusión.

A continuación, se muestran las cajuelas de observación ubicadas en la unidad cartográfica LWC.

Fotografía 5-38 Cajuela C3



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4792076
Norte: 2734849
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-39 Cajuela F5



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4794216
Norte: 2733446
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-40 Cajuela G5



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4794953
Norte: 2733412
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-41 Cajuela I6



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4796369
Norte: 2732753
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-42 Cajuela I8



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4796543
Norte: 2731321
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-43 Cajuela K7



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4797667
Norte: 2732033
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-44 Cajuela K8



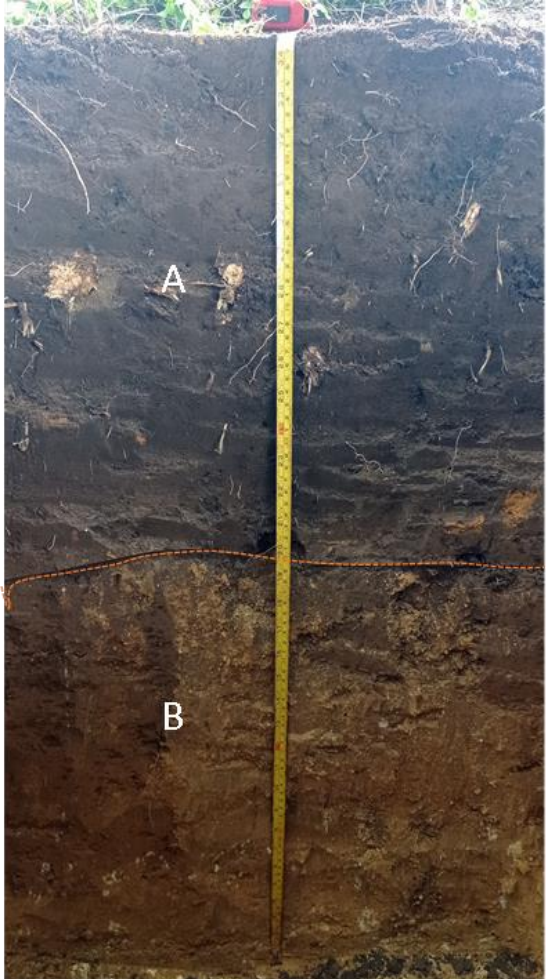
Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4797714
Norte: 2731360
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-45 Cajuela L7



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4798374
Norte: 2732024
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Tabla 5-23 Descripción calicata de caracterización. Unidad cartográfica LWC.

UNIDAD CARTOGRÁFICA DE SUELO UNIDAD LWC	ESPESOR	DESCRIPCIÓN
	Horizonte A 0 – 40 cm	Color café oscuro, textura franco arenosa limosa, sin estructura, migajosa; consistencia en húmedo friable, en mojado no pegajosa; buena cantidad de poros finos. Presencia de raíces, finas, vivas, localizadas en el horizonte, hasta 33 cm de su profundidad efectiva; presenta gran actividad de macroorganismos, lombrices. pH 6,48, reacción ligeramente ácido.
	Horizonte B 40 – 100 cm	Color amarillo, textura franco arenosa fina, sin estructura; consistencia en húmedo friable y en mojado no pegajosa. Sin actividad de macroorganismos; limite gradual y plano. Presencia de cascajo en un porcentaje inferior al 1%. pH 6,66, reacción neutra.

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Propiedades Químicas

El pH indica la condición ácida o alcalina de una muestra de suelo, con valores de 6,48 y 6,66 para los horizontes A y B respectivamente, mostrando suelos ligeramente ácidos y neutros, siendo restrictivos para algunos cultivos, para su mejora se recomienda la aplicación de enmiendas.

Los macronutrientes se necesitan en grandes cantidades, los suelos pueden ser naturalmente pobres en nutrientes, o pueden llegar a ser deficientes debido a la extracción de los nutrientes por los cultivos a lo largo de los años, o cuando se utilizan variedades de rendimientos altos, las cuales son más demandantes en nutrientes que las variedades locales. Dentro del grupo de los macronutrientes, necesarios para el crecimiento de las plantas en grandes cantidades se encuentran el nitrógeno, fósforo y potasio. El Fosforo disponible registra concentraciones de 3,19 mg/kg, el Nitrógeno total reporta 0,11% y por último el Potasio registra concentraciones de 0,14 meq/100g. De manera general se evidencian concentraciones bajas de los tres nutrientes para el punto analizado.

La Capacidad de Intercambio Catiónico registra valores 19,09 meq/100g lo cual indica una CIC en valores bajos, evidenciado con los contenidos bajos de materia orgánica (1,87%) presente en los suelos caracterizados, esto puede influir en la absorción de nutrientes y la fertilidad.

La Salinidad es evaluada mediante varios parámetros, de los cuales el PSI presenta valores normales, la conductividad eléctrica registra valores de 0,07 dS/cm, estimados como normales de acuerdo con la tabla de consideraciones generales para interpretar los análisis de suelos del IGAC.

Tabla 5-24 Propiedades químicas. Unidad cartográfica LWC

Unidad Cartográfica de Suelo	pH (1:1):	Conductividad Eléctrica (1:5) (CE)	Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	% Sodio Intercambiable (PSI)	% de Saturación de bases	% de Saturación de Aluminio	RAS
	Unidades	dS/m	meq/100g	%	%	%	
Calicata 4 HA	6.48	0.07	19.09	0.80	100.00	N.A.	0.82
Calicata 4 HB	6.66	0.64	19.81	2.49	100.00	N.A.	1.22

Fuente: Dr. Calderón Labs 2022

Propiedades Físicas

La Densidad Aparente registra valores de 1,18 g/cm³, mientras que la Densidad Real viene dada por la relación existente entre el peso de los sólidos del suelo y el volumen de estos. Ésta reporta concentraciones ligeramente mayores correspondientes a valores de 2,08 g/cm³, estando acorde con las características texturales de los suelos analizados.

La Materia Orgánica reporta porcentajes de 1,87%, estando en rangos bajos para climas cálidos.

El análisis textural indica de manera general que los suelos son de textura franco arenosos, estando acorde con sus características de fertilidad baja y densidad aparente.

Tabla 5-25 Propiedades físicas unidad cartográfica LWC

Unidad Cartográfica de Suelo	Carbono Orgánico Total	Materia Orgánica	Densidad Aparente	Densidad Real	% de humedad
	%	%	g/cm ³	g/cm ³	
Calicata 4 HA	1.09	1.87	1.18	2.08	12.34
Calicata 4 HB	1.00	1.72	1.19	2.27	9.53

Fuente: Dr. Calderón Labs 2022

Verificación Protocolo de Louissiana

El pH como indicador de múltiples propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, influye directamente sobre la disponibilidad de nutrientes, se reporta un valor de pH 6,48 Unidades, las cuales se encuentran asociadas a suelos ligeramente ácidos, Normativamente, cumple de manera indicativa con lo establecido por el rango de unidades, ya que registran valores dentro del límite de 6 Unidades a 9 unidades establecido en el Protocolo de Louisiana 29B.

La Salinidad medida en forma de conductividad eléctrica registra valores bajos de 0,07 dS/cm lo cual representa un bajo contenido de sales en el suelo evaluado, con respecto a la normatividad, se evidencia de manera indicativa un cumplimiento satisfactorio al límite máximo permisible de 4 dS/cm.

Según las medidas de sodicidad, el PSI (Porcentaje de Sodio Intercambiable) analizado se encuentra en valores de 0,80% inferior al 15% recomendado por el Protocolo de Louisiana 29B.

Los valores de Grasas y Aceites, Arsénico Total, Selenio Total, Bario Total, Mercurio Total, Plomo Total, Cadmio Total, Cromo Total y Cromo Hexavalente presentan valores dentro de los rangos permitidos en el protocolo de Louisiana 29B sin mostrar evidencia de suelos contaminados.

Tabla 5-26 Análisis de metales unidad cartográfica LWC

Unidad Cartográfica de Suelo	Grasas y Aceites:	Hidrocarburos	Arsénico Total:	Bario Total:	Mercurio Total:	Cadmio Total:	Plomo Total:
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Calicata 4 HA	288.42	240.35	0.42	69.21	<0.005	<0.20	3.67
Calicata 4 HB	264.39	240.36	1.80	92.29	<0.005	<0.20	3.53

Fuente: Dr. Calderón Labs 2022

5.1.3.1.2 Suelos de Planicie Aluvial

Consociación typic Haplusterts. Símbolo RWD.

Esta consociación se localiza en sectores del municipio Ponedera, en clima cálido seco, temperatura promedio de 28°C, precipitación media anual de 1000 mm, altitud entre 40 y 50 m y zona de vida de bosque seco tropical (bs-T). Los suelos se han desarrollado a partir de depósitos aluviales limo-arcillosos, se caracterizan por ser moderadamente profundos, bien drenados, texturas finas y moderadamente finas, muy fuertemente ácido y fuertemente ácidos y saturación de bases muy alta. El uso actual es ganadería extensiva con pastos naturales. La asociación la conforman en un 80% los suelos clasificados como Typic Haplusterts y como inclusión en un 20% los Vertic Haplusterts.

A continuación, se muestran las cajuelas de observación ubicadas en la unidad cartográfica RWD.

Fotografía 5-46 Cajuela S7



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4803387
Norte: 2732033
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-47 Cajuela S9



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4803397
Norte: 2730637
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-48 Cajuela T7



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4804104
Norte: 2732115
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-49 Cajuela T8



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4804093
Norte: 2731398
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-50 Cajuela T9



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4804061
Norte: 2730688
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-51 Cajuela U7



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4804785
Norte: 2732100
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-52 Cajuela U8



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4804820
Norte: 2731294
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-53 Cajuela U9



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4804684
Norte: 2730620
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-54 Cajuela U10



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4804736
 Norte: 2729941
 Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-55 Cajuela V8



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4805465
 Norte: 2731308
 Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Tabla 5-27 Descripción calicata de caracterización. Unidad cartográfica RWD.

UNIDAD CARTOGRÁFICA DE SUELO UNIDAD RWD	ESPESOR	DESCRIPCIÓN
<p>2022/4/26 08:50</p>	Horizonte A 0 – 20 cm	Color café pardo, textura arcillosa, estructura Blocosa, subangular, gruesa; consistencia en húmedo no friable, en mojado pegajosa y en húmedo plástica; baja cantidad de poros finos. Presencia de raíces, finas, vivas, localizadas en el horizonte; no presenta actividad de macroorganismos. pH 4,70, reacción muy fuertemente ácida.
	Horizonte B 20 – 100 cm	Color café oscuro, textura arcillosa, estructura en Bloques subangulares gruesos; consistencia en húmedo no friable, en mojado pegajosa y en húmedo ligeramente plástica; presencia de raíces finas en horizonte. Sin actividad de macroorganismos; límite gradual y plano. Profundidad efectiva 50 cm. pH 5,14, reacción fuertemente ácida.

Propiedades Químicas

El pH indica la condición ácida o alcalina de una muestra de suelo; el cual mostró valores de 4,70 y 5,14 para los horizontes A y B respectivamente, mostrando suelos muy fuertemente ácidos y fuertemente ácidos, siendo restrictivos para algunos cultivos, para su mejora se recomienda la aplicación de enmiendas.

Los macronutrientes se necesitan en grandes cantidades, los suelos pueden ser naturalmente pobres en nutrientes, o pueden llegar a ser deficientes debido a la extracción de los nutrientes por los cultivos a lo largo de los años, o cuando se utilizan variedades de rendimientos altos, las cuales son más demandantes en nutrientes que las variedades locales. Dentro del grupo de los macronutrientes, necesarios para el crecimiento de las plantas en grandes cantidades se encuentran el nitrógeno, fósforo y potasio. El Fosforo disponible registra concentraciones de 8,81 mg/kg, el Nitrógeno total reporta 0,17% y por último el Potasio registra concentraciones de 0,27 meq/100g. De manera general se evidencian concentraciones bajas de los tres nutrientes para el punto analizado.

La Capacidad de Intercambio Catiónico registra valores 23,21 meq/100g lo cual indica una CIC en valores medios, evidenciado con los contenidos medios de materia orgánica (2,17%) presente en los suelos caracterizados, esto puede influir en la absorción de nutrientes y su fertilidad.

La Salinidad es evaluada mediante varios parámetros, de los cuales el PSI presenta valores normales, la conductividad eléctrica registra valores de 0,08 dS/cm, estimados como normales de acuerdo con la tabla de consideraciones generales para interpretar los análisis de suelos del IGAC.

Tabla 5-28 Propiedades químicas unidad cartográfica RWD

Unidad Cartográfica de Suelo	pH (1:1):	Conductividad Eléctrica (1:5) (CE)	Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	% Sodio Intercambiable (PSI)	% de Saturación de bases	% de Saturación de Aluminio	RAS
	Unidades	dS/m	meq/100g	%	%	%	
Calicata 2 HA	4.70	0.08	23.21	2.60	98.41	1.59	1.86
Calicata 2 HB	5.14	0.06	27.20	8.01	99.21	0.79	9.51

Fuente: Dr. Calderón Labs 2022

Propiedades Físicas

La Densidad Aparente registra valores de 1,05 g/cm³, mientras que la Densidad Real viene dada por la relación existente entre el peso de los sólidos del suelo y el volumen de estos. Ésta reporta concentraciones ligeramente mayores correspondientes a valores de 1,79 g/cm³, estando acorde con las características texturales de los suelos analizados.

La Materia Orgánica reporta porcentajes de 2,77%, estando en rangos medios para climas cálidos.

El análisis textural indica de manera general que los suelos son de textura arcillosa, estando acorde con sus características de fertilidad baja y densidad aparente.

Tabla 5-29 Propiedades físicas unidad cartográfica RWD

Unidad Cartográfica de Suelo	Carbono Orgánico Total	Materia Orgánica	Densidad Aparente	Densidad Real	% de humedad
	%	%	g/cm ³	g/cm ³	
Calicata 2 HA	1.84	3.17	1.05	1.79	12.70
Calicata 2 HB	0.57	0.98	1.06	2.08	15.66

Fuente: Dr. Calderón Labs 2022

Verificación Protocolo de Louissiana

El pH como indicador de múltiples propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, influye directamente sobre la disponibilidad de nutrientes, se reporta un valor de pH 4,70 Unidades, las cuales se encuentran asociadas a suelos muy fuertemente ácidos, Normativamente, no cumple de manera con lo establecido por el rango de unidades, ya que registran valores fuera del límite de 6 Unidades a 9 unidades establecido en el Protocolo de Louisiana 29B.

La Salinidad medida en forma de conductividad eléctrica registra valores bajos de 0,08 dS/cm lo cual representa un bajo contenido de sales en el suelo evaluado, con respecto a la normatividad, se evidencia de manera indicativa un cumplimiento satisfactorio al límite máximo permisible de 4 dS/cm.

Según las medidas de sodicidad, el PSI (Porcentaje de Sodio Intercambiable) analizado se encuentra en valores de 2,60% inferior al 15% recomendado por el Protocolo de Louisiana 29B.

Los valores de Grasas y Aceites, Arsénico Total, Selenio Total, Bario Total, Mercurio Total, Plomo Total, Cadmio Total, Cromo Total y Cromo Hexavalente presentan valores dentro de los rangos permitidos en el protocolo de Louisiana 29B sin mostrar evidencia de suelos contaminados.

Tabla 5-30 Análisis de metales unidad cartográfica RWD

Unidad Cartográfica de Suelo	Grasas y Aceites:	Hidrocarburos	Arsénico Total:	Bario Total:	Mercurio Total:	Cadmio Total:	Plomo Total:
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Calicata 2 HA	384.60	336.52	0.44	213.40	<0.005	<0.20	12.03
Calicata 2 HB	288.43	216.32	0.76	461.52	<0.005	<0.20	12.40

Fuente: Dr. Calderón Labs 2022

Asociación Vertic Haplustepts – Fluventic Haplustepts – Typic Haplustepts. Símbolo RWG

Esta unidad cartográfica se encuentra en sectores del municipio de Ponedera, en clima cálido seco, temperatura promedio de 28°C, precipitación media anual de 1000 mm,

altitud entre 40 y 50 m y zona de vida de bosque seco tropical (bs-T). Estos suelos se han desarrollado a partir de materiales depositados por el río Magdalena y de materiales Coluvio aluviales transportados desde las lomas y colinas adyacentes. Se caracterizan por ser moderadamente profundos, moderadamente bien drenados, texturas finas, moderadamente finas y ácidos. Están dedicados a la ganadería extensiva con pastos naturales, generalmente en mal estado y cubiertos con rastrojos. La asociación la conforman los suelos clasificados como Vertic Haplustepts en un 50%, Fluventic Haplustepts en un 40% y por los Typic Haplustepts en un 10%.

A continuación, se muestran las cajuelas de observación ubicadas en la unidad cartográfica RWG.

Fotografía 5-56 Cajuela G7



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4795003
Norte: 2732112
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-57 Cajuela G8



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4794915
Norte: 2731356
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-58 Cajuela H7



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4795611
Norte: 2732120
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-59 Cajuela H8



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4795613
Norte: 2731383
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-60 Cajuela R11



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4802685
Norte: 2729221

Fotografía 5-61 Cajuela S11



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4803380
Norte: 2729177

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-62 Cajuela T10



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4804123
Norte: 2729907
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

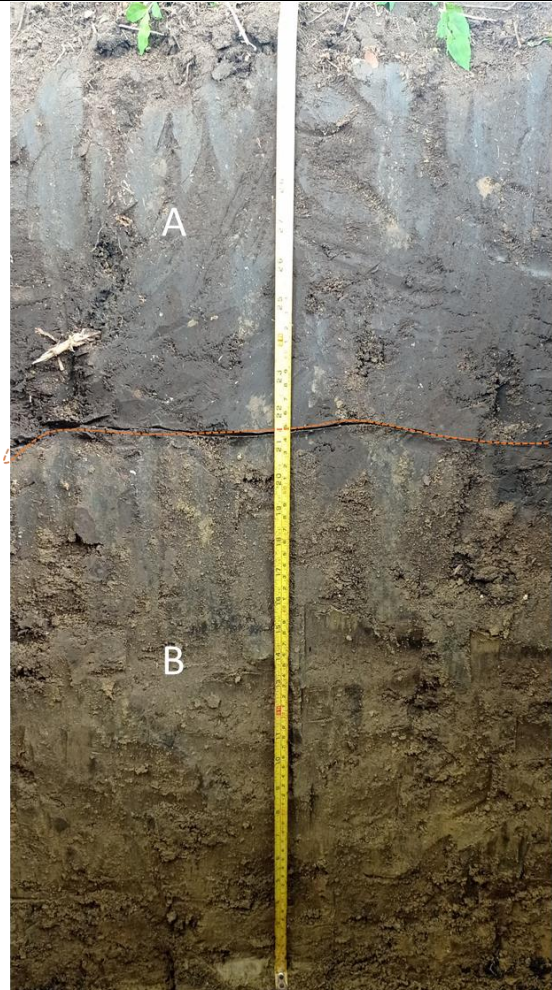
Fotografía 5-63 Cajuela T11



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4804064
Norte: 2729358
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Tabla 5-31 Descripción calicata de caracterización unidad cartográfica RWG.

UNIDAD CARTOGRÁFICA DE SUELO UNIDAD RWG	ESPESOR	DESCRIPCIÓN
	Horizonte A 0 – 45 cm	Color negro, textura arcillo limosa, estructura Blocosa, subangular, gruesa; consistencia en húmedo no friable, en mojado pegajosa y en húmedo ligeramente plástica; baja cantidad de poros finos. Poca presencia de raíces, finas, vivas, localizadas en el horizonte; no presenta actividad de macroorganismos. pH 5,11 reacción fuertemente ácida.

UNIDAD CARTOGRÁFICA DE SUELO UNIDAD RWG	ESPESOR	DESCRIPCIÓN
 <p>The photograph shows a soil profile with two horizons. Horizon A is the upper layer, appearing darker and more uniform. Horizon B is the lower layer, showing more texture and some roots. A yellow measuring tape is placed vertically next to the profile for scale. The labels 'A' and 'B' are placed within their respective horizons.</p>	<p>Horizonte B 45 – 100 cm</p>	<p>Color café amarillento, textura arcillosa, estructura en Bloques subangulares gruesos; consistencia en mojado pegajosa y ligeramente plástica. Sin actividad de macroorganismos, presencia de raíces finas, vivas hasta 57 cm de su profundidad efectiva; límite gradual y plano. pH 6,01, reacción moderadamente ácida.</p>

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Propiedades Químicas

El pH indica la condición ácida o alcalina de una muestra de suelo, con valores de 5,11 y 6,01 para los horizontes A y B respectivamente, mostrando suelos fuertemente ácidos y ligeramente ácidos, siendo restrictivos para algunos cultivos, para su mejora se recomienda la aplicación de enmiendas.

Los macronutrientes se necesitan en grandes cantidades, los suelos pueden ser naturalmente pobres en nutrientes, o pueden llegar a ser deficientes debido a la extracción de los nutrientes por los cultivos a lo largo de los años, o cuando se utilizan

variedades de rendimientos altos, las cuales son más demandantes en nutrientes que las variedades locales. Dentro del grupo de los macronutrientes, necesarios para el crecimiento de las plantas en grandes cantidades se encuentran el nitrógeno, fósforo y potasio. El Fosforo disponible registra concentraciones de 18,14 mg/kg, el Nitrógeno total reporta 0,16% y por último el Potasio registra concentraciones de 0,34 meq/100g. De manera general se evidencian concentraciones bajas de los tres nutrientes para el punto analizado.

La Capacidad de Intercambio Catiónico registra valores 17,49 meq/100g lo cual indica una CIC en valores medios, evidenciado con los contenidos medios de materia orgánica (3,89%) presente en los suelos caracterizados, esto puede influir en la absorción de nutrientes y la fertilidad.

La Salinidad es evaluada mediante varios parámetros, de los cuales el PSI presenta valores normales, la conductividad eléctrica registra valores de 0,11 dS/cm, estimados como normales de acuerdo con la tabla de consideraciones generales para interpretar los análisis de suelos del IGAC.

Tabla 5-32 Propiedades químicas unidad cartográfica RWG

Unidad Cartográfica de Suelo	pH (1:1):	Conductividad Eléctrica (1:5) (CE)	Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	% Sodio Intercambiable (PSI)	% de Saturación de bases	% de Saturación de Aluminio	RAS
	Unidades	dS/m	meq/100g	%	%	%	
Calicata 3 HA	5.11	0.11	17.49	3.12	99.06	0.94	2.91
Calicata 3 HB	6.01	0.18	17.30	10.12	100.00	N.A.	7.04

Fuente: Dr. Calderón Labs 2022

Propiedades Físicas

La Densidad Aparente registra valores de 1,14 g/cm³, mientras que la Densidad Real viene dada por la relación existente entre el peso de los sólidos del suelo y el volumen de estos. Ésta reporta concentraciones ligeramente mayores correspondientes a valores

de 1,92 g/cm³, estando acorde con las características texturales de los suelos analizados.

La Materia Orgánica reporta porcentajes de 3,89%, estando en rangos medios para climas cálidos.

El análisis textural indica de manera general que los suelos son de textura arcillo limosa, estando acorde con sus características de fertilidad baja y densidad aparente.

Tabla 5-33 Propiedades físicas unidad cartográfica RWG

Unidad Cartográfica de Suelo	Carbono Orgánico Total	Materia Orgánica	Densidad Aparente	Densidad Real	% de humedad
	%	%	g/cm ³	g/cm ³	
Calicata 3 HA	2.26	3.89	1.14	1.92	14.71
Calicata 3 HB	0.45	0.78	1.01	2.08	15.37

Fuente: Dr. Calderón Labs 2022

Verificación Protocolo de Louissiana

El pH como indicador de múltiples propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, influye directamente sobre la disponibilidad de nutrientes, se reporta un valor de pH 5,11 Unidades, las cuales se encuentran asociadas a suelos fuertemente ácidos, Normativamente, no cumple de manera indicativa con lo establecido por el rango de unidades, ya que registran valores inferiores al límite de 6 Unidades a 9 unidades establecido en el Protocolo de Louisiana 29B.

La Salinidad medida en forma de conductividad eléctrica registra valores bajos de 0,11 dS/cm lo cual representa un bajo contenido de sales en el suelo evaluado, con respecto a la normatividad, se evidencia de manera indicativa un cumplimiento satisfactorio al límite máximo permisible de 4 dS/cm.

Según las medidas de sodicidad, el PSI (Porcentaje de Sodio Intercambiable) analizado se encuentra en valores de 3,12% inferior al 15% recomendado por el Protocolo de Louisiana 29B.

Los valores de Grasas y Aceites, Arsénico Total, Selenio Total, Bario Total, Mercurio Total, Plomo Total, Cadmio Total, Cromo Total y Cromo Hexavalente presentan valores dentro de los rangos permitidos en el protocolo de Louisiana 29B sin mostrar evidencia de suelos contaminados.

Tabla 5-34 Análisis de metales unidad cartográfica RWG

Unidad Cartográfica de Suelo	Grasas y Aceites:	Hidrocarburos	Arsénico Total:	Bario Total:	Mercurio Total:	Cadmio Total:	Plomo Total:
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Calicata 3 HA	336.49	312.45	0.51	103.83	<0.005	<0.20	6.28
Calicata 3 HB	216.33	168.26	0.51	432.67	<0.005	<0.20	6.87

Fuente: Dr. Calderón Labs 2022

Consociación Typic Haplustalfs. Símbolo RWI

La unidad cartográfica se localiza en sectores del municipio de Ponedera, en clima cálido seco, temperatura promedio de 28°C, precipitación media anual de 1000 mm, altitud de 40 m y zona de vida de bosque seco tropical (bs-T). Geomorfológicamente se encuentra en las terrazas de nivel superior de la planicie aluvial del río Magdalena, en un relieve plano con pendientes no mayores al 3%. Se han originado estos suelos de materiales de textura gruesa posiblemente de origen eólico que recubren a depósitos aluviales (limo-arcillosos) y se caracterizan por ser moderadamente profundos, moderadamente bien drenados, texturas gruesas a moderadamente finas y muy fuertemente ácidos en superficie. Se utilizan estos suelos en ganadería extensiva. La consociación está conformada en un 90% por los suelos clasificados como Typic Haplustalfs y en un 10% como inclusión por los suelos Typic Ustipsamments.

A continuación, se muestran las cajuelas de observación ubicadas en la unidad cartográfica RWI.

Fotografía 5-64 Cajuela L8



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4798470
Norte: 2731342
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-65 Cajuela L9



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4798488
Norte: 2730642
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-66 Cajuela M7



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4799185
Norte: 2732110

Fotografía 5-67 Cajuela N7



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4799831
Norte: 2732062

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-68 Cajuela N8



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4799890
Norte: 2731460
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-69 Cajuela O7



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4800560
Norte: 2732072
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-70 Cajuela O8



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4800554
Norte: 2731359
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-71 Cajuela O9



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4800559
Norte: 2730719
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-72 Cajuela P6



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4801259
Norte: 2732824
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-73 Cajuela P7



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4801300
Norte: 2732035
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-74 Cajuela P8



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4790794
Norte: 2735476
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-75 Cajuela P9



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4801294
Norte: 2730668
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-76 Cajuela Q8



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4801939
Norte: 2731360
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-77 Cajuela Q10



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4801974
Norte: 2729900
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-78 Cajuela R7



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4790667
Norte: 2735674
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-79 Cajuela R8



Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4802651
Norte: 2731308
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Fotografía 5-80 Cajuela S6



*Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4803407
Norte: 2732770
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022*

Fotografía 5-81 Cajuela S8




*Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4803395
Norte: 2731370
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022*

Fotografía 5-82 Cajuela S10



*Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4803335 Norte: 2729935
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022*

Tabla 5-35 Descripción calicata de caracterización unidad cartográfica RWI.

UNIDAD CARTOGRÁFICA DE SUELO UNIDAD RWI	ESPESOR	DESCRIPCIÓN
	<p>Horizonte A 0 – 100 cm</p>	<p>Color amarillo pardo, textura arenosa, sin estructura, migajosa; consistencia en húmedo friable, en mojado no pegajosa. Media cantidad de poros finos. Buena presencia de raíces, finas, vivas, localizadas en los primeros 47 cm el horizonte; no presenta actividad de macroorganismos. pH 4,79, reacción muy fuertemente ácida.</p>

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Propiedades Químicas

El pH indica la condición ácida o alcalina de una muestra de suelo, con valores de 4,79, mostrando suelos muy fuertemente ácidos, siendo restrictivos para algunos cultivos, para su mejora se recomienda la aplicación de enmiendas.

Los macronutrientes se necesitan en grandes cantidades, los suelos pueden ser naturalmente pobres en nutrientes, o pueden llegar a ser deficientes debido a la extracción de los nutrientes por los cultivos a lo largo de los años, o cuando se utilizan variedades de rendimientos altos, las cuales son más demandantes en nutrientes que las variedades locales. Dentro del grupo de los macronutrientes, necesarios para el crecimiento de las plantas en grandes cantidades se encuentran el nitrógeno, fósforo y

potasio. El Fosforo disponible registra concentraciones de 1,87 mg/kg, el Nitrógeno total reporta 0,09% y por último el Potasio registra concentraciones de 0,07 meq/100g. De manera general se evidencian concentraciones bajas de los tres nutrientes para el punto analizado.

La Capacidad de Intercambio Catiónico registra valores menores de 4 meq/100g lo cual indica una CIC en valores bajos, evidenciado con los contenidos bajos de materia orgánica (1,41%) presente en los suelos caracterizados, esto puede influir en la absorción de nutrientes y en la fertilidad.

La Salinidad es evaluada mediante varios parámetros, de los cuales el PSI presenta valores normales, la conductividad eléctrica registra valores de 0,03 dS/cm, estimados como normales de acuerdo con la tabla de consideraciones generales para interpretar los análisis de suelos del IGAC.

Tabla 5-36 Propiedades químicas unidad cartográfica RWI

Unidad Cartográfica de Suelo	pH (1:1):	Conductividad Eléctrica (1:5) (CE)	Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	% Sodio Intercambiable (PSI)	% de Saturación de bases	% de Saturación de Aluminio	RAS
	Unidades	dS/m	meq/100g	%	%	%	
Calicata 1 Horizonte único	4.79	0.03	<4.00	4.64	55.81	44.19	2.21

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Propiedades Físicas

La Densidad Aparente registra valores de 1,14 g/cm³, mientras que la Densidad Real viene dada por la relación existente entre el peso de los sólidos del suelo y el volumen de estos. Ésta reporta concentraciones ligeramente mayores correspondientes a valores de 1,92 g/cm³, estando acorde con las características texturales de los suelos analizados.

La Materia Orgánica reporta porcentajes de 1,41%, estando en rangos medios para climas cálidos.

El análisis textural indica de manera general que los suelos son de textura arenosa, estando acorde con sus características de fertilidad baja y densidad aparente.

Tabla 5-37 Propiedades físicas. Unidad cartográfica RWI

Unidad Cartográfica de Suelo	Carbono Orgánico Total	Materia Orgánica	Densidad Aparente	Densidad Real	% de humedad
	%	%	g/cm3	g/cm3	
Calicata 1 Horizonte único	0.82	1.41	1.47	2.08	2.95

Fuente: Dr. Calderón Labs 2022

Verificación Protocolo de Louissiana

El pH como indicador de múltiples propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, influye directamente sobre la disponibilidad de nutrientes, se reporta un valor de pH 4,79 Unidades, las cuales se encuentran asociadas a suelos muy fuertemente ácidos, Normativamente, no cumple de manera indicativa con lo establecido por el rango de unidades, ya que registran valores inferiores al límite de 6 Unidades a 9 unidades establecido en el Protocolo de Louisiana 29B.

La Salinidad medida en forma de conductividad eléctrica registra valores bajos de 0,03 dS/cm lo cual representa un bajo contenido de sales en el suelo evaluado, con respecto a la normatividad, se evidencia de manera indicativa un cumplimiento satisfactorio al límite máximo permisible de 4 dS/cm.

Según las medidas de sodicidad, el PSI (Porcentaje de Sodio Intercambiable) analizado se encuentra en valores de 4,64% inferior al 15% recomendado por el Protocolo de Louisiana 29B.

Los valores de Grasas y Aceites, Arsénico Total, Selenio Total, Bario Total, Mercurio Total, Plomo Total, Cadmio Total, Cromo Total y Cromo Hexavalente presentan valores dentro de los rangos permitidos en el protocolo de Louisiana 29B sin mostrar evidencia de suelos contaminados.

Tabla 5-38 Análisis de metales unidad cartográfica RWI

Unidad Cartográfica de Suelo	Grasas y Aceites:	Hidrocarburos	Arsénico Total:	Bario Total:	Mercurio Total:	Cadmio Total:	Plomo Total:
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Calicata 1 Horizonte único	360.54	288.43	0.81	40.37	<0.005	<0.20	4.74

Fuente: Dr. Calderón Labs 2022

Consociación Udic Haplusterts. Símbolo RWE

La información cartográfica de esta unidad es tomada del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) del parque solar fotovoltaico Guayepo con capacidad de generación de 400mw, su línea de evacuación 500kv y bahía de conexión, al encontrarse en un área muy pequeña dentro de polígono sujeto a estudio.

La unidad cartográfica se localiza en sectores de los municipios de Ponedera, en clima cálido seco, temperatura promedio de 28°C, precipitación media anual de 1000 mm, altitud de 40 m y zona de vida de bosque seco tropical (bs-T). Geomorfológicamente, se encuentra en las terrazas de la planicie aluvial del río Magdalena, en un relieve plano a ligeramente plano y pendientes no mayores al 3%. Estos suelos se han originado a partir de depósitos aluviales finos (limo-arcillosos) y se caracterizan por ser moderadamente profundos, imperfectamente drenados, texturas finas, moderadamente ácidos a neutros y saturación de bases muy alta.

RWEa: Fase plana

Se caracterizan por un perfil del tipo Ap-B-C; el horizonte Ap tiene un espesor de 10 cm, es de color gris muy oscuro, textura fina y estructura de débil desarrollo. El B es de color gris oscuro a pardo grisáceo muy oscuro, estructura moderada a fuerte, abundantes sliques, textura arcillosa y un espesor de aproximadamente 150 cm; el horizonte C tiene un espesor de 20 cm, color pardo, textura arcillosa, sin estructura y con abundantes nódulos calcáreos. Son suelos de fácil agrietamiento durante el verano y encharcamientos de corta duración durante el invierno.

Según los análisis químicos son suelos moderadamente ácidos a neutros, saturación de bases Muy alta, capacidad catiónica de cambio alta, contenido de fósforo bajo a alto y fertilidad alta.

5.1.3.2 Clasificación agrológica del suelo

La clasificación agrológica es de carácter interpretativo y se fundamenta en los efectos combinados del clima ambiental y las características permanentes de los suelos sobre los riesgos de deterioro, las limitaciones en su uso, la capacidad de producción y los requerimientos de manejo del suelo.

Dependiendo del nivel de clasificación se valida la información del gradiente de la pendiente, grado de erosión, área afectada por movimientos en masa, profundidad efectiva, textura, pedregosidad superficial, fragmentos gruesos en el perfil, salinidad, sodicidad, saturación de aluminio, fertilidad, drenaje natural, frecuencia de las inundaciones y encharcamientos, temperatura ambiental, precipitación pluvial, frecuencia de heladas y vientos.

Esta clasificación asocia los suelos según el número y grado de limitaciones; está integrada por (8) ocho clases, en las cuales en la medida que aumentan las limitaciones, aumenta su valor numérico. En términos generales hay un (1) grupo de tierras con capacidad para ser utilizadas en agricultura y ganadería tecnificada (Clases 1 a 4); otro grupo de tierras que pueden ser utilizadas, en forma restringida, en actividades agrícolas, ganaderas, agroforestales y/o forestales (Clases 5-6-7) y el ultimo Tierras que deben ser utilizadas sólo en preservación, conservación y ecoturismo (Clase 8). Ver Tabla 5-39.

Tabla 5-39 Clasificación agrológica y uso potencial del suelo.

CLASES CAPACIDAD DE USO	Aumentan la intensidad de uso							
	Vida silvestre	Pastoreo o forestal			Cultivo			
		Limitado	Moderado	Intensivo	Limitado	Moderado	Intensivo	Muy intensivo
1								
2								
3								
4								
5								
6								

7		
8		

Aumentan las limitaciones y riegos en sentido vertical y disminuye la adaptabilidad y la libertad para la elección para el uso en el mismo sentido.

Adicional, a la clase se le designa una o varias subclases dependiendo de la limitación del suelo, ya sea por suelo(s), topografía (t), drenaje (h), erosión © o clima ©. Las limitaciones consideradas son:

Pendiente (p): Se refiere al grado de inclinación de la pendiente, expresada en porcentaje.

Erosión ©: Este factor incluye los efectos de la erosión que limitan la capacidad de uso o exigen prácticas de manejo especiales.

Suelo (s): Se refiere a limitaciones físicas o químicas que presenta el suelo, las cuales dificultan o impiden el laboreo y el desarrollo y penetración de las raíces de las plantas

Humedad (h): Hace relación al exceso de humedad sobre el suelo o dentro del mismo, ocasionado por el drenaje natural, el nivel freático y los encharcamientos e inundaciones.

Clima ©: Se refiere a temperaturas bajas, heladas frecuentes, deficiencia o exceso de lluvias durante la mayor parte del año, que no permiten la siembra de cultivos.

A continuación, en la Tabla 5-40 se describen las clases agrológicas correspondientes al área de influencia, y en la Figura 5-19 se presenta la distribución espacial correspondiente.

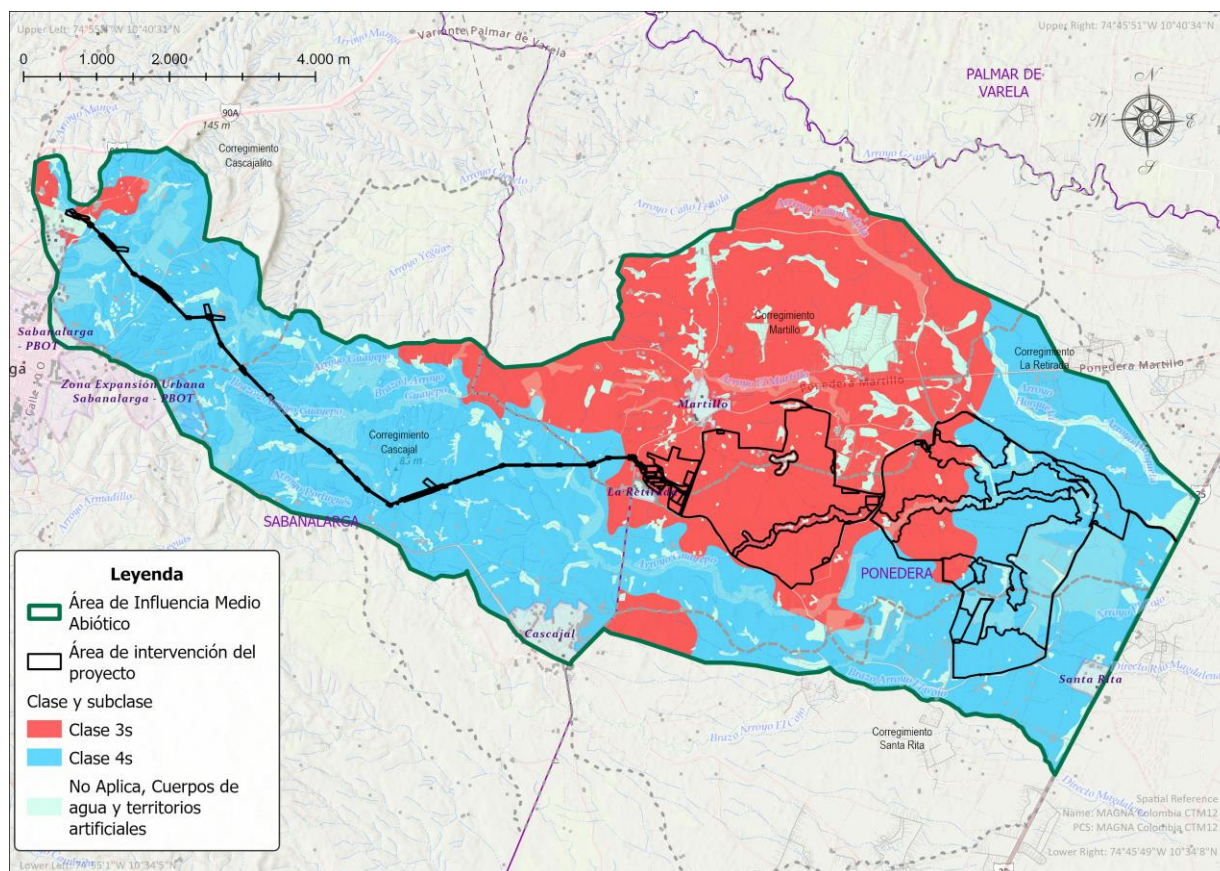
Tabla 5-40 Clasificación agrológica del suelo dentro del área de estudio

UNIDAD DE SUELO	CLASE AGROLOGICA	PRINCIPALES LIMITANTES	ÁREA (HA)	% DE PARTICIPACIÓN
LWAb	3s	El clima es la limitante de mayor incidencia, debido a la baja precipitación y alta evapotranspiración, tienen profundidad efectiva moderada debido a la presencia de horizontes duros y sales después de los 70 cm de profundidad y encharcamientos durante el periodo de invierno de corta duración.	2360,5	35,3%
RW1a				
LWBc	4s		3667,2	54,8%

LWCo				
RWDa		Profundidad efectiva superficial, horizontes de consistencia dura y drenaje natural imperfecto.		
RWEa				
RWGa				
CA	No aplica	Cuerpo de agua	470,9	7,0%
TAT	No aplica	Territorios artificializados	193,5	2,9%
TOTAL			6692,1	100%

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Figura 5-19 Clasificación agrológica



Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

5.1.3.3 Uso actual de los suelos

Concepto que hace referencia de forma directa a la dinámica tanto natural como antrópica que se genera entorno a los usos que le da el hombre a la cobertura del suelo,

ya sea con fines productivos, infraestructura, vivienda, comunicaciones o de protección y conservación principalmente.

La determinación del uso actual de los suelos se sustenta en la agrupación o redefinición de las diferentes coberturas identificadas, con base en la funcionalidad de estas, lo cual se traduce en sectores que manifiestan los mismos patrones de explotación o prestación de servicios ambientales, desarrollos urbanos o simplemente comportamientos poblacionales.

Los usos actuales del suelo fueron determinados con base en las coberturas de la tierra encontradas en el EIA Parque Solar Fotovoltaico Guayepo 400 Mw su Línea de Evacuación de 500 Kv y bahía de conexión de 2020, al no identificar modificaciones, verificadas en el trabajo de campo.

NOMENCLATURA	COBERTURA	USOS DEL SUELO
111	(Tuc) Tejido urbano continuo	Zona urbana (TAT)
112	(Tud) Tejido urbano discontinuo	Zona urbana (TAT)
211	(Oct) Otros cultivos transitorios	Cultivos permanentes semi-intensivos (CPS)
231	(PI) Pastos limpios	Pastoreo intensivo (PIN)
232	(Pa) Pastos arbolados	Pastoreo intensivo (PIN)
314	(Bgr) Bosque de galería y ripario	Sistemas forestales protectores (FPR)
512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	Áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación (CRE)
513	© Canales	Áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación (CRE)
514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	Áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación (CRE)
1211	(Zi) Zonas industriales	Industrial (TAT)
1221	(Rv) Red vial y territorios asociados	Transporte (TAT)
1422	(Ad) Áreas deportivas	Recreacional (Ad)
2213	(Plat) Plátano y Banano	Pastoreo intensivo (PIN)
2231	(Ocpb) Otros cultivos permanentes arbóreos	Cultivos permanentes semi-intensivos (CPS)
2234	(Mng) Mango	Cultivos permanentes intensivos (CPI)
3132	(Bfvs) Bosque fragmentado con vegetación secundaria	Sistemas forestales protectores (FPR)
3152	(Plat) Plantación de latifoliadas	Sistema forestal productor (FPD)

3232	(Vsb) Vegetación Secundaria Baja	Sistemas forestales protectores (FPR)
4111	(Zpn) Zonas Pantanosas naturales	Áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación (CRE)
4112	(Zpn) Zonas Pantanosas artificializadas	Áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación (CRE)
5143	(Eac) Estanques para acuicultura continental	Piscicultura (Eac)

En la **Tabla 5-41** se presenta el uso actual del suelo dentro del área de influencia y en la **Figura 5-20** su distribución espacial.

Tabla 5-41 Usos del suelo

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Tabla 5-42 Áreas usos del suelo

USO ACTUAL			
NOMENCLATURA	USO ACTUAL	ÁREA (HA)	%
AD	Recreacional	11,26	0,2%
C	Servicios	0,66	0,0%
CAA	Servicios	57,07	0,9%
CPS	Cultivos permanentes semi-intensivos (CPS)	35,39	0,5%
CRE	Áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación (CRE)	1559,00	23,3%
CTS	Cultivos transitorios semi-intensivos (CTS)	5,50	0,1%
EAC	Piscicultura	2,58	0,0%
FPD	Sistema forestal productor (FPD)	6,88	0,1%
PEX	Pastoreo extensivo (PEX)	4763,36	71,2%
RV	Transporte	66,85	1,0%
ZI	Industrial	29,10	0,4%
ZPA	Servicios	39,07	0,6%
ZU	Residencial	115,40	1,7%
Total		6692,11	100%

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

A continuación, se hace la descripción de los usos del suelo encontrado en las coberturas en el área de influencia.

5.1.3.3.1 Zona urbana (Tejido urbano continuo, tejido urbano discontinuo)

Son las áreas que corresponden a las ciudades, poblaciones y las zonas aledañas que se encuentran en un proceso progresivo de urbanización o de cambio del uso del suelo hacia fines comerciales, industriales, de servicios y recreativos. (Ver Fotografía 5-83 y Fotografía 5-84)

Fotografía 5-83 Tejido urbano continuo



Iglesia San Pedro de Padua, Municipio de Sabanalarga

Georreferencia: (Nacional):

E4804282; N2729546

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

Fotografía 5-84 Tejido urbano discontinuo sector Cascajalito-Chocorito



Caserío

Vereda Cascajalito Chocorito

Georreferencia: (Nacional):

E4791555; N2733665

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

5.1.3.3.2 Zonas industriales

Esta cobertura comprende la infraestructura de la estación eléctrica de Sabanalarga, ubicada en la vía de la cordialidad.

Fotografía 5-85 Zonas industriales



Subestación Sabanalarga
Vereda Cascajalito Chocorito
Georreferencia: (Nacional):
E4799017; N2731722

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

5.1.3.3.3 Transporte (Red vial)

Hace referencia a las vías veredales tipo cuatro según el INVIAS, esta red vial comunica corregimientos como La Retirada en el municipio de Sabanalarga con Santa Rita en el municipio de Ponedera y demás corregimientos que comunican a las cabeceras municipales, actualmente sin pavimentar. Adicionalmente se encuentra la vía que comunica el municipio de Sabanalarga con el municipio de Ponedera, pasando por los corregimientos de Cascajal, La Retirada y Martillo, finalmente en el sector de la estación de Sabanalarga se encuentra la vía La Cordialidad, que comunica las ciudades de Barranquilla con Cartagena.

Fotografía 5-86 Red vial



Vía Sabana larga – Cascajal

Vereda Cascajal

Georreferencia: (Nacional):

E4799184; N2732422

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

5.1.3.3.4 Recreacional (Áreas deportivas)

Son los terrenos dedicados a las actividades de deporte y otras actividades de recreación y esparcimiento, no incluidos dentro del territorio urbano.

Fotografía 5-87 Áreas deportivas



Villa Olímpica

Municipio de Sabana Larga

Georreferencia: (Nacional):

E 4790855– N2735082

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

5.1.3.3.5 Cultivos permanentes semi intensivos (Otros cultivos transitorios – Otros cultivos permanentes arbóreos)

Cómo lo indica la metodología de Corine Land Cover adaptada para Colombia, corresponde a la cobertura vegetal conformada por especies de porte bajo herbáceo/arbustivo, establecidas para proporcionar alimento principalmente a la población humana, estas se pueden encontrar asociadas a cultivos, pastos, entre otra.

Fotografía 5-88 Plátano y Banano

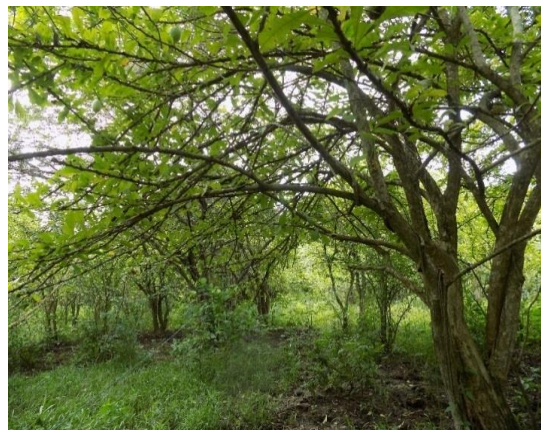


Cultivo de plátano
Vereda Mojan

Georreferencia: (Nacional):
E4799188; N2732414

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

Fotografía 5-89 Otros cultivos permanentes arbóreos



Cultivo de totumo – *Crescentia cujete*
Vereda Guayepo – Predios Manjarrez
Georreferencia: (Nacional):
E4804189; N2732163

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

5.1.3.3.6 Cultivos permanentes intensivos (Cultivo de Mango)

Cobertura que comprende los terrenos dedicados al cultivo de Mango (*Manguifera indica*), estas destinadas para el comercio en los mercados municipales cercanos y también como parte de la seguridad alimentaria de las familias productoras de este cultivo.

Fotografía 5-90 Cultivo de mango



Cultivo de mango *Manguifera indica*
Vereda Cascajal
Georreferencia: (Nacional):
E4795206; N2734723
Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

5.1.3.3.7 Pastoreo intensivo (Pastos limpios – Pastos arbolados – Plátano y banano)

Comprende las extensiones de tierra ocupadas por pastos limpios destinadas para la ganadería extensiva, en las cuales se limita la aparición de otras formaciones vegetales, esto a consecuencia de las técnicas de manejo adoptadas por los lugareños de las unidades territoriales del área de influencia, como son limpieza, control integrado, fertilización entre otras.

Fotografía 5-91 Pastos limpios



Pastos limpios Sector la retirada. Vereda Mojan
Georreferencia: (Nacional):
E4798301; N2732696

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

5.1.3.3.8 Área para la conservación y/o recuperación de la naturaleza (Lagunas, lagos y ciénagas naturales, canales, cuerpos de agua artificiales, Zonas Pantanosas naturales, Zonas Pantanosas artificializadas)

Comprende diversos grupos de coberturas vegetales, lagunas, lagos y ciénagas naturales, canales, cuerpos de agua artificiales, zonas Pantanosas naturales y zonas Pantanosas artificializadas.

Fotografía 5-92 Lagunas



Laguna
Vereda Cascajal
Georreferencia: (Nacional):
E 4797462 – N 2731753
Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

5.1.3.3.9 Sistemas forestales protectores (Bosque de galería y ripario – bosque fragmentado con vegetación secundaria – Vegetación secundaria baja)

Comprende diversos grupos de coberturas vegetales de tipo boscoso, arbustivo y herbáceo, desarrollados en diferentes sustratos y pisos altitudinales, los cuales son resultado de procesos climáticos.

Fotografía 5-93 Bosque fragmentado con vegetación secundaria



Bosque fragmentado con vegetación secundaria. Vereda Nuevo Santa Rita
Georreferencia: (Nacional):
E 4803744; N 2730019
Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

Fotografía 5-94 Bosque de galería y/o ripario



Bosque de galería y/o ripario . Vereda Cascajal
Georreferencia: (Nacional):
E 4796107; N 2733032

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

5.1.3.3.10 Sistema forestal productor (Plantación de latifoliadas)

Esta cobertura se encuentra asociada a diversas áreas de producción forestal realizadas por propietarios de terrenos con estas plantaciones con el objetivo de producir madera, se observan las plantaciones en un buen estado general de mantenimiento y fitosanitario, estas se encuentran ubicadas en el municipio de Sabanalarga principalmente, son plantaciones forestales comprendidas por especies como la Teca (*Tectona grandis* L. f.), *Gmelina arborea* (melina) Ceiba Colorada (*Pachira quinata* (Jacq.) WSAIverson) y Eucalipto (*Eucalyptus grandis* W.Hill).

Fotografía 5-95 Plantación de latifoliadas



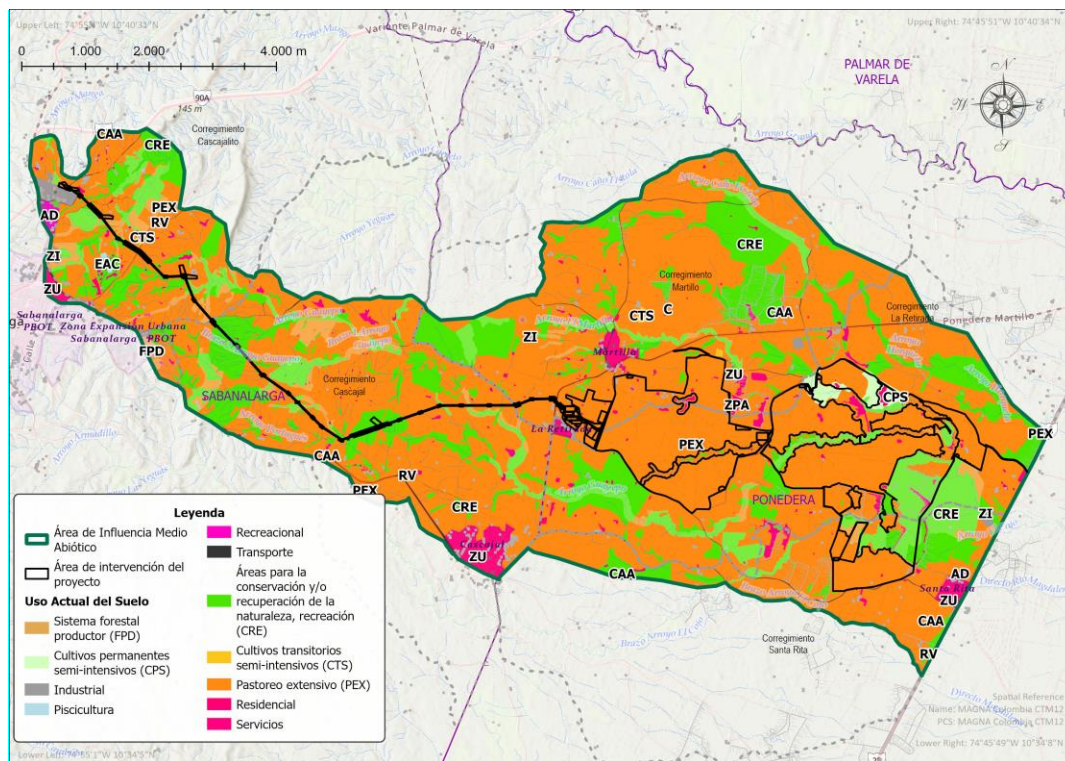
Plantación de latifoliadas (*Paquira quinata*)
Vereda Cascajalito – Chocorito
Georreferencia: (Nacional):
E 4792696 – N 2732752



Plantación de latifoliadas (*Gmelina arborea*)
Vereda Cascajalito – Chocorito
Georreferencia: (Nacional):
E 4792512 – N 2733002

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

Figura 5-20 Uso actual del suelo

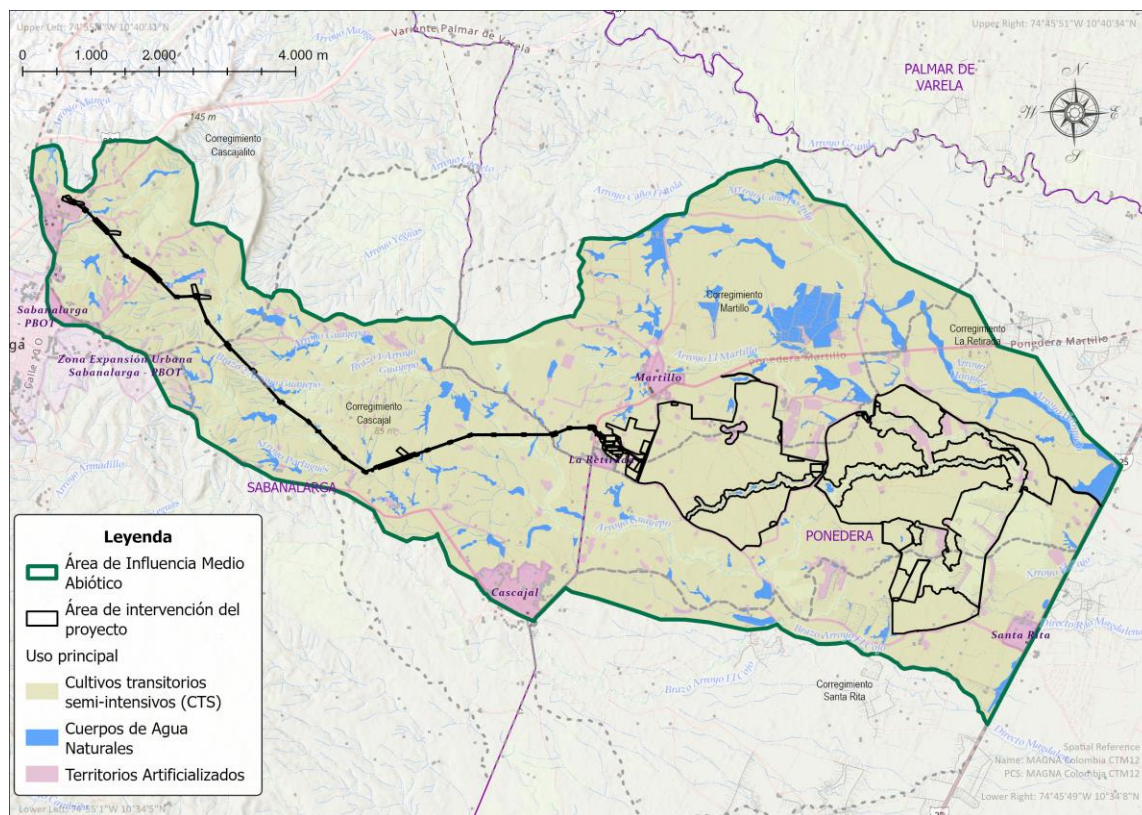


Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

5.1.3.4 Capacidad de uso del suelo

Este sistema agrupa los suelos que tienen las mismas limitaciones para su utilización y a su vez respuestas similares a iguales prácticas de manejo. El objetivo fundamental de la agrupación se centra en que los usos agrícolas, ganaderos y forestales no sólo se lleven a efecto en tierras con esas aptitudes, sino que se desarrollen sin degradarlas, lo que significa que los programas del sector agropecuario deben ceñirse estrictamente a los postulados del desarrollo sostenible. En la Figura 5-21 se presenta la distribución espacial de la capacidad de uso del suelo en el área de influencia del medio abiótico para la modificación de licencia ambiental.

Figura 5-21 Capacidad de uso del suelo



Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

A continuación, en la Tabla 5-43 se presenta la capacidad del suelo correspondiente al área de influencia.

Tabla 5-43 capacidad de uso del suelo

NOMENCLATURA	TIPO DE USO POTENCIAL	UNIDAD DE SUELO	ÁREA (HA)	%
CTS	Cultivos transitorios semi-intensivos Agricultura con cultivos adaptados a las condiciones medioambientales de la zona.	LWAb	5998,6	89,6%
		RWla		
		LWBc		
		LWCc		
		RWDa		
		RWEa		
		RWGa		
CA	Cuerpo de agua natural	CA	374,1	5,6%
TAT	Territorios artificializados	CA TAT	319,4	4,8%
TOTAL			6692,1	100,0%

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

5.1.3.5 Conflictos de uso del suelo

La comparación para determinar el conflicto de uso del suelo se realiza tomando una tabla bidimensional de decisión, con la cual se valora cada una de unidades cartográficas con su Uso Actual en relación con su Capacidad de Uso, obteniéndose, las clases de conflicto y su respectiva intensidad. Ver Tabla 5-44.

Tabla 5-44 Tabla de decisión para determinar conflictos de uso de los suelos según CORPOICA

CAPACIDAD DE USO - VOCACIÓN DE TIERRAS			USO ACTUAL												
			Agrícola				Agroforestal			Ganadera			Forestal		Conservación
			Cultivos transitorios intensivos	Cultivos transitorios semi-intensivos	Cultivos permanentes intensivos	Cultivos permanentes semi-intensivos	Sistemas agrosilvícolas	Sistemas agrosilvopastoriles	Sistemas silvopastoriles	Pastoreo intensivo	Pastoreo semi-intensivo	Pastoreo extensivo	Sistema forestal productor	Sistemas forestales protectores	
			CTI	CTS	CPI	CPS	AGS	ASP	SPA	PIN	PSI	PEX	FPD	FPR	CRE
Agrícola	Cultivos transitorios intensivos	CTI	A	A	S2	S2	S2	S3	S3	S1	S2	S3	S3	S3	S3
	Cultivos transitorios semi-intensivos	CTS	A	A	S1	S1	S2	S3	S3	S1	S2	S3	S3	S3	S3
	Cultivos permanentes intensivos	CPI	A	A	A	S1	S2	S3	S3	S1	S2	S3	S3	S3	S3
	Cultivos permanentes semi-intensivos	CPS	O1	A	O1	A	A	S2	S2	O1	S2	S2	S1	S3	S3
Agroforestal	Sistemas agrosilvícolas	AGS	O3	O1	O2	O1	A	S1	S2	O2	S1	S1	A	S2	S2
	Sistemas agrosilvopastoriles	ASP	O3	O1	O2	O1	O1	A	A	O2	S1	S1	A	S2	S2
	Sistemas silvopastoriles	SPA	O3	O2	O3	O2	O2	O1	A	O2	A	A	O2	S2	S2
Ganadera	Pastoreo intensivo	PIN	O1	O1	O1	O1	O1	S1	S1	A	S1	S2	S1	S3	S3
	Pastoreo semi-intensivo	PSI	O2	O1	O3	O2	O2	O1	A	O1	A	A	O1	S2	S2
	Pastoreo extensivo	PEX	O3	O3	O3	O3	O1	O1	O1	O3	S1	A	O1	S2	S2
Forestal	Sistema forestal productor	FPD	O3	O2	O3	O3	O1	O1	O1	O3	O2	O1	A	A	A
	Sistemas forestales protectores	FPR	O3	O3	O3	O3	O2	O2	O2	O3	O2	O2	A	A	A
Conservación	Áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación	CRE	O3	O3	O3	O3	O3	O3	O3	O3	O3	O3	A	A	A

Fuente: IGAC- Corpoica 2002, ajustada a los requerimientos definidos en la Geodatabase – Resolución 2182 de 23 de Diciembre de 2016

Se entiende como usos compatibles aquellos que están de acuerdo con la vocación de uso principal recomendado, y que guardan las características de productividad, bajo criterios de conservación o preservación de los recursos. Para poder hacer esta confrontación es necesario adecuar la cualificación de las clases de uso actual y cobertura, en términos de las clases de vocación de uso principal o capacidad de uso, para comparar niveles similares dentro de la estructura.

La metodología de determinación de conflictos de uso del suelo establece una estructura compuesta por tres (3) clases de conflictos, dos (2) de ellas subdivididas en tres (3) intensidades de acuerdo con la mayor o menor discrepancia en el uso que presenten las combinaciones de pares (vocación actual de uso, uso actual) incluidas en la clase de conflicto. Las clases corresponden a evaluaciones que permiten establecer el uso adecuado (sin conflicto), conflicto por subutilización y conflicto por sobreutilización; cada uno calificado por su grado de intensidad: ligero, moderado, severo.

En la Figura 5-22 se presenta la clasificación de los conflictos de uso encontrados en el área de estudio, que resultan de aplicar a cada una de las categorías de capacidad de uso y uso potencial y las diferentes actividades de uso actual que se mencionan en la tabla anterior.

Es de aclarar que este sistema ha sido diseñado exclusivamente para usos agropecuarios; los usos de red vial, recreación, industrial, servicios y zona urbana han sido catalogados como tierras sin conflicto, al primar el interés de la comunidad sobre el uso del suelo.

De acuerdo con el uso potencial y el tipo de uso actual del suelo, se calificaron las variables correspondientes a estos parámetros, dando como resultado tres (3) tipos de conflicto, que dependen principalmente del uso y manejo del suelo y del manejo adecuado de los recursos naturales renovables y no renovables, que permiten la concordancia y el equilibrio sistémico de la zona.

En la Tabla 5-45 se presentan las áreas y porcentajes de conflictos de uso del suelo correspondientes al área de estudio, mostrando que las zonas con conflicto por subutilización severa presentan mayor área de ocupación, con un 88,99%, seguido de conflicto por Tierras sin conflicto de uso o uso adecuado con 10,48% y en menor proporción zonas con conflicto por subutilización ligera en un 0,53%.

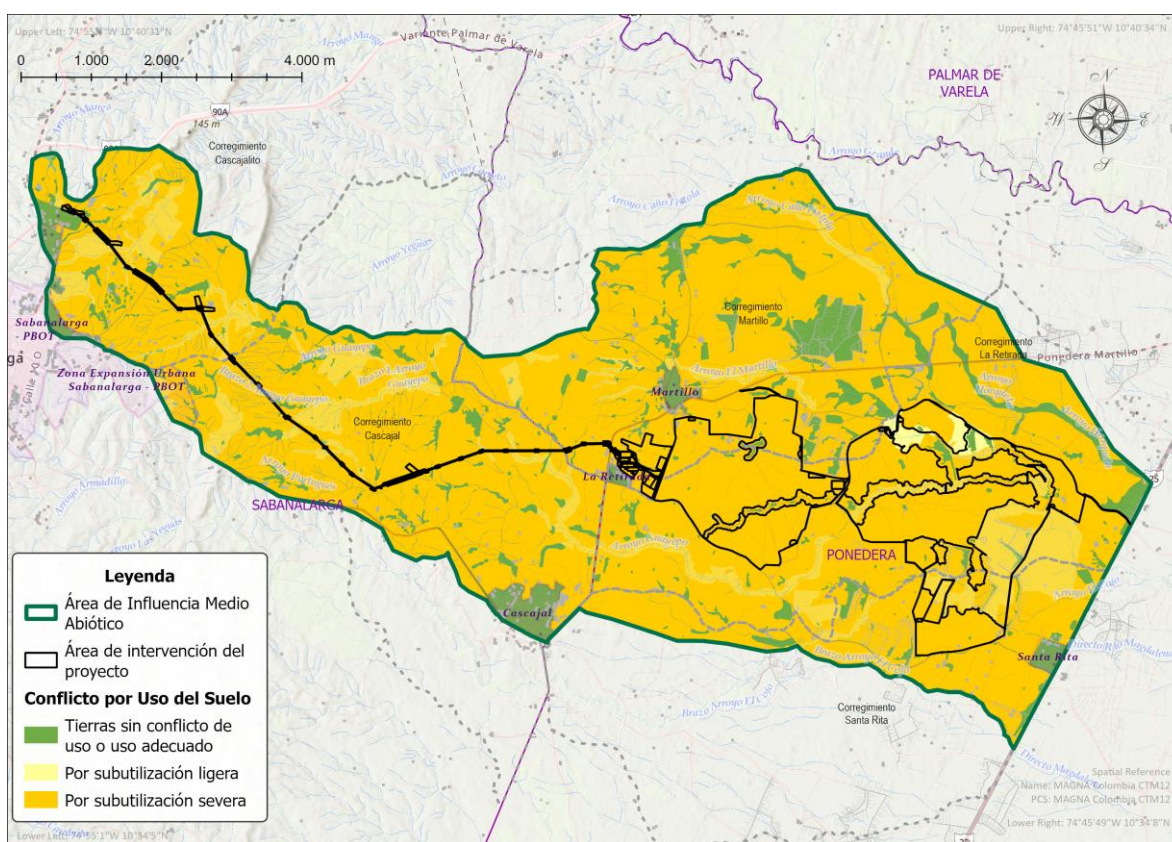
Tabla 5-45 Conflictos de uso de los suelos dentro del área de estudio

CONFLICTO DE USO DE SUELO

CONFLICTO DE USO	NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN	ÁREA AI (Ha)	% AI
Tierras sin conflicto de uso o uso adecuado	A	Tierras con uso actual adecuado	701,5	10,48%
Por subutilización ligera	S1	Suelos con uso actual en Cultivos permanentes intensivos (CPI), Cultivos permanentes semi-intensivos (CPS) y Pastoreo intensivo (PIN) en suelos cuya capacidad de uso es para Cultivos transitorios semi-intensivos (CTS) según sus características físico-químicas.	35,4	0,53%
Por subutilización severa	S3	Suelos con uso actual en Sistema forestal productor (FPD) y Sistemas forestales protectores (FPR) en suelos cuya capacidad de uso es para Cultivos transitorios semi-intensivos (CTS) según sus características físico-químicas.	5955,2	88,99%
TOTAL			6692,1	100%

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Figura 5-22 Conflicto de uso del suelo



Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

5.1.3.6 Estado actual de los suelos

5.1.3.6.1 Análisis de degradación de suelos

A continuación, se muestran los ítems analizados en la verificación del estado actual de los suelos.

5.1.3.6.1.1 Análisis de metales

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los análisis químicos del suelo para la modificación, se puede decir que los metales no sobrepasan los límites permisibles según lo estipulado en el Protocolo Internacional de Louisiana 29B. Ver numeral 5.1.3.1 Descripción de unidades cartográficas.

Tabla 5-46 Resultados de análisis químico para metales

Unidad Cartográfica de Suelo	Grasas y Aceites:	Hidrocarburos	Arsénico Total:	Bario Total:	Mercurio Total:	Cadmio Total:	Plomo Total:
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Calicata 5 HA	240.36	216.32	0.41	317.29	<0.005	<0.20	15.09
Calicata 5 HB	240.38	216.34	0.41	109.62	<0.005	<0.20	9.03
Calicata 6 HA	264.41	264.41	1.69	86.51	<0.005	<0.20	15.80
Calicata 6 HB	168.24	120.17	0.91	103.81	<0.005	<0.20	7.87
Calicata 4 HA	288.42	240.35	0.42	69.21	<0.005	<0.20	3.67
Calicata 4 HB	264.39	240.36	1.80	92.29	<0.005	<0.20	3.53
Calicata 2 HA	384.60	336.52	0.44	213.40	<0.005	<0.20	12.03
Calicata 2 HB	288.43	216.32	0.76	461.52	<0.005	<0.20	12.40
Calicata 3 HA	336.49	312.45	0.51	103.83	<0.005	<0.20	6.28
Calicata 3 HB	216.33	168.26	0.51	432.67	<0.005	<0.20	6.87
Calicata 1	360.54	288.43	0.81	40.37	<0.005	<0.20	4.74

Fuente: Dr. Calderón Labs 2022

5.1.3.6.2 Análisis de fertilidad del suelo

La fertilidad natural del suelo se define como la cualidad que tiene el suelo para proporcionar los nutrientes necesarios para el normal desarrollo de las plantas. Esta condición se determina en el laboratorio mediante análisis químicos; sin embargo, esta información debe ser complementada en el campo con observaciones sobre el desarrollo de los cultivos y la naturaleza del material parental, ya que los análisis indican solamente los elementos disponibles en el momento actual y no la capacidad de los materiales del suelo para liberar en forma constante estos elementos.

La evaluación de la fertilidad se hizo a partir de los datos obtenidos en la caracterización físico-química (Ver Anexo 5.1.3 Suelos-Resultados de laboratorio), en donde se dio mayor énfasis a las variables químicas como grado de pH, Capacidad de Intercambio Cationico (CIC), Porcentaje de saturación de bases, Porcentaje de materia orgánica, Fósforo y Potasio.

El cálculo de la fertilidad de los suelos se desarrolló bajo la metodología del Instituto Geográfico Agustín Codazzi. La cual se realiza hasta los primeros 50 cm de profundidad del suelo, se divide en dos secciones de 25 cm cada una, teniendo los primeros 25 cm un peso sobre la evaluación del 70 % y los segundos 25 centímetros el 30%.

Apoyados en la Tabla 5-47 de evaluación de fertilidad de suelos del departamento Agrológico del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, a cada uno los parámetros químicos promediados se le asigna un valor a fin de tener el dato de F1 y F2 para luego desarrollar la fórmula y obtener la fertilidad total (Tabla 5-48). Los cálculos del análisis de la fertilidad se presentan en el Anexo 5.1.3 Suelos.

$$FT = (0,7 F1 + 0,3 F2) K$$

Tabla 5-47 Evaluación de la fertilidad de los suelos.

pH Agua 1:1		Rango Puntaje	< 4.5; > 8.5 1	4.6-5.0; 7.9-8.4 2	5.1-5.5; 7.4-7.8 3	5.6 – 6.0 4	6.1- 7.3 5
Saturación de Aluminio %		Rango Puntaje	> 60 1	60 – 30 2	29 – 15 3	14 – 5 4	< 5 5
Capacidad de Cambio me/100 g AcNH. En pH7		Rango Puntaje	< 5 1	5- 10 2	11 – 15 3	16 – 20 4	> 20 5
BASES	Porcentaje Saturación	Rango Puntaje	< 10 0.5	10-35 1.0	36-50 1.5	51-70 2.0	> 70 2.5
	Totales me/100g	Rango Puntaje	< 4 0.5	4-8 1.0	8.1-12 1.5	12.1-16 2.0	>16 2.5
% CARBÓN ORGÁNICO	Clima Frío	Rango Puntaje	< 1.3 1	1.4-2.6; >10 2	2.7-4.0;8.1-10 3	4.1-5.2;8.0-6.6 4	5.3-6.5 5
	Clima Medio	Rango Puntaje	< 0.5 1	0.6-1.7; >7.6 2	1.8-2.9;6.5-7.6 3	3.0-4.1;5.4-6.5 4	4.2-5.3 5
	Clima Cálido	Rango Puntaje	< 0.2 1	0.2-0.5 2	0.51-1.7 3	1.71-2.9 4	> 3.0 5
Fósforo ppm Bray gb II		Rango Puntaje	< 10 1	10-20 2	21-30 3	31-40 4	> 40 5
Potasio me/100g		Rango Puntaje	< 0.1 1	0.1-0.2 2	0.21-0.3 3	0.31-0.4 4	> 0.4 5

Fuente: IGAC 2010.

Tabla 5-48 Cálculo de fertilidad

FT =	Fertilidad total
F1 =	Fertilidad 0 – 25 cm
F2 =	Fertilidad 25 – 50 cm
K =	0.285
X ₁ =	Salinidad y/o sodio 0 – 25 cm
X ₂ =	Salinidad y/o sodio 25 – 50 cm
1.	Fertilidad en suelos normales:
	$FT = (0.7 F_1 + 0.3 F_2) K$
2.	Fertilidad en suelos salinos y/o sódicos
	$FT = K [(0.7 (F_1 - X_1) + 0.3 (F_2 - X_2))]$

Fuente: IGAC 2010.

Los rangos de valoración de la fertilidad total (FT) son:

Tabla 5-49 Rangos de valoración de la Fertilidad total (FT)

VALORES	CALIFICACIÓN
>8.4	Muy alta
8.3-6.8	Alta
6.7-5.2	Moderada
5.1-3.6	Baja
<3.6	Muy baja

Fuente: IGAC 2010

En la Tabla 5-50 y en el Anexo 5.1.3 suelos – Fertilidad, se presentan los resultados del análisis de fertilidad dentro del área de influencia del medio abiótico, dando a conocer que los suelos presentan fertilidades altas y muy altas según los resultados de laboratorio analizados.

Tabla 5-50 Análisis de fertilidad

UNIDAD DE SUELOS	CLASE	CALIFICACIÓN
LWAa	Muy alta	10,94
LWBc	Muy alta	8,49
LWCc	Muy alta	10,84
RWDa	Alta	7,24
RWGa	Muy alta	8,84
RWla	Muy baja	2,09

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

5.1.3.6.3 Compactación del suelo

La compactación del suelo se define como la pérdida de volumen que experimenta una determinada masa de suelo, debido a fuerzas externas que actúan sobre él. En condiciones naturales (sin intervención antrópica) se pueden encontrar en el suelo horizontes con diferentes grados de compactación, lo que se explica por las condiciones que dominaron durante la formación y la evolución del suelo. Sin embargo, es bajo condiciones de uso agrícola intensivo que este fenómeno se acelera y llega a producir serios problemas en el desarrollo de las plantas cultivadas.

Los principales factores en la actividad agrícola que tienen incidencia en la compactación son:

- Implementos de labranza del suelo.
- Cargas producidas por los neumáticos de tractores e implementos de arrastre.
- Pisoteo de animales.

Para el caso del área de influencia la compactación será determinada por medio de la densidad aparente y la profundidad efectiva, dado que está asociada con la presencia de capas de muy baja aireación y alta densidad aparente, puede ser ocasionada por

fenómenos de endurecimiento y acumulación arcillosa; estos fenómenos responden quizás a procesos genéticos evolutivos o son simplemente una resultante del manejo de los suelos. Estas circunstancias repercuten en las propiedades físicas y determinan la profundidad efectiva radical.

A continuación, se presentan los valores de densidades aparentes según la clase textural de la Tabla 5-51.

Tabla 5-51 Valores de densidad aparente por clase textural

TEXTURA DEL SUELO	IDEAL (g/cc)	DA que puede afectar el desarrollo de las raíces (g/cc)	DA que afecta el desarrollo de las raíces (g/cc)
Arenosa	<1,6	1,69	>1,8
Areno francosa	<1,6	1,69	>1,8
Franco arenosa	<1,4	1,63	>1,8
Franca	<1,4	1,63	>1,8
Franco areno arcillosa	<1,4	1,6	>1,75
Franco limosa	<1,4	1,6	>1,75
Limosa	<1,4	1,6	>1,75
Franco arcillosa	<1,3	1,6	>1,75
Franco arcillosa limosa	<1,1	1,55	>1,65
Arcillosa Limosa	<1,1	1,49	>1,58
Arcillosa	<1,1	1,39	>1,47

Fuente: <https://storage.googleapis.com/portalfruticola/2017/10/compactacionsuelos-300x150.jpg> 300w" sizes="(max-width: 700px) 100vw, 700px" style="box-sizing: border-box; margin: 0px 0px 1.5em">

En la Tabla 5-52 se presentan los valores de densidad aparente y profundidad efectiva encontradas en las seis unidades cartográficas caracterizadas.

Tabla 5-52 Valores densidad aparente y profundidad efectiva del suelo.

ID CAMPO (PERFIL)	PROFUNDIDAD EFECTIVA (CM)	DA	TEXTURA DEL SUELO	ESTADO DE COMPACTACIÓN
		(g/cm ³)		
Calicata 5 HA Unidad LWaA	47	1.49	Franco arenosa	Sin evidencia de compactación
Calicata 5 HB Unidad LWaA		1.45	Arenosa	
Calicata 6 HA Unidad LWBc	90	1.08	Arcillo limosa	Sin evidencia de compactación
Calicata 6 HB Unidad LWBc		1.10	Arcillo limosa	
Calicata 4 HA Unidad LWCc	33	1.18	Franco arenosa	Sin evidencia de compactación según densidad aparente, aunque calicata evidencia presencia de capa dura a 80cm de profundidad
Calicata 4 HB Unidad LWCc		1.19	Franco arenosa	
Calicata 2 HA Unidad RWDa	50	1.05	Arcillosa	Sin evidencia de compactación
Calicata 2 HB Unidad RWDa		1.06	Arcillosa	
Calicata 3 HA Unidad RWGa	57	1.14	Limosa	Sin evidencia de compactación
Calicata 3 HB Unidad RWGa		1.01	Arcillosa	
Calicata 1 Unidad RWIa	47	1.47	Arenosa	Sin evidencia de compactación

Fuente: Dr. Calderón Labs 2022

Debido a la facilidad con la cual se puede medir la densidad, se ha utilizado como parámetro para estimar el grado de deterioro del suelo, teniendo en cuenta que a medida que aumenta su valor, se está produciendo una degradación en su estructura, bien sea por compactación o por pérdida de materia orgánica.

Según los datos obtenidos, la densidad aparente encontrada se muestra rangos ideales según la Tabla 5-51, sin mostrar problemas de compactación en los suelos analizados.

5.1.3.6.4 Degradación del suelo por erosión

A continuación, se realiza el análisis de degradación por erosión dentro del área de influencia, la cual se basa en la metodología propuesta por IDEAM, U.D.C.A., 2015. Protocolo para la identificación y evaluación de la degradación de suelos por erosión. IDEAM – MADS -U.D.C.A. Bogotá D.C., Colombia., 170 págs. Versión 2.

La definición de degradación de suelo por erosión corresponde a “la pérdida de la capa superficial de la corteza terrestre por acción del agua y/o del viento, que es mediada por los seres humanos, y trae consecuencias ambientales, sociales, económicas y culturales.

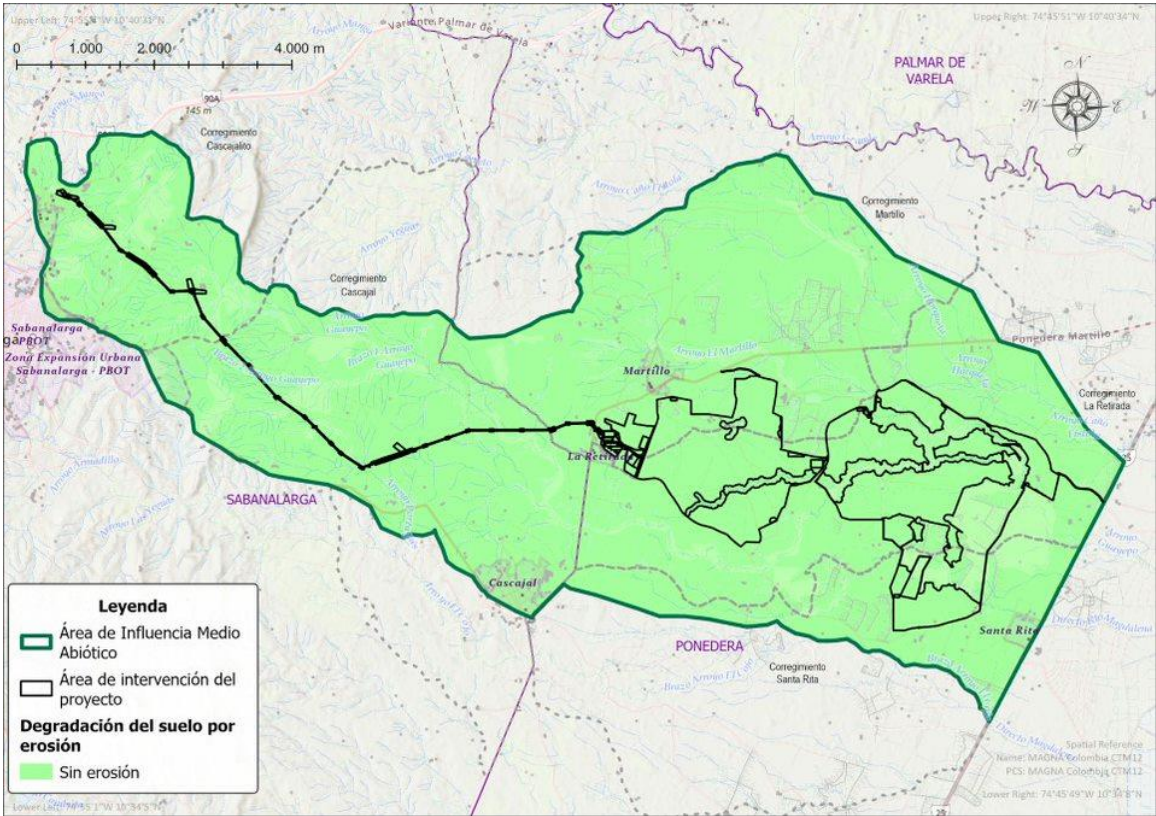
Dentro del área de influencia se encuentran los siguientes tipos de erosión:

Tabla 5-53 Tipos de erosión dentro del área de influencia

UNIDAD CARTOGRÁFICA DE SUELOS	SÍMBOLO	TIPO DE EROSIÓN	ÁREA DE INFLUENCIA	
			HA	%
LWAa LWBc LWCc RWDa RWEa RWGa RWIa	SE	Muy ligero	6692,1	100

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Figura 5-23 Degradación del suelo por erosión



Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

5.1.3.6.5 Análisis por degradación por salinización del suelo

El análisis de la degradación por salinización se realiza de acuerdo con la metodología propuesta por el IDEAM, CAR y UDCA, 2017.

Las sales pueden formarse naturalmente por procesos químicos de intemperismo de minerales o llegar a los suelos desde las capas subterráneas. Este proceso natural ha ocurrido siempre y la velocidad y magnitud varían de acuerdo con factores locales de formación (relieve, material parental o geológico, clima, vegetación y tiempo). Así, aunque existan suelos con mayores niveles de sales por condición y evolución natural, estos estarán incluso en equilibrio con su vegetación y funciones ecológicas.

Ahora bien, cuando el proceso pasa de ser natural a antrópico (mediante la incorporación de sistemas de riego, mecanización agrícola, fertilización excesiva y falta de drenajes adecuados), sucede en formas mucho más aceleradas y es más agresivo y nocivo. En términos sencillos, las sales afectan la vegetación natural o introducida, en la medida en que compiten con ella por el agua, o restringen la capacidad de esta para tomar agua. Técnicamente, lo que ocurre es que se altera la presión osmótica de las plantas, por lo que, al presentarse altas concentraciones de sal en el suelo, mayores a la de las plantas, el agua por presión osmótica se mueve de la planta al suelo, lo que causa deshidratación y marchitamiento. De este modo se reduce la productividad primaria de los suelos y, con ello, las condiciones de vida de otros sistemas de vida que dependen de ellos. Además, otros cambios que ocurren en el suelo, como el incremento en el pH, repercuten en la deficiencia de algunos elementos esenciales para la vegetación, lo mismo que la pérdida total de la estructura, que afecta totalmente a las poblaciones de macro y microorganismos que habitan allí.

La salinización se ha asociado a zonas secas y a procesos de desertificación. Principalmente, se produce en las regiones áridas y semiáridas, donde la lluvia es demasiado baja para mantener la percolación del agua a través del suelo y donde se practica el riego sin un sistema de drenaje natural o artificial.

Los tipos de salinización, hace referencia a la condición por la cual se presenta la acumulación de sales, esto es, su origen. En este caso, se distingue un origen natural, otro antrópico y uno mixto.

Tabla 5-54 calificación de la salinidad

VARIABLES	RANGOS PARA CALIFICACIÓN	CALIFICACIÓN
PSI, RAS, CE, SO ₄	RAS >13 o PSI ≥15	Muy severo
	CE ≥16 ds/m	
	CE ≥4 ds/m y pH <4 y (SO ₄) ≥0,05%	
CE, PSMg, CaCO ₃ eq y CaSO ₄ *2H ₂ O	CE ≥8 ds/m <16 ds/m	Severo
	PSMg ≥40	
	(CaCO ₃ eq) ≥ 10%	
	(CaSO ₄ *2H ₂ O) ≥ 15%	
CE, PSMg, CaCO ₃ eq y CaSO ₄ *2H ₂ O	CE ≥4 ds/m <8 ds/m	Moderado
	PSMg ≥40	
	(CaCO ₃ eq) ≥ 10%	
	(CaSO ₄ *2H ₂ O) ≥ 15%	
CE	CE ≥2 ds/m < 4 ds/m	Ligero
CE	CE <2 ds/m	Muy ligero

Fuente: Protocolo Salinización CAR-IDEAM-UDCA.

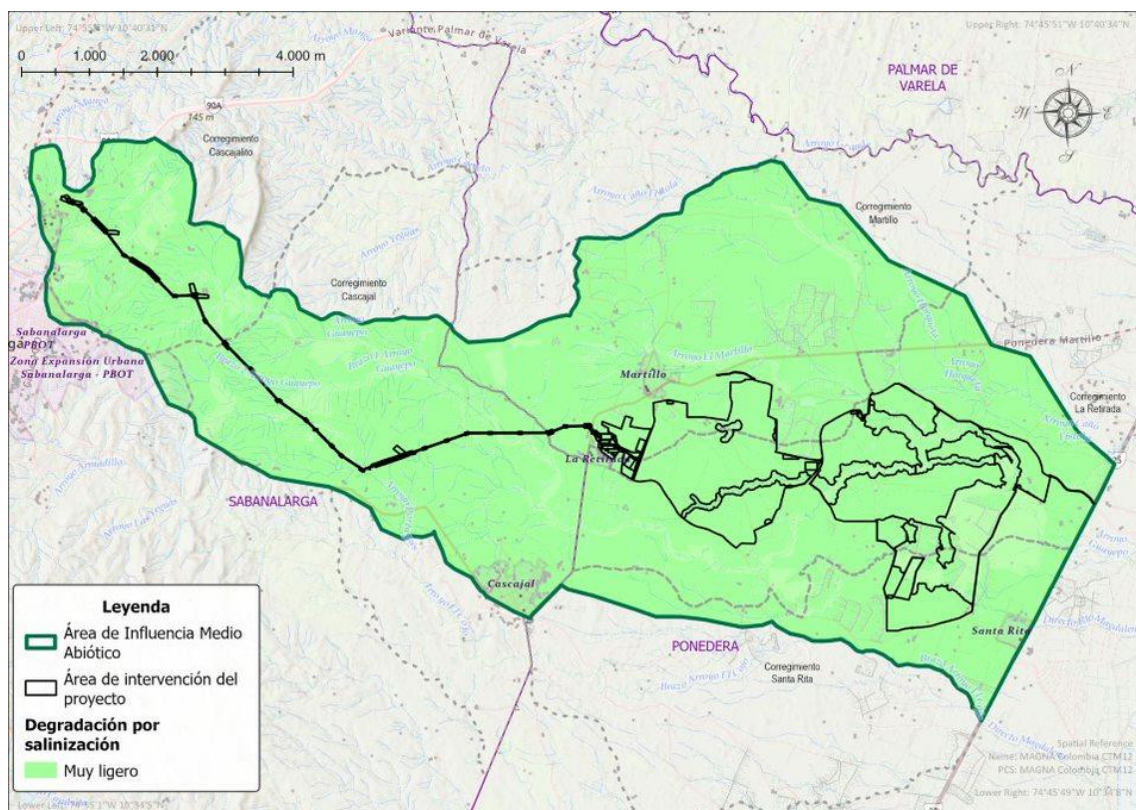
Teniendo en cuenta lo anterior y de acuerdo con los resultados obtenidos mediante el análisis de laboratorio es posible establecer que el área de influencia no presenta amenaza por degradación por salinización de ningún tipo, encontrándose en grado muy ligero (Tabla 5-55).

Tabla 5-55 Resultados químicos reportados para las muestras de suelo

UNIDAD CARTOGRÁFICA DE SUELO	pH	CE	RAS	PSI
		(dS/m)		%
Calicata 5 HA	7.45	0.09	7.86	7.51
Calicata 5 HB	8.31	0.19	52.03	55.47
Calicata 6 HA	5.93	0.08	0.78	0.60
Calicata 6 HB	5.93	0.05	1.62	0.99
Calicata 4 HA	6.48	0.07	0.82	0.80
Calicata 4 HB	6.66	0.64	1.22	2.49
Calicata 2 HA	4.70	0.08	1.86	2.60
Calicata 2 B	5.14	0.06	9.51	8.01
Calicata 3 HA	5.11	0.11	2.91	3.12
Calicata 3 HB	6.01	0.18	7.04	10.12
Calicata 1	4.79	0.03	2.21	4.64

Fuente: Dr. Calderón Labs 2022

Figura 5-24 Degradación por salinización



Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

5.1.3.6.6 Análisis de Tendencia de la degradación por desertificación

A continuación, se realiza el análisis de tendencia de la degradación por desertificación dentro del área de influencia, la cual se basa en la metodología propuesta por el IGAC-IDEAM-MAVDT en el protocolo de degradación de suelos y tierras por desertificación.

La desertificación es la última etapa del proceso de degradación de la tierra debido a su mal manejo. La degradación se inicia con la reducción de la productividad y termina con la pérdida total del suelo; cuando esto sucede, la desertificación es prácticamente irreversible. El 78,9% de las zonas secas presentan algún nivel de desertificación derivado principalmente de procesos de erosión y salinización.

Aproximadamente el 48% del total de la superficie del país presenta algún grado de erosión. El 24% son zonas secas y el 21% presenta procesos de desertificación.

En la Tabla 5-56, se presenta la tendencia a la degradación por desertificación en el área de influencia la cual se basa en el Mapa Tendencia a la Desertificación, año 2008 escala 1:100.000.

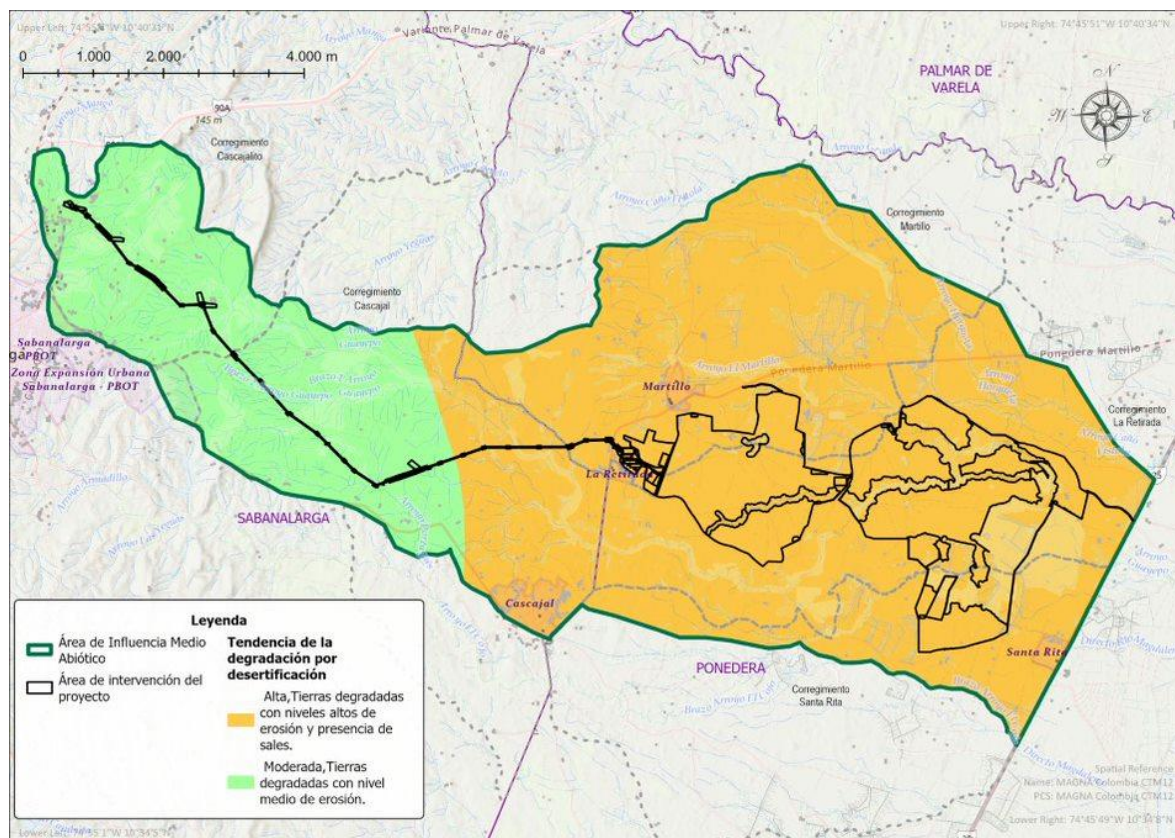
Tabla 5-56 Tendencia de la degradación por desertificación

UNIDAD CARTOGRÁFICA DE SUELOS	DESERTIFICACIÓN	TIPO DE EROSIÓN	GRADO DE SALINIZACIÓN DE LOS SUELOS
LWAb LWBc LWCc RWGa RWIa	Tierras degradadas con nivel medio de erosión	Medio	No presenta
RWDa RWEa RWGa RWIa	Alta, tierras degradadas con niveles altos de erosión y presencia de sales	Alta	Media

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Según la metodología propuesta por el IGAC-IDEAM-MAVDT los suelos analizados presentan un grado moderado y alto tanto en erosión, como en salinización, no evidenciado en el trabajo de campo, pudiendo concluir que por la escala de trabajo 1:10.000 la información no estaría acorde con los resultados encontrados tanto en las observaciones como en los suelos analizados.

Figura 5-25 Degradación por desertificación



Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

5.1.4 Hidrología

Este capítulo se adaptó del capítulo de hidrología contenido en el estudio de impacto ambiental (EIA) del **Parque solar fotovoltaico Guayepo, con capacidad de generación de 400mw, su línea de evacuación 500kv y bahía de conexión**, desarrollado por EIA PROYECTO GUAYEPO SOLAR COLOMBIA en el año 2020. Este estudio fue aprobado por la Autoridad Nacional de Licencia Ambientales (ANLA) en el año 2021.

5.1.4.1 Área de influencia

Para determinar el área de influencia se acudió a la cartografía escala 1:100.000, en donde se observa el drenaje de arroyos sentido oeste-este, terminando su recorrido en

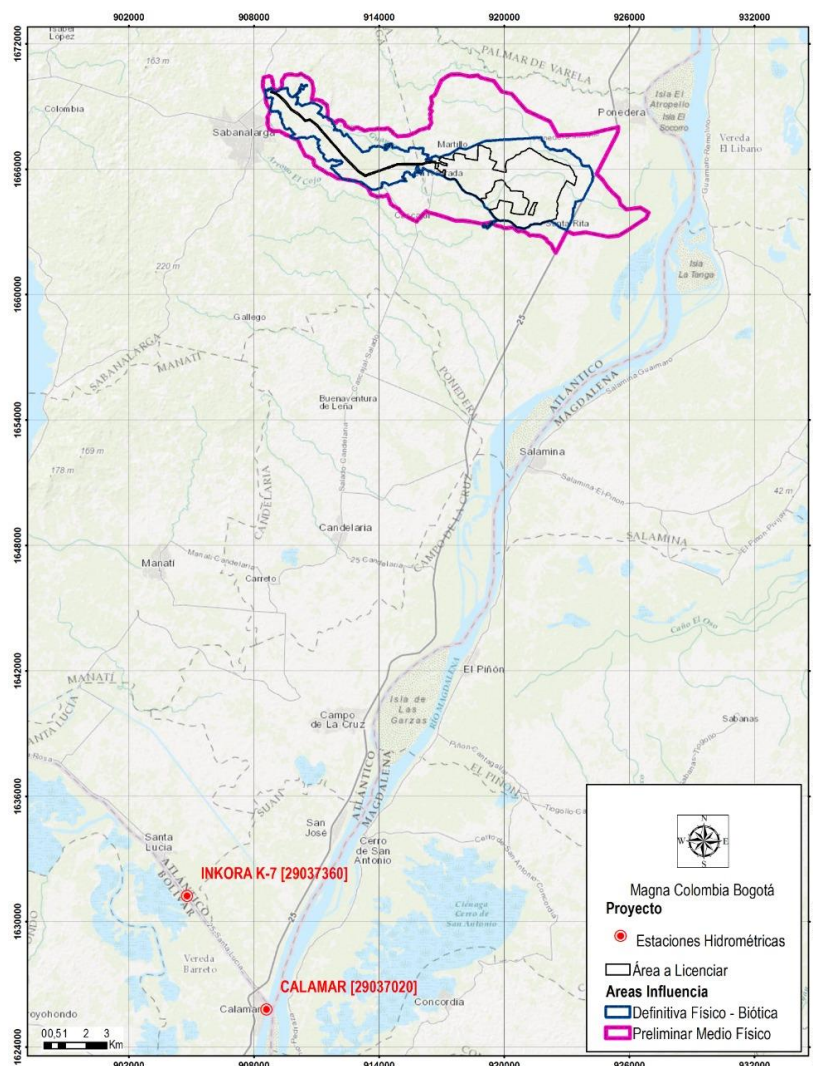
un sistema cenagoso contiguo al río Magdalena. Los arroyos que se encuentran en el área son: Caracolí, Las Yeguas, El Cojo, EL Martillo, Guayepo, Fistola y Carreto. Siendo el Caño Fistola, Guayepo, Carreto, Manga y Portugués los principales que tienen interferencia con la infraestructura del proyecto.

Conforme a lo anterior, se procedió a delimitar las cuencas de los arroyos Carreto, Fistola, Guayepo, Manga, Portugués y El Cojo. Dentro de estas se encuentra tanto el polígono de ubicación de los paneles, como la línea de evacuación. Cualquier fenómeno hidrológico o hidráulico que pudiese afectar el proyecto tendría efecto sobre estas áreas.

Para determinar las condiciones hidrológicas de la zona, se acudió a revisar la base de datos del IDEAM para inventariar las estaciones hidrométricas disponibles. Sobre la franja de la línea de evacuación, y parque solar, se encuentran varios ríos o arroyos de tamaño reducido, pero ninguno de ellos presenta instrumentación que permita analizar directamente el régimen de caudales en la zona. Por tal razón, se procedió a ampliar la zona de búsqueda de información, encontrando cuerpos de agua importantes, como son el río Magdalena al este, y al sur el embalse del Guájaro y el Canal del Dique. Con esto se procedió a hacer dos tipos de análisis, uno enfocado en información de lluvia para determinar las características de la escorrentía en las cuencas de intersección la infraestructura, y otro con la información hidrométrica disponible.

El Río Magdalena a esta altura tiene estaciones hidrométricas que registran el comportamiento del cauce desde hace varias décadas, mientras que el embalse del Guájaro tiene monitoreo desde hace muy poco tiempo. En la Figura 5 26, se presenta la ubicación de las estaciones mencionadas. Es importante aclarar, que aguas abajo del proyecto se encuentran las estaciones Dársena Barranquilla y Las Flores, sin embargo, la primera registra caudales con un periodo muy corto y Las Flores se encuentra suspendida.

Figura 5-26 Ubicación estaciones hidrométricas



Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

5.1.4.2 Inventario de estaciones

Como se indicó, se emplearon las estaciones Calamar e Inkor K7, las cuales presentan una longitud importante de su información, lo cual garantiza el registro de varios episodios de evento El Niño, como La Niña. La estación Calamar presenta datos desde 1940 hasta 2015, mientras que la estación Inkor K7, registros desde 1973 a 2012. Todos con una buena continuidad. En la Tabla 5–57, se presenta el inventario de la información disponible en la zona.

Tabla 5-57 Inventario estaciones analizadas

NOMBRE	CÓDIGO	ENTIDAD	CORRIENTE	VARIABLE	1940	1941	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965		
CALAMAR	29037020	IDEAM	Magdalena	Caudal medio diario																												
				Caudal máximo																												
				Caudal mínimo																												
INCORA K7	29037360	IDEAM	Canal del Dique	Caudal medio diario																												
				Caudal mínimo																												
				Caudal máximo																												
NOMBRE	CÓDIGO	ENTIDAD	CORRIENTE	VARIABLE	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991		
CALAMAR	29037020	IDEAM	Magdalena	Caudal medio diario																												
				Caudal máximo																												
				Caudal mínimo																												
INCORA K7	29037360	IDEAM	Canal del Dique	Caudal medio diario																												
				Caudal mínimo																												
				Caudal máximo																												
NOMBRE	CÓDIGO	ENTIDAD	CORRIENTE	VARIABLE	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015				
CALAMAR	29037020	IDEAM	Magdalena	Caudal medio diario																												
				Caudal máximo																												
				Caudal mínimo																												
INCORA K7	29037360	IDEAM	Canal del Dique	Caudal medio diario																												
				Caudal mínimo																												
				Caudal máximo																												

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020)

5.1.4.3 Análisis de calidad de la información

Para utilizar de la mejor manera posible los datos históricos de las series de tiempo de las estaciones seleccionadas, se revisará de forma crítica la exactitud de estas y se evaluarán, los cambios temporales en las series debidos a influencias artificiales y el impacto de estas sobre los datos históricos.

La consistencia y precisión de los datos con frecuencia suele ser un problema importante en muchas series, fundamentalmente las antiguas. Durante los últimos años los aparatos y técnicas de adquisición de datos han mejorado, pero estas mejoras pueden por sí mismas introducir no-homogeneidades en las series de tiempo, las cuales pueden ser debidas a cambios (a veces indocumentados) en la ubicación de las estaciones de medición o en los métodos de procesamiento de los datos empleados.

Adicionalmente, la influencia del hombre sobre los regímenes de los ríos ha sido cada vez más importante, sobre todo durante los últimos 50 años. De esta forma, el

reconocimiento y la interpretación de posibles tendencias en los datos recae fundamentalmente en la disponibilidad de información espacial suficiente como para permitir distinguir los efectos de variabilidad de clima de otro tipo de factores, lo que hace, si así pudiera decirse, que una serie de tiempo hable por sí misma.

Todas las técnicas de análisis y modelación de series de tiempo realizan la suposición de que los datos son estacionarios. Si esta hipótesis es válida, el procedimiento normalmente recomendado en la literatura para el análisis de estas series es el de estudiar los datos históricos de tal forma que reflejen las condiciones naturales de la cuenca. Esto incluye la corrección de datos históricos por inconsistencias debidas a errores aleatorios y sistemáticos, el llenado de datos faltantes, y en algunos casos la extensión de datos o la disminución de estos para que reflejen condiciones reales.

El análisis de las series se efectuará de la siguiente manera: el primer análisis se concentrará en la evaluación de los datos, específicamente en pruebas de aleatoriedad, homogeneidad y consistencia. El segundo análisis se enfocará en las conexiones macroclimáticas, y el tercero en el análisis de tendencias empleando pruebas paramétricas y no paramétricas.

En la primera etapa se intenta detectar posibles inconsistencias e inhomogeneidades en las series por medio de herramientas gráficas. Una de las técnicas más utilizadas por los hidrólogos es el análisis de regresión lineal; su bondad para el caso particular de análisis de consistencia radica en que permite evaluar la homogeneidad de una serie con respecto a otra u otras que se conocen son homogéneas.

Un segundo procedimiento de análisis es el método de la curva de doble masa en el cual las parejas de valores en la estación analizada y en la estación índice (considerada homogénea) se acumulan y representan gráficamente. Estos dos (2) tipos de análisis han sido utilizados como procedimientos gráficos para investigar la homogeneidad de las series de caudales.

En el caso de la regresión gráfica realizada sobre una curva de masa sencilla, los cambios debidos a inconsistencias en los datos podrían identificarse fijando una línea de tendencia ajustada mediante mínimos cuadrados, y evaluando el coeficiente de determinación de la regresión lineal efectuada. En el caso del método de la curva de doble masa, los datos han sido emparejados y graficados tal como recomienda el método, dibujando los valores acumulados de la estación analizada en el eje de las ordenadas y los valores correspondientes a la estación índice en el eje de las abscisas. El método lo que supone es que, mediante la adición sucesiva de valores, los errores aleatorios tienden a cancelarse unos con otros, y en este caso la relación lineal se ve reforzada mediante la repetición efectuada. Un cambio importante en esa relación lineal, o diferentes tendencias sostenidas y pronunciadas, pueden ser un indicativo de inconsistencia o no homogeneidad de los datos. Dado que en caso de detectar inconsistencias en los datos estas pueden ser debidas puramente a la aleatoriedad del proceso investigado, en la literatura siempre se recomienda corroborar o verificar esos aparentes cambios de tendencia, a fin de que se presenten sostenidamente durante períodos de tiempo suficientemente largos (al menos cinco (5) años) y de que tengan una explicación o evidencia histórica que explique el cambio.

Además de las técnicas anteriormente señaladas, se elaborarán gráficas de masa residual, histogramas de frecuencia, cálculo de caudales medios a nivel mensual y anual y finalmente una curva de duración de caudales, entre otras. Gráficas que en conjunto describen el comportamiento de la serie a lo largo de la historia de registro.

Inspección y cálculo de estadísticas descriptivas: Esta etapa corresponde al cálculo de las estadísticas resumen de las series, incluyendo media, desviación estándar, mínimo, máximo, rango, coeficiente de variación, coeficiente de asimetría y curtosis. En esta parte, se ha analizado el rango de las variables a fin de asegurar que todos los datos se encuentran en un intervalo lógico. Para el contexto de los datos analizados se han determinado valores admisibles para la media y la desviación estándar.

Evaluación de la cantidad y distribución de los datos faltantes: En el tratamiento de datos faltantes, se recomienda en la literatura seguir diferentes estrategias: Si una observación corresponde a un dato faltante, esta observación es descartada del análisis; el no tener en cuenta un dato faltante es la opción que siguen la mayoría de los paquetes estadísticos y es la que se ha utilizado en este estudio. Estimar el valor faltante, y utilizar estos valores en las etapas sucesivas del análisis; esta estimación puede realizarse insertando valores promedio y utilizando técnicas de regresión. Luego se procede a calcular el dato faltante a través de la matriz de correlación. Finalmente, de ser necesario, se emplearán modelos espaciales autorregresivos. En cualquier caso, es importante verificar los resultados con y sin los datos estimados y evaluar los resultados de cada análisis. En caso de que fuesen definitivamente muy diferentes, debe identificarse la razón que explica la diferencia e intentar evaluar cuál de los resultados es más cercano a la realidad.

Identificación y manejo de outliers: Los outliers son casos extremos de una variable, que tienen gran influencia en los cálculos de las estadísticas básicas. Existen muchas razones para la existencia de outliers, entre las que se pueden mencionar: datos incorrectos, observaciones no pertenecientes a una misma muestra de la población y distribuciones de los datos que tienen más valores extremos que los encontrados en la distribución normal. Con el fin de identificar esos outliers, se han utilizado técnicas gráficas, programas especializados y estadísticas de análisis exploratorio de datos, las cuales se discutirán en el numeral correspondiente. Finalmente se elaboran las pruebas estadísticas que evalúan la aleatoriedad, homogeneidad y consistencia de las series.

Prueba de aleatoriedad: Para analizar la aleatoriedad de la serie se empleará la prueba de las rachas, que se basa en el conteo de la seguidilla de caudales por encima o por debajo de la media o mediana. En calidad de hipótesis nula se plantea que H_0 : La muestra es aleatoria y como hipótesis alternativa que H_1 : La muestra no es aleatoria. Para aplicar esta prueba es necesario clasificar cada dato de la serie de caudal en una

de dos clases. Cada clase puede ser representada con un símbolo (+ y – por ejemplo) de esta forma cada valor de la serie que cumpla $Q_i \geq \bar{Q}$ se reemplaza por un signo “+” y de lo contrario (si $Q_i < \bar{Q}$) el valor se reemplaza por un signo “-“. La cantidad total de rachas “R” en las secuencias de “+” alternados con “-“ es igual a al número de rachas de signos “+” más el número de rachas de signos “-“ $R = (r_a + r_b)$. Para las secuencias aleatorias R tiene una distribución normal con media:

$$\mu_R = \frac{2n_1n_2}{n} + 1$$

La desviación estándar estaría dada por:

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{2n_1n_2(2n_1n_2 - n)}{n^2(n - 1)}}$$

EL valor Z está dado por:

$$Z = \frac{R - \mu_R}{\sigma_R}$$

Dónde: n_1 es el número de datos por encima de la mediana

n_2 es el número de datos por debajo de la mediana

Prueba de homogeneidad: Es usual dar por hecho que los datos registrados en una estación hidrológica han sido generados mediante metodologías de muestreo estándar y que el régimen de caudales registrados en la estación es homogéneo durante los años de observación de la variable. Estas condiciones pueden no cumplirse y por ello antes de realizar el análisis estadístico de la serie es necesario demostrar que los datos reportados por las estaciones hidrológicas pertenecen a un mismo conjunto estadístico. El análisis propuesto se compone de: La formulación de la hipótesis nula, la formulación de la hipótesis alternativa, definición del nivel de significación de la prueba y del dominio de rechazo de la hipótesis nula y la Validación o rechazo de la hipótesis nula. Existen en

la literatura varias pruebas para establecer la homogeneidad de la serie. Para el presente trabajo, se emplearán las pruebas de Student (t) y de Fisher (F). Estas pruebas revisan la hipótesis nula sobre la igualdad de las medias ($\bar{Q}_1 = \bar{Q}_2$) y las varianzas ($\sigma_{Q1} = \sigma_{Q2}$). Como hipótesis alternativa se puede proponer la diferencia de las de las medias ($\bar{Q}_1 \neq \bar{Q}_2$) y las varianzas ($\sigma_{Q1} \neq \sigma_{Q2}$). Dado que estas pruebas “t” y “F” exigen que las series tengan distribución normal se recomienda también aplicar pruebas de homogeneidad no paramétricas como las de Mann-Whitney o la de Kruskal-Wallis.

Análisis de consistencia: Este análisis implica la estimación de los errores en los estadísticos de las series, esto permite establecer en principio si la longitud de los registros es suficiente para caracterizar confiablemente el comportamiento de las variables, igual que para las pruebas anteriores, estos datos son necesarios para realizar pruebas de hipótesis con el fin de verificar cambios en los valores de la media y la desviación estándar o coeficiente de variación - Cv. La estimación de los errores en la media y el coeficiente de variación (Cv) pueden estimarse por medio de las siguientes ecuaciones:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$$

Error de la estimación del valor del coeficiente de variación:

$$\sigma_{cv} = C_v \sqrt{\frac{1 + C_v^2}{2n}}$$

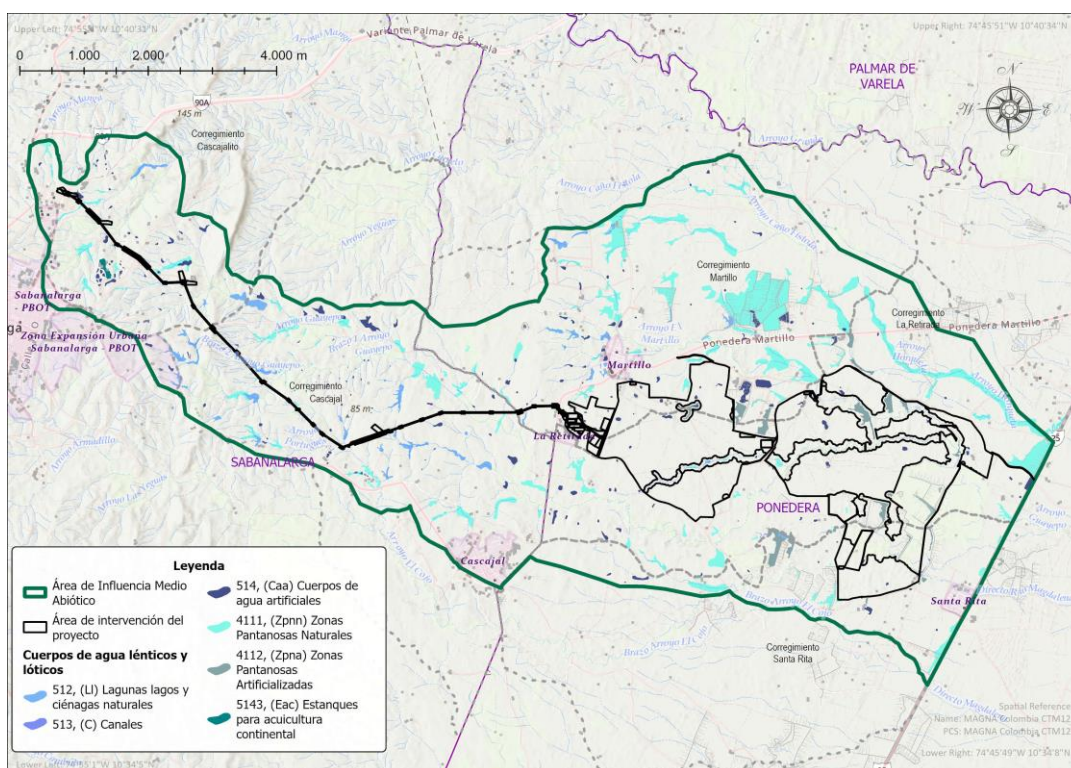
5.1.4.4 Localización de sistemas lénticos y lóticos

La zona del proyecto Parque Solar Fotovoltaico Guayepo 400MW, su Línea de Evacuación 500kV y la Bahía de conexión, se encuentran ubicadas en la parte baja de la gran cuenca Magdalena-Cauca, al norte de Colombia. Hidrográficamente, al norte limita con la cuenca del arroyo Grande, al oeste con las cuencas que drenan al embalse

el Guájaro y al mar Caribe directamente, la sur con las cuencas de los ríos Guanábano, Pílon y Gallinazo, y al este, con un sistema cenagoso donde se encuentran la ciénaga El Playón y Florentino y además el río Magdalena.

Dentro del polígono del proyecto se ubican las cuencas de los arroyos Caño Fistola y El Cojo, que drenan en sentido oeste-este hasta un sistema cenagoso, particularmente a la ciénaga El Playón. En cuanto a la línea de evacuación, esta es interceptada por el arroyo Carreto, que drena al arroyo Manga y posteriormente al arroyo Grande. En la Figura 5-27, se presenta la hidrografía de la zona y las cuencas de los arroyos que interceptan la infraestructura del proyecto.

Figura 5-27 Localización de cuerpos lénticos y lóticos



Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

En la **Tabla 5-58** y en la **Tabla 5-59** se presentan los cuerpos de agua Lóticos y Lénticos. Se incluyen las bordas que son acumulaciones de agua en grandes extensiones de tierra

que a lo largo del tiempo se han convertido en lugares y sitios de interés para la fauna y flora del lugar.

Tabla 5-58 Cuerpos de agua Lénticos en el área de influencia

ID	NOMENC	TIPO DE CUERPO	AREA Ha	ESTE	NORTE	ID	NOM ENC	TIPO DE CUERPO	AREA Ha	ESTE	NORTE	ID	NOMEN C	TIPO DE CUERPO	AREA Ha	ESTE	NORTE
6	5143	(Eac) Estanques para acuicultura continental	2,58	4791910,2	2734226,8	245	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,02	4793181,8	2732978,7	622	4112	(Zpna) Zonas Pantanosas Artificializadas	0,73	4804364,7	2730055,2
86	513	(C) Canales	0,35	4802159,5	2730182,7	246	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,15	4793150,8	2732991,5	623	4112	(Zpna) Zonas Pantanosas Artificializadas	0,76	4804713,3	2729977,8
87	513	(C) Canales	0,31	4800668,3	2733505,4	247	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,27	4799618,8	2733053,6	624	4112	(Zpna) Zonas Pantanosas Artificializadas	9,30	4802265,0	2729786,3
94	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,09	4804815,3	2728694,7	248	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,12	4793703,1	2733065,8	625	4112	(Zpna) Zonas Pantanosas Artificializadas	2,73	4803996,1	2730533,2
98	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,84	4803741,3	2729024,6	249	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,02	4795346,5	2733100,3	626	4112	(Zpna) Zonas Pantanosas Artificializadas	2,28	4804561,9	2730727,5
99	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,03	4801991,7	2729105,8	250	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,02	4795656,7	2733121,8	627	4112	(Zpna) Zonas Pantanosas Artificializadas	0,29	4804087,7	2730797,3
103	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,11	4804408,3	2729327,4	251	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,11	4793912,4	2733127,2	628	4112	(Zpna) Zonas Pantanosas Artificializadas	0,33	4804866,9	2730880,1
104	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,15	4804043,2	2729410,4	252	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,43	4792541,2	2733129,3	629	4112	(Zpna) Zonas Pantanosas Artificializadas	0,78	4805116,5	2731421,6
105	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,04	4799960,3	2729435,6	253	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,10	4794875,3	2733180,3	630	4112	(Zpna) Zonas Pantanosas Artificializadas	3,54	4802130,6	2731906,8
106	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,99	4800198,8	2729487,0	254	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,05	4795413,8	2733215,0	631	4112	(Zpna) Zonas Pantanosas Artificializadas	4,69	4803748,8	2732009,2
107	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,04	4801051,0	2729536,6	255	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,19	4801821,0	2733228,2	632	4112	(Zpna) Zonas Pantanosas Artificializadas	1,51	4800947,1	2732035,5
108	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,19	4799709,9	2729559,4	256	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,66	4803241,1	2733215,0	633	4112	(Zpna) Zonas Pantanosas Artificializadas	3,31	4801740,0	2732119,7
109	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,13	4801148,5	2729554,9	257	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,42	4799342,1	2733233,1	634	4112	(Zpna) Zonas Pantanosas Artificializadas	1,54	4804305,7	2732221,2
110	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,11	4801881,9	2729611,0	258	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,02	4795299,4	2733279,2	635	4112	(Zpna) Zonas Pantanosas Artificializadas	3,03	4804074,7	2732237,8
111	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,07	4802973,6	2729750,2	259	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,12	4801810,2	2733279,5	636	4112	(Zpna) Zonas Pantanosas Artificializadas	1,56	4803653,0	2732749,3
112	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,17	4803673,5	2729757,1	260	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,12	4803899,9	2733296,4	637	4112	(Zpna) Zonas Pantanosas Artificializadas	1,62	4803476,3	2733198,1
113	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,05	4803264,8	2730063,1	261	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,23	4803375,4	2733372,3	646	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	5,58	4804904,4	2728411,8
115	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,55	4799669,2	2730127,7	262	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,23	4798397,3	2733419,2	648	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,32	4802826,8	2728916,2
116	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,30	4799880,3	2730247,1	263	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,09	4802887,7	2733464,7	649	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,18	4802643,7	2729062,4
117	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,10	4799230,0	2730348,5	264	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,44	4799780,3	2733454,8	651	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,26	4803291,9	2729148,4
118	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,03	4801718,2	2730390,5	265	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,10	4792372,6	2733482,6	654	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,64	4802908,8	2729216,9
119	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,18	4802926,2	2730396,2	266	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,20	4802556,6	2733486,2	655	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	2,58	4803145,7	2729173,3
120	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,11	4799541,7	2730390,6	267	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,44	4799885,5	2733452,6	656	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	5,67	4801247,8	2729346,7
121	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,14	4802698,9	2730426,6	268	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,19	4799146,8	2733492,5	657	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,30	4801113,4	2729497,7
122	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,16	4799044,1	2730448,4	269	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,36	4792498,3	2733503,3	658	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,23	4802653,2	2729554,4
123	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,09	4798785,2	2730504,3	271	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,07	4800124,0	2733557,0	659	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,89	4805519,2	2729597,6
124	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,06	4800916,7	2730519,2	272	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,35	4799033,6	2733546,0	660	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,07	4803157,6	2729712,6
125	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,90	4798860,0	2730461,1	273	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,39	4795569,0	2733561,3	661	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	1,64	4800456,2	2729763,0

ID	NOMENC	TIPO DE CUERPO	AREA Ha	ESTE	NORTE
126	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,13	4800399,3	2730629,9
127	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,10	4806116,0	2730763,6
128	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,54	4799160,6	2730827,7
129	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,11	4800180,9	2730855,8
130	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,17	4799725,5	2730876,3
131	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,17	4799807,9	2730873,9
132	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,43	4798951,3	2730905,2
133	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,58	4798114,3	2730950,8
134	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	1,10	4806243,2	2730968,0
135	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,17	4805968,8	2731051,9
136	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,04	4795947,3	2731090,6
137	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,06	4795908,1	2731109,6
138	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,11	4795852,0	2731132,8
139	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,11	4795765,6	2731143,7
140	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,20	4800387,8	2731155,4
141	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,04	4796797,7	2731192,9
142	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,09	4802265,6	2731211,0
143	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,07	4795323,0	2731288,4
144	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,41	4803118,2	2731270,4
145	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,30	4798774,9	2731296,4
146	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,03	4796846,9	2731339,1
147	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,09	4799835,2	2731327,8
148	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,09	4802001,6	2731387,8
149	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	1,24	4798215,1	2731342,8
150	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,22	4795328,6	2731411,3
151	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,17	4795361,7	2731455,5
152	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,25	4805297,6	2731448,6
153	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,02	4795368,0	2731497,2
154	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,02	4795411,6	2731504,0
155	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,06	4796991,1	2731510,0

ID	NOM ENC	TIPO DE CUERPO	AREA Ha	ESTE	NORTE
274	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	2,73	4795985,9	2733431,6
275	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,13	4795162,7	2733583,3
276	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	1,58	4802450,9	2733551,9
277	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,30	4794975,0	2733620,5
278	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	1,56	4801990,8	2733521,5
279	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,02	4792853,2	2733662,7
280	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,10	4792715,4	2733684,1
281	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	1,22	4795203,9	2733672,9
282	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,07	4800984,1	2733760,4
283	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,07	4793031,8	2733905,8
284	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,15	4792754,1	2733930,7
285	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,74	4794281,4	2733884,4
287	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,10	4801517,2	2733980,9
288	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,03	4800083,1	2734007,0
289	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,05	4802710,5	2734008,7
290	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,13	4794113,1	2734012,0
291	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,12	4791771,0	2734062,8
292	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,32	4799262,8	2734046,2
293	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,09	4791736,9	2734127,3
294	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,67	4791985,2	2734134,7
295	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,20	4791784,9	2734138,8
296	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,02	4792084,9	2734173,3
297	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,17	4799688,4	2734188,1
298	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,11	4792480,2	2734206,3
299	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,35	4791741,9	2734198,9
300	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,15	4792009,0	2734209,6
301	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,17	4791835,0	2734219,5
302	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,14	4792693,6	2734263,9
303	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,24	4792100,2	2734253,6
304	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,20	4791796,8	2734272,2

ID	NOMEN C	TIPO DE CUERPO	AREA Ha	ESTE	NORTE
663	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,23	4800210,0	2729908,1
664	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	4,67	4801402,7	2729778,3
666	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,91	4800012,1	2730034,3
667	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,40	4805771,8	2730065,2
668	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,29	4802008,5	2730138,9
669	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,03	4803043,7	2730210,5
670	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,45	4803194,9	2730241,8
671	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,69	4801369,4	2730203,9
672	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,07	4803184,4	2730293,7
673	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,79	4800890,4	2730200,6
675	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,79	4797082,2	2730472,5
676	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,25	4797154,5	2730513,0
678	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,63	4798626,8	2730514,8
679	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,26	4803413,1	2730554,3
680	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	3,45	4797463,3	2730492,3
681	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	1,88	4805930,5	2730458,4
682	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,74	4796932,1	2730653,8
683	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	3,31	4798001,1	2730686,7
684	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,68	4801735,5	2730799,9
685	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	1,70	4799375,9	2730873,8
686	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,45	4796000,7	2730944,8
687	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	2,84	4798645,1	2730906,3
688	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,35	4795663,9	2731118,2
689	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,46	4795810,0	2731134,1
690	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,45	4800999,0	2731227,0
691	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	2,03	4795995,1	2731135,3
692	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	1,11	4802354,3	2731296,6
693	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,22	4801519,6	2731346,9
694	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	3,74	4799223,5	2731205,1
695	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,14	4805248,1	2731445,0

ID	NOMENC	TIPO DE CUERPO	AREA Ha	ESTE	NORTE
156	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,01	4795350,3	2731523,4
157	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,16	4805294,3	2731531,7
158	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,42	4804317,4	2731515,9
159	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,03	4795305,7	2731546,4
160	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,14	4800039,6	2731540,7
161	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,01	4795369,8	2731553,8
162	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,04	4795715,7	2731592,2
163	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,18	4794339,1	2731614,0
164	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,05	4794384,8	2731672,3
165	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,12	4797858,8	2731734,0
166	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,03	4798718,6	2731763,1
167	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,14	4795370,6	2731804,2
168	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,29	4799488,4	2731818,6
169	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,22	4794279,2	2731888,7
170	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,57	4797053,2	2731886,6
171	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,78	4803100,9	2731857,6
172	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,09	4799331,3	2731945,5
173	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,24	4804686,6	2731942,8
174	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,39	4799854,0	2731974,8
175	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,59	4800654,3	2732013,5
176	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,04	4800092,1	2732057,7
177	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,09	4799042,6	2732052,5
178	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,03	4796003,6	2732074,4
179	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,06	4797708,0	2732075,0
180	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,08	4799342,1	2732079,9
181	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,06	4799694,0	2732104,2
182	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,05	4796018,9	2732146,2
183	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,08	4795785,8	2732150,6
184	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,10	4797601,8	2732171,5
185	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,12	4800774,9	2732182,3

ID	NOM ENC	TIPO DE CUERPO	AREA Ha	ESTE	NORTE
305	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,01	4799421,9	2734297,3
306	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,10	4799932,6	2734288,1
307	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,02	4792168,3	2734315,1
308	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,14	4791743,1	2734290,5
309	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,04	4792142,9	2734333,4
310	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,31	4799001,3	2734330,4
312	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,07	4791927,5	2734387,5
313	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,06	4792095,8	2734385,7
314	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,03	4792101,1	2734432,6
315	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,12	4791961,6	2734429,4
316	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	1,15	4793096,1	2734411,1
317	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,22	4792752,3	2734430,1
319	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,12	4792003,0	2734663,3
320	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,11	4792664,2	2734703,6
321	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,56	4792906,3	2734749,8
322	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,13	4792347,4	2734808,0
323	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,59	4791873,1	2734771,1
324	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,15	4792229,9	2734871,5
325	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,42	4802054,9	2734863,4
326	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,16	4793038,8	2734880,7
328	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,70	4793398,5	2734919,0
329	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,08	4801672,3	2735047,5
332	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,15	4791942,6	2735275,2
334	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,73	4791483,7	2735440,3
335	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,09	4791928,2	2735554,4
338	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,10	4800978,4	2735622,1
339	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,02	4791813,9	2735753,5
341	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,08	4791972,3	2735804,1
343	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,23	4801254,4	2735821,9
344	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,03	4791878,8	2735871,6

ID	NOMEN C	TIPO DE CUERPO	AREA Ha	ESTE	NORTE
696	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	1,25	4794534,4	2731576,5
697	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	16,40	4806310,0	2731369,9
698	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	2,22	4794129,2	2731700,2
699	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	1,74	4805516,2	2732011,8
700	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	1,16	4798002,3	2731906,3
701	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,37	4794835,9	2732197,3
702	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,45	4801980,7	2732233,9
703	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	2,53	4793935,6	2732367,3
704	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	1,33	4802404,1	2732298,9
705	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,87	4798093,0	2732320,6
706	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,17	4797917,5	2732448,3
707	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	2,04	4799402,7	2732445,4
709	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,05	4794672,1	2732546,9
710	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	2,09	4797449,4	2732520,1
712	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	1,36	4800909,6	2732511,1
713	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,19	4794232,1	2732612,4
714	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	5,99	4796980,0	2732506,6
715	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,49	4797164,5	2732672,5
716	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,20	4794578,6	2732718,1
717	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,02	4795211,5	2732831,1
718	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,11	4795075,4	2732836,6
719	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	3,26	4796728,7	2732748,0
720	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,90	4797614,5	2732762,2
721	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	1,16	4801045,3	2732893,0
722	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,09	4794769,6	2732980,3
723	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,53	4799497,3	2732919,3
724	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,86	4800133,4	2733023,3
725	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	16,11	4802465,8	2732808,5
726	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	1,27	4803263,9	2732824,0
727	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,44	4797507,8	2733055,2

ID	NOMENC	TIPO DE CUERPO	AREA Ha	ESTE	NORTE
186	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,16	4801077,8	2732181,9
187	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,24	4802238,6	2732188,4
188	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,20	4793406,0	2732192,0
189	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,07	4798432,3	2732210,4
190	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,09	4795542,8	2732201,4
191	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,23	4796919,8	2732213,1
192	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,22	4802718,9	2732227,3
193	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,24	4800524,2	2732262,2
194	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,29	4802943,3	2732260,0
195	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,03	4795204,6	2732291,1
196	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,11	4804952,5	2732304,6
197	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,08	4799746,8	2732322,9
198	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,23	4801064,0	2732315,6
199	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,02	4798573,1	2732341,7
200	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,23	4797905,8	2732326,0
201	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,05	4795685,9	2732354,5
202	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,26	4800125,7	2732340,8
203	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,08	4798276,5	2732393,3
204	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,04	4794990,7	2732412,2
205	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,02	4794813,8	2732419,9
206	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,39	4803340,2	2732390,9
207	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,03	4795046,7	2732437,3
208	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,04	4803314,7	2732468,8
209	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,08	4801131,0	2732470,6
210	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,16	4800206,9	2732472,9
211	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,01	4794849,0	2732497,2
212	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,21	4801430,5	2732511,0
213	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,08	4795328,0	2732514,2
214	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,05	4799298,4	2732540,9
215	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	3,42	4801832,3	2732411,8

ID	NOM ENC	TIPO DE CUERPO	AREA Ha	ESTE	NORTE
345	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,07	4791717,8	2735921,6
346	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,06	4791868,2	2735943,5
347	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,16	4790841,6	2735948,5
348	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,12	4791736,6	2735999,6
349	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,14	4791857,8	2736058,1
350	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,07	4791883,9	2736145,7
351	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,08	4791910,3	2736338,5
352	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	0,82	4802414,8	2730163,7
353	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	0,97	4796299,2	2731072,2
354	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	1,91	4797822,8	2731262,0
355	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	0,39	4801240,3	2731306,0
356	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	1,38	4797336,6	2731429,1
357	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	0,53	4796171,1	2731495,6
358	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	2,67	4796552,0	2731551,5
359	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	1,02	4794246,6	2731650,3
360	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	0,21	4797484,6	2731754,6
361	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	0,44	4796385,5	2731761,8
362	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	0,86	4795610,5	2731736,4
363	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	0,60	4793607,0	2731988,7
364	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	0,31	4795525,5	2731982,9
365	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	0,51	4798372,9	2731935,7
366	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	2,10	4794131,6	2732317,4
367	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	0,01	4796278,1	2732447,8
368	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	0,01	4796157,3	2732453,9
369	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	0,30	4793099,3	2732477,4
370	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	2,89	4796453,5	2732315,7
371	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	0,01	4796264,4	2732573,8
372	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	0,09	4796218,0	2732576,9
373	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	1,24	4792962,5	2732508,8
374	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	0,50	4799654,4	2732703,6

ID	NOMEN C	TIPO DE CUERPO	AREA Ha	ESTE	NORTE
728	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	1,66	4801326,7	2733053,4
729	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,33	4802833,4	2733128,8
730	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,75	4803105,9	2733147,1
731	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	2,17	4798288,0	2733040,7
732	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,23	4794418,1	2733174,7
733	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	1,49	4796451,0	2733113,0
734	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,27	4795173,0	2733166,3
735	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,30	4792790,9	2733202,0
736	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,52	4803101,4	2733254,7
737	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,34	4801272,1	2733229,4
738	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,20	4794702,1	2733276,7
739	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,90	4794210,9	2733273,1
740	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,22	4801939,3	2733298,2
741	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	32,56	4805381,4	2732608,8
742	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	1,44	4794455,8	2733258,2
743	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,31	4794966,2	2733332,2
744	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	1,78	4801708,1	2733382,0
745	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	2,14	4794631,4	2733362,7
747	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	1,98	4795581,9	2733473,4
748	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,50	4794822,9	2733531,5
749	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	1,33	4799842,5	2733556,3
750	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,27	4800664,1	2733591,5
751	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	2,55	4799663,0	2733678,4
752	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,31	4799174,6	2733731,0
753	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	1,01	4794521,9	2733791,4
754	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,19	4792032,5	2734011,9
755	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,27	4792144,9	2733996,1
756	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	6,45	4803853,0	2733525,2
757	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	2,45	4801320,5	2733924,8
758	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,17	4792575,5	2734071,5

ID	NOMENC	TIPO DE CUERPO	AREA Ha	ESTE	NORTE
216	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,05	4795618,8	2732562,0
217	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,42	4798131,3	2732548,6
218	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,22	4798971,0	2732572,2
219	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	2,68	4802112,4	2732526,7
220	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,06	4795846,3	2732593,0
221	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,15	4800052,0	2732597,7
222	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,03	4795509,5	2732608,8
223	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,33	4800474,0	2732596,9
224	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,08	4795724,6	2732628,6
225	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,04	4795193,8	2732650,1
226	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,02	4795373,8	2732696,9
227	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,07	4797737,2	2732682,5
228	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,05	4794924,6	2732736,8
229	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,02	4795761,1	2732760,5
230	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,26	4792725,7	2732747,1
232	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,03	4795643,2	2732783,7
233	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,04	4801660,8	2732783,4
234	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,15	4799327,9	2732790,6
235	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,36	4792883,8	2732750,5
236	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,25	4799112,0	2732808,0
237	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,06	4795959,1	2732889,8
238	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,05	4795896,5	2732892,6
239	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,18	4798251,7	2732892,5
240	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,02	4793182,7	2732924,5
241	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,01	4793184,3	2732948,1
242	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,03	4795571,7	2732950,4
243	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,42	4799655,6	2732917,3
244	514	(Caa) Cuerpos de agua artificiales	0,01	4793182,9	2732961,9

ID	NOM ENC	TIPO DE CUERPO	AREA Ha	ESTE	NORTE
375	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	0,98	4799446,3	2732684,0
376	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	0,04	4796298,6	2732802,5
377	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	2,29	4794312,1	2732737,3
378	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	0,12	4799577,8	2732805,0
379	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	0,27	4799651,5	2732826,1
380	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	1,10	4793274,8	2732851,9
381	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	2,33	4792975,2	2732967,3
382	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	0,24	4799024,6	2733089,8
383	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	1,08	4793190,4	2733156,0
384	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	0,45	4801206,1	2733250,8
385	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	1,21	4799655,8	2733282,2
386	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	1,41	4799150,0	2733294,8
387	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	0,71	4793055,2	2733295,7
388	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	1,20	4798875,5	2733355,2
389	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	1,58	4801602,9	2733499,7
390	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	0,54	4793398,6	2733777,4
391	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	6,08	4794238,1	2733764,3
392	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	0,06	4793724,8	2734154,9
393	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	2,09	4798936,6	2734708,9
394	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	0,78	4799317,4	2734883,2
395	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	0,30	4799728,8	2734899,1
396	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	0,31	4799782,6	2734972,1
399	512	(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	2,91	4792393,3	2735855,4
618	4112	(Zpna) Zonas Pantanosas Artificializadas	0,25	4803723,0	2729151,4
619	4112	(Zpna) Zonas Pantanosas Artificializadas	0,43	4804615,4	2729476,6
620	4112	(Zpna) Zonas Pantanosas Artificializadas	0,28	4804591,7	2729597,4
621	4112	(Zpna) Zonas Pantanosas Artificializadas	0,10	4804701,4	2729783,9

ID	NOMEN C	TIPO DE CUERPO	AREA Ha	ESTE	NORTE
759	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	4,73	4799795,7	2733826,0
760	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	2,43	4802752,2	2733830,0
761	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	1,71	4791563,3	2734061,6
762	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	13,67	4803236,4	2733715,5
763	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	7,70	4800607,3	2733924,3
764	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	63,54	4802229,8	2733805,2
765	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,51	4802504,7	2734261,0
766	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,74	4792024,6	2734336,9
767	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	1,28	4799168,2	2734425,9
768	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	3,82	4792911,6	2734363,3
769	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	3,20	4791530,6	2734646,2
770	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,84	4800677,8	2734716,0
771	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	7,02	4801527,3	2734687,1
772	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,58	4799588,7	2734993,5
773	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	2,49	4800085,9	2734924,3
775	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	5,66	4800575,6	2735076,1
776	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	16,30	4799830,4	2734850,4
777	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,39	4800206,5	2735282,5
778	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	1,15	4791324,6	2735190,3
779	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,35	4791623,3	2735341,3
780	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,67	4791736,0	2735341,9
783	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,38	4791808,1	2735508,7
786	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	1,55	4801177,2	2735526,6
789	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	2,52	4801742,7	2735573,1
791	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,22	4801511,8	2735886,5
792	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	0,48	4791011,2	2735921,1
798	4111	(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	2,10	4790959,4	2736204,8

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2023

A continuación, se encuentra el listado de los cuerpos lóticos identificados en el área de influencia.

Tabla 5-59 Cuerpos de agua Lóticos

NOMBRE GEOGRÁFICO	ESTE	NORTE	NOMBRE GEOGRÁFICO	Este	Norte
Arroyo Caño Fistola	922521.15	1666594.80	NN202	908772.78	1669776.68
Arroyo Carreto	909923.32	1669171.36	NN203	912200.39	1665937.40
Arroyo Carreto	910048.25	1669335.48	NN204	910808.50	1667793.49
Arroyo El Cojo	919026.65	1663286.85	NN205	914370.85	1665501.46
Arroyo El Martillo	920468.93	1666925.37	NN206	911416.72	1666535.13
Arroyo El Martillo	922263.15	1666326.21	NN207	909604.42	1669498.37
Arroyo Guayepo	921196.36	1665757.56	NN208	911954.63	1666418.15
Arroyo Guayepo	914867.83	1666677.43	NN209	909845.55	1667814.38
Arroyo Guayepo	910708.63	1667871.96	NN21	913444.25	1665721.50
Arroyo Horqueta	922328.28	1666944.10	NN210	911164.18	1667409.63
Arroyo Horqueta	922969.79	1666922.98	NN211	910100.06	1667526.56
Arroyo Manga	908831.17	1669791.08	NN212	911628.12	1666859.91
Arroyo Portugués	912886.90	1665639.96	NN213	912013.07	1667271.30
Arroyo Portugués	913907.90	1665188.15	NN214	913283.61	1666747.02
Brazo 1 Arroyo Guayepo	912493.35	1666892.21	NN215	911410.23	1666826.66
Brazo 2 Arroyo Guayepo	911851.83	1666941.09	NN216	911109.70	1668911.17
Directo Río Magdalena	922741.84	1663648.75	NN217	909793.58	1668996.84
NN 1	912685.50	1666364.75	NN218	909405.71	1669244.43
NN 2	912864.14	1666206.49	NN219	911691.84	1666732.18
NN 3	915058.55	1666052.20	NN22	910968.98	1668098.90
NN 4	922456.34	1665514.27	NN220	914622.88	1665745.50
NN 5	922624.99	1665133.23	NN221	915272.09	1666696.70
NN 6	919115.25	1665497.36	NN222	909431.68	1669652.92
NN10	915851.79	1666301.62	NN223	912538.83	1665587.02
NN100	910018.73	1669458.49	NN224	911940.66	1667768.08
NN101	919215.06	1664334.38	NN225	910922.05	1667807.39
NN102	911553.56	1667870.89	NN226	910611.53	1668603.93
NN103	914695.30	1665526.01	NN227	909875.10	1668016.47
NN104	911935.07	1666832.04	NN228	922724.67	1666381.36
NN105	910201.62	1669819.30	NN229	909474.13	1668018.94
NN106	911838.05	1667391.58	NN23	910857.90	1668181.77
NN107	910511.48	1668195.30	NN230	910076.42	1668077.56
NN108	912348.96	1666995.91	NN231	909238.25	1668678.10
NN109	916154.11	1666041.89	NN232	913087.89	1666706.56
NN11	911528.18	1667440.27	NN233	912234.42	1666349.27
NN110	912254.47	1666508.35	NN234	910208.86	1668421.38
NN111	911444.74	1668356.95	NN235	911484.67	1666981.94
NN112	909830.51	1667813.66	NN236	913444.39	1666028.26
NN113	914210.96	1666355.95	NN237	910128.19	1668028.40
NN114	911691.12	1667770.76	NN238	911884.54	1665937.58
NN115	913582.52	1665287.51	NN239	910023.21	1667966.30
NN116	911506.59	1666473.18	NN24	910921.73	1668235.79

NOMBRE GEOGRÁFICO	ESTE	NORTE	NOMBRE GEOGRÁFICO	Este	Norte
NN117	911227.17	1666952.79	NN240	913261.67	1666183.46
NN118	912062.21	1665977.23	NN241	909964.03	1667986.19
NN119	920049.40	1667180.96	NN242	922633.73	1666873.54
NN12	914152.61	1666037.05	NN243	910044.56	1667960.57
NN120	912970.47	1666766.59	NN244	914481.69	1667192.30
NN121	909347.52	1668774.89	NN245	909933.23	1668099.73
NN122	910114.96	1668225.40	NN246	911991.40	1666422.25
NN123	911881.34	1667381.23	NN247	914092.52	1666331.26
NN124	923151.58	1666845.20	NN248	923283.88	1664364.59
NN125	913982.69	1666611.68	NN249	912110.79	1666428.57
NN126	909085.66	1669139.12	NN25	909753.57	1668853.17
NN127	910243.81	1668255.71	NN250	910535.60	1668913.30
NN128	910167.29	1668145.70	NN251	920330.86	1666783.17
NN129	911816.79	1666684.84	NN252	910513.42	1667532.14
NN13	913750.43	1665592.17	NN26	910034.49	1668696.80
NN130	912833.96	1666668.42	NN27	909862.30	1668878.62
NN131	910718.71	1667791.29	NN28	912170.81	1666563.47
NN132	921937.83	1666939.26	NN29	909319.09	1668989.07
NN133	912194.83	1666969.90	NN30	918259.43	1665239.85
NN134	911291.44	1666897.05	NN31	909643.88	1669001.57
NN135	913609.68	1666802.11	NN32	909380.73	1669316.76
NN136	910005.96	1669077.35	NN33	909450.83	1669245.34
NN137	911793.24	1666163.45	NN34	909987.46	1668718.18
NN138	909928.93	1667551.09	NN35	910501.02	1668291.37
NN139	912449.76	1666745.80	NN36	911424.61	1667534.68
NN14	916222.00	1666372.16	NN37	911672.42	1667228.68
NN140	911521.65	1666489.27	NN38	911821.88	1667276.80
NN141	914034.90	1666911.22	NN39	911924.91	1667024.98
NN142	915115.88	1666692.46	NN40	912224.77	1666626.79
NN143	909738.97	1668064.22	NN41	912634.73	1666227.62
NN144	914966.26	1665456.07	NN42	912661.26	1666159.07
NN145	911049.36	1667810.51	NN43	912712.61	1666142.34
NN146	910728.34	1668086.88	NN44	912768.54	1666134.82
NN147	910882.69	1667670.86	NN45	912844.11	1666140.12
NN148	910572.21	1667855.80	NN46	914158.60	1665959.91
NN149	912710.33	1665853.55	NN47	914289.74	1665834.79
NN15	918696.48	1667025.19	NN48	913142.41	1665831.48
NN150	915298.47	1665863.68	NN49	913049.70	1665927.95
NN151	912570.65	1667085.35	NN5	910071.80	1668717.53
NN152	910032.20	1667606.62	NN50	913022.11	1666007.63
NN153	910317.68	1667835.32	NN51	915348.75	1666354.03
NN154	914163.73	1665842.32	NN52	920853.56	1664324.09
NN155	910871.71	1667755.08	NN53	922295.35	1664270.44
NN156	912014.68	1667641.21	NN54	912962.45	1665811.78
NN157	922833.62	1666900.23	NN55	912604.97	1666380.26
NN158	909911.13	1667621.55	NN56	911220.56	1667731.19
NN159	914811.19	1666987.22	NN57	911474.40	1667294.52
NN16	912020.97	1666762.04	NN58	914912.15	1666052.24

NOMBRE GEOGRÁFICO	ESTE	NORTE	NOMBRE GEOGRÁFICO	Este	Norte
NN160	914278.30	1666747.75	NN59	913027.44	1665772.03
NN161	909958.09	1667930.02	NN6	912332.44	1666625.81
NN162	910556.94	1667683.95	NN60	909896.79	1668881.42
NN163	912772.13	1666690.11	NN61	911552.08	1667243.89
NN164	913463.52	1666857.04	NN62	911396.71	1667275.96
NN165	913872.10	1666946.19	NN63	912575.77	1665854.28
NN166	923181.64	1664556.60	NN64	912636.02	1665857.39
NN167	911327.62	1668374.25	NN65	912499.78	1665921.71
NN168	914038.66	1665385.88	NN66	909393.16	1669178.23
NN169	910432.62	1668555.88	NN67	912598.38	1666374.83
NN17	911620.36	1667394.34	NN68	911601.33	1667288.92
NN170	911778.32	1667062.96	NN69	912453.22	1666373.21
NN171	912311.38	1665896.73	NN7	922372.48	1666409.99
NN172	911509.33	1666944.78	NN70	911642.24	1667301.64
NN173	912685.02	1666738.29	NN71	911192.62	1667760.55
NN174	920816.82	1664392.22	NN72	912562.97	1665960.80
NN175	915525.15	1665769.39	NN73	911861.58	1666964.06
NN176	909449.71	1668504.76	NN74	914080.58	1665860.19
NN177	912639.09	1666806.20	NN75	913337.52	1665622.43
NN178	911697.19	1666483.39	NN76	912587.00	1666395.63
NN179	911721.02	1666912.20	NN77	911460.99	1667471.52
NN18	911675.11	1667475.93	NN78	909832.72	1669297.49
NN180	911528.16	1668171.65	NN79	913354.60	1666007.44
NN181	911447.45	1667040.78	NN8	910262.57	1668537.46
NN182	912023.71	1667574.82	NN80	911666.89	1667839.43
NN183	915379.90	1665945.73	NN81	911656.78	1667107.08
NN184	911131.05	1667280.52	NN82	911370.14	1668175.00
NN185	910646.58	1667713.49	NN83	908985.91	1669067.94
NN186	911092.17	1667688.93	NN84	911229.80	1668082.94
NN187	910341.16	1668002.48	NN85	909963.28	1669325.40
NN188	915942.73	1666797.11	NN86	911373.27	1666674.35
NN189	910385.70	1668699.03	NN87	913781.41	1667021.83
NN19	909229.42	1669406.12	NN88	910854.51	1668839.24
NN190	911628.10	1668275.73	NN89	919484.76	1663496.76
NN191	909985.39	1668050.47	NN9	911683.07	1667579.22
NN192	911950.02	1665856.10	NN90	909915.93	1667831.87
NN193	915878.49	1666393.11	NN91	913306.10	1666187.12
NN194	909595.62	1669210.51	NN92	913493.61	1666739.45
NN195	922322.43	1666627.50	NN93	911553.36	1668466.05
NN196	913137.10	1665605.59	NN94	910803.74	1667712.03
NN197	910341.67	1667598.67	NN95	909511.72	1668730.59
NN198	910559.81	1668984.52	NN96	913687.95	1666737.06
NN199	913985.91	1665587.18	NN97	910949.57	1668913.51
NN20	922868.31	1663996.09	NN98	915984.36	1666097.05
NN200	912764.34	1667216.11	NN99	909201.89	1668761.75
NN201	910257.91	1668340.56			

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

5.1.4.5 Características morfométricas

Para el análisis de caudales en el sitio de interés, se procedió a delimitar y caracterizar las cuencas del área. Para las seis cuencas que interceptan el proyecto se determinaron las características morfométricas como: área, perímetro, pendiente media, índice de compacidad, factor de forma, tiempo de concentración, índice de sinuosidad, densidad de drenaje, densidad de corrientes y patrones de drenaje. A continuación, se describe cada una de estas características.

5.1.4.5.1 Longitud (L) y ancho (B) de la cuenca

Longitud de la cuenca de drenaje (L) es la única variable que define en cierto modo su elongación y que es, a la vez, de medición directa. La medida de la longitud de esta deberá coincidir con el máximo recorrido del agua; es decir, se deberá tomar la longitud del curso principal. El ancho de la cuenca (B) se define como la relación entre el área y la longitud de la cuenca.

5.1.4.5.2 Factor de forma de Horton (Kf)

El coeficiente de forma es la relación entre el ancho medio de la cuenca (B) y la longitud de su cauce principal (L_c) (IDEAM). El ancho medio se obtiene cuando se divide el área de la cuenca por la longitud del cauce principal, por lo tanto, el Coeficiente de Forma queda definido así:

$$k_f = \frac{B}{L_c} = \frac{A}{L_c^2}$$

Donde:

B: Ancho medio de la cuenca

L_c: Longitud de cauce principal

A: Área de la cuenca

5.1.4.5.3 Coeficiente de compacidad (K_c)

El Índice utilizado para representar la forma de la cuenca es el coeficiente de compacidad de Gravelius, o índice de compacidad, y que es igual a la relación entre el perímetro de la cuenca (P) y el perímetro de un círculo de igual área (P_c). En términos del área, el círculo es la figura de menor perímetro, por tanto, en cualquier caso, este coeficiente será mayor que la unidad. Así, mientras más cercano a la unidad sea el coeficiente de compacidad, la forma de la cuenca se aproxima a la circular, y entre más alejado de ella, más irregular es su forma en relación con el círculo.

$$k_c = \frac{P}{P_c} = \frac{P}{2\pi r} = 0.28 \frac{P}{A^{1/2}}$$

Donde:

A: Área de la cuenca

P: Perímetro de la cuenca

P_c: Radio equivalente de la circunferencia

Tabla 5-60 Categorías para la clasificación de la cuenca de acuerdo con el coeficiente de compacidad

VALORES DE K _c	FORMA	CARACTERÍSTICAS
1,00 – 1,25	Compacta o redonda a oval redondeada	Cuenca torrencial peligrosa
1,25 – 1,50	Oval redonda a oval oblonga	Presenta peligros torrenciales, pero no iguales a la anterior
1,50 – 1,75	Oval oblonga a rectangular oblonga	Son las cuencas que tienen menos torrencialidad

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

5.1.4.5.4 Factor de forma (K_f)

Factor de forma (K_f) es otra variable que intenta evaluar la elongación de una cuenca de drenaje. La variable relaciona el área de la cuenca (A) con el cuadrado de la longitud de esta (IDEAM)

$$K_f = \frac{B}{L_c} = \frac{A}{L_c^2}$$

Tabla 5-61 Característica de la cuenca según el factor de forma

VALORES APROXIMADOS	FORMA DE LA CUENCA
<0,22	Muy Alargada
0,22 – 0,30	Alargada
0,30 – 0,37	Ligeramente alargada
0,37 – 0,45	Ni alargada ni ensanchada
0,45 – 0,60	Ligeramente ensanchada
0,60 – 0,80	Ensanchada
0,80 – 1,20	Muy ensanchada
>1,2	Rodeando el desagüe
<0,22	Muy Alargada

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

5.1.4.5.5 Pendiente media (S)

Para determinar la pendiente media de los cauces se procedió a determinar las diferencias de altura en diferentes puntos de la corriente y la longitud entre estas. La pendiente media corresponde al promedio del cociente entre la diferencia de alturas y la longitud del tramo.

5.1.4.5.6 Índice de Sinuosidad (Is)

El cálculo de la sinuosidad es propuesto por Schumm, quien la define como el desarrollo de meandro existentes en el cauce principal de un río, y su cálculo se obtiene poniendo en relación la longitud de dicho cauce con la longitud máxima del valle que forma. (IDEAM).

$$I_s = \frac{L_c}{L_v}$$

Donde:

L_c es la longitud del cauce

L_v es la longitud del valle

Tabla 5-62 Clasificación Índice de Sinuosidad

TIPO DE CANAL	ÍNDICE DE SINUOSIDAD
Rectilíneo	< 1,2
Transicional	1,2 – 1,5
Regular	1,5 – 1,7
Irregular	1,7 – 2,1
tortuoso	>2,1

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

5.1.4.5.7 Tiempo de concentración

El tiempo de concentración es un parámetro que se usa intensamente en los cálculos de la relación precipitación-escurrentía es el tiempo de concentración de la cuenca que es el tiempo que una partícula de agua tarda en llegar del punto más alejado al punto de concentración. Para el presente trabajo, se empleó la metodología propuesta por Kirpich, cuya expresión fue desarrollada con información proporcionada por el Soil Conservation Service (SCS). Su expresión es:

$$t_c = 0,000325 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,77}$$

Donde: L es la longitud del cauce principal en metros.

S es la pendiente del canal en m/m.

5.1.4.5.8 Densidad de drenaje (Dd)

Para determinar la densidad del drenaje se tomó la relación entre la longitud de los cursos de agua de las cuencas y su área.

$$Dd = \frac{\text{Longitud de corrientes (km)}}{\text{Area cuenca (km2)}}$$

En la Tabla 5-63, se muestran los resultados de los análisis morfométricos de las cuencas del área de influencia preliminar del proyecto determinada para la caracterización.

Tabla 5-63 Características morfométricas cuencas proyecto Guayepo

	ARROYO CARRETO	ARROYO MANGA	ARROYO GUAYEPO	ARROYO FISTOLA	ARROYO EL COJO
Área (km ²)	3,21	0,41	43,63	11,96	50,23
Perímetro (m)	7.726,9	2.762,0	45.223,0	20.871,0	61.238,0
Longitud (m)	3.078,6	1.278,0	20.825,8	9.928,4	26.090,0
Índice de Compacidad	1,21	1,21	1,92	1,69	2,42
Pendiente (m/m)	0,0104	0,0078	0,0048	0,0039	0,0008
Factor de Forma	0,34	0,25	0,10	0,12	0,07
Tiempo de concentración (minutos)	54,9	31,1	320,9	196,73	748,56
Índice de sinuosidad	0,63	0,95	0,84	0,79	4,03
Densidad de drenaje	0,00096	0,00312	0,00048	0,00083	0,00052
Densidad de corrientes	9,35	9,76	0,69	2,68	0,16

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

5.1.4.6 Patrón de drenaje e interacción agua superficial-Agua subterránea

Como se indicó en el numeral anterior, los arroyos en el área de interés drenan por condiciones topográficas en sentido occidente-oriente, entregando a un sistema de lagunas cercanas al río Magdalena, cuya condición depende de los periodos de verano e invierno de este.

Con respecto a las condiciones agua subterránea-superficial, se han identificado como principales mecanismos de recarga, la infiltración de agua de escorrentía, la precipitación para los acuíferos de edad Cuaternario y para las zonas donde afloran las unidades hidrogeológicas con mayor capacidad de almacenamiento. La descarga del agua

subterránea es muy baja, puesto que durante la temporada de verano se presenta cauce seco, lo que indica el poco aporte de este recurso en el caudal base de los arroyos.

5.1.4.7 Análisis de caudales

La metodología para la determinación de caudales de los cuerpos lóticos en los que se solicitaran las ocupaciones de cauce tuvo en cuenta los métodos de Soil Conservation Service (SCS), y del Hidrograma Sintético Triangular de Témez, los cuales son trabajados dentro del Estudio Hidrológico realizado para el parque solar, y mostrados a detalle en el Anexo 5.1.4 Hidrología / Parque Solar.

De manera complementario, y como se indicó anteriormente, se realizó una revisión de las estaciones instrumentadas en la zona y otra de las estaciones limnimétricas y limnigráficas en las cuencas de interés. A continuación, se presentan los resultados.

5.1.4.7.1 Caudales medios

Para el análisis de caudales medios se empleó la estación hidrométrica más cercana al sitio del proyecto, esta es la estación Calamar, ubicada en el río Magdalena aguas arriba del Canal del Dique, registra niveles y caudales a nivel diario, desde 1940 hasta 2015, con registros casi ininterrumpidos. Sin embargo, la difluencia en este punto altera los caudales característicos aguas abajo del Canal.

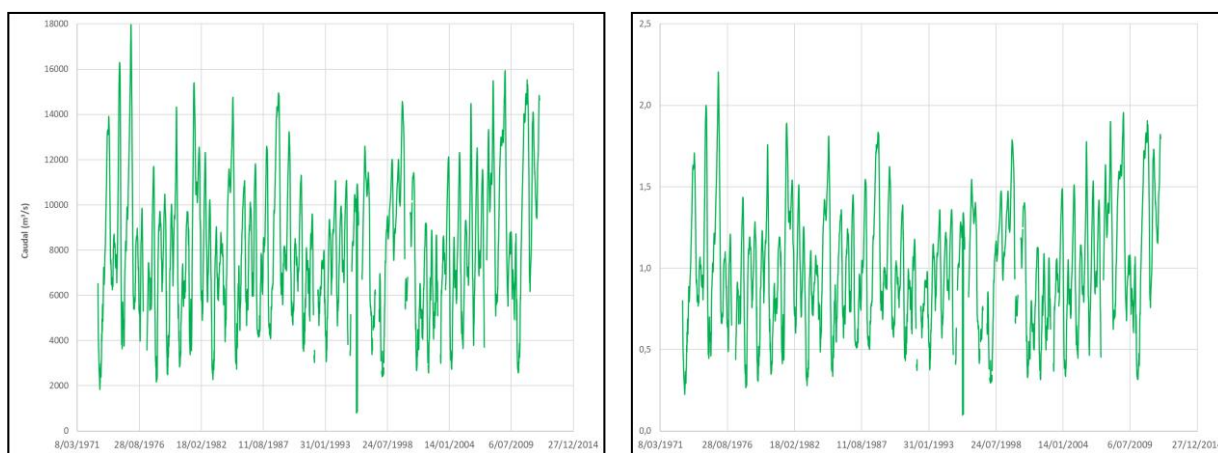
Para complementar los análisis fue necesario acudir a los registros de la estación Incora K7 en el Canal del Dique, que, adicionados a los obtenidos en Calamar, podría caracterizar las condiciones de caudal aguas abajo cercanas al sitio del proyecto Guayepo. Para realizar este ejercicio, fue necesario determinar el periodo común estas estaciones, el cual se estableció entre 1973 y 2011. A partir de lo establecido, se efectuaron los análisis señalados en la metodología, arrojando los siguientes resultados:

En la gráfica de serie de tiempo (Figura 5-28) se observa un promedio cercano a los 8000 m³/s, al igual que la aleatoriedad de los registros, con caudales bajos menores a 100 m³/s y altos que alcanzan casi los 18.000 m³/s. También se puede apreciar que los caudales tienen muy pocos periodos de ausencia de información. A primera vista, se ve una serie

confiable, con las oscilaciones normales de una cuenca con periodos húmedos y secos a lo largo de toda su historia.

En la columna de la derecha de la Figura 5-28, se presentan los caudales medios diarios normalizados sobre el valor del registro promedio. En esta figura se observa que los caudales máximos diarios son cercanos al doble de la media, mientras que los mínimos corresponden a cerca del 15 % del registro promedio.

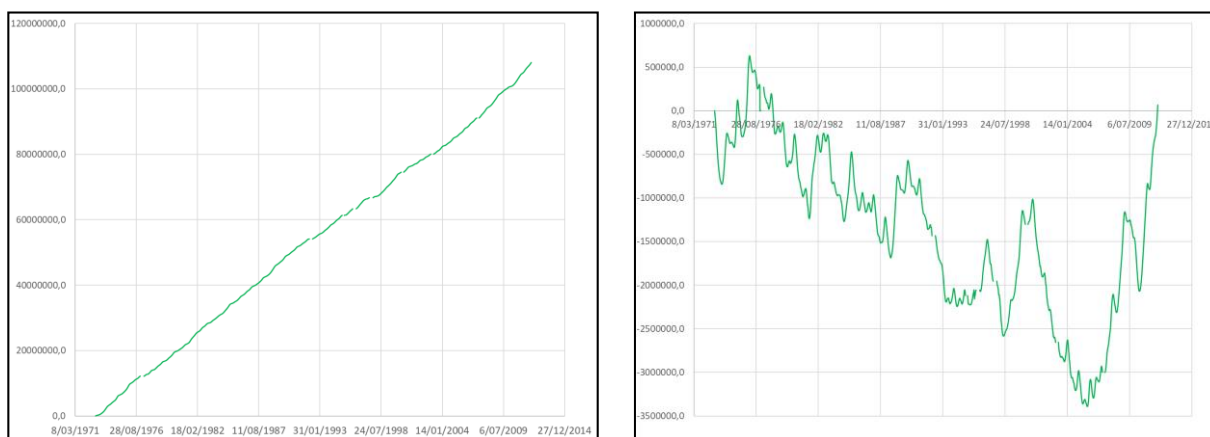
Figura 5-28 Análisis Gráfico - Serie de tiempos de caudal medio diario (panel izquierdo) y caudal medio diario normalizado – Registros tomados en la Estación Calamar.



Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM -, 2018, elaborado por EIA PROYECTO GUAYEPO SOLAR, 2020

Con respecto a las curvas de masa, tanto simple como diferencial (Ver Figura 5-29), se observa que la curva de masa simple (panel de la izquierda) presenta una tendencia lineal, mientras que en la curva diferencial de masa (panel de la derecha), observa una clara tendencia descendente de los caudales ente el periodo comprendido entre 1976 y 2005. Para los últimos seis (6) años de registro, se observa una tendencia claramente ascendente de los caudales.

Figura 5-29 Análisis gráfico – Gráfico de masa y diferencial de masa. Registros tomados en la Estación Calamar.

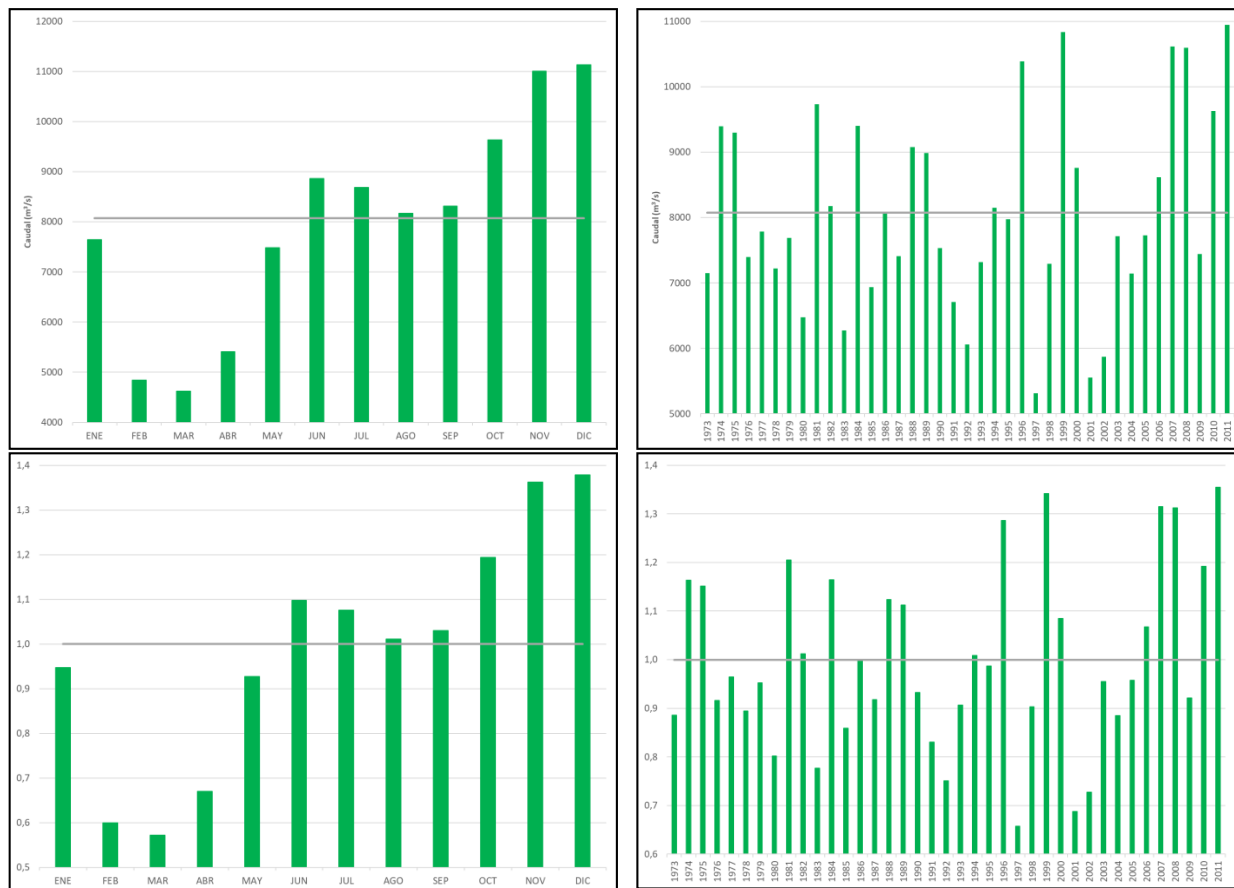


Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM -, 2018, elaborado por EIA PROYECTO GUAYEPO SOLAR, 2020

Observando los caudales medios mensuales y anuales (Ver Figura 5-30) se puede establecer que la zona presente un comportamiento monomodal, con un periodo seco entre enero y mayo y otro húmedo entre junio y diciembre. El mes de menor caudal corresponde a marzo con valores cercano a $4500 \text{ m}^3/\text{s}$, correspondiente al 60 % del caudal medio mientras que el de mayor caudal corresponde a diciembre con registros medios superiores a $11.000 \text{ m}^3/\text{s}$, es decir, 40 % superior al caudal medio multianual.

En términos de caudales medios anuales, se observa la variabilidad de estos a lo largo del tiempo, con caudales medios anuales ligeramente superiores a $5000 \text{ m}^3/\text{s}$, en el caso de los más bajos y cercano a $11.000 \text{ m}^3/\text{s}$ en el caso de los caudales más altos. El año más húmedo corresponde a 2011, año donde se presentó el fenómeno de la Niña, lo cual se asocia a inundaciones en la zona.

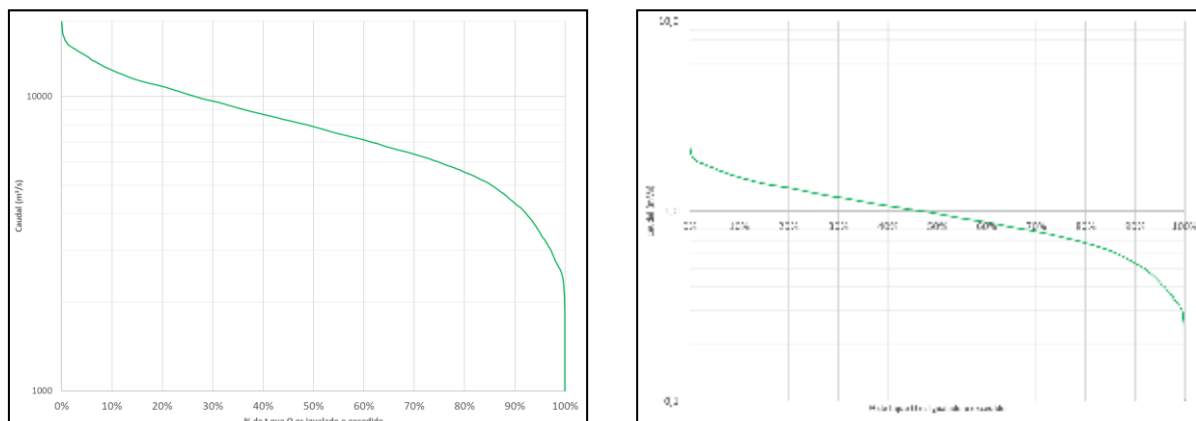
Figura 5-30 Análisis Gráfico – Caudales medios mensuales y medios anuales. En los paneles de la izquierda se encuentran los valores medidos y a la derecha los valores normalizados sobre el registro promedio. Registros tomados en la Estación Calamar.



Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM -, 2018, elaborado por EIA
PROYECTO GUAYEPO SOLAR, 2020

Las curvas de duración de caudales (Ver Figura 5-31) muestran una cuenca con buena regulación, esto es debido a que posee un área muy grande; se puede observar que el caudal medio es igualado o excedido cerca de un 48 % del tiempo, mientras que el caudal firme, correspondiente al 95 % del tiempo, es 3430 m³/s. El caudal mediano es 7902 m³/s. En la columna derecha de la figura se observa el caudal términos adimensionales (caudal normalizado sobre el registro promedio).

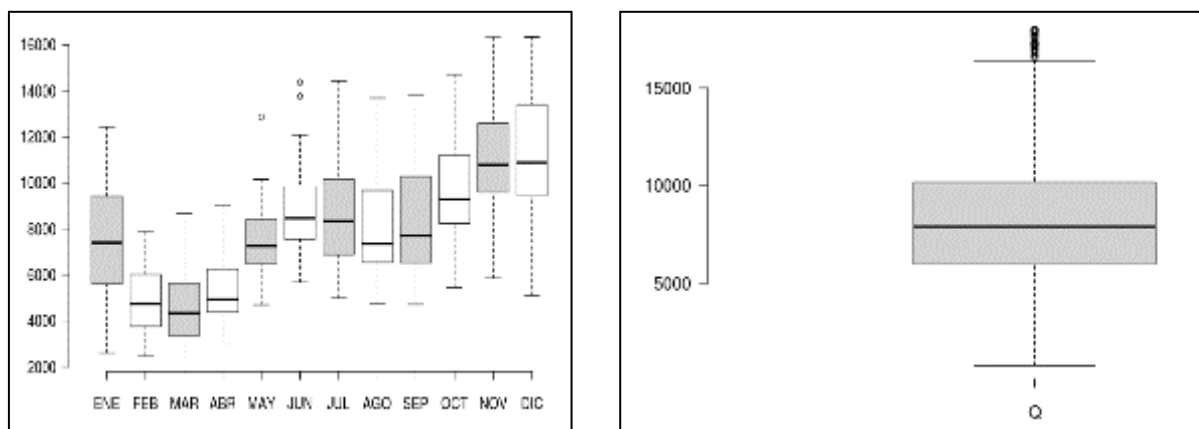
Figura 5-31 Análisis Gráfico – Curva de duración de caudales, medida (panel de la izquierda) y normalizada (panel de la derecha). Registros tomados en la Estación Calamar.



Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM -, 2018, elaborado por EIA PROYECTO GUAYEPO SOLAR, 2020

En la Figura 5-32, se presentan los diagramas de caja, tanto a nivel mensual como anual. En ellos se pueden ver las distribuciones de los datos y aquellos que se presumen anormales. Se corrobora la distribución anteriormente indicada.

Figura 5-32 Análisis Gráfico – Gráficos de caja (Box-plots). Registros tomados en la Estación Calamar.

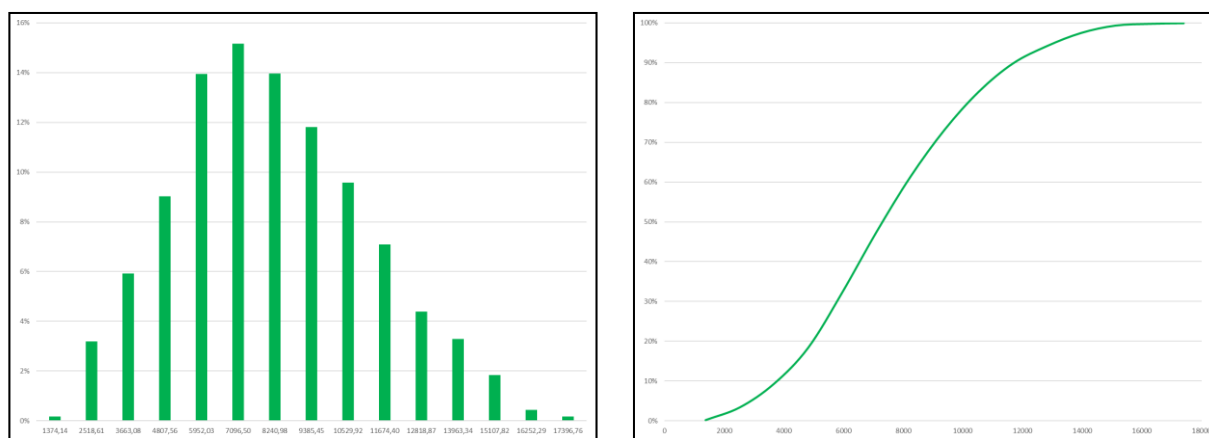


Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM -, 2018, elaborado por EIA PROYECTO GUAYEPO SOLAR, 2020

Finalmente se elaboró un histograma de frecuencia de caudales medios diarios, buscando conocer el comportamiento de estos e inferir un ajuste a una distribución de

probabilidad. Observando la gráfica presentada (Ver Figura 5-33) se ve que el agrupamiento de los datos podría corresponder a una distribución normal con una mayor agrupación de datos en el rango de los 8000 m³/s. En la columna de la derecha, se observa la distribución acumulada de los datos.

Figura 5-33 Análisis Gráfico – Histograma correspondiente a los de caudales medios diarios (panel de la izquierda) y distribución acumulada de los caudales (panel de la derecha). Registros tomados en la Estación Calamar.



Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM -, 2018, elaborado por EIA PROYECTO GUAYEPO SOLAR, 2020

También se aplicó una prueba de rachas, con la cual se verificó que los caudales medios mensuales tuviesen un comportamiento aleatorio. Se estableció que la mediana sería el caudal cuyo valor determinaría los caudales positivos o negativos. En la Tabla 5-64, se presentan los resultados. Allí se observa que los caudales medios mensuales presentan un comportamiento aparentemente aleatorio, sin embargo, esto se corroboró con la prueba de hipótesis. Esos resultados se muestran en la Tabla 5-65 corroborando que los datos de la estación cumplen con la aleatoriedad requerida.

Tabla 5-64 Análisis de rachas. Registros tomados en la Estación Calamar.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1973	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+
1974	+	+	+	+	+	-	-	+	-	+	+	+
1975	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1976	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
1977	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
1978	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-
1979	-	-	-	-	+	+	+	-	+	+	+	+
1980	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1981	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1982	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
1983	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-
1984	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+
1985	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-
1986	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	-
1987	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+
1988	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+
1989	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+
1990	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+
1991	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1993	-	-	-	+	+	+	-	-	+	-	-	-
1994	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
1995	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-
1996	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-
1997	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1998	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	+
1999	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2000	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-
2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2002	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
2003	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+
2004	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+
2005	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-	+	+
2006	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+
2007	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
2008	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2009	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2010	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
2011	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM -, 2018, elaborado por EIA
PROYECTO GUAYEPO SOLAR, 2020

Tabla 5-65 Análisis de rachas – Resultados2

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
+	19	18	17	18	19	19	19	19	19	19	20	20
-	20	21	22	21	20	20	20	20	20	20	19	19
r	23	23	20	24	20	18	20	17	21	17	21	15
n	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
μ	20.5	20.4	20.2	20.4	20.5	20.5	20.5	20.5	20.5	20.5	20.5	20.5
σ_x	3.08	3.06	3.03	3.06	3.08	3.08	3.08	3.08	3.08	3.08	3.08	3.08
z	0.82	0.85	-0.06	1.18	-0.16	-0.81	-0.16	-1.13	0.17	-1.13	0.17	-1.78

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM -, 2018, elaborado por EIA
PROYECTO GUAYEPO SOLAR, 2020

Para analizar la homogeneidad de los registros, se dividió la serie de caudales en dos, la primera serie corresponde al periodo 1973 – 1992 y la segunda al periodo 1993 – 2011. Esto con el propósito de identificar si las condiciones de estacionalidad han cambiado a lo largo del tiempo. Las series tienen las características presentadas en la Tabla 5-66 y Tabla 5-67, en las cuales se observan errores menores al 8 %.

2 En la primera fila se presenta el número de caudales por encima de la mediana, mientras que, en la segunda, los caudales por debajo. En la tercera fila el número de rachas de cada mes.

Tabla 5-66 Características estadísticas de la serie 1973 – 1992. Registros tomados en la Estación Calamar.

73-92	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
MED	7416,6	4643,2	4510,0	5168,5	7231,1	8443,8	8121,9	7690,4	7978,1	9771,7	11418,5	11131,8
MAX	12416,1	7753,0	6745,1	6915,2	10147,1	14359,0	14420,4	11445,4	12463,6	13996,3	16319,2	16339,4
MIN	4316,7	2496,5	2355,6	3040,7	4697,0	5677,4	5011,5	5787,3	4714,8	7379,0	7345,3	7240,3
CUARTIL 1	5587,4	3518,3	3274,4	4447,8	6284,4	7021,8	6695,0	6525,6	6441,0	8294,2	9886,0	9133,2
MEDIANA	7101,9	4376,8	4646,3	4991,5	7176,3	8174,3	7678,7	7247,2	7340,3	9278,9	11167,7	10679,6
CUARTIL 3	8197,5	5719,6	5318,6	6216,6	8175,2	9351,4	9267,0	7962,5	9104,2	11228,8	13009,8	13178,9
DESV EST	2224,4	1598,8	1328,1	1107,9	1518,2	2036,1	2206,4	1717,3	2119,8	1983,8	2338,6	2637,4
COEF VAR	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2
COEF ASIM	0,8	0,5	0,0	-0,1	0,1	1,4	1,2	1,2	0,6	0,8	0,4	0,3
CURTOSIS	0,3	-0,5	-1,0	-0,7	-0,6	2,8	2,2	0,4	-0,5	-0,4	-0,2	-0,8

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM -, 2018, elaborado por EIA PROYECTO GUAYEPO SOLAR, 2020

Tabla 5-67 Características estadísticas de la serie 1993 – 2011. Registros tomados en la Estación Calamar.

93-11	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
MED	7878,6	5072,6	4753,4	5664,1	7756,7	9329,8	9317,1	8669,0	8689,8	9489,8	10571,6	11138,0
MAX	12232,9	7871,6	8654,5	9034,1	12857,1	13760,8	12363,0	13682,7	13792,8	14711,1	14736,8	15440,0
MIN	2612,4	2648,5	2553,2	3838,7	4823,5	5760,9	5220,7	4747,4	4903,2	5452,7	5852,0	5100,5
CUARTIL 1	5674,5	3900,3	3409,9	4349,8	6520,0	8122,4	8020,9	6796,8	6742,6	8164,8	8949,1	9935,2
MEDIANA	8518,7	5066,1	4095,9	4929,6	7674,8	9110,6	8944,4	8197,4	8403,4	9395,3	10740,0	11347,7
CUARTIL 3	9742,8	6070,8	5932,7	6765,8	8596,0	10505,7	11757,6	10314,8	10291,1	10868,4	11770,9	13491,8
DESVEST	2716,1	1623,6	1743,9	1642,7	1905,8	2039,8	2270,2	2579,3	2562,5	2435,9	2639,3	2880,2
COEF VAR	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3
COEF ASIM	-0,2	0,1	0,8	0,9	0,9	0,4	-0,1	0,4	0,4	0,3	-0,1	-0,5
CURTOSIS	-0,8	-1,0	0,0	-0,2	1,9	0,1	-1,2	-0,7	-0,6	0,0	-0,5	-0,2

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM -, 2018, elaborado por EIA PROYECTO GUAYEPO SOLAR, 2020

Para el análisis de consistencia se acudió a la estimación de los errores en los estadísticos de las series. Esto permite establecer en principio si la longitud de los

registros es suficiente para caracterizar confiablemente el comportamiento de las variables. El análisis se efectuó con las fórmulas indicadas en la sección metodológica y arrojó los siguientes resultados:

Tabla 5-68 Análisis de consistencia para caudales medios diarios. Registros tomados en la Estación Calamar.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
$\sigma_{\bar{x}}$	399,04	270,62	263,01	235,84	281,82	334,10	371,11	362,50	378,86	354,20	399,29	435,82
σ_{cv}	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Error $\sigma_{\bar{x}}$	5,2%	5,6%	5,7%	4,4%	3,8%	3,8%	4,3%	4,4%	4,6%	3,7%	3,6%	3,9%
Error σ_{cv}	12%	13%	13%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%

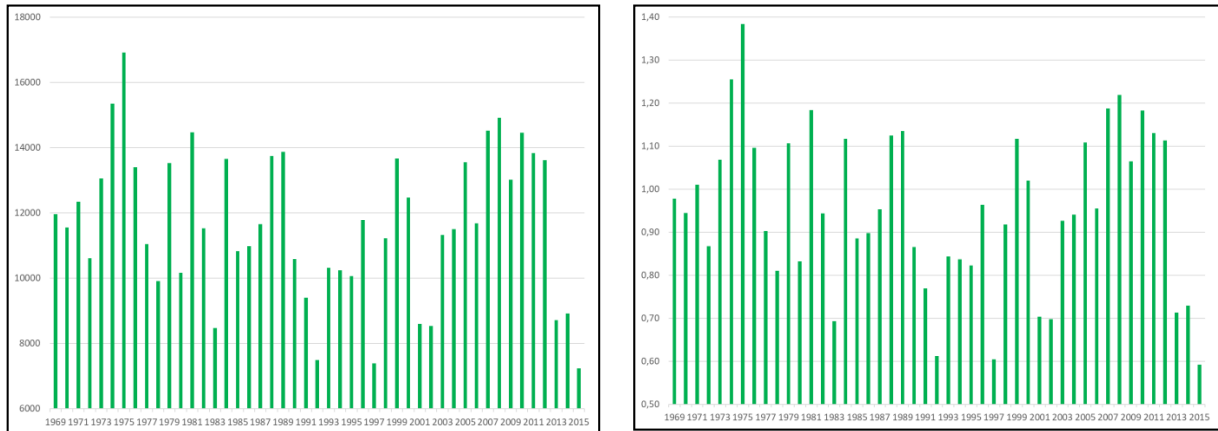
Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM -, 2018, elaborado por EIA PROYECTO GUAYEPO SOLAR, 2020

Como se observa en la Tabla 5-68 los errores en la media son bajos y dentro del rango aceptable, mientras que los errores en el coeficiente de variación son mayores al 10 %, sin embargo, son aceptables para los estándares nacionales.

5.1.4.7.2 Caudales máximos

Al igual que los caudales medios, los caudales máximos fueron medidos en la estación Calamar. En esta estación, se han registrado caudales máximos desde 1969 hasta 2015, con valores máximos cercanos a los 17.000 m³/s. En la Figura 5-34 se muestran los caudales máximos anuales. Los valores mínimos de estos registros se ubican alrededor de los 7000 m³/s. En términos adimensionales (caudal máximo anual dividido por la media de los máximos), el mayor caudal de los registros se ubica un 40% por encima de la media, los bajos corresponden a un 60 % de la media, como se observa en el panel derecho de la figura.

Figura 5-34 Análisis Gráfico – Caudales máximos anuales estación Calamar (m^3/s (panel izquierdo) y caudal máximo anual normalizado (panel derecho) – Registros tomados en la Estación Calamar.



Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM -, 2018, elaborado por EIA PROYECTO GUAYEPO SOLAR, 2020

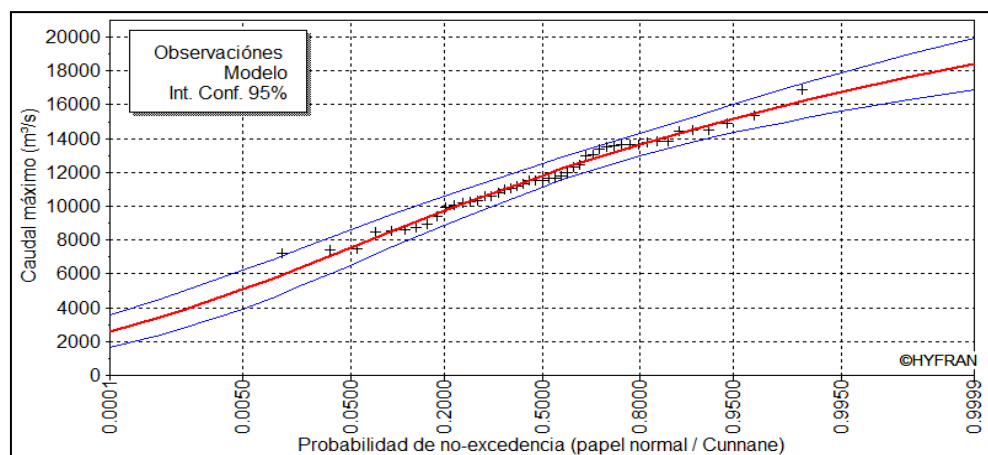
Para determinar los caudales máximos para diferentes periodos de retorno, se efectuó un análisis de frecuencia y ajuste de la serie con varias distribuciones de probabilidad. Los resultados se presentan en la Tabla 5-69, donde se observan los resultados correspondientes a la distribución Weibull. En la Figura 5-35, se presenta la representación gráfica de dicho ajuste. En términos de periodos de retorno, se ha estimado que, para un periodo de retorno de 1000 años, se obtendría un caudal 46 % mayor al de la media de los máximos, mientras que, para un periodo de retorno de 100 años, sería un incremento del 36 %. Para un periodo de 5 años, se tendría un incremento del 12 %.

Tabla 5-69 Ajuste caudales máximos anuales - Estación Calamar (Weibull)

T	QMAX	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	INTERVALO DE CONFIANZA (95%)	
1000,0	17528	676,87	16201	18855
100,0	16351	539,46	15293	17408
50,0	15900	493,09	14933	16867
20,0	15189	429,05	14348	16030
10,0	14519	381,20	13772	15267
5,0	13655	341,68	12985	14325
3,0	12790	330,10	12143	13437
2,3	12229	336,55	11569	12889
2,0	11819	346,96	11139	12499

*Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM -, 2018, elaborado por EIA
PROYECTO GUAYEPO SOLAR, 2020*

Figura 5-35 Ajuste caudales máximos anuales - Estación Calamar (Weibull)



*Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM -, 2018, elaborado por EIA
PROYECTO GUAYEPO SOLAR, 2020*

Para el análisis de caudales en el sitio de interés, se procedió a delimitar y caracterizar las cuencas del área. A continuación, se presentan las características morfométricas de las cuencas y la estimación de los caudales en ellas.

5.1.4.8 Caudales medios y máximos calculados mediante un balance hídrico a largo plazo

Para la determinación de los caudales medios en el área de interés (además de los valores medidos en la estación Calamar), se elaboró un balance hídrico a largo plazo. Para esto, se hizo una valoración de las condiciones climatológicas del área, basada, principalmente, en registros de precipitación y evaporación (tomados de la estación Sabanalarga entre 1990 y 2014), afectados por las condiciones del suelo y realizando algunas correcciones, como la derivada de la evapotranspiración en la zona.

La metodología de balance hídrico empleada considera dos capas de suelo y su capacidad de almacenamiento de agua depende del tipo de suelo de la cuenca. Estas capas de suelo se van llenando o desocupando de acuerdo con las condiciones climatológicas gobernadas por la precipitación y evaporación. El balance de estas entradas y salidas del sistema, determinan la evapotranspiración real (ER) y el escurrimiento (Exceso). Los resultados presentados en las siguientes tablas corresponden a las medias de cada una de las variables durante el periodo de análisis (1990- 2014).

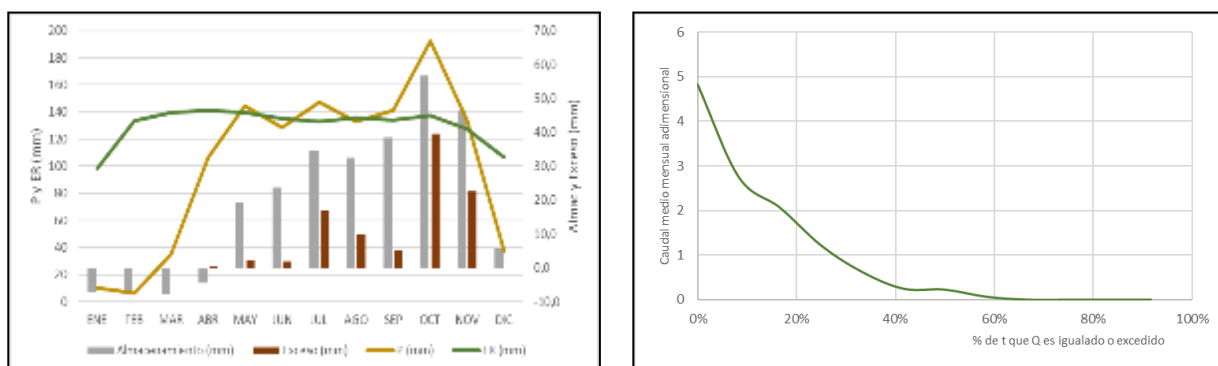
El balance hídrico de la cuenca del arroyo Guayepo muestra un comportamiento seco desde diciembre hasta abril y luego en el trimestre septiembre-noviembre se concentra la temporada húmeda. El arroyo Guayepo tiende a permanecer seco casi 4 meses del año, los mayores caudales medios se presentan durante octubre. El resumen del balance de la cuenca se presenta la Tabla 5-70. El arroyo presenta un caudal medio cercano a los 135 l/s, con octubre como el mes más húmedo con un caudal aproximado de 640 l/s.

Tabla 5-70 Balance hídrico área del proyecto

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
T (°C)	26,8	26,9	27,3	27,9	28,3	28,3	28,1	28,2	27,9	27,6	27,6	27,4
P (mm)	10	7	35	107	145	128	147	133	141	193	134	1216
EP (mm)	138	138	139	141	143	143	142	142	141	140	140	1688
Almac (mm)	0	0	0	0	19,4	24	34,5	32,5	38	56,7	46,6	5,8
Exceso (mm)	0,0	0,0	0,0	0,5	2,0	1,8	16,9	9,9	5,1	39,5	22,5	0,0
ER (mm)	98,5	133	139	141	140	135	133	135	134	137	127	1561

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

Figura 5-36 Balance hídrico y curva de duración de caudales área del proyecto



Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

Finalmente, se presenta en la Tabla 5-71 las excedencias de cada uno de los meses en la cuenca Guayepo.

Tabla 5-71 Excedencias de caudales en la cuenca Guayepo (m³/s)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
95%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
90%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
80%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
75%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
65%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
40%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00
30%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,42	0,00	0,00
25%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,04	0,00	0,00	0,61	0,00	0,00
10%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,06	1,07	0,47	0,05	1,75	0,22	0,00
5%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,11	1,80	0,89	0,45	2,58	2,58	0,00
MAX	0,00	0,00	0,00	0,23	0,35	0,49	2,56	2,09	1,49	5,72	5,70	0,00
MIN	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MEDIA	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,03	0,27	0,16	0,09	0,64	0,38	0,00

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

Los caudales del arroyo Carreto se presentan la Tabla 5-72. El arroyo presenta un caudal medio cercano a los 9,8 L/s, con octubre con el mes más húmedo con un caudal aproximado de 47 l/s.

Tabla 5-72 Excedencias de caudales en la cuenca Carreto (m³/s)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
95%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
90%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
80%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
75%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
65%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
40%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00
30%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,42	0,00	0,00
25%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,04	0,00	0,00	0,61	0,00	0,00
10%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,06	1,07	0,47	0,05	1,75	0,22	0,00
5%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,11	1,80	0,89	0,45	2,58	2,58	0,00
MAX	0,00	0,00	0,00	0,23	0,35	0,49	2,56	2,09	1,49	5,72	5,70	0,00
MIN	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MEDIA	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,03	0,27	0,16	0,09	0,64	0,38	0,00

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

Los caudales del arroyo Manga se presentan la Tabla 5-73. El arroyo presenta un caudal medio cercano a los 1,3 l/s, con octubre con el mes más húmedo con un caudal aproximado de 6 l/s.

Tabla 5-73 Excedencias de caudales en la cuenca Manga (m³/s)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
95%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
90%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
80%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
75%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
65%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
40%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
10%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
5%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,02	0,02	0,00
MAX	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,01	0,05	0,05	0,00
MIN	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MEDIA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

Los caudales del arroyo Fistola se presentan la Tabla 5-74 El arroyo presenta un caudal medio cercano a los 36,5 l/s, con octubre con el mes más húmedo con un caudal aproximado de 176 l/s.

Tabla 5-74 Excedencias de caudales en la cuenca Fistola (m³/s)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
95%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
90%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
80%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
75%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
65%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
40%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
30%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00
25%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00
10%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,29	0,13	0,01	0,48	0,06	0,00
5%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,03	0,49	0,25	0,12	0,71	0,71	0,00
MAX	0,00	0,00	0,00	0,06	0,09	0,14	0,70	0,57	0,41	1,57	1,56	0,00
MIN	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MEDIA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,08	0,04	0,02	0,18	0,10	0,00

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

Los caudales del arroyo El Cojo se presentan la Tabla 5-75 .El arroyo presenta un caudal medio cercano a los 160 l/s, con octubre con el mes más húmedo con un caudal aproximado de 740 l/s.

Tabla 5-75 Excedencias de caudales en la cuenca El Cojo (m³/s)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
95%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
75%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
65%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00
30%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.48	0.00	0.00
25%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.04	0.00	0.00	0.70	0.00	0.00
10%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.07	1.23	0.54	0.05	2.02	0.25	0.00
5%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.12	2.07	1.03	0.52	2.97	2.97	0.00
MAX	0.00	0.00	0.00	0.26	0.40	0.57	2.95	2.41	1.72	6.58	6.57	0.00
MIN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MEDIA	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	0.04	0.32	0.19	0.10	0.74	0.44	0.00

Fuente EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

Luego de los resultados presentados, se concluye fácilmente que el caudal mínimo de los arroyos de la zona da interés es cero. Para la determinación de los caudales máximos, se emplearon métodos lluvia-escorrentía para caracterizar las cuencas con intersección con la infraestructura del proyecto. Dentro de ellos se encuentra la metodología del método racional, Método de curva número, entre otras. Para determinar las pérdidas de la lluvia, obtenidas de la tormenta de diseño se ha utilizado el método empírico de U.S. Soil Conservación Service, más conocido como el método de número de curva del S.C.S.

Para lo anterior, es necesario definir los tipos de suelos de la cuenca sus usos y sus capacidades de drenaje. Para ello se acudió al “Estudio General de Suelos y zonificación de tierras del Departamento del Atlántico” Año 2007. Según este estudio y los mapas que le acompañan los tipos de suelos presente que tenemos serían:

Consociación Typic Haplustepts. Símbolo LWB. Estos suelos se localizan principalmente en la parte alta de la cuenca del arroyo Guayepo y en la parte media de la cuenca del arroyo El Cojo. Son suelos desarrollados a partir de arcillas provenientes de la alteración de lutitas débilmente consolidadas que incluyen nódulos de areniscas calcáreas; se caracterizan por ser moderadamente profundos, bien a moderadamente bien drenados, texturas moderadamente finas, moderadamente ácidos a moderadamente alcalinos y saturación de bases muy alta.

Consociación Typic Haplusterts. Símbolo LWC. Localizados en la cuenca media del arroyo El cojo y alguna parte pequeña de la cuenca superior del arroyo Guayepo. Se caracterizan por ser profundos y superficiales, bien drenados, texturas finas y moderadamente gruesas, ligera a moderadamente ácidos.

Asociación Typic Ustipsomments-Typic Ustorthents-Typic Haplusterts. Símbolo LWD. Se localizan principalmente en la parte más alta del arroyo El Cojo por donde discurren los arroyos Caracolí y Armadillo. Los suelos se han desarrollado a partir de materiales de texturas gruesas y finas, provenientes de la alteración de areniscas y lutitas. Se caracterizan por ser de profundidad efectiva profunda a superficial, limitadas por la presencia de sales y de sodio, bien drenados, de texturas gruesas, moderadamente

gruesas y finas, moderadamente ácidos a moderadamente alcalinos y saturación de bases muy alta.

Consociación Typic Haplusterts. Símbolo RWD. Estos suelos se localizan en la parte más baja de nuestras cuencas, cerca del municipio de Ponedera. Se han desarrollado a partir de depósitos aluviales limos arcillosos. Se caracterizan por ser superficiales y moderadamente profundos, limitados por la presencia de sales y sodio y horizontes de consistencia, bien y moderadamente bien drenados, texturas finas y moderadamente finas, ligeramente ácidos a neutros y saturación de bases muy alta.

Asociación Vertic Haplustepts-Fluventic Haplustepts-Typic Haplustepts. Símbolo RWG. Localizados en la parte baja del arroyo El cojo principalmente. Estos suelos se han desarrollado a partir de materiales depositados por el río Magdalena y de materiales coluvio-aluviales transportados desde las lomas y colinas adyacentes. Se caracterizan por ser moderadamente profundos, moderadamente bien drenados, texturas finas, moderadamente finas y medias, ácidos a neutros y saturación de bases muy alta.

Consociación Typic Haplustalfs. Símbolo RWI. Se localizan en la parte baja de la cuenca del arroyo Guayepo y prácticamente en la mayor parte de la cuenca del arroyo El Martillo. Se han originado estos suelos de materiales de textura gruesa posiblemente de origen eólico que recubren a depósitos aluviales (limo-arcillosos) y se caracterizan por ser moderadamente profundos, moderadamente bien drenados, texturas gruesas a moderadamente finas, ácidos en superficie y neutros en profundidad y saturación de bases alta.

Con base en las características indicadas, se establece que, de acuerdo con el manual de drenajes, el suelo es tipo B, caracterizado por tasa de infiltración moderada cuando están muy húmedos. Suelos moderadamente profundos a profundos, moderadamente bien drenados a bien drenados, suelos con texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas, y permeabilidad moderadamente lenta a moderadamente rápida. Son suelos con tasas de transmisión de agua moderadas.

Con respecto al uso del suelo se acudió al mapa de cobertura de uso del suelo 1:100.000. Los usos del suelo están definidos según la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia. En las cuencas en estudio los principales usos del suelo que se han observado son los siguientes:

Áreas abiertas sin vegetación: Comprende aquellos territorios en los cuales la cobertura vegetal no existe o es escasa, compuesta principalmente por suelos desnudos y quemados, así como por coberturas arenosas y afloramientos rocosos, algunos de los cuales pueden estar cubiertos por hielo y nieve.

Bosque de galería y ripario: Se refiere a las coberturas constituidas por vegetación arbórea ubicada en las márgenes de cursos de agua permanentes o temporales. Este tipo de cobertura está limitado por su amplitud, ya que bordea los cursos de agua y los drenajes naturales. Cuando la presencia de estas franjas de bosques ocurre en regiones de sabanas se conoce como bosque de galería o cañadas, las otras franjas de bosque en cursos de agua de zonas andinas son conocidas como bosque ripario.

Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales: Esta cobertura comprende las superficies del territorio ocupadas principalmente por coberturas de cultivos y pastos en combinación con espacios naturales importantes. En esta unidad, el patrón de distribución de las zonas de cultivos, pastos y espacios naturales no puede ser representado individualmente, con parcelas con tamaño menor a 25 hectáreas. Las áreas de cultivos y pastos ocupan entre el 30 y el 70% de la superficie total de la unidad.

Mosaico de pastos y espacios naturales: Esta cobertura está constituida por las superficies ocupadas principalmente por coberturas de pastos en combinación con espacios naturales. En esta unidad, el patrón de distribución de las zonas de pastos y de espacios naturales no puede ser representado individualmente y las parcelas de pastos presentan un área menor a 25 ha. Las coberturas de pastos representan entre el 30 y el 70% de la superficie total del mosaico.

Pastos: Comprende las tierras cubiertas con hierba densa de composición florística dominada principalmente por gramíneas, de la familia Poaceae, dedicadas a pastoreo

permanente por un período de dos o más años. Algunas de las categorías definidas pueden presentar anegamientos temporales o permanentes cuando están ubicadas en zonas bajas o en depresiones del terreno.

Territorio artificializado: Comprende las áreas de las ciudades y las poblaciones y aquellas áreas periféricas que están siendo incorporadas a las zonas urbanas mediante un proceso gradual de urbanización o de cambio del uso del suelo hacia fines comerciales, industriales, de servicios y recreativos.

Mosaico de cultivos y pastos: Comprende las tierras ocupadas por pastos y cultivos, en los cuales el tamaño de las parcelas es muy pequeño (inferior a 25 ha) y el patrón de distribución de los lotes es demasiado intrincado para representarlos cartográficamente de manera individual.

A continuación, se presentan los valores de CN en las cuencas de interés, considerando una humedad antecedente promedio AMCII y con un tipo de suelo B:

Tabla 5-76 Número de Curva cuencas en el área de interés

CUENCA	CN (mm)
Carreto	55
Manga	60
Guayepo	51
Fistola	54
El Cojo	52
Martillo	51

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

Para determinar la duración de la tormenta de diseño, se acudió al tiempo de concentración, de cada una de las cuencas, considerando este como el tiempo que dura una tormenta típica en la zona. Por otra parte, a partir de las curvas IDF, se construyeron las curvas de masas de los aguaceros puntuales, para diferentes periodos de retorno, con un intervalo de 5 minutos. Para la obtención del caudal pico de escorrentía de la cuenca, se ha utilizado el software HEC-HMS, que simula el caudal generado por un evento de lluvia. Los resultados de la simulación son los siguientes:

Tabla 5-77 Caudales máximos (m³/s)

CUENCA	Tr 2,33	Tr 5	Tr 10	Tr 25	Tr 50	Tr 100
Carreto	1,99	21,18	362,94	584,82	55,00	3,21
Manga	0,23	0,37	0,53	0,83	1,19	1,51
Guayepo	29,2	46	66,6	103,8	149,4	188,5
Fistola	7,56	11,91	17,24	26,87	38,68	48,80
El Cojo	27,1	41,2	61,1	95,4	135,2	170

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

5.1.4.9 Índices

5.1.4.9.1 Índice de aridez

El Índice de Aridez (IA), es una característica cualitativa del clima, que permite medir el grado de suficiencia o insuficiencia de la precipitación para el sostenimiento de los ecosistemas de una región, está definido como el cociente entre la diferencia de la precipitación potencial y real, y la evaporación potencial, y está dada por:

$$IA = \frac{(ETP - ETR)}{ETP}$$

Dónde: ETP es la evapotranspiración potencial de la cuenca.

ETR es la evapotranspiración real de la cuenca.

Con base en los resultados del balance hídrico presentado anteriormente, se tiene que la ETP es cercana a 1690 mm y la ETR a los 1560 mm. Por lo tanto, se tiene un índice de aridez de 0,08.

5.1.4.9.2 Índice de retención y regulación hídrica

El índice de regulación y retención hídrica evalúa la capacidad de retención de humedad de las cuencas con base en la distribución de las series de frecuencias acumuladas de los caudales diarios, producto de la interacción de las condiciones climáticas y las características físicas y morfométricas de la cuenca. Se obtiene con el cociente entre el área bajo la curva de duración de caudales correspondiente al caudal medio sobre el área

bajo la curva total. Para el caso se obtuvo un valor de 0,7 lo que ubica la zona como de baja retención.

5.1.4.10 Caudal ambiental

Como se indicó en los numerales anteriores, los arroyos de las cuencas del área de interés presentan cauce seco durante algún periodo del año, por lo tanto, el caudal ambiental sería cero. Es importante resaltar que no se requiere captación de agua de corrientes hídricas y tampoco se van a realizar vertimientos a dichas corrientes.

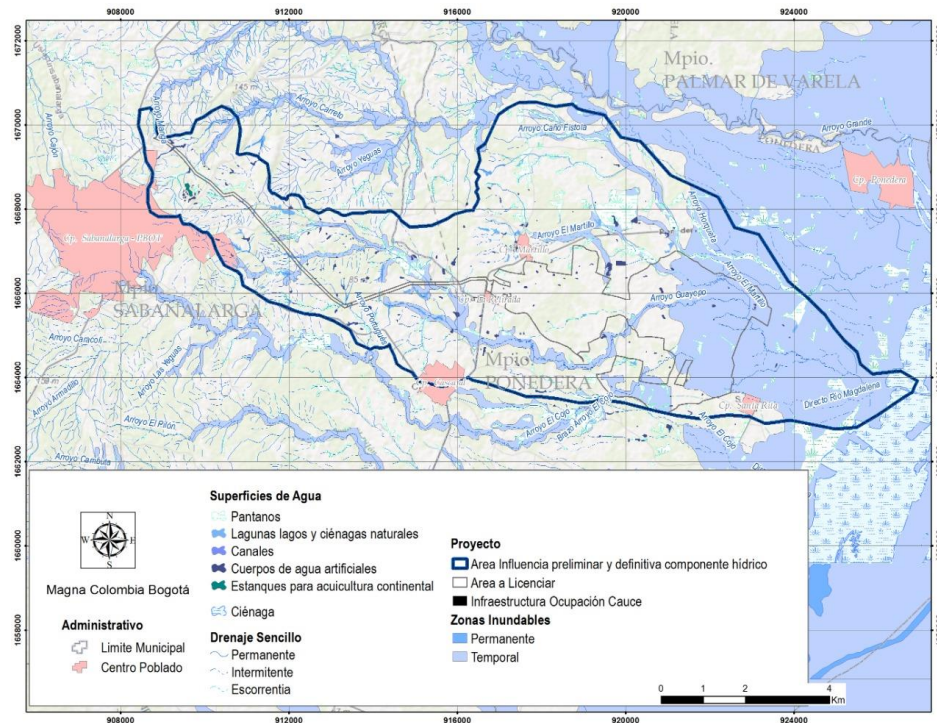
5.1.4.11 Dinámica fluvial

En la zona del proyecto se observan varios arroyos con recorrido oeste este, los cuales terminan en un par de ciénagas cercanas al río Magdalena. Arroyos que discurren en sentido oeste-este por zonas de muy baja pendiente, con la presencia de varias ciénagas y aparentemente con un comportamiento de tipo estacional. El control hidráulico de la zona lo marca el Río Magdalena, cuyos desbordamientos frecuentes controlan el flujo y los niveles de los arroyos que cruzan el polígono del proyecto.

En la Figura 5-37, se muestran las zonas inundables o que se han inundado en eventos recientes. De acuerdo con el IDEAM, ni La Niña de 2011 ni de 2012, afectaron el área del proyecto, no obstante, de acuerdo con la información presentada por la CRA y el Ministerio de medio ambiente, la zona estaría afectada parcialmente ante eventos de inundación. En el caso más extremo, correspondiente a la zonificación de áreas susceptibles a inundación presentada por el IDEAM a escala 1:500.000 el área estaría totalmente vulnerable ante eventos de inundación.

Es evidente que la interacción entre los sistemas lénticos y lóticos es muy dinámica, la zona presenta varios cuerpos de agua dentro del polígono del proyecto y cercano a él, que son afectados frecuentemente por eventos de inundación, lo que genera efectos hidráulicos que modifican las condiciones de la zona. Estas inundaciones son más frecuentes durante el segundo semestre del año, específicamente entre los meses de octubre y diciembre.

Figura 5-37 Mapa de zonas inundables



Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM -, 2018, elaborado por EIA PROYECTO GUAYEPO SOLAR, 2020

5.1.5 Calidad del agua

Como consideración principal para realizar la caracterización fisicoquímica y bacteriológica del agua, se tiene en cuenta las fuentes hídricas que de acuerdo con los TdR-015 y TdR-17 fueran “susceptibles de intervención por el proyecto (concesión, vertimientos y ocupaciones de cauces)”. De acuerdo con esto, y al igual que para el EIA 2020, es importante aclarar que se realiza un análisis de la calidad del agua para la modificación de licencia del proyecto pese a que no se prevé la necesidad de tramitar concesión de aguas ni vertimientos, solamente se realizará intervenciones a cauces.

Para el EIA del año 2020, se realizó la caracterización fisicoquímica y microbiológica de cuerpos de agua antrópicos y naturales que están dentro del área de influencia del

Proyecto. Con el objetivo de establecer las condiciones de calidad de las fuentes hídricas, se realizaron dos (2) campañas de monitoreo. La primera se efectuó durante los días 20 al 24 de diciembre de 2018, en época climática seca, definiendo 21 puntos de muestreo, de los cuales solo se caracterizaron tres (3), correspondiendo a dos (2) cuerpos lénticos y un (1) cuerpo lótico, debido a la sequía en la zona. La segunda campaña fue realizada durante los días 18 al 29 de noviembre de 2019, en época de lluvia, se definieron inicialmente 16 puntos, de los cuales fue posible monitorear 13: siete (7) sistemas lénticos y seis (6) lóticos.

Adicionalmente, durante el 2021, se realizaron dos monitoreos de calidad de agua, para la caracterización fisicoquímica, microbiológica e hidrobiológica de agua superficial en 48 puntos de monitoreo identificados a partir de la información del EIA y los cuales quedaron en la licencia ambiental asociados a los puntos de ocupación de cauce (Resolución 981 de 2021). El primer monitoreo se realizó del 3 al 7 de agosto de 2021 que corresponde a la época de lluvia, del total de 48 puntos identificados, 19 puntos fueron efectivos, 27 estuvieron secos y dos (2) no se monitorearon dado que no fue posible obtener el permiso de acceso. El segundo monitoreo se realizó en el mes de diciembre, la salida de campo se efectuó del 7 al 11 de diciembre del 2021 que corresponde a la época seca, del total de 48 puntos, 20 puntos fueron efectivos, 25 estuvieron secos y tres (3) no se monitorearon dado que no fue posible obtener el permiso de acceso.

Para la presente modificación se propuso la caracterización fisicoquímica, microbiológica e hidrobiológica de agua superficial y subterránea, se definieron 28 estaciones asociadas a los puntos de ocupación de cauce consideradas para la modificación y a los puntos registrados dentro del inventario de puntos de agua subterránea. Con base en esto, se evaluaron 19 puntos de agua superficial, y nueve (9) puntos de agua subterránea, y se analizaron los niveles de calidad y contaminación de las aguas en el área de influencia física del proyecto, la salida de campo se efectuó entre el 26 al 28 de abril que corresponde a la época lluvia.

De estas 28 estaciones, 12 puntos fueron efectivos (seis (6) puntos de agua superficial y seis (6) puntos de agua subterránea), 14 puntos secos y dos (2) sin permiso de acceso (Figura 5-38; Tabla 5-78).

Adicionalmente, se realizó el monitoreo durante la época de seca, en este se registraron nueve (9) puntos efectivos de agua superficial y seis (6) puntos efectivos de agua subterráneas. Los muestreos se realizaron entre el 21 de enero al 7 de febrero del 2023 (Figura 5-39; Tabla 5-78).

Tabla 5-78 Ubicación e información de puntos de monitoreo – Calidad de agua

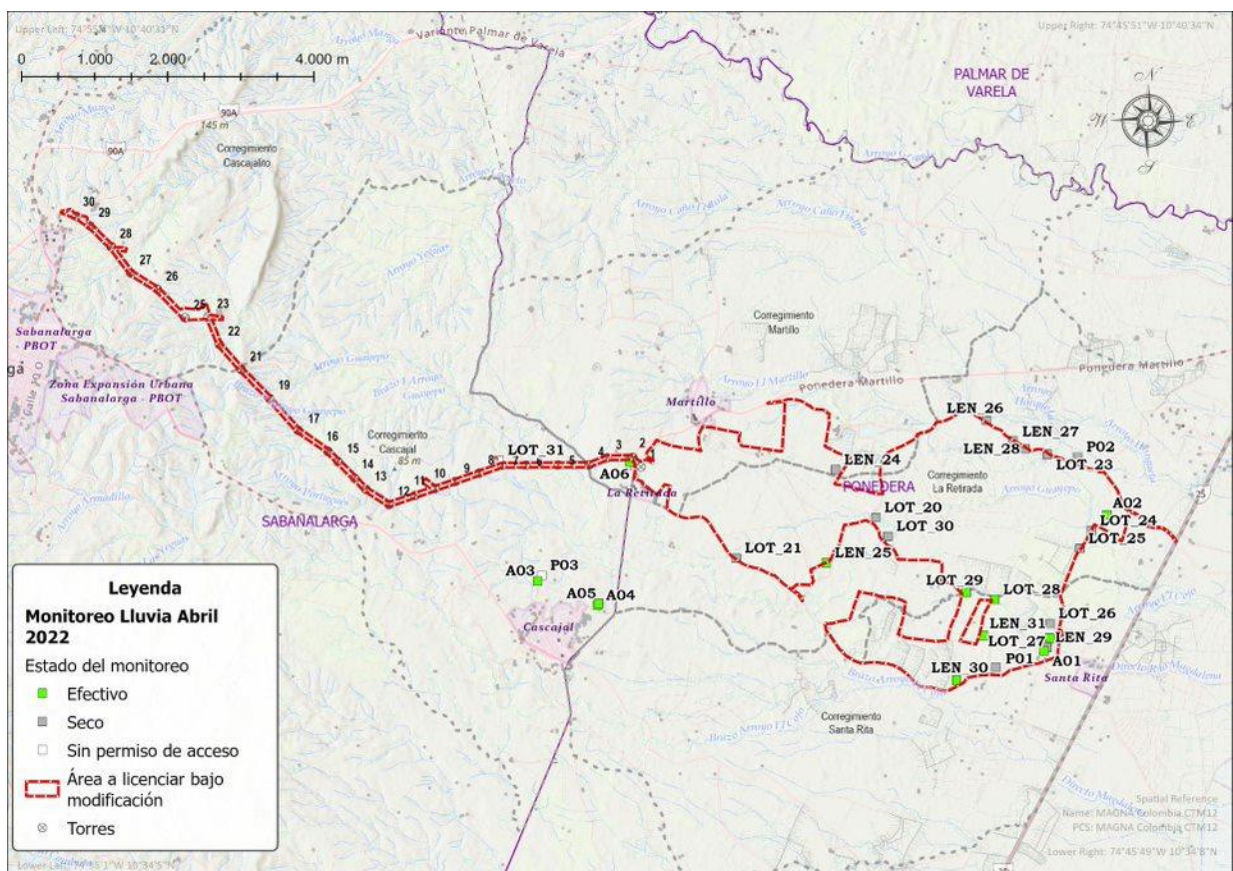
Nombre ID_PUNTO_M	Tipo de cuerpo de agua	Estado Época lluvias	Estado época seca	Código de laboratorio		Coordenadas		Cota (m)
				Ecosam	eQual	Este*	Norte*	
LOT_20	Superficial	Punto seco	Punto seco	NA	NA	4.802.223,11	2.731.358,15	29
LOT_21	Superficial	Punto seco	Punto seco	NA	NA	4.800.310,01	2.730.802,57	44
LOT_23	Superficial	Punto seco	Punto efectivo	NA	NA	4.804.570,41	2.732.225,12	23
LOT_24	Superficial	Punto seco	Punto seco	NA	NA	4.805.171,83	2.731.180,41	17
LOT_25	Superficial	Punto seco	Punto seco	NA	NA	4.805.014,82	2.730.935,01	17
LOT_26	Superficial	Punto seco	Punto seco	NA	NA	4.804.606,81	2.729.906,15	18
LOT_27	Superficial	Punto efectivo	Punto efectivo	146-22-11	EQ-3774	4.804.606,67	2.729.708,71	19
LOT_28	Superficial	Punto efectivo	Punto efectivo	146-22-12	EQ-3775	4.803.849,98	2.730.235,24	24
LOT_29	Superficial	Punto efectivo	Punto efectivo	146-22-10	EQ-3776	4.803.455,48	2.730.329,66	26
LOT_30	Superficial	Punto seco	Punto seco	NA	NA	4.802.386,46	2.731.100,51	31
LOT_31	Superficial	Sin permiso de acceso	Punto efectivo	NA	NA	4.797.064,54	2.732.143,31	59
LEN_24	Superficial	Punto seco	Punto seco	NA	NA	4.801.669,80	2.732.012,33	31
LEN_25	Superficial	Punto efectivo	Punto seco	146-22-08	EQ-3777	4.801.543,41	2.730.740,07	32
LEN_26	Superficial	Punto seco	Punto seco	NA	NA	4.803.733,94	2.732.687,76	23
LEN_27	Superficial	Punto seco	Punto seco	NA	NA	4.804.096,77	2.732.411,92	21
LEN_28	Superficial	Punto seco	Punto seco	NA	NA	4.804.262,81	2.732.302,54	21
LEN_29	Superficial	Punto seco	Punto efectivo	NA	NA	4.804.559,85	2.729.578,52	20
LEN_30	Superficial	Punto efectivo	Punto efectivo	146-22-01	EQ-3778	4.803.327,02	2.729.132,47	29
LEN_31	Superficial	Punto efectivo	Punto efectivo	146-22-09	EQ-3779	4.803.695,21	2.729.744,67	24
LEN_33	Superficial	-	Punto efectivo	030-23	P04	4.802.277,836	2.731.230,547	29
P01	Subterráneo	Pozo seco	Pozo seco	NA	NA	4.803.864,68	2.729.308,01	24
P02	Subterráneo	Pozo seco	Pozo seco	NA	NA	4.804.986,02	2.732.188,19	19
P03	Subterráneo	Sin permiso de acceso	Sin permiso de acceso	NA	NA	4.797.647,27	2.730.566,18	58
A01	Subterráneo	Punto efectivo	Punto efectivo	146-22-02	NA	4.804.524,02	2.729.534,99	20
A02	Subterráneo	Punto efectivo	Punto efectivo	146-22-03	NA	4.805.382,72	2.731.395,62	17

Nombre ID_PUNTO_M	Tipo de cuerpo de agua	Estado Época lluvias	Estado	Código de laboratorio		Coordenadas		Cota (m)
			época seca	Ecosam	eQual	Este*	Norte*	
A03	Subterráneo	Punto efectivo	Punto efectivo	146-22-07	NA	4.797.592,88	2.730.489,87	58
A04	Subterráneo	Punto efectivo	Punto efectivo	146-22-06	NA	4.798.414,24	2.730.154,03	54
A05	Subterráneo	Punto efectivo	Punto efectivo	146-22-05	NA	4.798.427,42	2.730.181,59	54
A06	Subterráneo	Punto efectivo	Punto efectivo	146-22-04	NA	4.798.849,47	2.732.120,90	57

* Proyección cartográfica Origen Nacional (MAGNA_Colombia_CTM12)

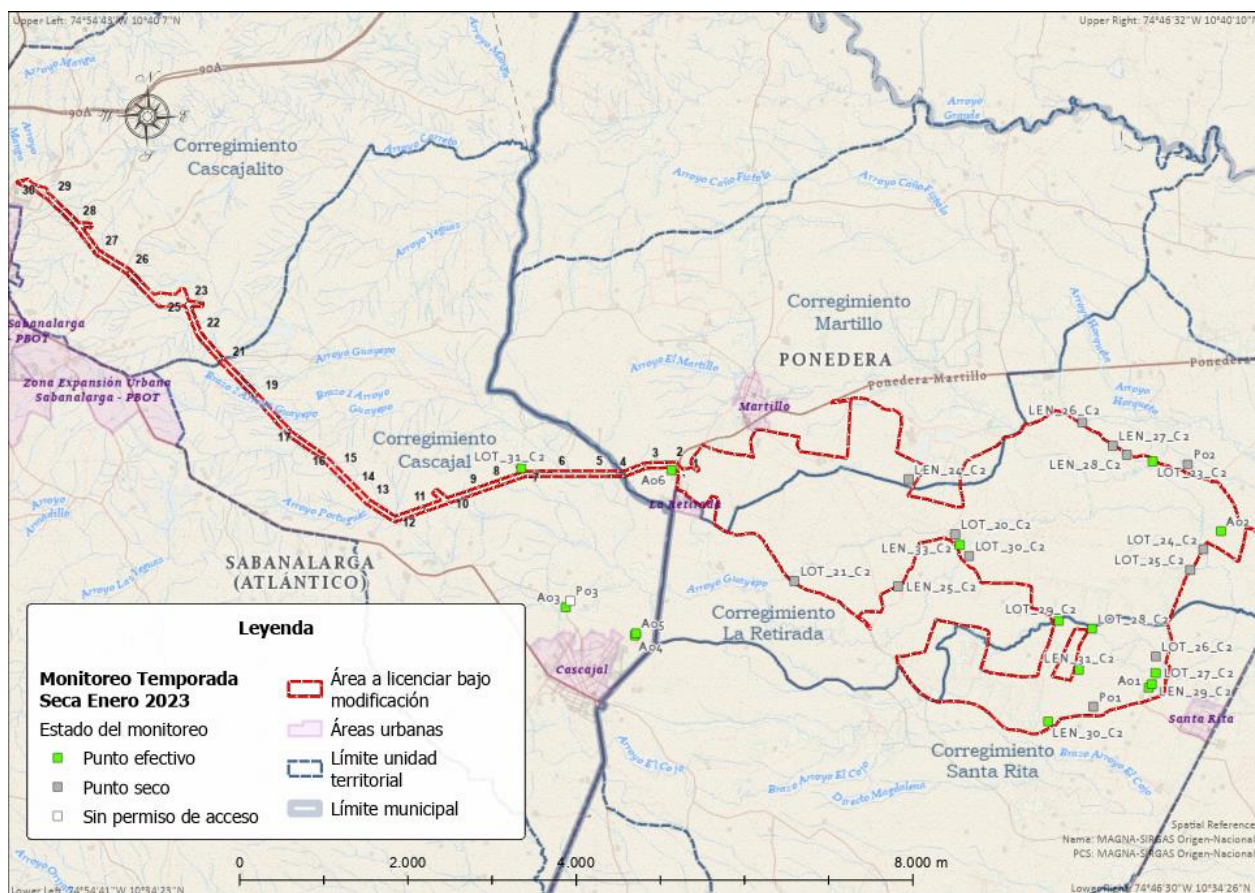
Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2022

Figura 5-38 Localización general de las estaciones de calidad de agua (época lluvias).



Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Figura 5-39 Localización general de las estaciones de calidad de agua (época seca).



Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2023

A continuación, se incluyen los resultados con el respectivo análisis de los ensayos fisicoquímicos y microbiológicos realizados en los puntos definidos para la modificación, en el cual adicionalmente se realiza el análisis comparativo respecto a los resultados obtenidos con los límites establecidos en el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible (Decreto 1076 de 2015), en los artículos 2.2.3.3.9.3 a 2.2.3.3.9.8, sección 9 (disposiciones transitorias) del capítulo 3 – ordenamiento del recurso hídrico y vertimientos, título 3, de la parte 2 del libro 2, donde se definen los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso hídrico, con base en lo dispuesto en los artículos 38 a 43 del Decreto 1594 de 1984; con los valores de referencia definidos en la Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de la Protección Social y el

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia de la calidad del agua para consumo humano.

La toma de muestras, registros *in situ* y análisis en laboratorio de las variables fisicoquímicas fueron realizados por el laboratorio ECOSAM S.A.S., acreditado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) bajo los lineamientos de la norma NTC-ISO/IEC 17025:2005 mediante Resolución 0590 del 23 de julio de 2020. En los ANEXOS /5.1 Caracterización abiótico/5.1.5 Calidad de agua, se encuentra el informe de campo, los resultados de laboratorio y la resolución de acreditación del laboratorio, adicionalmente, se incluye un informe compilatorio con el análisis de los resultados de los monitoreos realizados en los puntos definidos para el EIA y que quedaron dentro de la licencia ambiental asociados a los puntos de ocupación de cauce (Resolución 981 de 2021) y los resultados obtenidos para la presente modificación.

5.1.5.1 Resultados ensayos in situ

5.1.5.1.1 Potencial de hidrógeno – pH

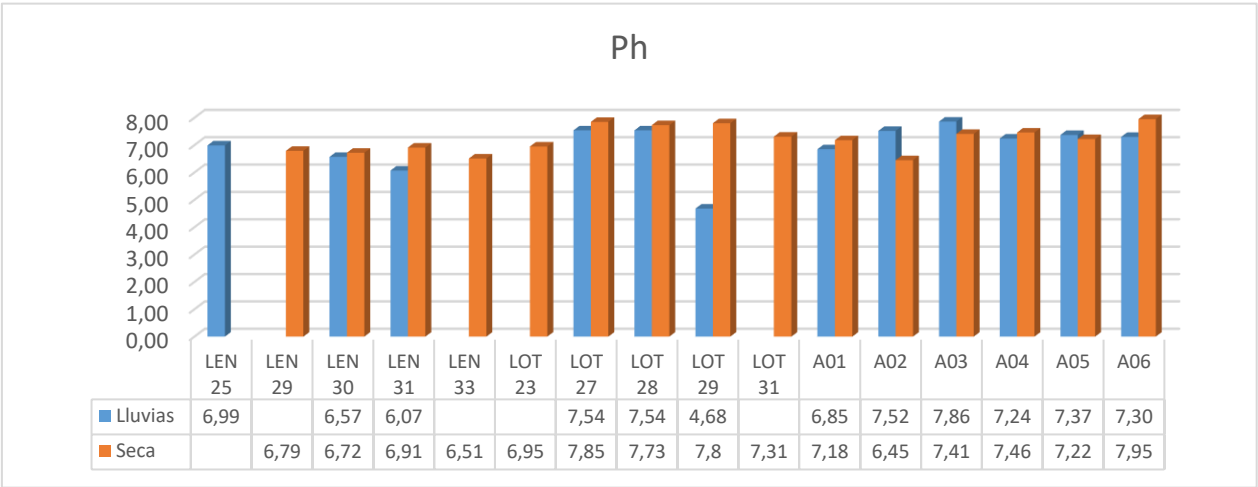
De acuerdo con Roldán Pérez, 1992, el potencial de hidrógeno – pH, es una medida de la concentración de hidrogeniones $[H^+]$ presentes en los cuerpos de agua que sirve para determinar la acidez o basicidad en los mismos; a menor pH las aguas son más ácidas mientras que a mayor pH las aguas son más básicas.

El pH en aguas naturales varía por aporte de CO_2 que forma ácido carbónico, el cual acidifica el agua, por el grado de eutrofización o enriquecimiento masivo de nutrientes inorgánicos en el agua, propiedades del suelo o descomposición de especies vegetales que dan lugar a la formación de ácidos húmicos y otros compuestos.

Como se muestra en la Figura 5-40, para los puntos de monitoreo, el pH se mantuvo en un rango entre 4,68 y 7,86 unidades durante la época de lluvias y entre 6,51 y 7,95 en época seca. De acuerdo con los criterios de calidad definidos en el artículo 2.2.3.3.9.4 –

Consumo humano y doméstico – Desinfección del Decreto 1076 de 2015 (6,5 – 8,5 unidades de pH) y la Resolución 2115 de 2007 (6,5 – 9,0 unidades de pH), durante la época seca los puntos LEN 31 y LOT 29 presentan restricción de uso teniendo en cuenta que se encontraron por debajo del límite inferior (6,5 unidades de pH), con valores de 6,07 y 4,68 unidades respectivamente, siendo ligeramente ácidas, por lo que en estos puntos las aguas podrían ser corrosivas al disolver iones metálicos como hierro, manganeso o plomo. En relación con los demás puntos efectivos para ambas épocas se concluye que son aguas con condiciones de pH neutro aptas para el consumo humano y doméstico,

Figura 5-40. Unidades de pH.



Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2022-2023

5.1.5.1.2 Oxígeno disuelto

En la Figura 5-41, se presentan los resultados *in situ* para concentraciones de oxígeno disuelto en el agua para los puntos de monitoreo de la época seca y lluvias; los registros varían entre 1,07 y 7,47 mg/l, con porcentaje de saturación entre 12,98% y 98,41% (lluvias) y 0,51 y 6,43 mg/l con porcentaje de saturación entre 5,60 y 88,8% época seca.

Es necesario tener en cuenta que los resultados de oxígeno disuelto, para ser comparables entre sí, deben ser evaluados como porcentaje de saturación de oxígeno

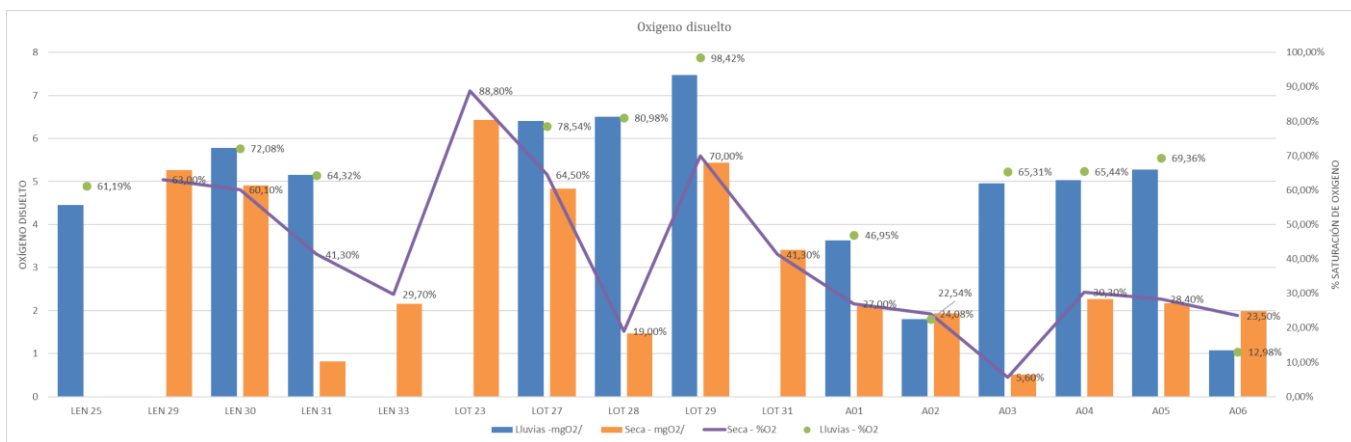
en el agua, ya que valores similares de oxígeno disuelto podrían tener significados distintos respecto a las diferentes temperaturas del agua y a las alturas sobre el nivel del mar a las que se realice la evaluación; el valor ideal de saturación de oxígeno en un cuerpo de agua es 100%, tanto un nivel bajo de saturación como la sobresaturación de oxígeno son perjudiciales para el medio y reflejan que el ecosistema no está equilibrado (Fuentes & Massol-Deya, 2002). El oxígeno es un gas que se encuentra disuelto en el agua debido a procesos como la difusión con la atmósfera o por fotosíntesis dentro de los cuerpos de agua. La concentración de oxígeno en un cuerpo de agua depende fundamentalmente de los siguientes factores: la presión parcial del gas atmosférico en contacto con el agua, la temperatura y la salinidad (Roldán Pérez, 1992).

De acuerdo con la Asociación Civil de Investigación y Desarrollo – IMASD (2007), un rango entre 5 a 8 mg/l de oxígeno disuelto en el agua indican condiciones aceptables, adecuadas para la vida de la gran mayoría de especies de peces y otros organismos acuáticos. Durante la época de lluvias únicamente el punto LEN 25 presentó valores por debajo de este rango para los cuerpos de agua superficiales. En el caso de los cuerpos de agua subterráneos solamente los puntos A04 y A05 se encontraron en este rango. En cuanto a la época seca, la gran mayoría de las estaciones efectivas se encuentran por debajo del rango de entre 5 a 8 mg/l, siendo el punto L29 el único que se encontró en este rango (5,26%), cabe mencionar que esto se relaciona con el poco movimiento e intercambio de agua que presenta durante esta época climática lo cual baja la concentración de oxígeno, en este sentido se reportan valores bajos del parámetro.

La gran mayoría de los puntos de agua subterráneos para la época de lluvias y la totalidad de los puntos en época seca se encontraron en el rango definido por el la Asociación Civil de Investigación y Desarrollo de 0 a 5 mg/l (hipoxia), lo cual puede estar asociado a numerosos factores, entre los que se encuentran las altas temperaturas propias de la zona (la cantidad de oxígeno en el agua disminuye con el aumento de la temperatura), la turbidez de las aguas y que en los cuerpos de agua lénticos y estancados no se favorece el intercambio gaseoso entre las fases líquida y gaseosa (Gómez – Hastamorir, *et al* 2016).

En la Figura 5-41 se muestran los porcentajes de saturación de oxígeno. El comportamiento fue muy similar a las concentraciones de oxígeno disuelto en todos los puntos; Fuentes & Massol-Deya (2002) definen una relación entre los porcentajes de saturación de oxígeno y el rango de calidad de las aguas dado que las variaciones en este porcentaje pueden ser un indicador de los niveles de contaminación presentes, en este sentido se presentaron porcentajes de saturación en un rango entre 12,98% y 98,41%. Todos los puntos superficiales presentaron porcentajes de saturación superiores al 60%, mientras que en tres de los puntos de agua subterráneos (A01, A02 y A06) se presentaron valores bajos inferiores a este valor (46,95%, 22,54% y 12,98% respectivamente) lo que podría indicar niveles de contaminación en el cuerpo de agua, asociado a contaminación por materia orgánica, ya que los microorganismos requieren de oxígeno para degradarla o corroborar su carácter de subterráneo con poco intercambio gaseoso. Los bajos valores de saturación pueden relacionarse a que estos cuerpos de agua tienen poco oxígeno disponible para la oxidación de las sustancias vía aeróbica, o el oxígeno que está disponible está siendo utilizado para la oxidación de materia orgánica.

Figura 5-41. Oxígeno disuelto y porcentaje de saturación de oxígeno.



Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2022 -2023

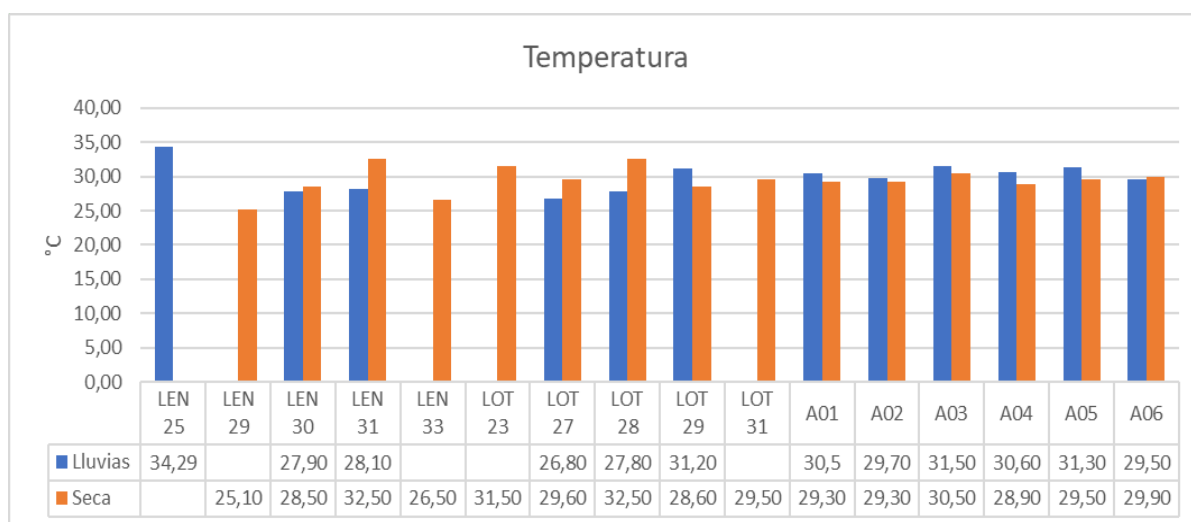
Respecto al Decreto 1076 de 2015, se presenta restricción de uso para este parámetro en la gran mayoría de los puntos (exceptuando el LEN30, LOT 27, LOT 28 y LOT 29) en referencia a los criterios de calidad definidos en los artículos 2.2.3.3.9.7 (fines recreativos – contacto primario) y 2.2.3.3.9.8 (fines recreativos – contacto secundario) pues se encuentran por debajo del 70% de saturación de O₂.

5.1.5.1.3 Temperatura

Como se observa en la Figura 5-42, los registros de temperatura para los puntos de monitoreo se encontraron en el rango entre 26,80 a 34,29 °C en época de lluvia y entre 25,10 y 32,50°C en época seca, siendo consistentes con las condiciones climáticas presentes al momento de monitoreo y la ubicación geográfica de los sitios de muestreo, así como las épocas en la cual se desarrolló el monitoreo y las horas de toma de muestras que se realizó entre las 8am - 3 pm .

El registro más alto de temperatura durante la época de lluvia se presentó en el punto LEN 25 y en época seca en el LEN 31 y LOT 28. Los valores de temperatura presentaron valores más cercanos entre sí en los cuerpos de agua subterráneos en ambas épocas, con valores entre los 29, 3 y 30,5 °C.

Figura 5-42. Temperatura



Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2022 -2023

5.1.5.1.4 Conductividad

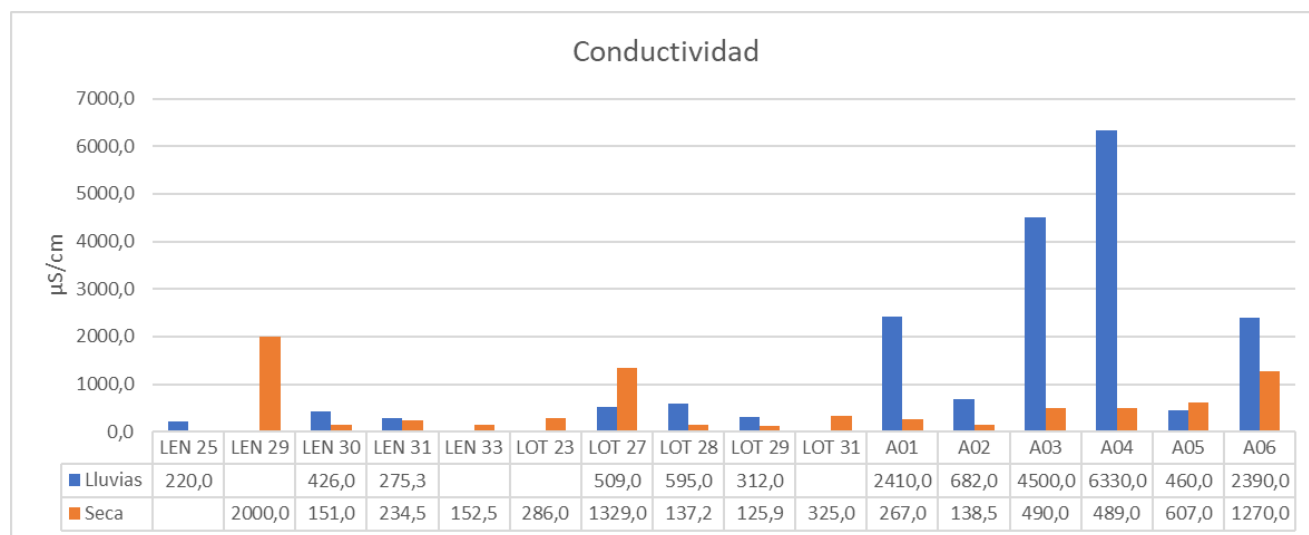
De acuerdo con Roldán Pérez (1992), la conductividad eléctrica presenta una relación directamente proporcional con la temperatura, ya que el flujo de iones en una solución se incrementa con la temperatura; también es afectada por valores bajos de pH, en los cuales el ion hidrógeno H⁺, aumenta la conductividad del agua, al igual que a valores

altos de pH, el responsable de la conductividad son los iones hidróxido OH^- y estos iones pueden restarle importancia a la presencia de otros iones en el agua.

La conductividad es un indicador de la cantidad total de iones y se basa en la capacidad que tiene una solución de conducir una corriente eléctrica en función de la concentración de estos (UNAL, 2007); a partir de la salinidad asociada con la conductividad es posible clasificar el agua y definir algunas limitantes de uso.

Como se aprecia en la Figura 5-43, los valores de conductividad son claramente diferenciables entre los cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Durante la época de lluvias, solamente el punto LEN 25 presentó una conductividad inferior a $250 \mu\text{S}/\text{cm}$, la cual define aguas de baja salinidad que serían útiles para el riego de los cultivos; **este resultado difiere al de la época de seca, en el cual varias estaciones estuvieron por debajo del valor anteriormente mencionado.**

Figura 5-43 Conductividad



Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2022-2023

Los puntos de agua superficiales y subterráneas que presentan valores de conductividad mayores a **los $>250 \mu\text{S}/\text{cm}$ y superiores $1.270 \mu\text{S}/\text{cm}$** indican puntos de agua con salinidades intermedias y altas que pueden estar asociados a la presencia de sólidos disueltos, los cuales pueden estar siendo aportados por el lavado de las rocas en los

cuerpos de agua subterráneos. En los cuerpos de agua superficial los valores reportados pueden estar asociados al material de arrastre o a algún tipo de vertimiento en cercanías a los puntos de calidad de agua evaluados.

5.1.5.2 Parámetros de análisis en laboratorio

5.1.5.2.1 Demanda bioquímica de oxígeno – DBO₅

Normativamente no se tienen definidos criterios de calidad para los diferentes usos (Decreto 1076 de 2015 y Resolución 2115 de 2007), sin embargo, la Comisión Nacional del Agua de México (CONAGUA, 2015), cuenta con unos rangos que permiten estimar el nivel de contaminación del agua, que se muestran en la Tabla 5-79.

Tabla 5-79. Clasificación de la DBO₅.

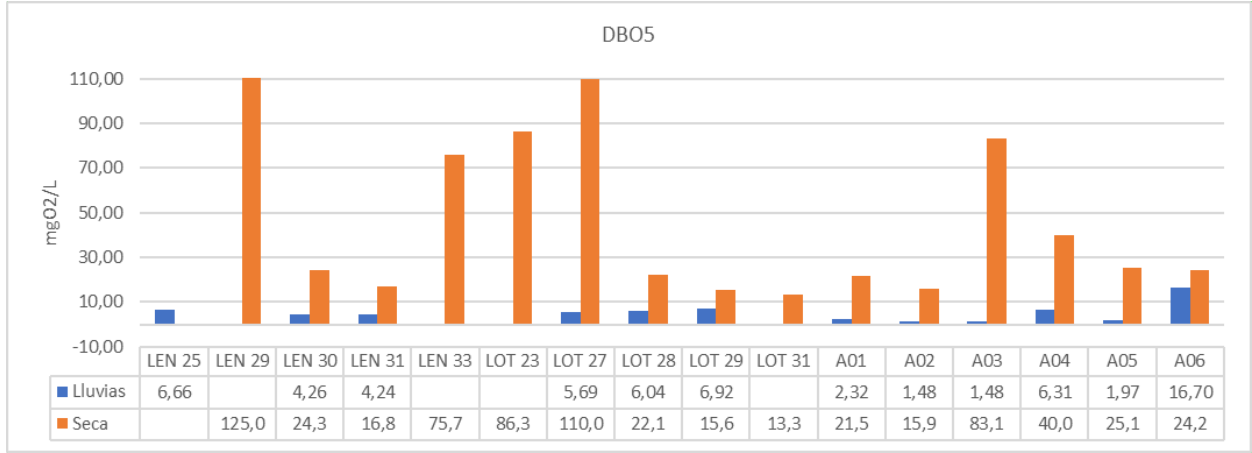
Criterio	Clasificación	Descripción
DBO > 120 mg/l	Fuertemente contaminada	Agua superficial con fuerte impacto de descargas de aguas residuales
30 mg/l ≤ DBO ≤ 120 mg/l	Contaminada	Agua superficial con descargas de aguas residuales
10 mg/l ≤ DBO ≤ 30 mg/l	Aceptable	Agua superficial con capacidad de autodepuración
5 mg/l ≤ DBO ≤ 10 mg/l	Buena calidad	Agua con bajo contenido de materia orgánica biodegradable
DBO ≤ 5 mg/l	Excelente	No contaminada

Fuente: CONAGUA, 2015

En la Figura 5-44 se muestran los registros de DBO₅ en los puntos de monitoreo efectivos de aguas superficiales y subterráneas para ambas épocas climáticas (lluvia y seca), donde se puede observar que: ninguno de los puntos evaluados se obtuvo una concentración inferior al límite de detección de la técnica analítica empleada, equivalente a 1 mg/l. Durante el monitoreo de la época de lluvias en aguas superficiales las concentraciones estuvieron entre 4,24 y 6,92 mg/l, indicando aguas con bajo contenido de materia orgánica, es decir de buena calidad en cuanto a este parámetro. Para las aguas subterráneas los puntos A01, A02, A03 y A05 presentaron concentraciones por debajo de los 5mg/l (entre 1,48 y 2,32 mg/l) indicando aguas no contaminadas por materia orgánica. El punto A04 presentó una concentración de 6,31 mg/l lo que indica una buena calidad (bajo contenido de materia orgánica) y únicamente el punto A06 presentó una

clasificación aceptable en cuanto a este parámetro (16,7 mg/l). En cuanto a la época seca, el monitoreo de aguas superficiales se registró para las estaciones LEN 25, LEN 29, LEN 30, LEN 31, LEN 33, LOT 23, LOT 27, LOT 28 y LOT 29 concentraciones entre 13,3 – 25, 1 mg/l obteniendo una calificación de aceptable lo cual indica agua superficial con capacidad de autodepuración y la LOT 31 fue la única estación con categoría de Contaminada, indicando agua superficial con descargas de aguas residuales. Para las aguas subterráneas los puntos A01, A02, A05 y A06 presentaron calificaciones de aceptable, A04 y A05 de contaminada.

Figura 5-44. Concentración de DBO₅.



Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2022-2023

De acuerdo con Sawyer (2003), la demanda bioquímica de oxígeno – DBO₅ está definida como la cantidad de oxígeno requerido por las bacterias para descomponer la materia orgánica bajo condiciones aeróbicas. La prueba de DBO es el mayor criterio usado para el control de la contaminación en el agua por causa de la presencia de materia orgánica; también es usada para determinar la capacidad de purificación de las corrientes y sirve como parámetro de calidad con el fin de proteger los cuerpos de agua naturales que son receptores.

5.1.5.2.2 Demanda química de oxígeno – DQO

La demanda química de oxígeno – DQO, define la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar los materiales contenidos en el agua con un oxidante químico, en este sentido, la DBO₅ mide la descomposición de la materia orgánica por vías biológicas y la DQO la oxidación por medios químicos; ambas variables se utilizan como indicadores importantes al momento de definir la calidad de las aguas.

En cuanto a la DQO, el Decreto 1076 de 2015 y Resolución 2115 de 2007 no definen criterios de calidad, por lo tanto, se toma como referencia los criterios definidos por la Comisión Nacional del Agua de México (CONAGUA, 2015), que se muestran en la Tabla 5-80 y que permiten estimar un nivel de contaminación del agua a partir de los registros de DQO.

Tabla 5-80. Clasificación de la DQO.

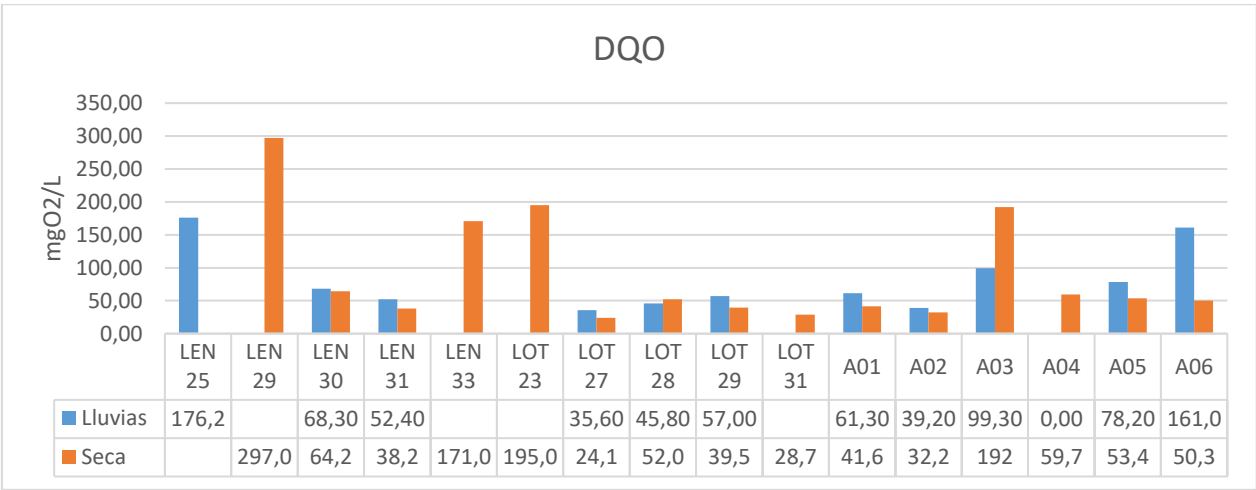
Criterio	Clasificación	Descripción
DQO > 200 mg/l	Fuertemente contaminada	Agua superficial con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas
40 mg/l ≤ DQO ≤ 200 mg/l	Contaminada	Agua superficial con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal
20 mg/l ≤ DQO ≤ 40 mg/l	Aceptable	Agua superficial con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente
10 mg/l ≤ DQO ≤ 20 mg/l	Buena calidad	Agua con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable
DQO ≤ 10 mg/l	Excelente	No contaminada

Fuente: CONAGUA, 2015

Como se observa en la Figura 5-45, el comportamiento de la DQO difiere a lo reportado a en la DBO. En este se evidencia la presencia de sustancias susceptibles a ser oxidadas (para formar, por ejemplo, sales de algunos iones). Para los cuerpos de agua superficial durante la época de lluvias se encontró que todos los registros presentaron clasificación de contaminados (concentraciones entre 45,8 y 176,28 mg/l) exceptuando el punto LOT 27 que se clasifica como aceptable (35,6 mg/l), Para la época seca la clasificación está entre aceptable y contaminada para las agua superficiales (24,1 195,0 mg/l de DQO) y el LEN 29 fuertemente contaminado, es decir agua superficial con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas.

En el caso de los cuerpos de agua subterráneos durante la época de lluvias, solamente un punto (A04) estuvo por debajo del límite de detección analítico de la técnica (<20 mg/l). Los demás puntos evaluados indican contaminación asociada a este parámetro (concentraciones entre 61,3 y 161 mg/l) y el punto A02 se encuentra en el límite de la clasificación de aceptable con un valor de 39,2 mg/l. En la época seca los cuerpos de agua registraron concentraciones entre aceptable A02 (32,2 mg/l) y contaminada A01, A06, A05, A04 y A03 (41,6 y 192 mg/l).

Figura 5-45. Concentración de DQO.



Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2022-2023

5.1.5.2.3 Sólidos suspendidos, disueltos y sedimentables

Los sólidos suspendidos se presentan como partículas grandes que suelen ser arrastradas por las corrientes superficiales. Los sólidos sedimentables están formados por partículas más densas que el agua, pero que se mantienen en suspensión debido a la fuerza de arrastre causada por el movimiento o turbulencia de una corriente. La presencia de sólidos disueltos en aguas naturales se relaciona con el aporte de aguas subterráneas y la productividad del cuerpo de agua.

Los sólidos sedimentables en la época de lluvias, para la mayoría de los casos reportaron valores de concentración por debajo del límite de detección de la técnica 0,1 mg/l siendo el valor máximo reportado 2,5 mg/l en el punto LEN 30. En la época de lluvias los puntos

de agua subterránea registraron valores por debajo de la técnica 0,1 mg/l al igual que los puntos de aguas superficiales con excepción del punto LEN 33 (6.0 mg/l), esto indica una baja fuerza de arrastre causada por el movimiento o turbulencia de una corriente en los puntos muestreados. En la Figura 5-46 a Figura 5-47 se presenta el comportamiento y registro de los sólidos suspendidos totales y los sólidos disueltos en los puntos de monitoreo en época de lluvias y seca.

Los sólidos suspendidos presentaron valores entre < 6mg/l (límite de la técnica analítica) y 1.503 mg/l en época de lluvias y entre < 2 mg/l para la época seca. En la Figura 5-46 se presenta la correlación entre los sólidos suspendidos y la turbiedad reportada en cada uno de los puntos de monitoreo para las dos épocas. Los menores valores de sólidos suspendidos totales y de turbiedad que se presentan en los cuerpos de agua subterráneos en la época de lluvias; durante la época seca se presentan valores más altos que algunas de los puntos lóticos y lenticos.

Teniendo en cuenta que en el Decreto 1076 de 2015 y la Resolución 2115 de 2007 no se definen criterios de calidad de agua, se realizó la comparación con la clasificación establecida por el Gobierno de México, respecto al parámetro sólidos suspendidos totales (Gobierno de México, gerencia de calidad de agua, 2019, ver Tabla 5-81).

Tabla 5-81. Clasificación de los sólidos suspendidos totales.

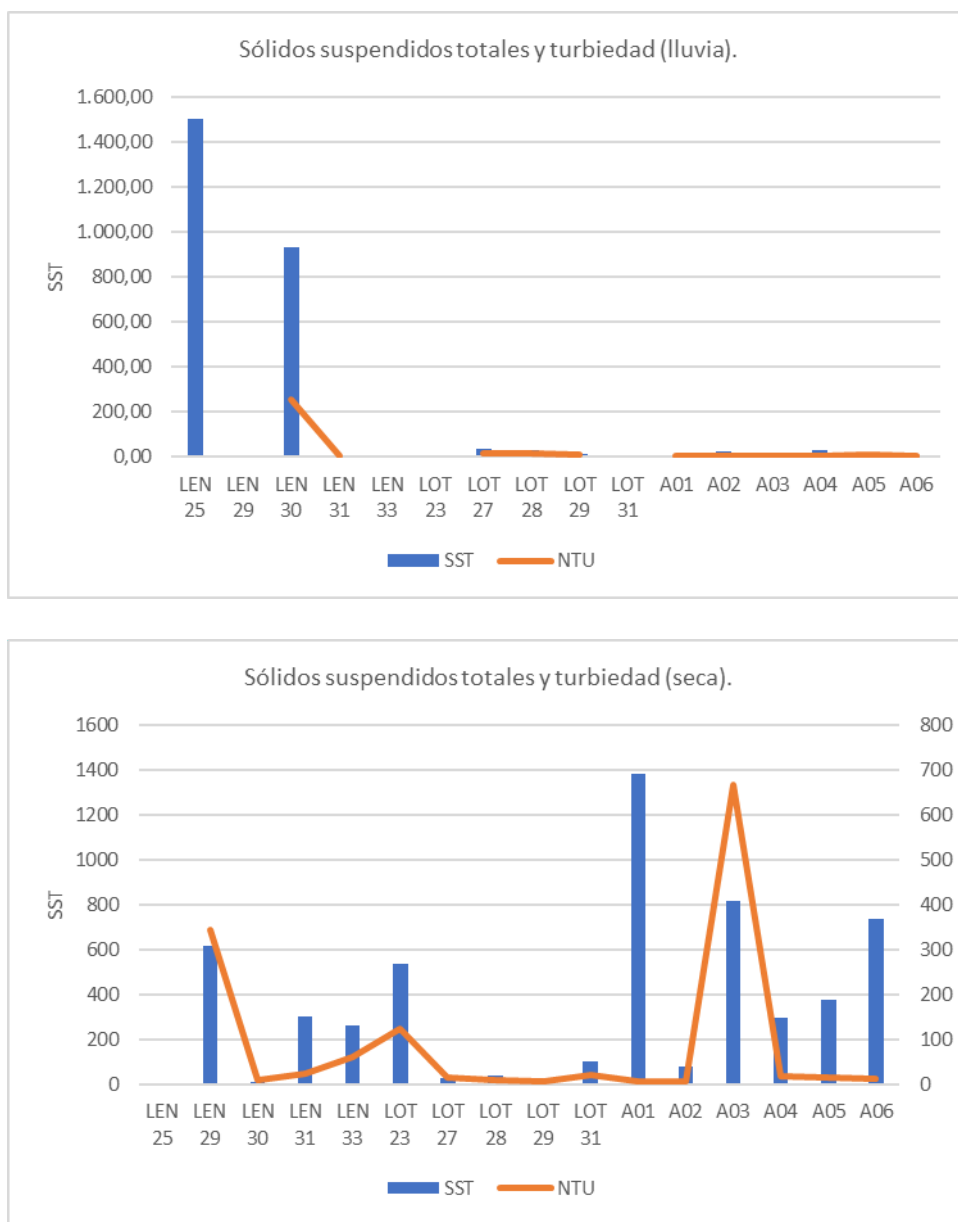
Criterio (mg/l)	Clasificación
SST≤25	Excelente: clase de excepción, muy buena calidad
25<SST≤75	Buena calidad: aguas superficiales con bajo contenido de sólidos suspendidos, generalmente condiciones naturales. Favorece la conservación de comunidades acuáticas y el riego agrícola irrestricto
75<SST≤150	Aceptable: aguas superficiales con indicio de contaminación. Con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente. Condición regular para peces. Riego agrícola restringido
150<SST≤400	Contaminada: aguas superficiales de mala calidad con descargas de aguas residuales crudas. Aguas con alto contenido de material suspendido
SST>400	Fuertemente contaminada: aguas superficiales con fuerte impacto de descargas residuales crudas municipales y no municipales con alta carga contaminante. Mala condición para peces

Fuente: Gobierno de México, gerencia de calidad de agua, 2019

Según la clasificación en los cuerpos subterráneos en ambas épocas presentan condiciones de excelente calidad en cuanto este parámetro, exceptuando el punto A04 (28,2 mg/l- lluvias) en donde se clasifican como de buena calidad para este parámetro y

A03 (668 mg/l seca) cuya clasificación es Fuertemente contaminada con fuerte impacto de descargas residuales crudas municipales y no municipales con alta carga contaminante.

Figura 5-46. Sólidos suspendidos totales y turbiedad (lluvia y seca)



Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2022 - 2023

Respecto a los sólidos disueltos, las concentraciones estuvieron en el rango de 96,88 a 4.260 mg/l durante la época de lluvias y entre 220 y 6.330 mg/l en época seca (Figura 5-47). La presencia de sólidos disueltos puede estar asociada con el arrastre de material alóctono, el lavado del suelo o vertimientos en cercanía a los puntos de monitoreo que puedan aportar sales cuantificables como sólidos disueltos. Como se evidencia las mayores concentraciones de sólidos disueltos se asocian a los cuerpos de agua subterráneos durante la época de lluvias y se refleja un comportamiento inverso durante la época seca lo cual está relacionada a la poca afluencia de agua que se presenta en esta época.

Figura 5-47. Sólidos disueltos totales y conductividad (lluvia y seca).



Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2022 - 2023

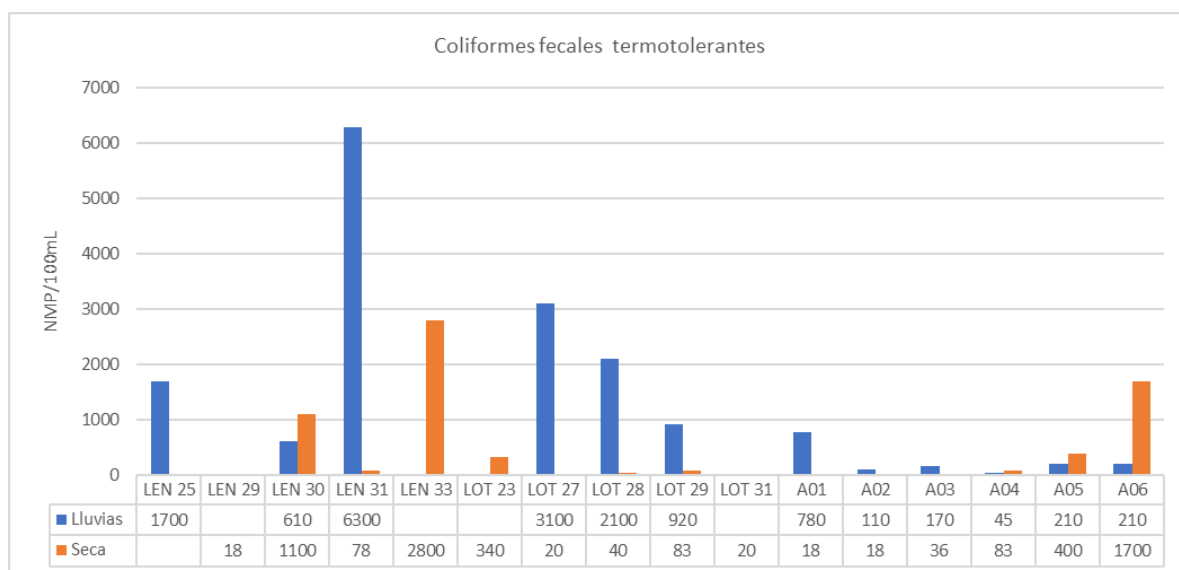
5.1.5.2.4 Coliformes fecales y totales

De acuerdo con Roldán Pérez (1992), los coliformes son una familia de bacterias que se encuentran comúnmente en las plantas, el suelo y los animales, incluyendo los humanos, aunque las bacterias coliformes no son patógenas, están asociados con organismos que sí lo son.

La presencia de bacterias coliformes es un indicio de que el agua puede estar contaminada por material en descomposición. La contaminación fecal ha sido y sigue siendo el principal riesgo sanitario en el agua, ya que supone la incorporación de microorganismos patógenos que pueden provocar enfermedades en la salud humana (Ramos-Ortega, 2008).

Los resultados de coliformes fecales y totales reportados en los puntos de monitoreo se presentan en la Figura 5-48 y Figura 5-49. Frente a la presencia de coliformes fecales en el agua, los mayores registros se presentan en los cuerpos de agua superficiales con valores entre, 610 NMP/100ml y 6300 NMP/100ml en época de lluvias y entre 18 NMP/100ml y 2800 NMP/100ml en época seca. Para el caso de los cuerpos de agua subterráneos los valores obtenidos se encontraron entre 45 NMP/100ml y 780 NMP/100ml en época de lluvias y entre 18 y 1700 NMP/100ml en época seca. Referente al Artículo 2.2.3.3.9.7 – Fines recreativos – Contacto primario, en el cual se fija un límite máximo de 200 NMP/100ml, los puntos A02, A03, A04 para época lluvias se encuentran por encima del límite máximo y para la época seca la mayoría de los puntos se encuentran por debajo del límite máximo a excepción LEN 30, LEN 33 y A06. Los valores por encima del límite máximo indican contaminación por materia orgánica en cercanía a los cuerpos de agua evaluada indicando restricción en cuanto a su uso.

Figura 5-48. Coliformes fecales.

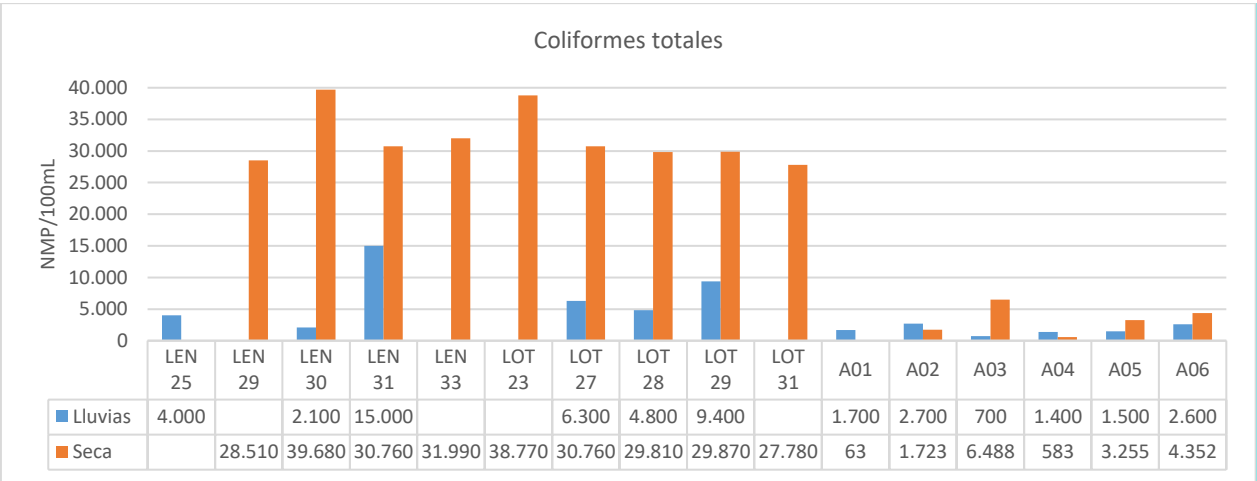


Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2022 -2023

Respecto a los coliformes totales, se presentaron valores entre 700 y 15.000 NMP/100ml (época de lluvias) (Figura 5-49), el punto LEN 31 registró los valores más altos con 15.000 NMP/100ml y el valor más bajo se encontró en el punto subterráneo A03; en cuanto a la época seca los valores estuvieron entre 63 y 39.680 NMP/100ml. En todos los puntos evaluados exceptuando el A03 (época de lluvias) y A01 y A04 (época seca) se tiene restricción en cuanto a su uso referente al Artículo 2.2.3.3.9.7 – Fines recreativos – Contacto primario, en el cual se fija un límite máximo de 1.000 NMP/100ml. Para los cuerpos de agua superficial evaluados en ambas épocas se supera el límite máximo normativo que determina los criterios de calidad para algunos de los usos del agua en los parámetros coliformes totales y fecales, artículos 2.2.3.3.9.4 (consumo humano y doméstico – desinfección, límite 1.000 NMP/100ml) y el valor referencia de la Resolución 2115/07 (establecido en 0 UFC/100 cm³). Para los cuerpos de agua LEN 31, LOT 27 y LOT 29 durante la época de lluvias y los puntos LEN 30, LEN 3, LEN 33, LOT 23, LOT 27, LOT 28, LOT 29, LOT 31 y A03 en época seca, se supera lo estipulado en el artículo 2.2.3.3.9.5 (agrícola, límite 5.000 NMP/100ml). En relación con el artículo 2.2.3.3.9.3 (consumo humano y doméstico – tratamiento convencional, límite 20.000 NMP/100ml) ninguna de las estaciones efectivas durante la época de lluvias superó el límite, a

diferencia de la época seca en la cual las anteriormente mencionadas también superaron el límite de los 20.000 NMP/100ml.

Figura 5-49. Coliformes totales.

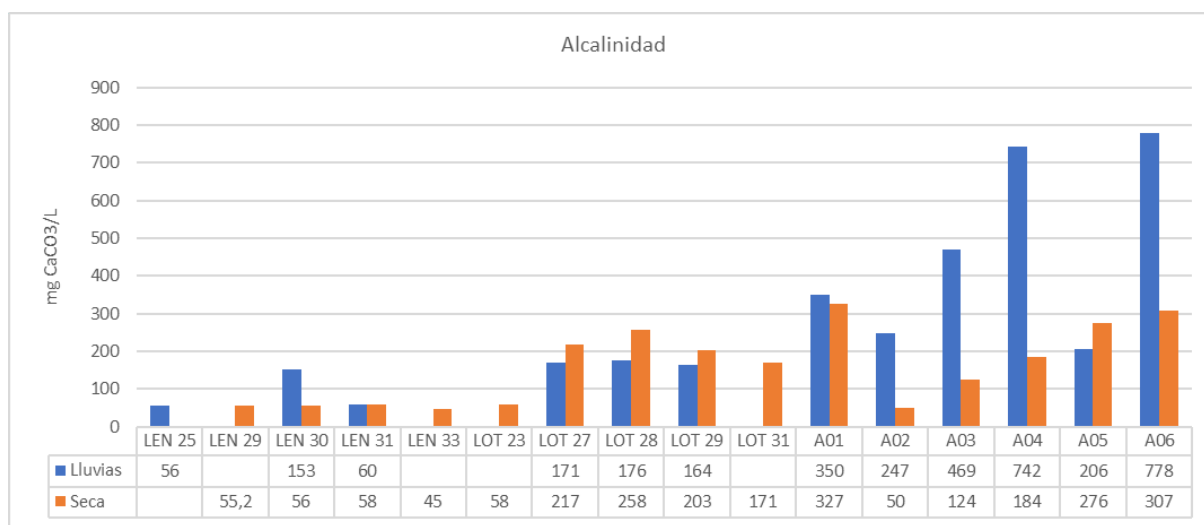


Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2022 -2023

5.1.5.2.5 Alcalinidad

La alcalinidad es una medida de la capacidad de reaccionar y neutralizar ácidos y depende de la naturaleza del terreno y de las rocas con las que está en contacto el cuerpo de agua (Roldán Pérez, 1992). En la Figura 5-50 se presentan los resultados para la alcalinidad en los puntos de monitoreados en época de lluvias y seca. De acuerdo con la UPRM (2010), la alcalinidad ha sido utilizada como un indicador de la productividad, donde niveles de alcalinidad altos indicarían una productividad alta.

Figura 5-50. Alcalinidad total.



Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2022 -2023

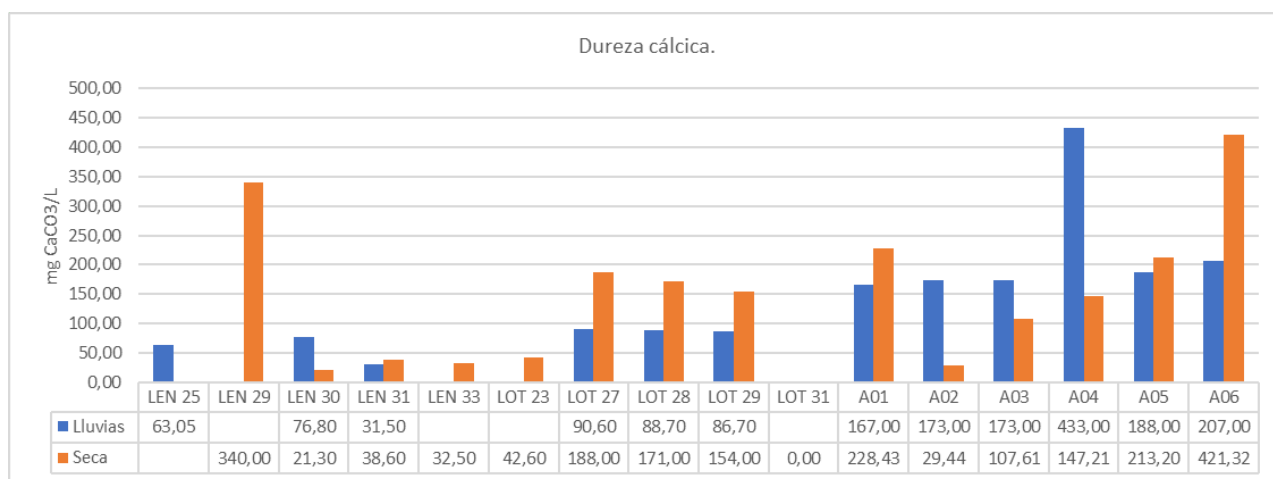
la Resolución 2115 de 2007 que define como criterio de calidad una concentración de 200 mg/l. La alcalinidad varió entre 56,10 y 778 mg/l de CaCO_3 durante la época de lluvias todos los puntos superficiales presentan cumplimiento con relación a este valor y los subterráneos incumplimiento. Para la época seca los valores estuvieron entre 45 y 307 mg/l de CaCO_3 , los puntos lóticos LOT 27, LOT 28 y LOT 29 y los subterráneos A01, A05 y A06 registraron valores por encima del cumplimiento.

Por otro lado, Kevern (1989) define 3 rangos para la clasificación de los niveles de alcalinidad; registros por encima de 150 mg/l de CaCO_3 indican niveles de alcalinidad alta, en este rango para el muestreo de época de lluvias se encuentran todos los puntos subterráneos y los puntos LEN 30, LOT 27, LOT 28 y LOT 29 de los superficiales y en época seca se encuentran los puntos LOT 27, LOT 28, LOT 29 y LOT 31 y entre los subterráneos A01, A04, A05 y A06. Los niveles medios de alcalinidad se encuentran entre 75 y 150 mg/l de CaCO_3 , clasificación que no presenta ninguno de los cuerpos de agua evaluados para la época de lluvias y para la época seca el A03, el resto de los puntos LEN 25 y LEN 31 de la época de lluvias y LEN 29, LEN 30, LEN 31, LEN 33, LOT 23 y A02 en época seca presentaron bajos niveles de alcalinidad al encontrarse por debajo de los 75 mg/l de CaCO_3 .

5.1.5.2.6 Dureza cálcica

Los resultados del parámetro dureza cálcica para los puntos de monitoreo se presentan en la Figura 5-51. Las concentraciones para la época de lluvias se encontraron en el rango de 31,53 a 433,5 mg CaCO₃/l y en época seca entre 21,30 y >1000 mg CaCO₃/l; el Decreto 1076 de 2015 no define criterios de calidad, sin embargo, tomando como referencia la Resolución 2115 de 2007, los puntos A04 (lluvias), LOT 31 y A06 (seca) exceden el valor máximo permisible para consumo humano, que corresponde a 300 mg/l.

Figura 5-51. Dureza cálcica.



Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2022-2023

Por otra parte, la FCCA (1999), presenta unos rangos de valoración de las aguas según la dureza; registros por debajo de 50 mg/l indican aguas blandas, esto se presentó en el punto LEN 31 para ambas épocas y en la estación LOT 23 en época seca. Por otra parte, las aguas moderadamente blandas se asocian con registros de dureza entre 50 y 150 mg/l, en el cual se encuentran todos los puntos de monitoreo superficiales y el resto de los puntos evaluados (época de lluvias), para la época seca, al igual que en la de lluvias se incluye dentro de este grupo todas las estaciones superficiales con excepción del LEN 31, y las estaciones de aguas subterráneas A03 y A04 se incluyen dentro de este grupo de aguas moderadamente blandas. Por último, los cuerpos de agua subterráneos en

época de lluvias y las estaciones LOT 31, LEN 29, A01 y A06 de la época seca, presentan concentraciones mayores a 150 mg/l clasificándolas como aguas duras.

5.1.5.2.7 Compuestos nitrogenados

Los compuestos nitrogenados son de gran importancia en las fuentes de agua, el nitrógeno se encuentra en moléculas orgánicas que desempeñan funciones vitales para toda célula; este elemento es un constituyente básico de aminoácidos, ácidos nucleicos, azúcares aaminadas y los polímeros que estas moléculas forman (Roldán Pérez, 1992). La presencia de éstos se debe al ciclo natural del nitrógeno, pero las concentraciones en las aguas superficiales generalmente varían por causas antropogénicas. Las principales fuentes de adición de nitrógeno al agua son el uso de fertilizantes, disposición de excretas y vertimientos orgánicos. El nitrógeno puede ser encontrado en las aguas superficiales como nitratos, nitritos y nitrógeno amoniacal (Roldán Pérez, 1992).

En los puntos de monitoreo de agua superficial, gran parte de registros para nitritos, nitratos, y nitrógeno Kjeldahl se encontraron por debajo del límite de cuantificación del laboratorio (nitratos=0,200 mg/l; nitritos=0,010 mg/l) en ambas épocas, exceptuando, para nitratos los puntos LEN 25, LOT 28 (lluvias) y LOT 27 y LOT 29 (lluvias y seca) y A01, A04 (seca) y A05 (en ambas épocas) con concentraciones entre 0,24 y 6,71 mg/l (lluvias) y 0,29 y 5,65 mg/l (época seca). En cuanto a los nitritos los puntos LOT 28 (lluvias) y LOT 29 (ambas), LOT 31, LOT 27 y LEN 31 (seca) y los subterráneos A04 y A06 con concentraciones entre 0,61 y 1,88 (lluvias) y A03, A04, A05 y A06 (seca) con concentraciones entre 0,058 y 0,268 mg/l posiblemente asociadas con el uso de fertilizantes o algún tipo de excretas. El nitrógeno Kjeldahl cuyo límite de detección de la técnica es de 5,0 mg/l, los puntos LOT 28, LOT 29, A03, A04 y A06 tuvieron valores por encima del límite entre 5,04 y 1.260 mg/l en época de lluvias y para época seca las estaciones LEN 29, LOT 27, LEN 33, LOT 23, LOT 29, LEN 31, A03, A05 y A06 tuvieron valores por encima del límite entre 6,05 y 27,3 mg/l.

De esta manera, se evidenció cumplimiento normativo frente a los valores de referencia para estos puntos de monitoreo, presentaron cumplimiento frente a los criterios de calidad

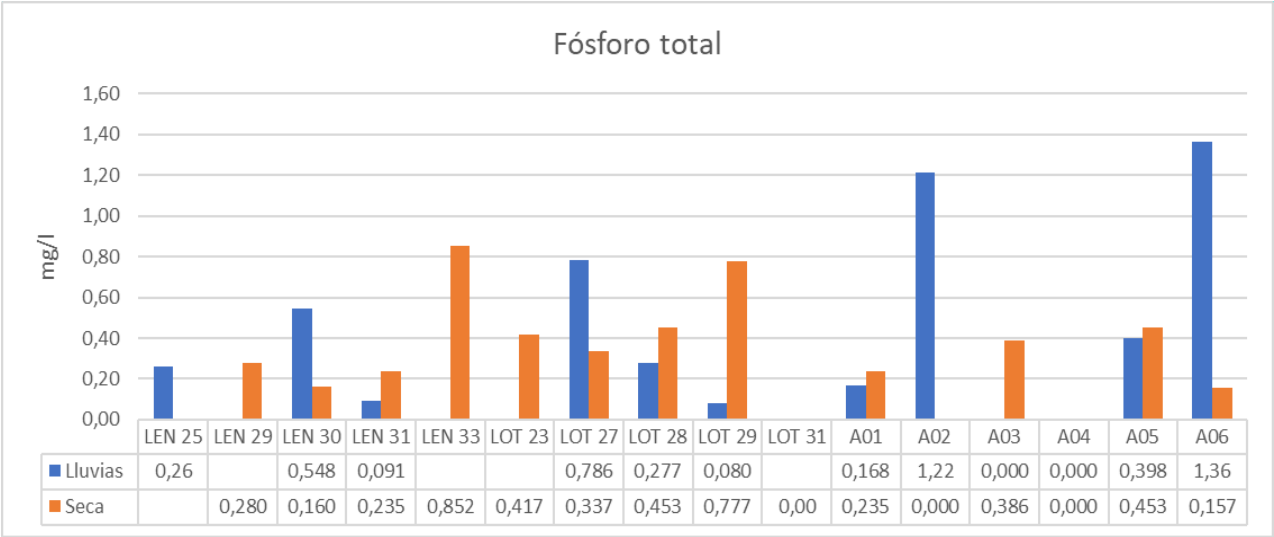
de los artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 del Decreto 1076 de 2015 fijados para nitratos (<10 mg/l), e incumplimiento normativo para los nitritos cuyo valor de referencia estuvo por encima de la Resolución 2115 de 2007 (0,1 mg/l).

5.1.5.2.8 Fósforo

De acuerdo con Roldán Pérez (1992), el fósforo no es un elemento tóxico y es además un nutriente requerido para el crecimiento de plantas y animales. Actualmente se considera como uno de los nutrientes que controlan el crecimiento de algas, sin embargo, en concentraciones elevadas, este elemento induce a la proliferación de algas y otras especies que reducen el oxígeno del agua produciendo eutrofización.

Las concentraciones de este elemento presentaron por debajo del límite de cuantificación (0,075 mg/l) en los puntos A03, A04 (lluvias y seca), **LOT 31 y A02 (seca)**. Para los otros puntos se presentan valores entre 0,08 -1,36 mg/l (lluvias) **y 0,157 – 0,852 mg/l (seca)** (Figura 5-52) indicando aguas con características mesotróficas a hipereutróficas. Normativamente no se tienen establecidos criterios de calidad para los diferentes usos de agua.

Figura 5-52 **Fósforo total.**



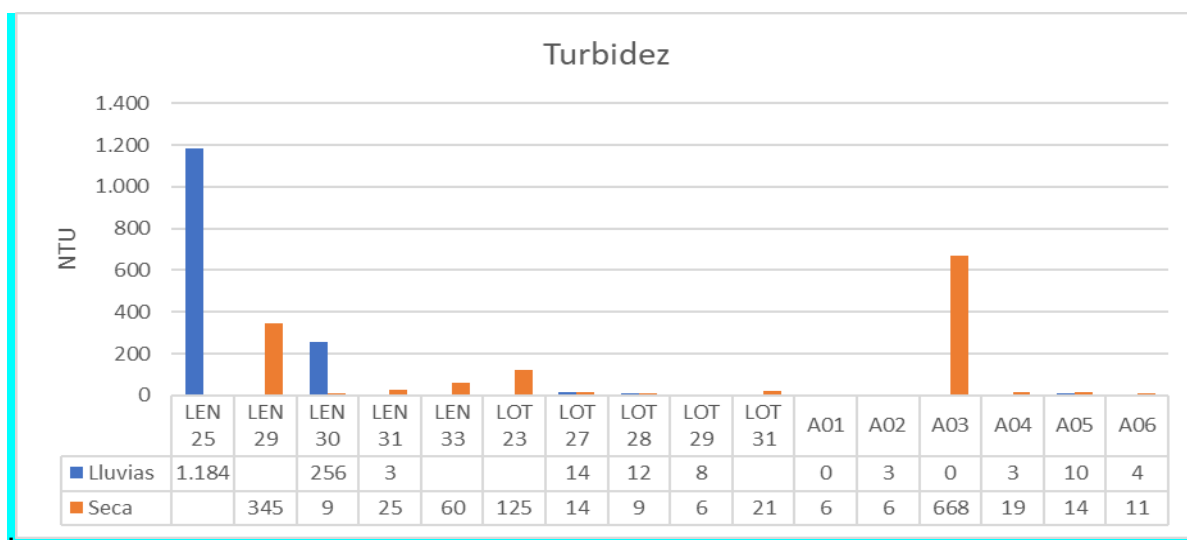
Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2022-2023

5.1.5.2.9 Turbiedad

De acuerdo con Roldán Pérez (1992), la turbiedad define el grado de opacidad producido en el agua por la materia orgánica suspendida; los materiales que contribuyen a la turbiedad en el agua son los mismos responsables del color y a la vez, limitan el paso de luz al agua. La turbidez aumenta por la erosión en las orillas, crecimiento excesivo de algas y la actividad de algunos organismos, en cuerpos de agua loticos, la turbiedad aumenta a medida que avanza su curso, debido a las contribuciones de la agricultura y otras operaciones ejecutadas sobre la tierra, gran parte de este material es inorgánico como la arcilla y también contienen una buena cantidad de material orgánico que sirve de alimento para los microorganismos y su crecimiento produce una turbidez adicional (Roldán Pérez, 1992).

Como se presenta en la Figura 5-53, en los puntos de monitoreo, la turbiedad tuvo una variación entre menos de 2,72 y 1.184 (lluvias) y 6,0 y 668 NTU (seca). Los registros más altos se presentaron en los puntos LEN 25 y LEN 30, con valores de 1.184 y 256 NTU (lluvias) y **LEN 29 y LOT 23 (seca) con valores de 345 y 125 NTU** respectivamente; para estos puntos, la turbidez se relaciona con las contribuciones del tipo de suelo y las características de la zona y están directamente relacionados con los sólidos suspendidos y son mayores para los cuerpos de agua superficiales que en los subterráneos en época de lluvias y en época **seca A03 con 668 NTU**

Figura 5-53. Turbiedad.



Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2022- 2023

En el artículo 2.2.3.3.9.4 (consumo humano y doméstico – desinfección) del Decreto 1076 de 2015 se define como criterio de calidad un valor de 190 NTU, en este sentido, los puntos LEN 25, LEN 30 (lluvias), **LEN 29 (seca)**, superaron este valor. Con relación a la Resolución 2115 de 2007, solamente en los puntos A01 y A03 (lluvias) estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica analítica empleada se dio cumplimiento al valor de referencia contemplado en esta resolución (2 NTU), **esto difirió en la época seca donde todos se encontraron por encima del límite de esta resolución.**

5.1.5.2.10 Otros parámetros

Finalmente, para los parámetros acidez total, grasas y aceites, hidrocarburos totales y SAAM, en todos los puntos de monitoreo se reportaron valores por debajo de los límites de detección de acuerdo con la técnica analítica empleada por el laboratorio **para ambas épocas.**

5.1.5.3 Índices de calidad y contaminación del agua

5.1.5.3.1 Índices de contaminación de los cuerpos de agua (ICO)

Con el objetivo de evaluar los niveles de contaminación de los cuerpos de agua monitoreados se realizó la determinación de los índices de contaminación ICOs, de acuerdo con la metodología presentada registrando los valores presentados en la Tabla 5-82.

Los parámetros de conductividad, dureza y alcalinidad del agua se relacionan a través del índice ICOMI; considerando las concentraciones registradas para estos parámetros, en todos los puntos de monitoreo asociados a cuerpos de agua subterránea se reportaron niveles de contaminación muy altos, asociados con las concentraciones de sales disueltas en el agua registradas, que a su vez se relacionan con los niveles de conductividad y sólidos suspendidos principalmente. Para las estaciones de muestreo de aguas superficiales se presentaron valores de contaminación altos, medios y bajos, donde en todos los casos los mayores aportes están asociados a los registros de conductividad.

Tabla 5-82. Índices de contaminación – ICOs (lluvia y seca).

Punto	ICOMI - LLUVIA		ICOMI - SECA		ICOMO- LLUVIA		ICOMO- SECA		ICOSUS- LLUVIA		ICOSUS-SECA		ICOTRO LLUVIA	ICOTRO SECA
	Resultado	Clasificación	Resultado	Clasificación	Resultado	Clasificación	Resultado	Clasificación	Resultado	Clasificación	Resultado	Clasificación		
LEN 25	0,28	Baja	NA	NA	0,5	Media	NA	NA	1	Muy alta	NA	NA	Eutrófico	NA
LEN 29	NA	NA	0,68	Alta	NA	NA	0,79	Alta	NA	NA	1	Muy alta	NA	Eutrófico
LEN 30	0,56	Media	0,16	Muy baja	0,36	Baja	0,77	Alta	1	Muy alta	0,02	Muy baja	Eutrófico	Eutrófico
LEN 31	0,35	Baja	0,29	Baja	0,55	Media	0,9	Muy alta	0	Muy baja	0,89	Muy alta	Eutrófico	Eutrófico
LEN 33	NA	NA	0,16	Muy baja	NA	NA	0,91	Muy alta	NA	NA	0,77	Alta	NA	Eutrófico
LOT 23	NA	NA	0,35	Baja	NA	NA	0,72	Alta	NA	NA	1	Muy alta	NA	Eutrófico
LOT 27	0,65	Alta	0,95	Muy alta	0,46	Media	0,79	Alta	0,08	Muy baja	0,07	Muy baja	Eutrófico	Eutrófico
LOT 28	0,64	Alta	0,8	Muy alta	0,44	Media	0,9	Muy alta	0,06	Muy baja	0,09	Muy baja	Eutrófico	Eutrófico
LOT 29	0,61	Alta	0,71	Alta	0,45	Media	0,7	Alta	0,02	Muy baja	0,02	Muy baja	Eutrófico	Eutrófico
LOT 31	NA	NA	0,87	Muy alta	NA	NA	0,77	Alta	NA	NA	0,28	Baja	NA	ND
A01	1	Muy alta	0,99	Muy alta	0,37	Baja	0,54	Media	0	Muy baja	1	Muy alta	Eutrófico	Eutrófico
A02	1	Muy alta	0,14	Muy baja	0,42	Media	0,64	Alta	0,04	Muy baja	0,22	Baja	Hipereutrófico	ND
A03	1	Muy alta	0,69	Alta	0,17	Muy baja	0,88	Muy alta	0	Muy baja	1	Muy alta	ND	Eutrófico
A04	1	Muy alta	0,89	Muy alta	0,39	Baja	0,88	Alta	0,06	Muy baja	0,87	Muy alta	ND	ND
A05	0,93	Muy alta	1	Muy alta	0,22	Baja	0,73	Alta	0	Muy baja	1	Muy alta	Eutrófico	Eutrófico
A06	1	Muy alta	1	Muy alta	0,72	Alta	0,76	Alta	0	Muy baja	1	Muy alta	Hipereutrófico	Eutrófico

Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2022-2023

La evaluación de la contaminación orgánica del agua se define por el índice ICOMO, relacionando la demanda bioquímica de oxígeno, la presencia de coliformes y el porcentaje de saturación de oxígeno en el agua. En general los cuerpos de aguas presentaron bajas y medios valores de contaminación durante la época de lluvias asociados con la presencia de coliformes y materia orgánica degradable con excepción de la estación A06 que presentó una alta contaminación, esta calificación se presentó en la mayoría de puntos durante el monitoreo de época seca (alta y muy alta contaminación) asociada principalmente a los bajos valores de oxígeno disuelto presentes en estos puntos.

El ICOSUS es un indicador de la presencia de sólidos suspendidos en el agua; para este índice en los puntos de monitoreo de época de lluvias se reportaron en su mayoría niveles muy bajos de contaminación con algunos puntos como LEN 25 y LEN 30 donde se obtuvo clasificación muy alta. Con relación a este índice en época seca se obtuvo un comportamiento inverso y la mayoría de puntos efectivos presentan un valor de Muy alta y alta, principalmente en los puntos de aguas subterráneas, dos puntos lénticos y un lótico, este comportamiento es de esperarse dado el poco movimiento y bajo aporte de aguas, lo que ocasiona que se presente niveles altos de turbidez y por ende de sólidos suspendidos.

Por último, el ICOTRO o índice de contaminación trófico. A diferencia de los índices anteriores, en los cuales se determina un valor particular entre 0 y 1, la concentración del fósforo total define por sí misma una categoría discreta a saber: oligotrófico ($<0,01 \text{ g.m}^3$), mesotrófico ($0,01-0,02 \text{ g.m}^3$), eutrófico ($0,02-1 \text{ g.m}^3$) e hipertrofico ($>1 \text{ g.m}^3$) (Ramírez *et al.*, 1997). Para la época de lluvias la mayoría de las estaciones presentan estados de eutrofia e hipertrofia, durante esta época, la mayoría de las estaciones obtuvieron valores detectables de fósforo en todos los puntos de monitoreo de aguas superficiales, en las aguas subterráneas se presenta la misma calificación exceptuando las estaciones A03 y A04 que estuvieron por debajo del límite de detección. Con relación a la época seca, tanto aguas superficiales como subterráneas se encuentran en estados de eutrofia con

excepción de los puntos LOT 31, A02 y A05 que estuvieron por debajo del límite de detección < 0,075 g.m³

5.1.5.3.2 Índice de calidad del agua (ICA)

En la Tabla 5-83 se presentan los resultados del cálculo del índice de calidad de agua (ICA) en los puntos de monitoreo efectivos durante la época de lluvias y seca, aplicando la metodología planteada, se evaluaron 5 parámetros: porcentaje de saturación de oxígeno, sólidos suspendidos, DQO, conductividad y pH, cada uno con una ponderación de 0,2.

Tabla 5-83. Índice de calidad del agua – ICA (lluvias y seca)

Punto	Lluvias		Seca		Lluvias		Seca		Lluvias		Seca		Lluvias		Seca		Lluvias		Seca		Lluvias	Seca	Lluvias	Seca
	OD (%)	I_OD	OD (%)	I_OD	SS (mg/l)	I_SS	SS (mg/l)	I_SS	DQO (mg/l)	I_DQO	DQO (mg/l)	I_DQO	CE (µs/cm)	I_CE	CE (µs/cm)	I_CE	pH (u)	I_pH	pH (u)	I_pH	ICA	ICA	Clasificación	Clasificación
LEN 25	61,19%	0,61	NA	NA	1503,33	0	NA	NA	176	0,125	NA	NA	220	0,24	NA	NA	6,99	1	NA	NA	0,46	NA	Mala	NA
LEN 29	NA	NA	63,00%	0,63	NA	NA	345,00	0,00	NA	NA	297,00	0,125	NA	NA	2000,00	0,00	NA	NA	6,79	0,90	NA	0,38	NA	Mala
LEN 30	72,08%	0,72	60,10%	0,60	934,29	0	8,83	0,99	68	0,125	64,20	0,125	426	0	151,00	0,54	6,57	0,8	6,72	0,87	0,38	0,75	Mala	Aceptable
LEN 31	64,32%	0,64	41,30%	0,41	0	1	24,80	0,95	52	0,125	38,20	0,125	275	0	234,50	0,18	6,07	0,62	6,91	0,96	0,57	0,54	Regular	Regular
LEN 33	NA	NA	29,70%	0,30	NA	NA	60,10	0,84	NA	NA	171,00	0,125	NA	NA	152,50	0,54	NA	NA	6,51	0,78	NA	0,6	NA	Regular
LOT 23	NA	NA	88,80%	0,89	NA	NA	125,00	0,65	NA	NA	195,00	0,125	NA	NA	286,00	0,00	NA	NA	6,95	0,98	NA	0,62	NA	Regular
LOT 27	78,54%	0,79	64,50%	0,65	32,79	0,92	13,70	0,98	36	0,125	24,10	0,125	509	0	1329,00	0,00	7,54	1	7,85	1,00	0,68	0,65	Regular	Regular
LOT 28	80,98%	0,81	19,00%	0,19	27,6	0,94	8,63	0,99	46	0,125	52,00	0,125	595	0	137,20	0,60	7,54	1	7,73	1,00	0,69	0,7	Regular	Regular
LOT 29	98,41%	0,98	70,00%	0,70	12	0,98	5,91	1,00	57	0,125	39,50	0,125	312	0	125,90	0,64	4,68	0,3	7,80	1,00	0,57	0,83	Regular	Aceptable
LOT 31	NA	NA	41,30%	0,41	NA	NA	21,30	0,96	NA	NA	28,70	0,125	NA	NA	325,00	0,00	NA	NA	7,31	1,00	NA	0,6	NA	Regular
A01	46,95%	0,47	27,00%	0,27	0	1	5,60	1,00	61	0,125	41,56	0,125	2.410	0	267,00	0,02	6,85	0,93	7,18	1,00	0,6	0,57	Regular	Regular
A02	22,54%	0,23	24,08%	0,24	19,8	0,96	5,77	1,00	39	0,125	32,16	0,125	682	0	138,50	0,59	7,52	1	6,45	0,75	0,55	0,65	Regular	Regular
A03	65,31%	0,65	5,60%	0,06	6,6	1	668,11	0,00	99	0,125	192,03	0,125	4.500	0	490,00	0,00	7,86	1	7,41	1,00	0,66	0,26	Regular	Mala
A04	65,44%	0,65	30,30%	0,30	28,2	0,94	18,61	0,96	0	0,91	59,68	0,125	6.330	0	489,00	0,00	7,24	1	7,46	1,00	0,65	0,56	Regular	Regular
A05	69,36%	0,69	28,40%	0,28	9	0,99	13,75	0,98	78	0,125	53,41	0,125	460	0	607,00	0,00	7,37	1	7,22	1,00	0,67	0,56	Regular	Regular
A06	12,98%	0,13	23,50%	0,24	0	1	11,03	0,99	161	0,125	50,27	0,125	2.390	0	1270,00	0,00	7,3	1	7,95	1,00	0,53	0,56	Regular	Regular

Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales SAS, 2022 -2023

De acuerdo con los rangos de clasificación de la calidad del agua definidos por el IDEAM (2005), los resultados del monitoreo definen una clasificación regular en general para las estaciones de monitoreo. Solamente las estaciones LEN 25, LEN 30 (época lluvias) y LEN 29 y A03 (época seca) presentaron una clasificación de mala.

Debido a que el ICA refleja las condiciones de un cuerpo de agua mediante la correlación de parámetros fisicoquímicos de relevancia, se puede establecer que en los puntos de monitoreo donde se obtuvo calificaciones de mala, se relacionan con la presencia de concentraciones elevadas de sólidos suspendidos, conductividad elevada (por presencia de impurezas en el agua), pH y en mayor medida a la alta Demanda Química de Oxígeno (DQO), que conlleva a presentar bajos niveles de saturación de oxígeno.

En relación con los resultados obtenidos en el EIA, 2020, los monitoreos de la modificación (época lluvias y seca), presenta una similaridad entre los resultados de los puntos muestreados distribuidos entre el parque y la línea de evacuación cuya clasificación fue mayoritariamente entre regular – mala, con muy pocas excepciones de puntos con clasificación aceptable durante la época seca en las estaciones LEN 30 y LOT 28. Estos resultados confirman, que la calidad del recurso hídrico de los cuerpos de agua en el área del proyecto se ha mantenido constante, siendo de baja calidad acorde a los valores obtenidos para los índices de contaminación, lo cual puede estar condicionado por el aporte de aguas de escorrentía, descomposición de materia orgánica, actividades ganaderas entre otros que se presenta en la zona.

5.1.6 Usos del agua

Teniendo en cuenta la información desarrollada para el EIA del año 2020, donde se presentó la caracterización de usos del agua en general para las corrientes presentes en el área de influencia que estuvieran expuestas a los posibles impactos por el desarrollo del proyecto, a continuación, se presenta dicho análisis de acuerdo con lo establecido en los términos de referencia TdR-015 y TdR-017.

El agua es un recurso importante para el desarrollo de cualquier actividad humana, pues gran parte de las actividades antrópicas requieren del recurso hídrico ya sea como materia prima o como fuente receptora de agentes residuales.

El presente apartado contiene la revisión de información secundaria procedente del POMCA y de la consulta del registro de usuarios facilitado por la CRA. Posteriormente se presentan los resultados del levantamiento de información primaria detallada para el EIA del año 2020 de todos los usos y usuarios identificados en el área de intervención del proyecto, esto con el objeto de estimar la demanda hídrica real y potencial.

Finalmente se determina los posibles conflictos actuales sobre la disponibilidad y usos del agua, teniendo en cuenta el análisis de frecuencias de caudales mínimos para diferentes períodos de retorno, haciendo especial énfasis en los períodos de estío.

5.1.6.1 Información secundaria de usos y usuarios

De acuerdo con el (Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Magdalena en el Departamento del Atlántico), POMCA; en su estudio elaborados desde el año 2007, para ese entonces, el municipio de Sabanalarga era abastecido en una cobertura del 73 % por la empresa de acueducto Triple A. La frecuencia del servicio es de cada 12 días durante 24 horas, y la calidad del agua es apta para el consumo humano.

Adicionalmente, el POMCA señala que la frecuencia y cobertura del servicio es mayor en el municipio de Ponedera. Afirma que la empresa Aguas de la Ribera cubre el 95% de la demanda del servicio, con frecuencias de 12 a 24 horas diarias; se abastece del río Magdalena y, respecto a su calidad, no es apta para consumo humano.

En relación con el sistema de alcantarillado, el POMCA señala que en Sabanalarga la cobertura es del 51% con un sistema ineficiente por rupturas y fugas. La disposición final es dada a través de lagunas de oxidación que descargan al embalse del Guájaro a través de los arroyos Sucio, Platanal, Armadillo, y al río Magdalena a través del arroyo Maretira. La población restante no cubierta por el sistema de alcantarillado realiza una disposición a campo abierto, pozas sépticas y letrinas. El sistema prescinde de una cuantificación del

volumen de aguas residuales. Por otra parte, en el municipio de Ponedera no existe un servicio de alcantarillado y la disposición final es realizada en arroyos, vías y patios.

Sin embargo, el (Plan de Desarrollo Municipal 2016 – 2019 de Sabanalarga) y el (Plan de Desarrollo Municipal 2016-2019 de Ponedera) señalan que el servicio de acueducto es brindado por la Sociedad de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Barranquilla S.A – Triple A. El sistema de captación se realiza sobre el río Magdalena a través de la ETAP (Estación de Tratamiento de Agua Potable) ubicada en el municipio de Ponedera, desde la cual se abastecen el casco urbano de Ponedera y tres de sus corregimientos (El Martillo, La Retirada y Santa Rita), y el municipio de Sabanalarga (Alcaldía municipal de Ponedera). A continuación, en la Tabla 5-84 se relaciona la cobertura de los servicios.

Tabla 5-84 Cobertura de servicios de acueducto y alcantarillado en los municipios Sabanalarga y Ponedera

SERVICIO PÚBLICO	MUNICIPIO			
	COBERTURA (%) SABANALARGA		COBERTURA (%) PONEDERA	
	URBANO	RURAL	URBANO	RURAL
Acueducto	87	51,2	87,9	34,1
Alcantarillado	76	2,4	85	20

Fuente: (Alcaldía de Sabanalarga), (Alcaldía municipal de Ponedera), elaborado por (EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020)

En revisión de la ocupación indebida de los cuerpos del agua, el POMCA describe que en la cuenca y en particular en el complejo de humedales son frecuentes las obras de ingeniería para el “manejo” de la dinámica hídrica.

El elevado déficit hidrológico y las actividades de represamiento inadecuados de los arroyos, así como la desecación completa de ciénagas palustres que unas décadas atrás constituían reservorios que garantizaban a la comunidad la disponibilidad de agua para buena parte de las épocas de sequía, constituyen una tendencia en el departamento del Atlántico con impactos negativos considerables.

Es común encontrar distritos de riego con canales de drenajes para secar dichas ciénagas, perdiendo el recurso pesquero, que a su vez afecta la seguridad económica y la seguridad alimentaria. Además del carácter informal de estas actividades, la población

asentada en estas áreas afirmadas por las malas estrategias de gobernabilidad y planificación del territorio, de la mano de autoridades civiles y ambientales han formulado y llevado a cabo programas de construcción de terraplenes para evitar las inundaciones, lo cual ha provocado una desconexión hidrológica entre los cuerpos de agua.

Para concluir la información proporcionada por el POMCA, la ocupación de cauces en toda la cuenca es una acción que generalmente se adelanta de manera ilegal por cuanto no se pide el respectivo permiso a las autoridades ambientales. La intervención del cauce de un arroyo con un represamiento constituye afectaciones a usuarios de aguas abajo, generando un aprovechamiento del recurso donde prima el beneficio particular sobre el colectivo, afectando el adecuado aprovechamiento.

De igual manera para la modificación se efectuó consulta a la CRA con el objetivo de identificar los usos y usuarios autorizados sobre los cuerpos de agua presentes en el área de modificación del proyecto, recibiendo respuesta mediante radicado 001462, la cual es presentada con todos los puntos concedidos en los municipios Ponedera y Sabanalarga, en el Anexo 4 Comunicaciones Entidades.

A continuación, en la Tabla 5-85 se muestra el inventario de usuarios y usos concedidos por la CRA, depurado de manera que se muestran los permisos vigentes, localizados en las cuencas intervenidas y dentro del área a licenciar.

De este reporte apenas es posible dar una breve conclusión, y es que son pocos los usos del agua reglamentados y concesionados por la autoridad ambiental.

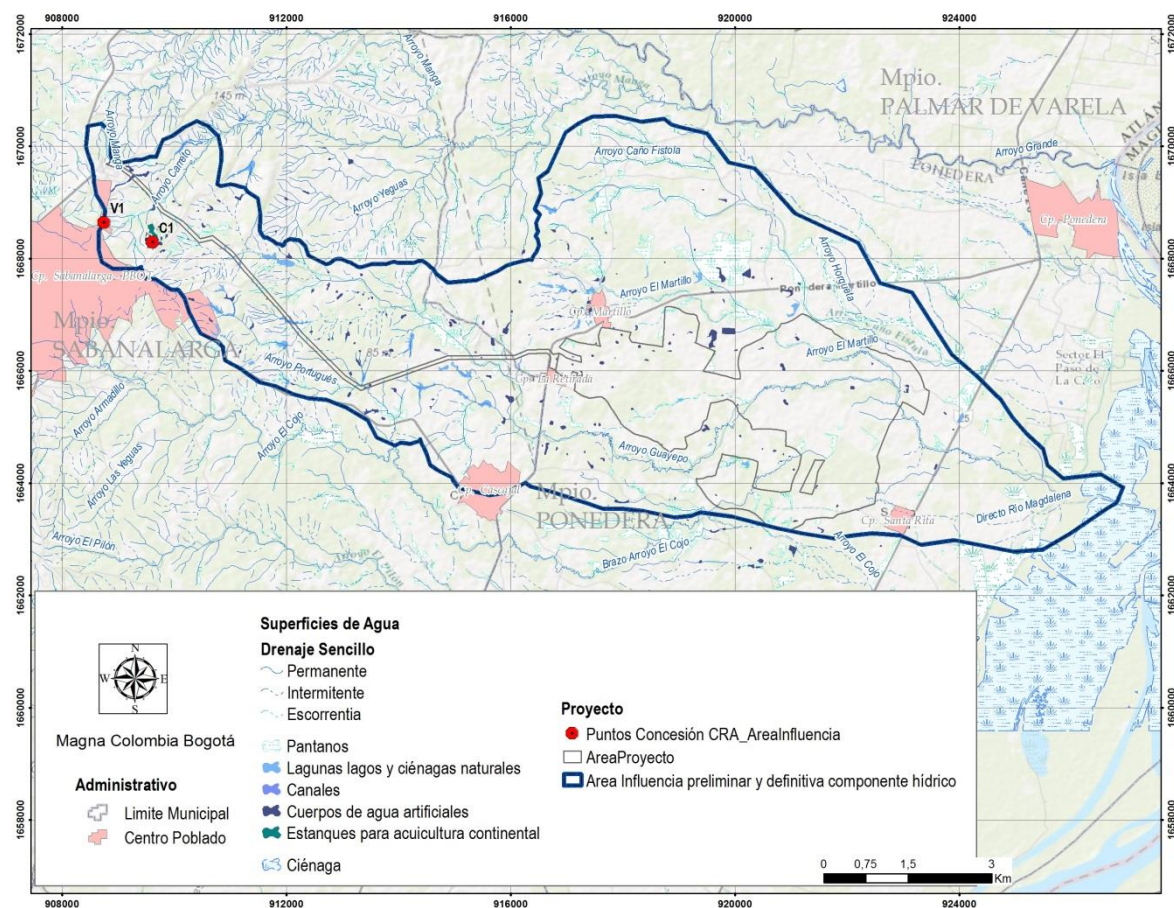
Tabla 5-85 Inventario de usos concedidos por la CRA

MUNICIPIO	U S O	NÚMERO EXPEDIENTE	USUARIO	NÚMERO RESOLUCIÓN OTORGA	CAUDAL	TIPO Y NOMBRE DE LA FUENTE*	GEOREFERENCIA MAGNA COLOMBIA-BOGOTÁ	
							ESTE	NORTE
Sabanalarga	C1	1701-146	Zoocriadero Crocodylus S.A.S	816	0,18	-	909621,33	1668288,41
Sabanalarga	V1	1702-061	Cooperativa de Productores de Leche de La Costa Atlántica Ltda. - Coolechera	434	2,0	Arroyo Canetico (carretico)	908751,69	1668637,66

Fuente: (Corporación Autónoma Regional del Atlántico-CRA, 2018) *modificado por* (EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020)

Así mismo, en la Figura 5-54 se encuentran espacializados los usos concedidos por la CRA que presentan información de georreferenciación.

Figura 5-54 Georreferenciación de uso de los recursos hídricos concedidos y vigentes por la CRA



Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

Por otra parte, se hizo una revisión de los usos recreativos del agua:

En el municipio de Sabanalarga se identificaron usos fuera del AI, en mención, el embalse el Guájaro como atractivo turístico natural, y la Isla Martín Cabeza, pero ambos atractivos se encuentran en el corregimiento La Peña, fuera del área a licenciar.

Por otra parte, en el municipio de Ponedera, hacen mención del jagüey El Martillo, localizado en el casco urbano del corregimiento El Martillo, el cual constituye una fuente hidrográfica de la comunidad utilizado por muchos como lugar de esparcimiento y

diversión los fines de semana. Sin embargo, este no será objeto de intervención por las actividades del proyecto.

5.1.6.2 Información primaria de usos y usuarios

Como parte del trabajo de caracterización in situ presentado en el EIA 2020, se realizaron 34 encuestas de usos y usuarios.

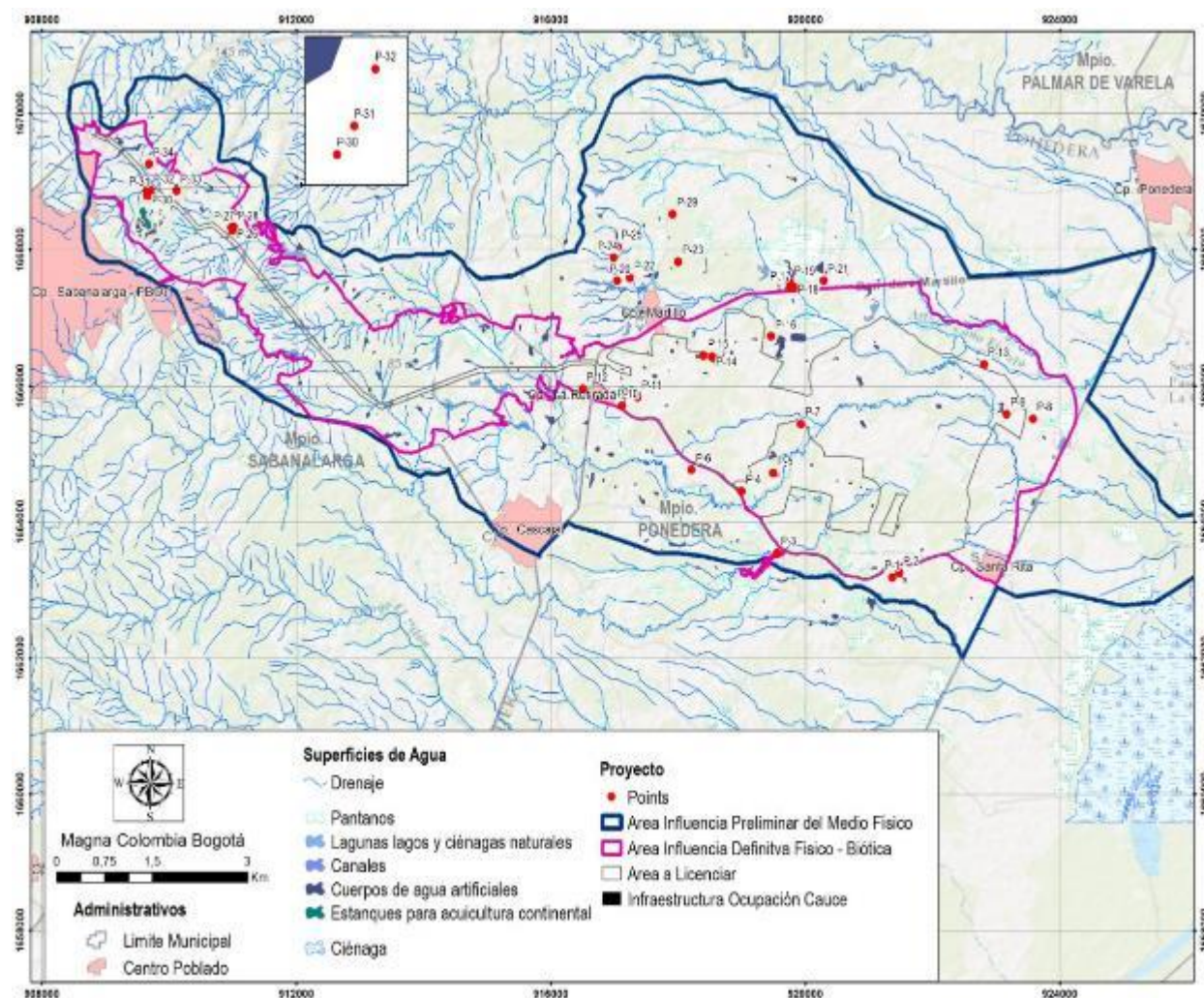
A continuación, en la Figura 5-91 se encuentran los puntos georreferenciados y en la Figura 5-55 se encuentra la ubicación cartográfica de los usos y usuarios identificados.

Tabla 5-86 Inventario de usos y usuarios

ID USO	COORDENADAS		ID USO	COORDENADAS	
	MAGNA_COLOMBIA_BOGOTÁ			MAGNA_COLOMBIA_BOGOTÁ	
	Este	Norte		Este	Norte
P-1	909682,67	1669256,58	P-18	919499,06	1664720,45
P-2	909688,94	1668868,68	P-19	919933,24	1665442,74
P-3	909672,4	1668826,73	P-20	919763,53	1667513,57
P-4	909658,84	1668805,77	P-21	919817,98	1667450,9
P-5	910120,08	1668869,24	P-22	919751,61	1667438,51
P-6	910999,85	1668285,72	P-23	920289,03	1667547,81
P-7	911015,24	1668333,5	P-24	918005,44	1667824,09
P-8	910978,1	1668326,75	P-25	917913,69	1668522,7
P-9	921368,79	1663187,53	P-26	917048,21	1668046,51
P-10	921477,56	1663253,67	P-27	916984,53	1667882,72
P-11	923164,13	1665587,26	P-28	917240,22	1667590,84
P-12	923575,39	1665517,97	P-29	917042,87	1667545,55
P-13	922811,27	1666319,21	P-30	917363,59	1665834,93
P-14	919463,44	1666729,41	P-31	917117,78	1665711,39
P-15	919556,42	1663548,66	P-32	916502,33	1665957,27
P-16	918212,53	1664766,55	P-33	918398,79	1666445,6
P-17	919001,28	1664452,47	P-34	918532,59	1666426,03

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

Figura 5-55 Georreferenciación de usos y usuarios identificados



Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

A continuación, se presenta la información recolectada mediante el mecanismo de encuestas.

La información de captación es dada por 34 usuarios del área de influencia, quienes manifestaron en sus respuestas que el 43,33% hacen un uso doméstico al agua de captación, seguidos por uso pecuario con 30,00%, uso agrícola de 16,67%. En menores cantidades se reportaron usos para la agricultura con 8,33% y 1,67% registró un uso estético o recreativo.

Las captaciones están asociados a sistemas con tuberías y manguera. Así como dos usuarios manifestaron recolectar a través de baldes, y otros dos realizan compras por medio de carrotanque.

El agua destinada a uso pecuario es usada principalmente para ganado doble propósito (34,62%) y de leche (30,77%), y en menor medida especies menores como cerdo y gallinas con 19,23%.

De 13 encuestados que respondieron la relación de cabezas de ganado por hectárea, 12 de ellos tienen menos de tres (3) unidades de ganado por hectárea, lo cual corresponde a una ganadería extensiva.

Del agua utilizada para consumo agrícola, cuatro (4) usuarios manifestaron usos para riego de cultivos como mango, limón, coco, guayaba, papaya, ají, yuca y maíz.

Sólo dos (2) encuestados manifestaron dar uso piscícola, al tener cultivo de mojarra.

5.1.6.3 Estimación de conflictos actuales o potenciales por disponibilidad y usos del agua

De acuerdo con la planificación de actividades del proyecto, NO se requerirá la captación de agua superficial ni subterránea, teniendo en cuenta que las cantidades de agua demandadas son relativamente bajas y serán adquiridas a través de terceros, por medio de empresas que cuenten con autorización para venta de agua para uso doméstico e industrial.

Asimismo, el proyecto no verterá sus residuos a fuentes de agua, por lo cual no se afectará la calidad de las fuentes que son objeto de abastecimiento por la comunidad del área de influencia.

A continuación, se determinan los posibles conflictos actuales sobre la disponibilidad y usos del agua, teniendo en cuenta el análisis de frecuencias de caudales mínimos para diferentes períodos de retorno, haciendo especial énfasis en los períodos de estío.

Asimismo, en Anexo 3 Cartografía se presenta un mapa a escala 1:10.000, que incluye la localización de la información mencionada.

Con el objeto de estimar la demanda hídrica en la zona, se procedió a realizar el inventario de usuarios indicado, no obstante, la información sobre volúmenes demandados no fue posible obtenerla debido a la falta de medición y disponibilidad de la información por parte de los usuarios, es decir no se encontraba disponible en el momento de la visita de campo. Por otra parte, es claro la falta de recurso durante la temporada de verano, especialmente el primer trimestre. Los arroyos tienden a presentar cauce seco y la oferta es nula para toda la población en el sector, condición que se ha presentado históricamente debido a la climatología del área.

Es posible determinar que no se presentan conflictos de uso en el momento. De igual forma, no se identifican conflictos potenciales teniendo en cuenta que el agua requerida para el desarrollo del proyecto será adquirida por medio de empresas debidamente legalizadas que cuenten con los permisos y la disponibilidad del recurso.

5.1.7 Hidrogeología

El objetivo principal de la caracterización hidrogeológica es evaluar el potencial hidrogeológico de las rocas y sedimentos presentes en el área de influencia, para almacenar y transmitir agua, la productividad de los acuíferos, y describir el funcionamiento del sistema hidrogeológico en el área.

En el marco de la presente modificación de licencia ambiental, la caracterización del componente hidrogeológico para el área de influencia del medio abiótico, partió de la evaluación y cartografía realizada en el EIA de 2020, presentado para la licencia ambiental obtenida a través de la resolución 981 de junio de 2021, el cual a su vez utilizó información secundaria de estudios hidrogeológicos locales y regionales realizados tanto por entidades públicas como privadas, y de la información geológica, geomorfológica a hidrológica presentada a detalle en los respectivos apartes de este estudio.

Para la elaboración de la cartografía hidrogeológica y caracterización de las unidades, se realizó según la metodología de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (IAH)

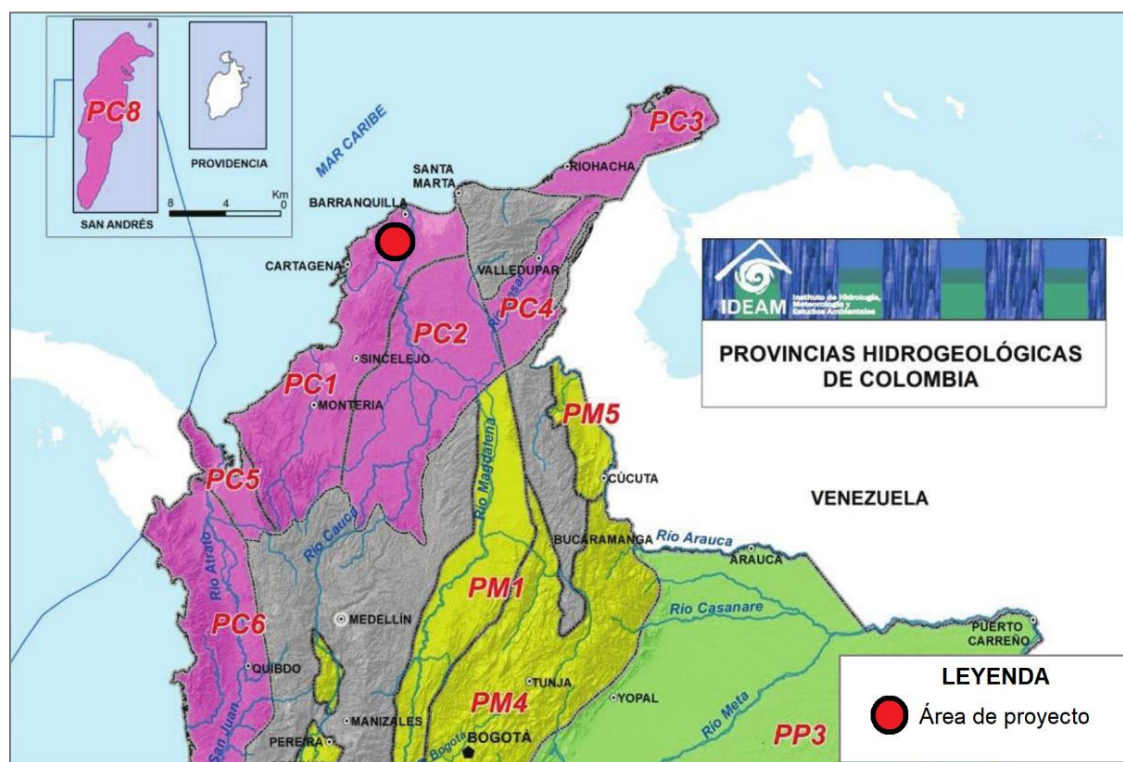
“Leyenda Internacional de los Mapas Hidrogeológicos”. La leyenda se fundamenta en la asignación de categorías hidrogeológicas con base en el potencial de rocas y sedimentos para almacenar y transmitir agua subterránea, en función de la composición, permeabilidad y capacidad específica de cada unidad litológica evaluada.

5.1.7.1 Contexto hidrogeológico regional

El territorio colombiano se encuentra dividido en provincias hidrogeológicas (ENA, 2010), las cuales corresponden a unidades definidas con base en unidades tectono-estratigráficas separadas entre sí por rasgos estructurales regionales, que coinciden con límites de cuencas geológicas mayores y que, desde el punto de vista hidrogeológico, corresponden a berreras impermeables representadas por fallas y altos estructurales.

El área de influencia se ubica en la provincia hidrogeológica Costera – Sinú-San Jacinto – PC1 (Ideam, 2013); tal como se muestra en la Figura 5-56, en el contexto nacional.

Figura 5-56 Localización de la provincial hidrogeológica del Sinú San Jacinto



Fuente: IDEAM, 2013.

5.1.7.1.1 Provincia hidrogeológica

La Provincia Hidrogeológica Sinú-San Jacinto está localizada en el noroccidente del territorio colombiano, limita al sur con las estribaciones de las cordilleras Central y Occidental; al oriente con el sistema de fallas de Romeral; al suroccidente con el sistema de fallas del río Atrato y al norte con el litoral Caribe. Está compuesta por una intercalación de capas delgadas de areniscas y conglomerados productivos, de porosidad primaria, con capas de lutitas impermeables ambos asociados a unidades neógenas como la formación Tubará o la formación Carmen. Encuentra su barrera impermeable a profundidad con la formación Cansona de edad cretácica, compuesta principalmente por lutitas.

5.1.7.1.2 Ambiente geológico

La zona donde se encuentra esta provincia está asociada a las estructuras de los anticlinales de San Jacinto, San Jerónimo y Luruaco, los cuales se caracterizan por ser una sucesión basal de pelagitas suprayacidas por turbiditas del Grupo Cansona. Se pueden identificar dos regiones relacionadas a la provincia, una región inestable, muy plegada sobre la corteza oceánica, y una región estable o de plataforma, no plegada, sobre la corteza continental.

5.1.7.2 Unidades hidrogeológicas

La definición de las unidades hidrogeológicas se realizó a través de una correlación de unidades geológicas que tienen condiciones y características de porosidad y permeabilidad que permiten la agrupación de estas en sistemas acuíferos de acuerdo con el Atlas de Aguas Subterráneas de Colombia Plancha 5-04, Escala 1:500.000 (SGC, 2000). Cabe anotar que un sistema acuífero se compone de varias unidades geológicas y que de acuerdo con el IDEAM se define como: “Dominio espacial limitado en superficie y en profundidad, en el que existen uno o varios acuíferos con porosidad primaria o secundaria, relacionados o no entre sí, pero que constituyen una unidad”

Para la región se considera como límite hidrogeológico a la Falla El Playón, ubicada al oeste del casco urbano de Sabanalarga fuera del área de influencia, su estructura es de tipo inversa y por la litología de las formaciones adyacentes actúa como sello impidiendo el tránsito de las aguas subterráneas, marcando el límite del denominado Acuífero de Sabanalarga, al oeste de la zona de estudio, el cual conforma acuíferos con porosidad secundaria lo cual se relaciona con la actividad tectónica de la zona. Por el este, el río Magdalena es considerado como zona de descarga de los acuíferos, por lo que es considerado también un límite hidrogeológico.

Las unidades hidrogeológicas identificadas en el área de influencia objeto de la modificación corresponden a las mismas unidades reportadas y descritas en el EIA, 2020, las cuales están relacionadas de manera regional con tres (3) Sistemas acuíferos denominados: Sistema acuífero Turbará hacia el occidente, Sistema acuífero Sabanalarga hacia el sur, y el Sistema acuífero Bajo Magdalena al oriente. Según la cartografía establecida en el ENA, a nivel local ninguno de estos sistemas se presenta dentro del área de influencia en mención. Para el presente documento se realizó verificación de campo y actualización del inventarios de puntos de agua, tal como se describe en los siguientes ítems.

5.1.7.3 Acuíferos presentes en el área de influencia

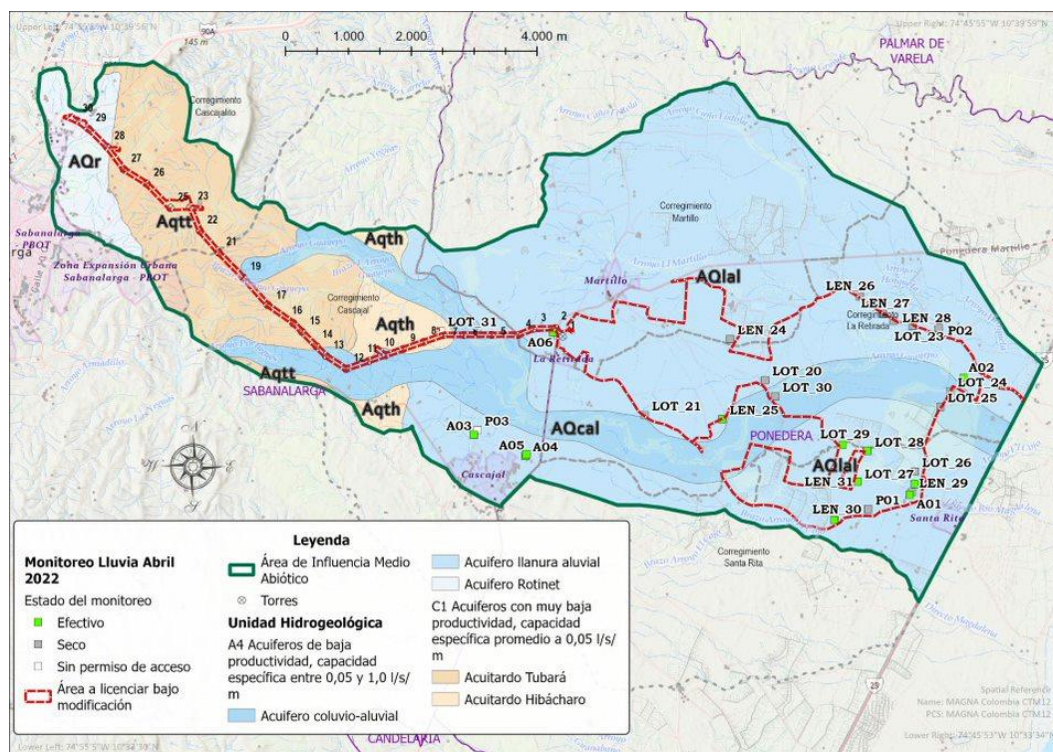
La clasificación de las unidades hidrogeológicas identificadas en el área de influencia, de acuerdo con la litoestratigrafía, diaclasamiento, extensión, espesor, parámetros hidráulicos e hidrogeoquímica, teniendo en cuenta la clasificación de la leyenda de mapas hidrogeológicas (IAH, 1995), se presentan en la Tabla 5-87 y en el mapa Figura 5-57. A continuación, se encuentran la descripción de los acuíferos que conforman el área de influencia del medio abiótico objeto de la modificación y sus características.

Tabla 5-87 Sistemas acuíferos presentes en el área de influencia objeto de la modificación

SISTEMAS ACUIFEROS			ÁREA DE INFLUENCIA MEDIO ABIÓTICO		
Sistema de acuífero		Características de los acuíferos	Unidades Hidrogeológicas	ha	%
A. Sedimentos y rocas con flujo esencialmente intergranular					
A4	Acuíferos de baja productividad, capacidad específica entre 0,05 y 1,0 l/s/m	Sistemas acuíferos discontinuos de extensión local, conformados por sedimentos de depósitos cuaternarios no consolidados de ambiente fluvial coluvial y fluvio-lacustre que forman acuíferos libres, libre cubiertos a semiconfinados. Almacenan aguas que requieren tratamientos previos para algunos usos.	Acuífero Llanura Aluvial (Aqlal)	4.198,11	62,7%
			Acuífero Coluvio-Aluvial (Aqcal)	1.064,72	15,9%
			Acuífero Fluvio-lacustre (Aqfl)	0	0,0%
			Acuífero Rotinet (Aqr)	264,36	4,0%
C. Sedimentos y rocas con limitados recursos de aguas subterráneas					
C1	Acuíferos con muy baja productividad, capacidad específica promedio menor a 0,05 l/s/m.	Complejo de rocas sedimentarias terciarias poco consolidadas de origen marino que forman acuíferos de tipo semiconfinados con recursos limitados o sin recursos. Actúan como acuitardos o contiene agua de mala calidad físico química	Acuitardo Tubará (Aqtt)	959,19	14,3%
			Acuitardo Hibácharo (Aqth)	205,74	3,1%
TOTAL				6.692,11	100

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022 modificado del EIA, EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

Figura 5-57 Unidades hidrogeológicas en el área de influencia



Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

La mayor parte 251 el área de influencia del medio abiótico (82,94%) está representada por acuíferos de baja productividad (A4), caracterizados por presentar capacidad específica entre 0,05 y 1,0 l/s/m, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados, de ambiente fluvial, aluvial, que generalmente conforman acuíferos de tipo libre a semiconfinado, y almacenan aguas que requiere tratamiento para algunos usos. Hacia el sector occidental, en el área de la línea de Evacuación a 500kV, se encuentran los dos sistemas hidrogeológicos tanto el A4 como el C1, este último relacionado con sistemas acuíferos de muy baja productividad, capacidad específica promedio menor a 0,05 l/s/m, que se comportan como acuitardos (C1), conformados por rocas consolidadas de ambiente marino, generalmente de tipo confinado con aguas que requieren tratamientos previos para cualquier uso.

5.1.7.4 Caracterización hidrogeológica del área de influencia

Los diferentes acuíferos se clasifican por sus características de permeabilidad, porosidad, transmisividad, extensión y espesor. A nivel general, en el área de influencia del medio abiótico objeto de modificación se presentan unidades acuíferas con limitados recursos subterráneos, como se describe a continuación.

5.1.7.4.1 Sedimentos y rocas con flujo esencialmente intergranular/porosidad primaria.

Sistemas acuíferos de baja productividad, capacidad específica entre 0.05 y 1.0 l/s/m (A4)

Corresponde a sistemas acuíferos discontinuos de extensión local a semiregional, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados, de ambiente fluvial, aluvial y fluviolacustre que generalmente conforman acuíferos de tipo libre a semiconfinado. Almacenan aguas que requiere tratamiento para algunos usos.

Dentro de este sistema acuífero, en el área de influencia del medio abiótico se encuentran los acuíferos conformados por sedimentos de depósitos cuaternarios, asociados con los Depósitos de Llanura Aluvial (Qlal), Depósito Coluvio-Aluvial (Qcal), Depósito Fluvio-

Lacustre (Qfl) y las Gravas de Rotinet (Qpr). Los acuíferos asociados principalmente a depósitos aluviales y de terrazas aluviales del Río Magdalena y sus afluentes, son generalmente de extensión local, baja productividad, en capas individuales, discontinuas y con espesores que generalmente no superan los 30 m.

La zona no saturada de la mayor parte de los acuíferos aluviales y de terrazas aluviales, está compuesta por sedimentos no consolidados, permeables a impermeables, constituidos por intercalaciones de limos, gravas, arenas y arcillas. Los niveles estáticos son muy someros generalmente cerca al nivel base de los ríos hacia el oriente, muy cercanos al Río Magdalena, hasta 20 m de profundidad en las zonas levemente más altas en cercanías al municipio de Sabanalarga.

Por sus características intrínsecas, la mayoría de estos acuíferos son susceptibles a la contaminación y en el Departamento del Atlántico, el acuífero es de moderada vulnerabilidad, dado que recibe cierto grado de protección por presentar material limoso en la zona vadosa.

El Acuífero Rotinet, se considera un acuífero multicapa, de extensión local, aunque de buena productividad, que se presenta como parches aislados, algunos de ellos no cartografiados a la escala de este trabajo. Está compuesto por sedimentos no consolidados, tamaño grava fina a gruesa, arenas de grano grueso, en matriz arenosa, que posiblemente son producto de la depositación de un antiguo brazo del Río Magdalena.

El tipo de agua subterránea almacenada en los acuíferos someros del Cuaternario, es de tipo predominantemente, bicarbonatada cálcica y sódica, este tipo puede ser alterado por aguas provenientes de la escorrentía superficial que lixivian las unidades roca más antiguas que los rodean, las cuales tienen una composición mineralógica diferente a las de los depósitos cuaternarios, casi siempre de tipo cloruradas y sulfatadas sódicas. En general son aguas con bajo grado de mineralización, debido a que estos acuíferos se recargan directamente por agua de precipitación con un tiempo de residencia corto.

5.1.7.4.2 Sedimentos y rocas con limitados recursos de aguas subterráneas

Sistemas acuíferos con muy baja productividad, capacidad específica promedio menor a 0.05 l/s/m, que se comportan como acuitardos (C1).

Complejo de rocas sedimentarias terciarias poco consolidadas de origen marino que forman acuíferos de tipo semiconfinados con recursos limitados o sin recursos. Actúan como acuitardos o contienen agua de mala calidad fisicoquímica.

Los materiales rocosos como en el caso de la Formación Hibácharo compuesta por limolitas y lodolitas (Ngh) actúan como acuitardo, conteniendo agua en su interior incluso hasta la saturación, pero transmitiéndola muy lentamente ó como el caso de Formación Tubará (Ngt), compuestos por niveles de lodolitas intercaladas con areniscas, que almacena agua de mala calidad.

La Formación Tubará es multicapa de edad Neógena, depositadas en un ambiente continental, transicional a marino, constituidos por arcillolitas y arcillolitas calcáreas, areniscas calcáreas, con porosidad primaria y alta permeabilidad en los niveles arenosos y baja en los limo-arcillosos, está cubierto por delgados depósitos cuaternarios aluviales de aproximadamente 10 metros de espesor. Se comporta como semiconfinada debido a las intercalaciones arcillosas. Regionalmente la zona no saturada, es predominantemente arenosa, aunque existen depósitos aluviales en las partes bajas, compuestos por depósitos arenolimosos.

El agua de la unidad Tubará, es mixta, reflejando la heterogeneidad de sus componentes litológicos. Se encuentran aguas bicarbonatadas magnésicas en los horizontes superiores de las unidades de areniscas calcáreas fosilíferas, las cuales en profundidad se tornan de tipo cloruradas sódicas, debido a que el proceso de dilución por el agua lluvia disminuye con la profundidad como consecuencia de una lenta infiltración. También se encuentran aguas sulfatadas sódicas, asociadas a unidades arenosas con yeso diseminado y limolitas ferruginosas y en menor proporción aguas bicarbonatadas sódicas. En general son aguas débilmente mineralizadas, variando la concentración en SDT entre 1000 y 2000 mg/l.

La Formación Hibácharo de edad Mioceno Medio y depositada en un ambiente marino, compuesta por limolitas negras carbonosas, lodolitas grises y amarillas, areniscas de grano fino y costras de oxidación estratiformes, se presentan esporádicos niveles bioclásticos. Presentan muy baja productividad y transmisividad, presentando capacidad específica promedio menor a 0,05 l/s/m. La poca cantidad de agua almacenada en esta formación no se considera óptima para consumo humano, ya que son salobres.

5.1.7.5 Inventario puntos de agua subterránea

El inventario es un método de recopilación y análisis de los datos relacionados con la hidrogeología y que proceden de la información de usuarios de los denominados puntos de agua; es el sistema más idóneo para empezar a conocer rápidamente las características hidrogeológicas de una zona dada.

En sentido estricto se puede definir un punto de agua subterránea como un lugar, obra civil o circunstancia que permita un acceso directo o indirecto a un acuífero, estos pueden incluir perforaciones existentes (pozos o aljibes), ya sean o no explotadas, abandonadas o destruidas; también se cuentan las fuentes o surgencias que deben considerarse como descargas naturales de los acuíferos (manantiales).

El inventario permite evaluar la disponibilidad y uso del recurso subterráneo en el área de influencia del medio abiótico objeto de la modificación y tener una visión global de las características y comportamiento de las diferentes unidades geológicas potencialmente acuíferas.

Para la presente evaluación se realizó una revisión y actualización del inventario de puntos de agua subterránea compilado para el EIA 2020, así como la elaboración de un nuevo inventario mediante visitas predio a predio en la región del área de influencia objeto de modificación. Para el área de influencia, el agua subterránea es un recurso de baja importancia para el desarrollo socioeconómico de la zona, pues es una fuente secundaria de abastecimiento tanto para el consumo humano como para el desarrollo de las actividades agropecuarias y agroindustriales de la zona, ya que a nivel regional la comunidad se abastece de agua proveniente de acueducto de agua superficial.

La información se registró en el Formulario Único Nacional para Inventario de Puntos de Agua Subterránea (FUNIAS) elaborado por el MADS, IDEAM e INGEOMINAS (ahora SGC). En este formato se registran entre otros aspectos, la localización y características constructivas de las captaciones, usos y usuarios, caudales e información relacionada con la medida de parámetros físicos “in-situ” del agua (pH, conductividad eléctrica y temperatura) y el diagnóstico sanitario de los mismos. Las captaciones inventariadas se nombraron con un código compuesto por una letra (A: Aljibe) seguida de un número consecutivo. Los formatos FUNIAS diligenciados se presentan en el Anexo 5.1.7 Hidrogeología.

Los trabajos de campo se desarrollaron durante los días 05 de abril al 12 de abril de 2022, en periodo climático húmedo. Adicionalmente se actualizó la información de tres (3) puntos de agua subterránea inventariados previamente en la zona, durante el EIA del año 2020. En total se identificaron nueve (9) puntos de agua subterránea, contando aquellos provenientes del EIA 2020 (3), y los encontrados en campo (6); seis (6) de ellos corresponden a aljibes y tres (3) a pozos.

En la Tabla 5-88 se presenta un resumen de los puntos inventariados, en donde se incluye el número por tipo y los valores numéricos promedio de cada tipo de punto.

Tabla 5-88 Resumen de los puntos de agua subterránea inventariados

Tipo de punto	Número de puntos	Profundidad promedio (m)	Nivel freático promedio (m)
Aljibe	6	16,5	14
Pozo	3	12,5	12

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

La localización de los puntos de captación de agua subterránea se presenta en la Tabla 5-89 y en la Figura 5-58.

Tabla 5-89 Localización de los puntos de agua subterránea

ID	Tipo de punto	Condición	Diámetro	Prof. (m)	Revestimiento	Coordenadas Origen Nacional	
						Este	Norte
A01*	Aljibe	Abandonado	1,13 m	20	Cemento	4.804.524	2.729.535
A02*	Aljibe	Abandonado	1,13 m	15	Cemento	4.805.383	2.731.396

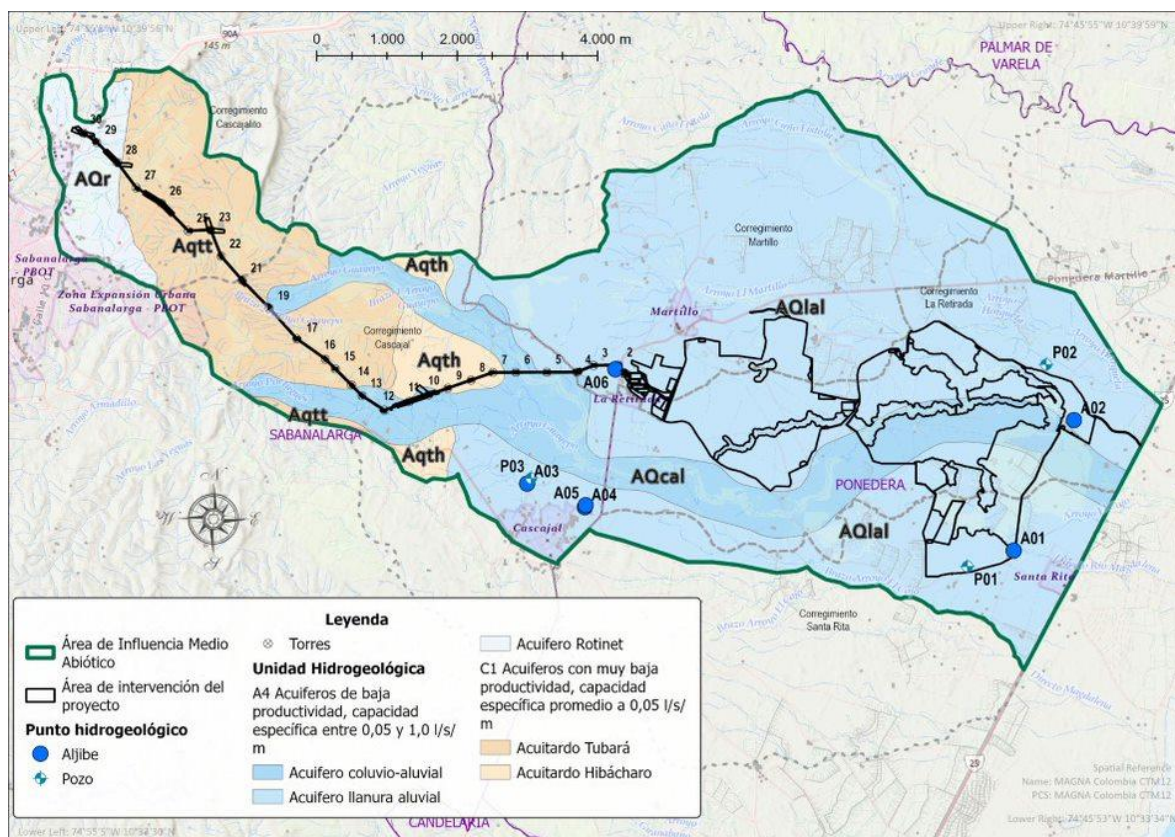
A03	Aljibe	Abandonado	0,98 m	22	Cemento	4.797.593	2.730.490
A04	Aljibe	Reserva	1,02 m	22	Cemento	4.798.414	2.730.154
A05	Aljibe	Abandonado	1,14 m	20	Cemento	4.798.427	2.730.182
A06	Aljibe	Abandonado	1,55 m	25	Ladrillo	4.798.849	2.732.121
P01*	Pozo	Productivo	4 pulg.	40	PVC	4.803.865	2.729.308
P02	Pozo	Abandonado	2 pulg.	15	PVC	4.804.986	2.732.188
P03	Pozo	Reserva	4 pulg.	Desc.	PVC	4.797.647	2.730.566

Desc. Valor desconocido, no fue posible medirla o estimarla

* Puntos actualizados provenientes del EIA 2020 (se mantiene el mismo ID).

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Figura 5-58 Localización de los puntos de agua subterránea inventariados



Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

A continuación, se realiza una descripción de cada uno de los tipos de agua subterránea identificados.

5.1.7.5.1 Aljibes

De los seis (6) aljibes identificados, solo uno (1) se encuentra en reserva mientras que los cinco (5) restantes están abandonados, evidenciando un cambio con la información recolectada en el EIA 2020, donde sí había puntos en condición productiva. El punto en reserva se ha usado en agricultura para regar cultivos de papaya, en épocas de verano. Cinco (5) aljibes presentan revestimiento en cemento, y uno (1) en ladrillo. Presentan valores de pH que rondan entre 6,85 a 7,86 unidades, una temperatura entre 29,5 a 31,5 °C y conductividades desde las 460 $\mu\text{S}/\text{cm}$ hasta 6330 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los predios donde se encuentran los aljibes presentan como fuente principal de abastecimiento el Acueducto municipal, y en algunos casos con jagüeyes de agua superficial.

Fotografía 5-96 Aljibe A01



Coordenada: E 4.804.524 N 2.729.535
Municipio: Ponedera
Vereda: Santa Rita

Fotografía 5-97 Aljibe A04



Coordenada: E 4.798.414 N 2.730.154
Municipio: Sabanalarga
Vereda: Cascajal

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

5.1.7.5.2 Pozos

Los tres (3) pozos encontrados presentan diferentes condiciones, siendo uno (1) productivo, manteniéndose en la misma situación que en el EIA del 2020, uno (1) abandonado, y uno (1) en reserva. El uso principal que presentan estos pozos es pecuario, con método de explotación de motobomba y bombas sumergibles alimentados

por energía eléctrica. Todos son en material de revestimiento PVC y presentan una profundidad máxima de 40m, informada por la comunidad. Los predios donde se encuentran estos puntos presentan como fuente principal de abastecimiento el Acueducto municipal, jagüeyes de la zona y transportados desde otras fincas cercanas.

Fotografía 5-98 Pozo P01



Coordenada: E 4.803.865 N 2.729.308
Municipio: Ponedera
Vereda: Santa Rita

Fotografía 5-99 Pozo P02



Coordenada: E 4.804.986 N 2.732.188
Municipio: Sabanalarga
Vereda: Guayepo

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Igualmente, durante la elaboración del EIA 2020 se verificó la información secundaria como las bases de datos SIRH, asociadas a inventario de puntos de agua subterránea, no obstante, no se reportan puntos de agua subterránea cercanos al área de estudio. También se revisó el Motor de Integración de Información Geocientífica –MIIG- del Servicio Geológico Colombiano, buscando estudios hidrogeológicos en la zona como el del proyecto; “Prospección Hidrogeológica en los Departamentos de Atlántico y Bolívar”, del Ministerio de Minas y Energía, 1985, donde se perforaron 24 pozos sin embargo el más cercano (24 III B-40) se encuentra a 15 kilómetros al SW del área de estudio, en Aguada de Pablo, en el Municipio de Sabanalarga.

Adicionalmente se realizó la consulta en la base de datos del Sistema de Información del Recurso Hídrico del IDEAM en el enlace

<http://sirh.ideam.gov.co/Sirh/faces/observatorioSubterraneas.jspx>, donde no se registran captaciones de agua subterránea otorgadas.

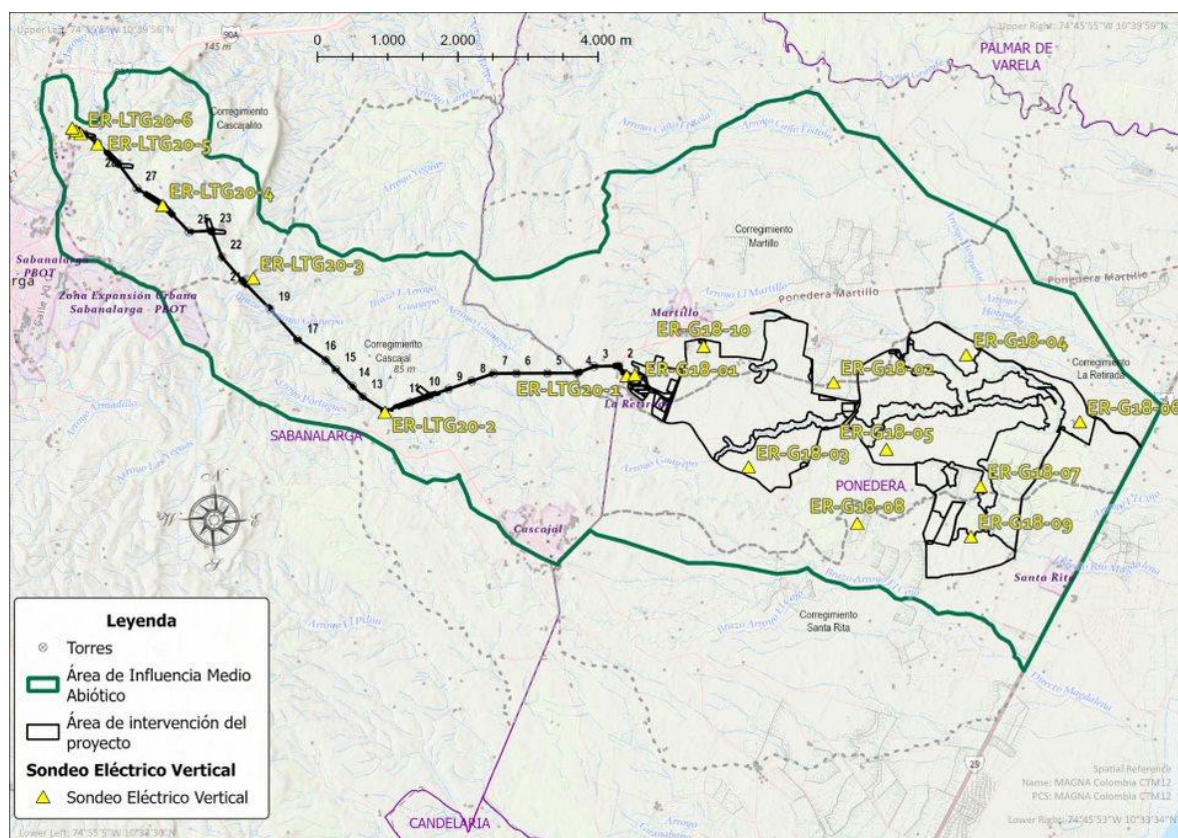
5.1.7.6 Prospección geo eléctrica

Con el objeto de definir la información del subsuelo y conocer las condiciones geotécnicas del terreno para la instalación de infraestructura del proyecto, durante el EIA 2020, se realizó un estudio geoeléctrico mediante ocho (8) Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), a lo largo de la línea de transmisión y con 10 SEV en el área del parque solar fotovoltaico para un total de 18 SEV. Estos se realizaron con arreglo Wenner con una abertura de 30 m, que alcanzan una profundidad de investigación confiable de 10 m, aunque se puede interpretar a mayor profundidad con menor confiabilidad.

Las coordenadas de dichos SEV, la unidad hidrogeológica y la condición del nivel de la tabla de agua se presentan en la Tabla 5-90 y su ubicación en la Figura 5-59.

La prueba de resistividad eléctrica se realizó mediante la disposición de cuatro electrodos equidistantes, colocados sobre la superficie a investigar, en línea recta simétricamente respecto a un punto central (método de los 4 puntos). A través de los electrodos exteriores se hace pasar una corriente eléctrica por el subsuelo y esto produce una caída de potencial entre los electrodos interiores. El proceso se repite para diferentes distancias entre electrodos usando las siguientes interdistancias: $a(m) = 1, 2, 4, 6, 8, 16$ y 30 .

Figura 5-59 Localización de SEV del año 2020 en el área de influencia



Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Tabla 5-90 Coordenadas de los sondeos Eléctricos Verticales

SEV	Coordenadas		Arreglo	Apretura "a"	Condición Nivel Freático	Formación Hidrogeológica
	Este	Norte				
ER-LTG20-1	4.799.005	2.732.053	Wenner	30 m	No se identifica	Acuífero Llanura Aluvial
ER-LTG20-2	4.795.558	2.731.535	Wenner	30 m	No se identifica	Acuífero Coluvio-aluvial
ER-LTG20-3	4.793.680	2.733.447	Wenner	30 m	No se identifica	Acuitardo Tubará
ER-LTG20-4	4.792.386	2.734.484	Wenner	30 m	No se identifica	Acuitardo Tubará
ER-LTG20-5	4.791.461	2.735.357	Wenner	30 m	No se identifica	Acuífero Rotinet
ER-LTG20-6	4.791.218	2.735.509	Wenner	30 m	No se identifica	Acuífero Rotinet
ER-LTG20-7	4.791.156	2.735.549	Wenner	30 m	No se identifica	Acuífero Rotinet

SEV	Coordenadas		Arreglo	Apertura "a"	Condición Nivel Freático	Formación Hidrogeológica
	MAGNA Sirgas Nacional					
	Este	Norte				
ER-LTG20-8	4.791.099	2.735.588	Wenner	30 m	No se identifica	Acuífero Rotinet
ER-G18-01	4.799.120	2.732.069	Wenner	30 m	No se identifica	Acuífero Llanura Aluvial
ER-G18-02	4.801.952	2.731.960	Wenner	30 m	No se identifica	Acuífero Llanura Aluvial
ER-G18-03	4.800.742	2.730.757	Wenner	30 m	No se identifica	Acuífero Llanura Aluvial
ER-G18-04	4.803.844	2.732.353	Wenner	30 m	No se identifica	Acuífero Llanura Aluvial
ER-G18-05	4.802.707	2.731.007	Wenner	30 m	No se identifica	Acuífero Coluvio- aluvial
ER-G18-06	4.805.464	2.731.399	Wenner	30 m	No se identifica	Acuífero Llanura Aluvial
ER-G18-07	4.804.047	2.730.481	Wenner	30 m	No se identifica	Acuífero Llanura Aluvial
ER-G18-08	4.802.291	2.729.951	Wenner	30 m	No se identifica	Acuífero Llanura Aluvial
ER-G18-09	4.803.912	2.729.763	Wenner	30 m	No se identifica	Acuífero Llanura Aluvial
ER-G18-10	4.800.100	2.732.475	Wenner	30 m	No se identifica	Acuífero Llanura Aluvial

Fuente: EIA PROYECTO GUAYEPO SOLAR, 2020

De acuerdo con los resultados reportados en el EIA, 2020, los sondeos geoelectricos registrados a lo largo de la línea de transmisión evidencian que los valores de resistividad se correlacionan en su mayoría a materiales finos como arcillas y limos, aunque se presentan algunos valores altos de resistividad a una profundidad de 1 a 2 m en los sondeos ER-LTG20-1, ER-LTG20-5 y ER-LTG20-57. De los SEV registrados en el área del parque solar fotovoltaico se observa que algunos sondeos (RE-G18-01, RE-G18-05, RE-G18-08 y RE-G18-10) muestran valores que se podrían considerar como indicativos de presencia de agua con resistividades entre 10 y 100 Ω/m a profundidades entre 5 y 20 m.

5.1.7.7 Dirección de flujo

La definición de las direcciones de flujo consiste en representar la dirección y el sentido del flujo de aguas subterráneas y su interconexión hidráulica con sistemas acuíferos adyacentes y sistemas superficiales; la caracterización del flujo subterráneo local o somero, que se presenta en el área de influencia del medio abiótico objeto de modificación, fluye a través de los acuíferos Cuaternarios y Neógenos.

Para la elaboración de este componente en el EIA presentado para la licencia obtenida a través de la resolución 981 de junio de 2021 (EIA PROYECTO GUAYEPO SOLAR, 2020), se compilaron y analizaron datos provenientes de un estudio geotécnico realizado para el proyecto por la empresa INGETEC en el año 2020, el cual contiene información de niveles freáticos obtenidos a través de geofísica (sondeos geoeléctricos), calicatas y barrenos manuales. Este análisis buscaba estimar la profundidad de la tabla de agua y evaluar las características litológicas de la zona no saturada, que se constituye como la primera defensa natural de los acuíferos a un potencial contaminante puesto en la superficie del terreno, e igualmente la naturaleza de los materiales más someros que juegan un papel fundamental dentro de la recarga de los acuíferos. La información detallada de los estudios geotécnicos se presenta en el Anexo 5.1.8 Geotecnia.

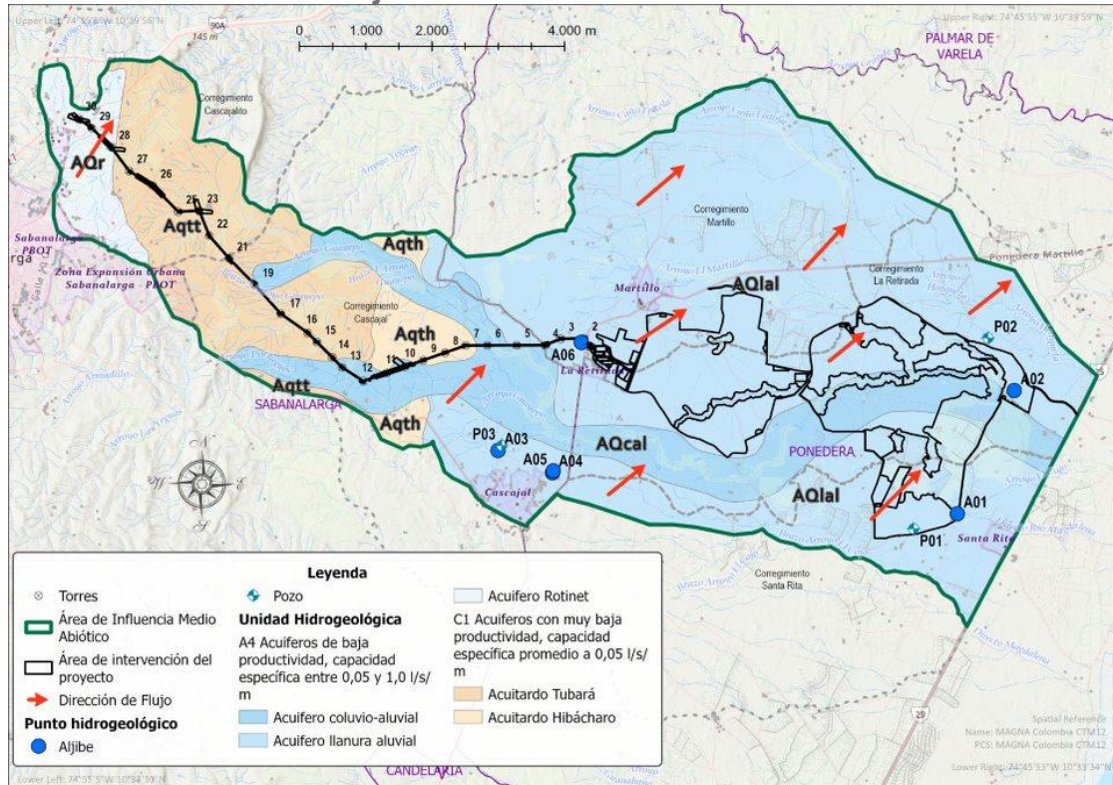
El análisis realizado para el EIA del año 2020 arrojó los siguientes resultados:

De acuerdo con las investigaciones de 74 calicatas o apiques mecánicos, y 10 barrenos manuales, con relación al nivel de la tabla de agua, se halló que de todos ellos solo se presenta nivel freático en una (1) calicata identificada como CA-GY20-05, y en un barreno identificado como SO-GY20-03 a 3,7 m y a 3,05 m de profundidad respectivamente. Estos puntos están juntos geográficamente y están ubicados sobre un depósito coluvio-aluvial. Se interpreta que puede ser producto de algunos niveles colgados de este depósito sobre las infrayacentes rocas arcillolíticas de la Formación Hibacharo. Por tanto, se concluye con las calicatas y los barrenos que en general la tabla de agua de la mayoría de las unidades presentes incluyendo la Llanura Aluvial, se halla a más de 4,0 m profundidad promedio de realización de las excavaciones y por tanto no es posible usar esta información en la realización de las direcciones de flujo someras.

Con respecto a la información obtenida de los (8) SEV realizados, y correlación con la geología de la zona se interpreta que en la zona a la profundidad investigada no se evidencia el nivel de la tabla de agua, es decir que el nivel en general se halla por debajo de los 10 m de profundidad, y que de acuerdo con los niveles registrados del inventario de puntos de agua subterránea cuyo nivel varía entre 4 y 18 m, se deduce que en la zona en general la tabla de agua no se halla somera.

Por tanto, y teniendo en cuenta que la información del inventario no cubre la totalidad del área de influencia, y que además está compuesto por muy pocos puntos para una extrapolación uniforme de la zona evaluada, para generar datos de isopiezas que permitan establecer las direcciones de flujo somero, se utilizó la topografía y las características físicas de la zona, como ubicación de cuerpos de agua superficiales e información secundaria de la plancha 5-04 del Atlas de Aguas Subterráneas de Colombia, INGEOMINAS, 2000. El resultado final determinó que la dirección de flujo de agua somera o local se dirige **hacia NE en dirección al Arroyo Grande** como se muestra en la Figura 5-60. Se estima que los flujos más profundos deben dirigirse hacia el río Magdalena en dirección hacia el Este.

Figura 5-60 Dirección de flujo somero en el área de influencia del medio abiótico



Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

5.1.7.8 Zonas de recarga y descarga

Se han identificado en el área de estudio como principales mecanismos de recarga, la infiltración directa por la precipitación para los acuíferos de edad Cuaternario y para las zonas donde afloran las unidades Terciarias con presencia de materiales arenosos.

La descarga del agua subterránea ocurre por medio del flujo de base en los principales cauces en este caso hacia el Arroyo Grande y posiblemente en flujos más profundos hacia el río Magdalena al este. También se presenta descarga artificial de los niveles acuíferos a través de los pozos y aljibes.

La determinación de las zonas con potencial de recarga se realizó para el EIA, 2020, empleando la metodología propuesta por Matus (2007), que se basa en ponderaciones de 1 a 5, (1 es baja posibilidad de recarga y 5 es buena posibilidad de recarga) tomando de base los siguientes parámetros: Pendiente (Pend), Tipo de suelo (Ts), tipo de roca

(Tr), cobertura vegetal permanente (Cve) y se evaluó el uso del suelo (Us), la cual fue adaptada incluyendo las variables Precipitación (P) y Evapotranspiración (ER).

En la metodología a cada variable se les asigna un factor o peso ponderado matemático, el cual se relaciona con la relevancia de las variables en el proceso de recarga de los acuíferos, para las variables utilizadas se les asignó un factor como se muestra a continuación.

Zona de Recarga = $(0.23 * Pendiente) + (0.19 * Tipo \ de \ Suelo) + (0.08 * Tipo \ de \ roca) + (0.21 * Cobertura \ vegetal \ permanente) + (0.09 * Uso \ de \ suelo) + (0.10 * Precipitación) + (0.10 * Evapotranspiración)$.

Para el área de interés del medio abiótico objeto de la modificación se calificaron los parámetros de acuerdo con los rangos y valores de las variables como lo muestra la Tabla 5-91.

Tabla 5-91 Variables y evaluación de zonas de recarga

PENDIENTE (PEND)			
Descripción	%	Ponderación	Posibilidad de recarga
Planos a casi planos	0-6	5	Muy Alta
Moderadamente ondulados	6-15	4	Alta
Ondulados/cóncavos	15-45	3	Moderada
Escarpados	45-65	2	Baja
Fuertemente escarpados	>65	1	Muy Baja
Pendiente Área de influencia		Ponderación	
Planos a casi planos (0-6%)		5	
Moderadamente ondulados (6-15%)		4	
Ondulados/cóncavos (15-45%)		3	
TIPO DE SUELO (Ts)			
Textura		Ponderación	Posibilidad de recarga
Suelos franco arenosos a arenosos.		5	Muy Alta
Suelos francos		4	Alta
Suelos franco limosos		3	Moderada
Suelos Franco arcillosos		2	Baja
Suelos arcillosos		1	Muy Baja
Tipo de Suelo Área de influencia		Ponderación	
Typic Haplustalfs (90%), Typic Ustipsamments (10%) - Suelos francos		4	
Vertic Haplustepts (50%), Fluventic Haplustepts (40%), Typic Haplustepts (10%) - Suelos francos		4	

Typic Haplusters (80%), Vertic Haplustepts (20%) - Suelos Franco arcillosos	2	
Typic Haplustepts (90%), Typic Ustorthents (10%) - Suelos Franco arcillosos	2	
Typic Haplusterts (85%), Lithic Ustorthents (15%) - Suelos arcillosos	1	
Vertic Haplustepts (90%), Typic Ustipsamments (10%) - Suelos arcillosos	1	
Cuerpos de agua	0	
Territorios Artificializados	0	
TIPO DE ROCA (Tr)		
Textura	Ponderación	Posibilidad de recarga
Rocas muy permeables, muy suaves constituidas por agregados gruesos, con macro poros interconectados	5	Muy Alta
Rocas permeables constituidas por agregados medianos con poros conectados entre sí, ej. arenas finas.	4	Alta
Rocas moderadamente permeables, con regular conexión de poros entre si	3	Moderada
Rocas poco permeables un poco duras, moderadamente compactas, constituidas por partículas finas, una combinación de gravas con arcillas, con presencia de fracturas conectadas entre si	2	Baja
Rocas impermeables	1	Muy Baja
Tipo de Roca Área de influencia		Ponderación
Gravas de Rotinet - Secuencia de sedimentos conglomeráticos de cantos, guijarros y gravas.	4	
Depósitos coluvio-aluviales - Depósitos de derrubio arenas y gravas asociados a los cauces de los arroyos principales.	3	
Depósitos de llanura aluvial - Depósitos inconsolidados de origen aluvial arenas y gravas asociados a los arroyos y río Magdalena.	3	
Depósitos fluviolacustres - Depósitos inconsolidados de origen fluvial y lacustre, tipo arcilla o limo.	3	
Formación Turbará - Rocas sedimentarias compuestas por areniscas de grano fino a grueso, cuarzosas, algunas calcáreas.	2	
Formación Hibácharo - Rocas sedimentarias conformadas por limolitas carbonosas, lodolitas grises y amarillas, areniscas de grano fino.	2	
COBERTURA VEGETAL PERMANENTE (Cve)		
Porcentaje	Ponderación	Posibilidad de recarga
>80%	5	Muy Alta
70-80%	4	Alta
50-70%	3	Moderada
30-50%	2	Baja
<30%	1	Muy Baja
Cobertura Vegetal Permanente Área de influencia		Ponderación
Otros cultivos permanentes arboreos	1	
Plantación de latifoliadas	1	
Pastos limpios	1	
Pastos arbolados	3	
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	1	
Bosque de galería y ripario	1	
Otros cultivos transitorios	1	
Plátano y Banano	1	

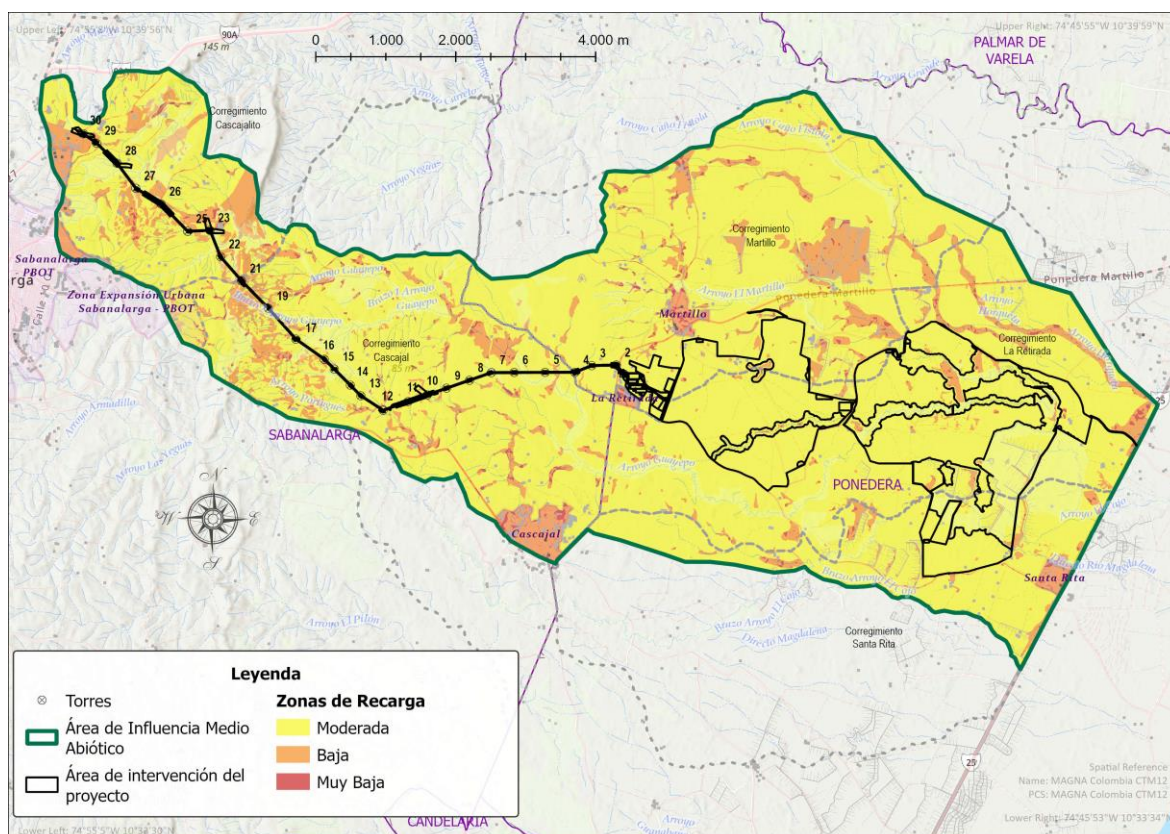
Vegetación Secundaria Baja	1	
Lagunas lagos y ciénagas naturales	1	
Mango	1	
Zonas Pantanosas	1	
Cuerpos de agua artificiales	1	
Estanques para acuicultura continental	1	
Canales	1	
Áreas deportivas	1	
Tejido urbano continuo	1	
Tejido urbano discontinuo	1	
Zonas industriales	1	
Red vial y territorios asociados	1	
USO DE SUELO (Us)		
Uso de suelo	Ponderación	Posibilidad de recarga
Bosque que presentan los tres estratos con árboles, arbustos y hierbas	5	Muy Alta
Sistemas agroforestales o silvopastoriles	4	Alta
Terrenos cultivados y con obras de conservación de suelo	3	Moderada
Terrenos cultivados sin ninguna obra de conservación de suelo y agua	2	Baja
Terrenos agropecuarios, con manejo intensivo	1	Muy Baja
Uso de Suelo Área de influencia		Ponderación
(Bgr) Bosque de galería y ripario	5	
(Mng) Mango	3	
(Pilat) Plantación de latifoliadas	3	
(Plat) Plátano y Banano	3	
(Bfvs) Bosque fragmentado con vegetación secundaria	5	
(Vsb) Vegetación Secundaria Baja	3	
(Oct) Otros cultivos transitorios	3	
(Ocpb) Otros cultivos permanentes arboreos	3	
(PI) Pastos limpios	3	
(Pa) Pastos arbolados	3	
(Zpn) Zonas Pantanosas	1	
(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	1	
(C) Canales	1	
(Caa) Cuerpos de agua artificiales	1	
(Eac) Estanques para acuicultura continental	1	
(Ad) Áreas deportivas	1	
(Tuc) Tejido urbano continuo	1	
(Tud) Tejido urbano discontinuo	1	
(Zi) Zonas industriales	1	
(Rv) Red vial y territorios asociados	1	
PRECIPITACIÓN (P)		
Precipitación	Ponderación	Posibilidad de recarga
> 2000 mm/año	5	Muy Alta
1500-2000 mm/año	4	Alta

1000-1500 mm/año	3	Moderada
500-1000 mm/año	2	Baja
0-500 mm/año	1	Muy Baja
Precipitación Área de influencia		Ponderación
1140 A 1160 mm/año	3	
EVAPOTRANSPIRACIÓN (ER)		
Evapotranspiración	Ponderación	Posibilidad de recarga
0-500 mm/año	5	Muy Alta
500-1000 mm/año	4	Alta
1000-1500 mm/año	3	Moderada
1500-2000 mm/año	2	Baja
> 2000 mm/año	1	Muy Baja
Evapotranspiración Área de influencia		Ponderación
1561 mm/año	2	

Fuente: (Matus, 2007), modificado por EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

Como resultado final se obtuvo una escala entre 1 y 5 con valores de posibilidad de recarga desde Muy baja hasta Moderada. Para el área de influencia del medio abiótico objeto de la modificación el mayor porcentaje del área (85,78% correspondiente a 5740,60Ha) corresponde a zonas de recarga Moderada, la clasificación que le sigue son las zonas de recarga Baja con un 12,81%(857,44Ha) y la zona de recarga Muy Baja con un 1,41% (94,07 Ha), lo cual es consistente con las características de los suelos, uso del suelo, cobertura vegetal, tipo de suelo, pendiente y tipo de roca, teniendo en cuenta que se trata de una cuenca sedimentaria con depósitos aluviales. En la Figura 5-61 y en la Tabla 5-92, se muestran las zonas de recarga potencial para el área de influencia del medio abiótico, objeto de modificación.

Figura 5-61 Distribución de zonas de recarga en el área de influencia



Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Tabla 5-92 Distribución de las zonas de recarga en el área de influencia

ZONAS DE RECARGA ÁREA DE INFLUENCIA MEDIO ABIÓTICO			
Posibilidad de recarga	Ponderación	Área (ha)	%
Moderada	2,6 – 3,55	5740,60	85,78%
Baja	2 – 2,59	857,44	12,81%
Muy Baja	1 – 1,99	94,07	1,41%
TOTAL		6.692,11	100

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

5.1.7.9 Evaluación y clasificación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos

La vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación se define como la facilidad con la cual ingresan sustancias que puedan afectar la calidad de agua

subterránea siendo penetradas por una carga contaminante mediante infiltración a través del suelo y/o la zona no saturada.

Para realizar la evaluación de la vulnerabilidad de los acuíferos, se tomó como base la metodología e información recopilada en el EIA, 2020, donde se valoró cuantitativamente cada uno de los siguientes parámetros: naturaleza litológica de la zona no saturada, condición de confinamiento y profundidad de la tabla de agua y, calificación basada en el sistema de indexación GOD (Ver Tabla 5-93), propuesto por (Foster, 1987):

Parámetro “G”: Se refiere a la condición de confinamiento del acuífero más superficial, y establece las siguientes categorías: no confinado, no confinado-cubierto, semiconfinado, confinado, surgente sin presencia de acuífero.

Parámetro “O”: Este parámetro incluye una caracterización global de la zona saturada para acuíferos libres, o del estado confinante, para acuíferos confinados. Se valora la naturaleza litológica, el grado de consolidación y el fracturamiento de la roca.

Parámetro “D”: Profundidad del nivel freático para los acuíferos libres, o el techo para los acuíferos de tipo semiconfinado o confinado.

El método GOD establece escalas de valores para cada parámetro de acuerdo con su contribución en la defensa de los acuíferos a la contaminación. Estas tienen valores entre cero (0) y uno (1), siendo los valores más bajos los que más retienen o atenúan el transporte de contaminantes. La evaluación de la vulnerabilidad se determina multiplicando los valores dados a cada parámetro obteniendo valores entre cero (0) y uno (1), donde cero (0) significa vulnerabilidad despreciable y uno (1) vulnerabilidad extrema.

Cabe aclarar que la metodología GOD se encamina a estudiar los acuíferos más someros o la parte más superficial de los acuíferos de interés, ya que se considera que las características de la zona no saturada son las que finalmente determinan el grado de protección, porque son las más susceptibles a ser afectadas adversamente por una carga contaminante y una vez contaminadas, este fenómeno se puede inducir fácilmente a los horizontes profundos.

Tabla 5-93 Valoraciones parámetros método GOD

OCURRENCIA DEL AGUA SUBTERRÁNEA “G”					
Ninguno			0		
Surgente			0,1		
Confinado			0,2		
Semiconfinado			0,3		
No Confinado (cubierto)			0,5		
Libre			1		
LITOLOGÍA PREDOMINANTE SOBRE EL ACUÍFERO “O”					
No Consolidados	Consolidados (Rocas porosas)	Consolidados (Rocas masivas)		Ponderación	
Arcillas				0,4	
Limos	Arcillolitas Lutitas			0,5	
Gravas con matriz arcillosa	Limolitas	Complejos ígneos, metamórficos, volcánicos antiguos		0,6	
Arcilla/Grava y/o Arena (intercalaciones)	Areniscas Tobas volcánicas			0,7	
Arenas	Litoarenitas	Lavas volcánicas recientes		0,8	
Gravas	Calcarenitas Calizas Blandas			0,9	
Caliche				1,0	
Otras calizas duras					
PROFUNDIDAD DEL AGUA “D”					
> 100m			0,4		
50 – 100m			0,5		
20 – 50m			0,6		
10 – 20m			0,7		
5 – 10m			0,8		
2 – 5m			0,9		
0 – 2m			1,0		
Grado de vulnerabilidad a la contaminación “GOD”	Despreciable	Baja	Moderada	Alta	Extrema
	0 – 0.1	0.1-0.3	0.3-0.5	0.5-0.7	0.7 – 1

Fuente: Foster, 1987

Parámetro “G”

El parámetro “G” analiza el acuífero más somero a partir de la información de secundaria especificada en la Plancha 5-04 del Atlas de Aguas Subterráneas de Colombia, donde menciona que la mayoría de los acuíferos Cuaternarios en este sector son de carácter libre aunque localmente confinados por niveles arcillosos, en capas no conectadas hidráulicamente por tanto, se calificó con un valor de 0,5 y para las unidades Terciarias por sus características litológicas y disposición de las capas se asume como acuíferos semiconfinados con un valor de 0,3 correspondiente con acuíferos semiconfinados.

Parámetro “O”

El parámetro “O”, que como se mencionó corresponde a la zona no saturada que se constituye como la primera defensa del acuífero, se obtiene a partir de las descripciones

litológicas obtenidas de los apiques o calicatas mecánicas y de los barrenos manuales, mencionados en el numeral 5.1.7.7 del presente documento, en donde predominan en superficie sedimentos de origen aluvial, coluvial y fluviolacustre y en la mayoría se presenta en superficie limos, arcillas y en general materiales finos.

Parámetro “D”

Para la determinación del parámetro “D” se utiliza la información de los niveles de agua subterránea de captaciones someras correspondientes al inventario de puntos hidrogeológicos, a la información obtenida de información geotécnica (la mayoría de las perforaciones no alcanzaron el nivel de la tabla de agua) y los niveles piezométricos de información secundaria, como se presentó con anterioridad en el numeral 5.1.7.7.

Resultados

Finalmente se obtiene el resultado de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación por el método GOD, con la asignación de índices como se presenta en la Tabla 5 16. Los acuíferos con mayor susceptibilidad son los compuestos por los depósitos cuaternarios, con una vulnerabilidad intrínseca moderada. Las Formaciones Tubará e Hibácharo con limitados recursos de agua subterránea y con agua de mala calidad fisicoquímica, con vulnerabilidad baja.

A continuación, se encuentran las categorizaciones de vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación, las áreas y porcentajes para los sistemas acuíferos presentes en el área de influencia, objeto de la modificación.

Tabla 5-94 Índices y vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación

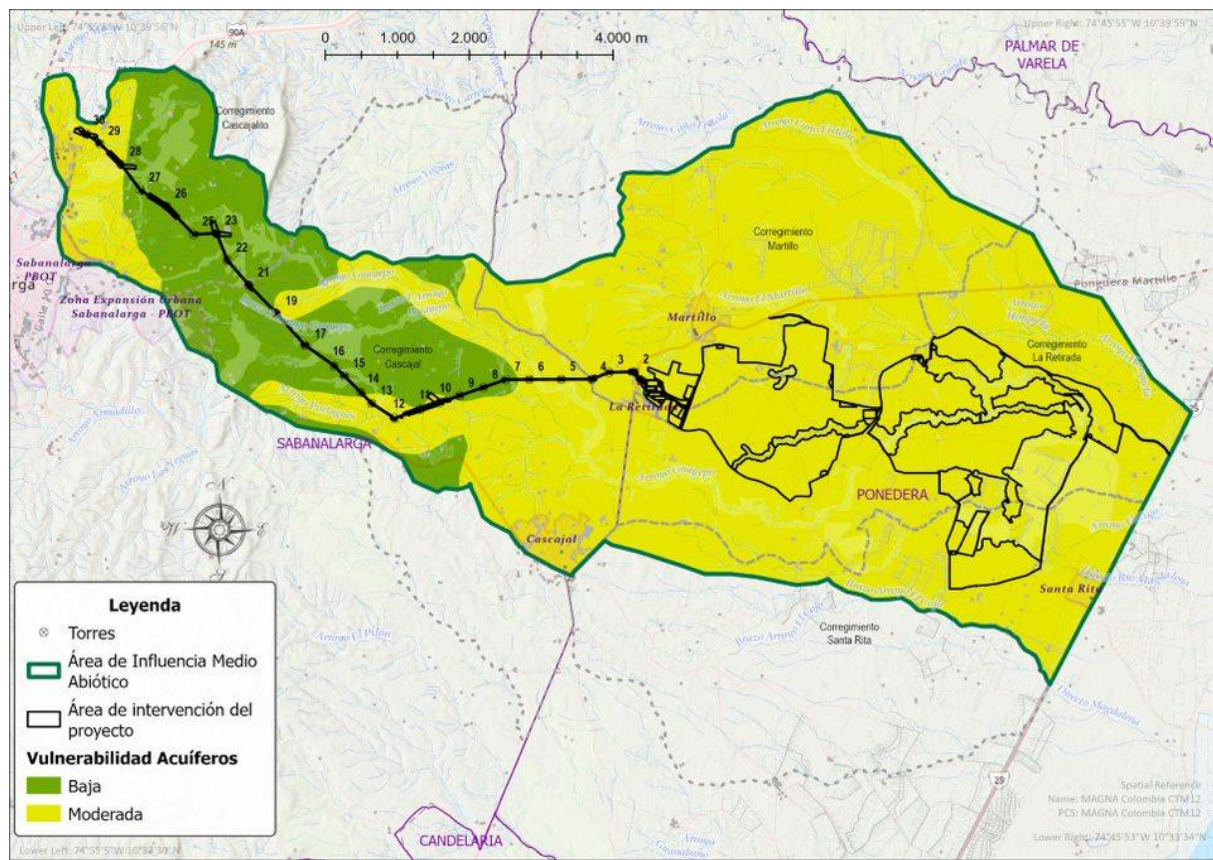
UNIDAD HIDROGEOLÓGICA	SISTEMA ACUÍFERO	G	O	D	GOD	VULNERABILIDAD	ÁREA DE INFLUENCIA MEDIO ABIÓTICO	
							Área (Ha)	Área (%)
Depósitos Fluvio-lacustres (Qfl)	A4	0,5	0,9	0,8	0,36	Moderada	5527,19	82,6%
Depósitos Coluvio-Aluviales (Qcal)	A4	0,5	0,9	0,9	0,405	Moderada		
Depósitos de Llanura Aluvial (Qlal)	A4	0,5	0,9	0,8	0,36	Moderada		
Gravas de Rotinet (Qpr)	A4	0,5	0,9	0,8	0,36	Moderada		
Formación Tubará (Ngt)	C1	0,3	0,6	0,6	0,108	Baja	1164,92	17,4%
Formación Hibácharo (Ngh)	C1	0,3	0,6	0,6	0,108	Baja		
TOTAL							6692,11	100

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

La Figura 5-62 muestra la distribución de esta vulnerabilidad, predominando la vulnerabilidad moderada en el 82,6% del área de influencia del medio físico relacionada a los acuíferos de edad Cuaternaria perteneciente a los sistemas Acuíferos de baja productividad con capacidad específica entre 0,05 y 1,0 l/s/m (A4).

De otro lado vulnerabilidad baja se presenta en el 17,4% del área de influencia del medio físico relacionada a los acuíferos de edad Terciaria pertenecientes a los Acuíferos con muy baja productividad, capacidad específica promedio menor a 0,05 l/s/m (C1).

Figura 5-62 Categorización de vulnerabilidad intrínseca de acuíferos a la contaminación



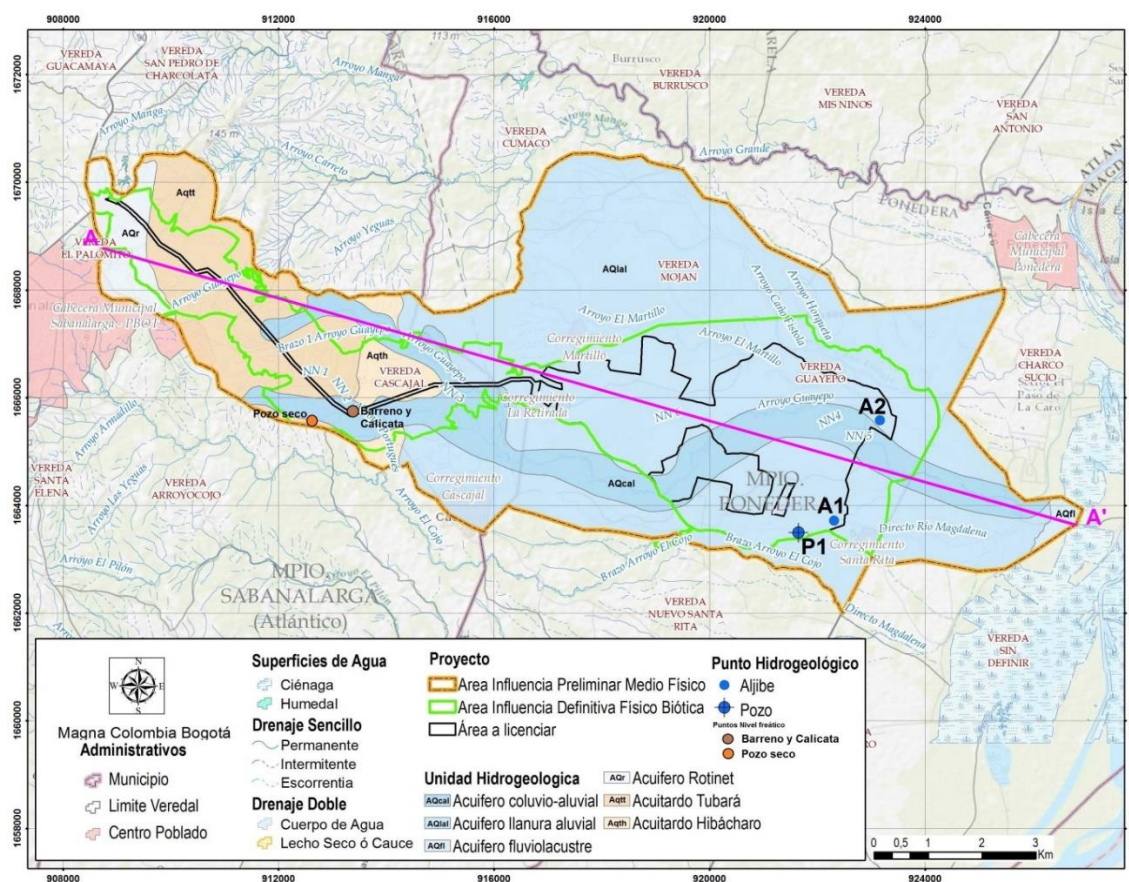
Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Regionalmente, el área de influencia del medio abiótico objeto de modificación, se localiza en un sector muy próximo al cauce del río Magdalena, en el costado más oriental del Cinturón de San Jacinto, el cual corresponde a una cuenca sedimentaria de antepaís, donde el desarrollo estructural está conectado a la deformación transpresional generada por el desplazamiento de la placa Caribe. La cuenca está compuesta por una serie de sedimentitas con edades que varían desde el Paleoceno hasta el Reciente, depositadas en ambientes marino profundo, litoral y continental. En superficie afloran hacia el Parque Solar Fotovoltaico los acuíferos asociados a los depósitos de Llanura Aluvial (Qlal), depósito Coluvio-Aluvial (Qcal) y depósitos Fluvio-Lacustre (Qfl), los cuales almacenan aguas que requieren tratamiento para algunos usos.

El mapa y el corte hidrogeológico del área de influencia a escala (1:10.000) realizado para el EIA del año 2020, en donde se representa las zonas de recarga, tránsito y descarga, tipos de acuífero, direcciones de flujo, de acuerdo con el estándar para mapa hidrogeológicos (IAH, 1995), se muestran en la Figura 5-63, y en la Figura 5-64.

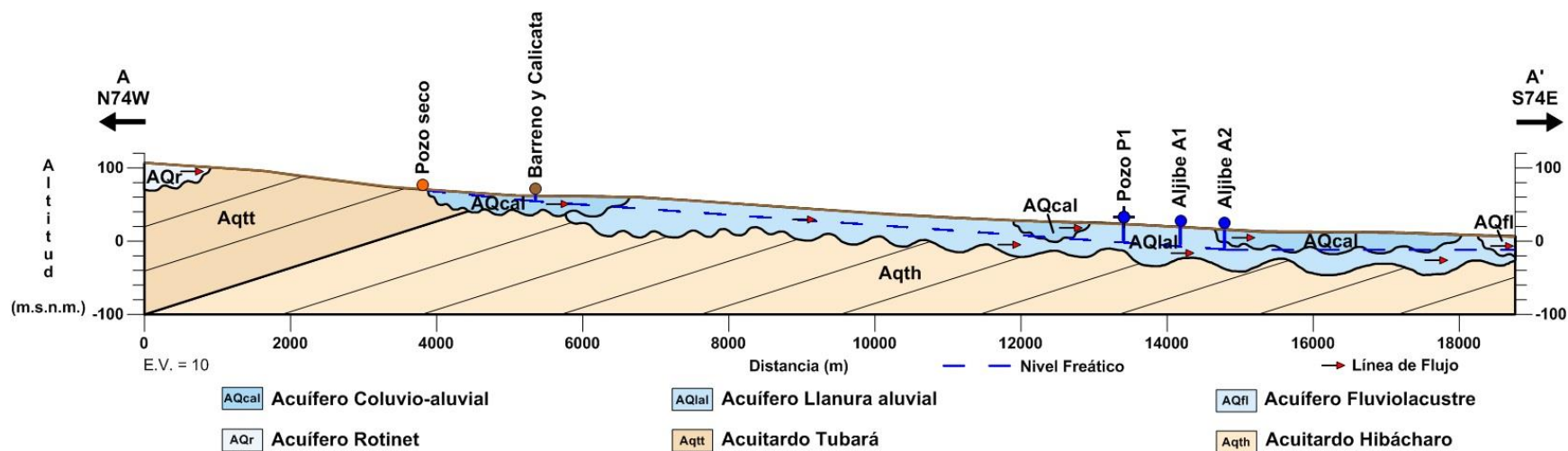
Para la elaboración de dicho perfil se utilizó la información de la disposición estructural de las unidades hidrogeológicas, el nivel freático obtenido a través del inventario de puntos de agua realizado para el EIA en el año 2020 y la información correspondiente a barrenos, calicatas y las direcciones de flujo identificadas para el área de influencia.

Figura 5-63 Localización perfil A-A' representativo sobre unidades hidrogeológicas en el área de influencia



Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

Figura 5-64 Perfil A-A' representativo de las unidades hidrogeológicas en el área de influencia



AQcal: Acuífero Coluvio – Aluvial.

AQlal: Acuífero Llanura Aluvial.

AQfl: Acuífero Fluvio-lacustre

AQr: Acuífero Rotinet.

AQt: Acuitardo Tubará.

AQtth: Acuitardo Hibácharo.

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

Se observa cómo se presentan las unidades del neógeno asociadas a la formación Tubará y la formación Hibácharo se convierten en una barrera para el tránsito libre del agua subterránea, lo cual las convierte en un límite hidrogeológico hacia el occidente del sistema acuífero local. Al este del perfil, aunque no se muestra el río Magdalena, éste también puede considerarse como el límite hidrogeológico en este sector.

5.1.8 Geotecnia

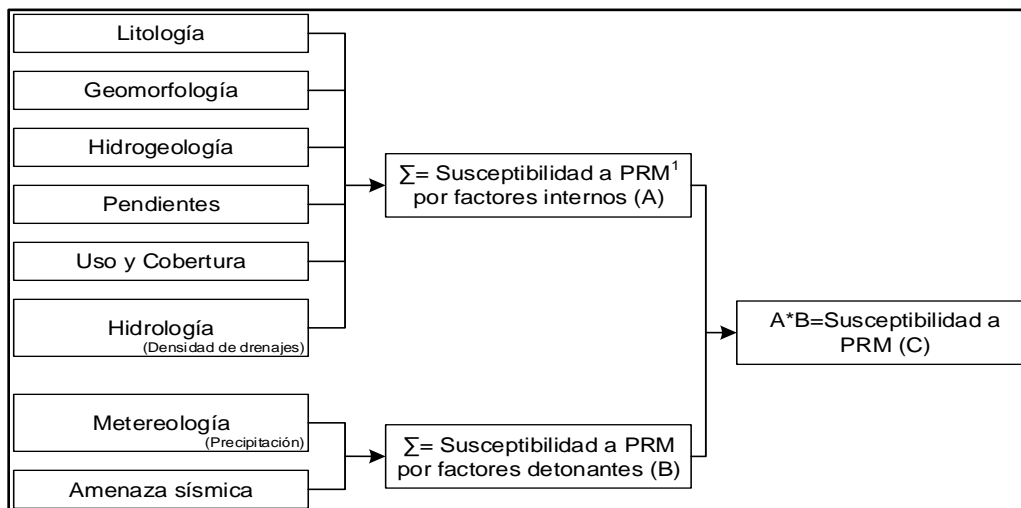
La “zonificación” geotécnica es la representación cartográfica de áreas con características homogéneas. El objetivo de este numeral es la presentación de dicha zonificación representada por la definición de áreas homogéneas respecto al grado de estabilidad del terreno y la susceptibilidad a procesos morfodinámicos en el área de influencia objeto de la modificación del proyecto conforme a lo solicitado en los términos de referencia TdR-015 de 2017 y TdR-017 de 2018 (ANLA), definidos como guía para la elaboración de estudios de impacto ambiental – EIA, en proyectos de uso de energía fotovoltaica y proyectos de transmisión de energía eléctrica, respectivamente, así como en la metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales (ANLA, 2018).

La zonificación geotécnica se presenta teniendo en cuenta la metodología utilizada para el EIA 2020, incluyendo los insumos cartográficos revisados y actualizados en caso de haber sido necesario, acorde a lo trabajado en el presente documento de caracterización de línea base física. La metodología planteada se fundamentó en el uso de unidades cartográficas, en donde se conjuga el uso de las potencialidades de los archivos vectoriales, superposición temática de más y el análisis de las unidades de superficie.

La evaluación de variables, o cualidades dentro de las unidades cartográficas de parámetro es subjetiva, describe y asigna valores numéricos con la utilización de métodos de tipo cualitativo y semicuantitativos comúnmente conocidos como heurísticos (Vargas, 1999). Las variables utilizadas para el presente análisis corresponden a

litología, geomorfología, hidrogeología, pendientes, uso actual y cobertura vegetal del suelo, hidrología (densidad de drenajes), amenaza sísmica y precipitación (Figura 5-65).

Figura 5-65 Esquema metodológico para la zonificación del área de influencia



Fuente: Modificado de Vargas, G (1999) EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

El procedimiento de análisis consiste en asignación de un peso de acuerdo con su influencia frente a procesos de remoción en masa, a fin de identificar la susceptibilidad al desarrollo de eventos asociados a inestabilidad (1 para susceptibilidad muy alta, hasta 5 para susceptibilidades muy bajas). Los mapas para incorporar consideran topología de línea (por ej. drenajes) y polígonos (unidades cartográficas temáticas). Para cada variable analizada se elaboró el mapa de susceptibilidad correspondiente.

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 del corredor. 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 se establecieron cinco (5) categorías de susceptibilidad a partir de la asignación de pesos a cada unidad de parámetro. Las categorías asignadas para la evaluación se muestran en la Tabla 5-95.

Tabla 5-95 Categorías y valores de susceptibilidad para el análisis de las variables

CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD	PESO	ESTABILIDAD GEOTÉCNICA
Muy baja	1	Muy Alta
Baja	2	Alta
Moderada	3	Media
Alta	4	Baja
Muy alta	5	Muy Baja

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

5.1.8.1 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, las cuales se indican a continuación:

Factores intrínsecos

- Litología
- Geomorfología
- Hidrogeología
- Pendientes
- Uso y cobertura del suelo
- Hidrología

Factores detonantes

- Amenaza sísmica
- Precipitación

A continuación, se presenta la caracterización, evaluación y modelación (mapas de susceptibilidad) efectuada para cada una de las variables.

5.1.8.1.1 Factores intrínsecos

Litología

Consiste en la identificación y evaluación de las unidades litológicas que se encuentran en el área de influencia del medio abiótico objeto de la modificación, basado en la génesis, estructura, fábrica e historia de esfuerzos de los materiales térreos aflorantes como elementos influyentes en el comportamiento geomécanico; así mismo, se considera la influencia de la litoestratigrafía como factor contribuyente en la generación de procesos de remoción en masa.

La evaluación realizada consideró la asignación de mayores pesos a aquellos depósitos cuaternarios de composición heterogénea o con menor grado de consolidación, así como las unidades de roca que presentan un mayor grado de fracturamiento o meteorización, los cuales se caracterizan por presentar una menor resistencia. La calificación de los pesos para la variable litología se presenta en la Tabla 5-96.

Tabla 5-96 Valores de susceptibilidad a la inestabilidad por litología

EDAD	SÍMBOLO	FORMACIÓN	DESCRIPCIÓN GENERAL	PESO
Neógeno	Ngh	Formación Hibácharo	Suelos residuales producto del proceso de meteorización del macizo de la formación Hibácharo, compuesta por areniscas de grano fino y lodolitas grises y amarillas.	3
Neógeno	Ngt	Formación Tubará	Suelos residuales producto del proceso de meteorización del macizo de la formación Tubará, compuesta por arena cuarzosa con fragmentos líticos, arenas feldespáticas, lodolitas y arenas arcillosas.	3
Cuaternario	Qpr	Gravas de Rotinet	Depósito de abanico de origen fluvial, de espesores variables que pueden alcanzar hasta los 50 m compuesto por una sucesión inconsolidada de lechos de gravas con tamaño variable desde gránulos a guijarros. Adicionalmente, se han evidenciado concreciones de arcillolitas y limolitas ferruginosas y estratificación cruzada y formas de canales.	2
Cuaternario	Qlal	Depósitos de Llanura Aluvial	Depósitos de origen aluvial de formas planas, como terrazas, ligeramente inclinados hacia la dirección de la escorrentía; constituidos por sedimentos de espesores variables que van desde limos hasta arenas de grano grueso a fino, con intercalaciones de arcillas que se disponen en forma de capas lenticulares.	2
Cuaternario	Qcal	Depósitos Coluvio - Aluviales	Depósito formado por procesos recientes de sedimentación fluvial y por coluviones, relacionados con arroyos y con los piedemontes. Están constituidos por bloques clasto soportado a matriz soportados, con matriz limosa a areno-arcillosa.	4
Cuaternario	Qfl	Depósitos Fluvio-Lacustres	Materiales finos tipo arcilla o limo, producto de las fluctuaciones de temporadas secas y lluviosas, que influyen en el aporte de sedimentos a zonas de inundación	2

Fuente: Modificado de EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020, GUAYEPO SOLAR, 2022

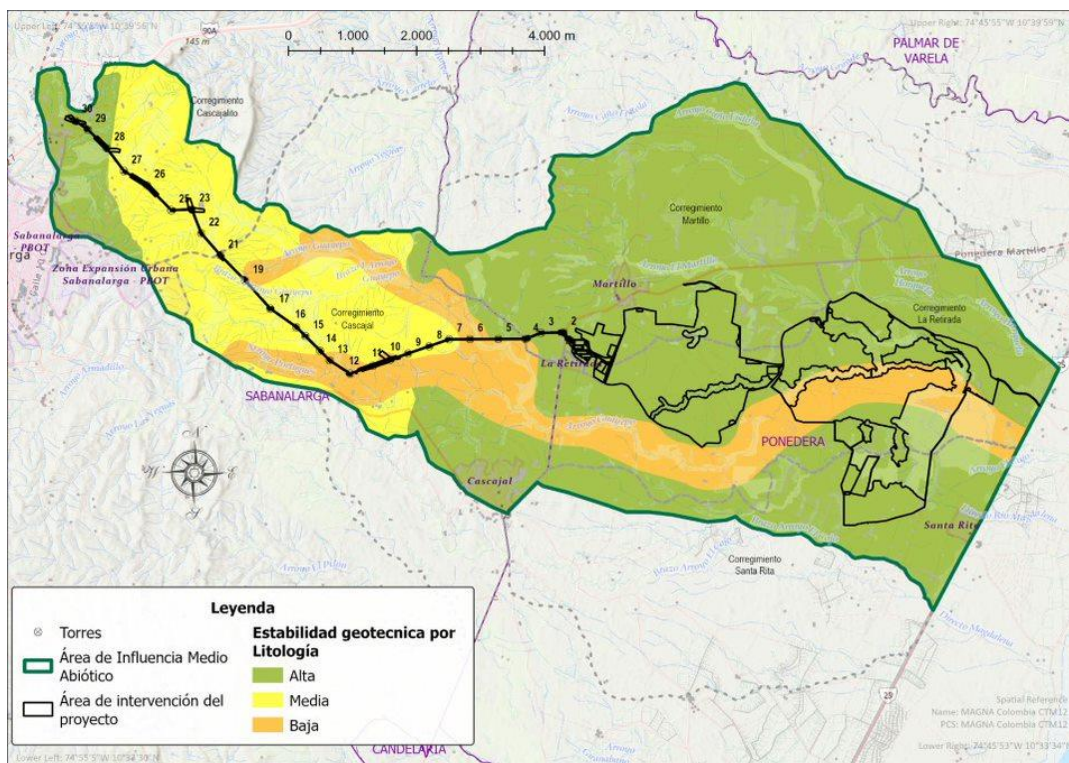
De acuerdo con lo anterior, se elaboró el mapa de zonificación por litología donde se encuentra que la parte occidental del área de influencia del medio abiótico objeto de la

modificación se encuentra localizada sobre los suelos residuales de la Formaciones Tubará e Hibácharo, caracterizada por la presencia de materiales meteorizados de areniscas y lodolitas físis, con riesgo medio ante procesos de remoción en masa. Adicionalmente, se observa la presencia de depósitos de origen fluvial denominados como Gravas de Rotinet localizadas al occidente del proyecto, en cercanías a la subestación existente, de estabilidad alta.

Se obtiene un riesgo bajo ante procesos de remoción en masa en la zona de influencia de las Formaciones Gravas de Rotinet y los Depósitos de Llanura Aluvial; y hacia los Depósitos Coluvio-Aluviales, se obtiene un riesgo alto dado que la condición de sedimentación y consolidación del depósito lo hace susceptible a desencadenar procesos de inestabilidad local.

Las zonas con mayor inestabilidad por condiciones litológicas en toda el área de influencia del medio abiótico pueden observarse en la Figura 5-66.

Figura 5-66 Mapa de zonificación por litología



Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Geomorfología

El análisis de esta variable se efectuó a partir de la evaluación de las unidades geomorfológicas presentes en el área de influencia del medio abiótico, 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 5-97 presenta la calificación de los pesos para la variable geomorfología.

Se elaboró el mapa de zonificación geomorfológica presentado en la Figura 5-67, en la cual se evidencian geoformas que se asocian a estabilidad de laderas dadas la forma y topografía de la zona; se resalta la geoforma “montículo y ondulaciones denudacionales (Dmo)”, que corresponde a un sector clasificado con susceptibilidad media a eventos de remoción en masa, la cual presenta variación de pendientes que alcanzan el 25%.

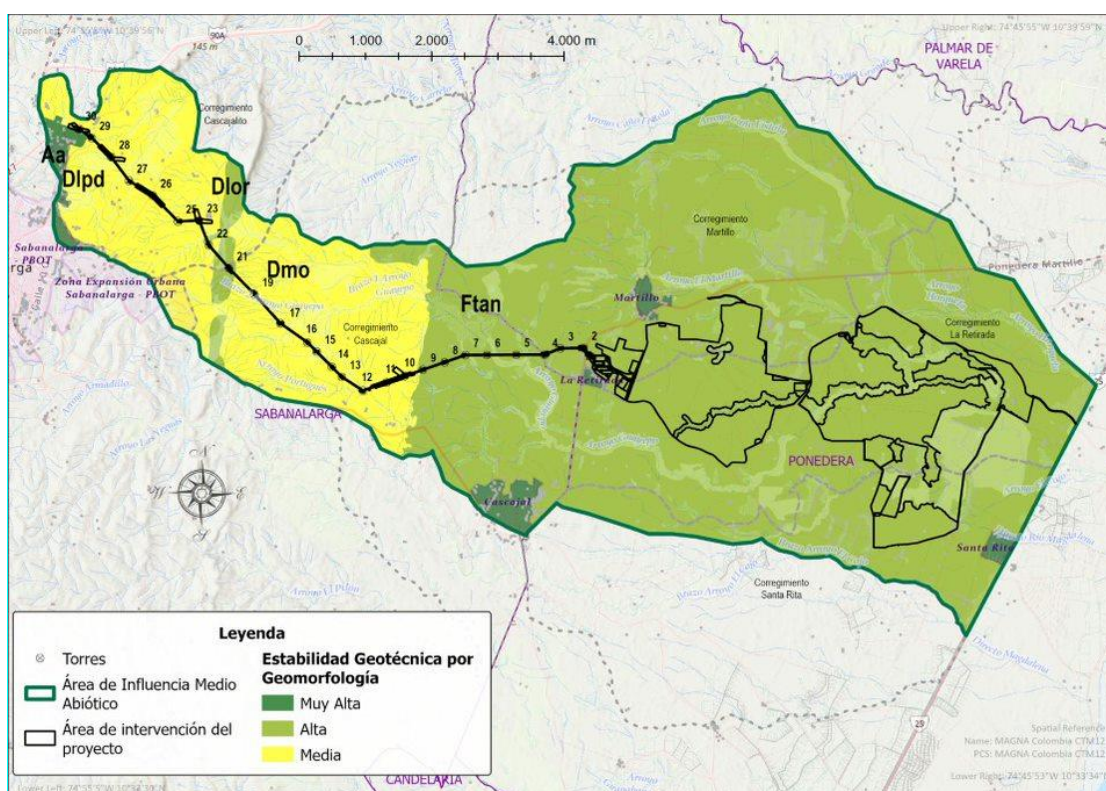
En el área asociada al parque fotovoltaico prima por completo la susceptibilidad baja, asociada a las bajas pendientes y laderas rectas de la unidad geomorfológica de Terraza de acumulación antigua (Ftan). Las áreas con clasificación Muy baja dentro del área de influencia del medio abiótico están asociadas directamente a las unidades de ambiente antropogénico (Aa), donde el terreno ya ha sido intervenido y explanado para la construcción de infraestructura.

Tabla 5-97 Valores de susceptibilidad a la inestabilidad por geomorfología

NOMENCLATURA	SUBUNIDAD	DESCRIPCIÓN	PESO
Fpa	Plano anegadizo	Superficie en forma de artesa, casi plana e irregular, con pendiente suave, localizada en áreas planas mal-drenadas, eventualmente inundable.	2
Ftan	Terraza de Acumulación Antigua	Unidad geomorfológica de morfología plana, con pendientes plana a suavemente inclinada, con índice de relieve muy bajo y modelada sobre sedimentos aluviales.	2
Dmo	Montículo y ondulaciones denudacionales	Son elevaciones del terreno, de relieve bajo, con alturas que no superan los 50 m sobre su nivel de base local, con una morfología colinada, cóncava o convexa, suavemente inclinada y con drenaje divergente	3
Dlor	Loma residual	Geoforma definida por ser una prominencia topográfica con una altura de 65 m sobre su nivel de base local, con una morfología alomada y elongada con laderas muy cortas a cortas, convexas y con pendientes muy inclina.	2
Dlpd	Lomeríos poco disectados	Son prominencias topográficas de morfología alomada, relieve relativo bajo, con cimas subredondeadas, de laderas muy cortas a cortas, con formas rectas y óncavas, caracterizados por tener procesos de insición y drenajes tipo subdendrítico.	3
Aa	Áreas antrópicas	Geoformas originadas como resultado de la intervención del hombre sobre el terreno, en la mayoría de los casos con el objetivo de realizar construcciones, vías o como disposición de material de escombros.	1

Fuente: Modificado de EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020, GUAYEPO SOLAR, 2022

Figura 5-67 Mapa de zonificación por geomorfología



Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2023

Hidrogeología

La hidrogeología se evaluó a partir del análisis de las unidades que presenten 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 5-98. Con base en estos pesos, se elaboró el mapa de zonificación por hidrogeología, el cual se presenta en la Figura 5-68.

Tabla 5-98 Valores de susceptibilidad a la inestabilidad por hidrogeología

UNIDAD		DESCRIPCIÓN	PESO
Acuíferos con porosidad primaria e intergranular	Acuíferos de baja productividad, capacidad específica entre 0.05 y 1.0 l/s/m	Sistemas de acuíferos discontinuos de extensión local, conformados por sedimentos de depósitos cuaternarios no consolidados de tipo depósito de Llanura Aluvial (Qlal), Depósito Coluvio - Aluvial (Qcal), Depósito Fluviolacustre (Qfl) y las Gravas de Rotinet (Qpr), que forman acuíferos libres y semiconfinados.	1
Rocas con limitados recursos de aguas subterráneas	Acuíferos de muy baja productividad, capacidad específica menor a 0.05 l/s/m	Forman acuíferos insignificantes con recursos limitados o sin recursos. A esta categoría corresponden los niveles arcillosos de la Formación Tubará (Ngt) y Formación Hibácharo (Ngh). Estos materiales actúan como acuitardo, conteniendo agua en su interior incluso hasta la saturación, pero transmitiéndola lentamente.	3

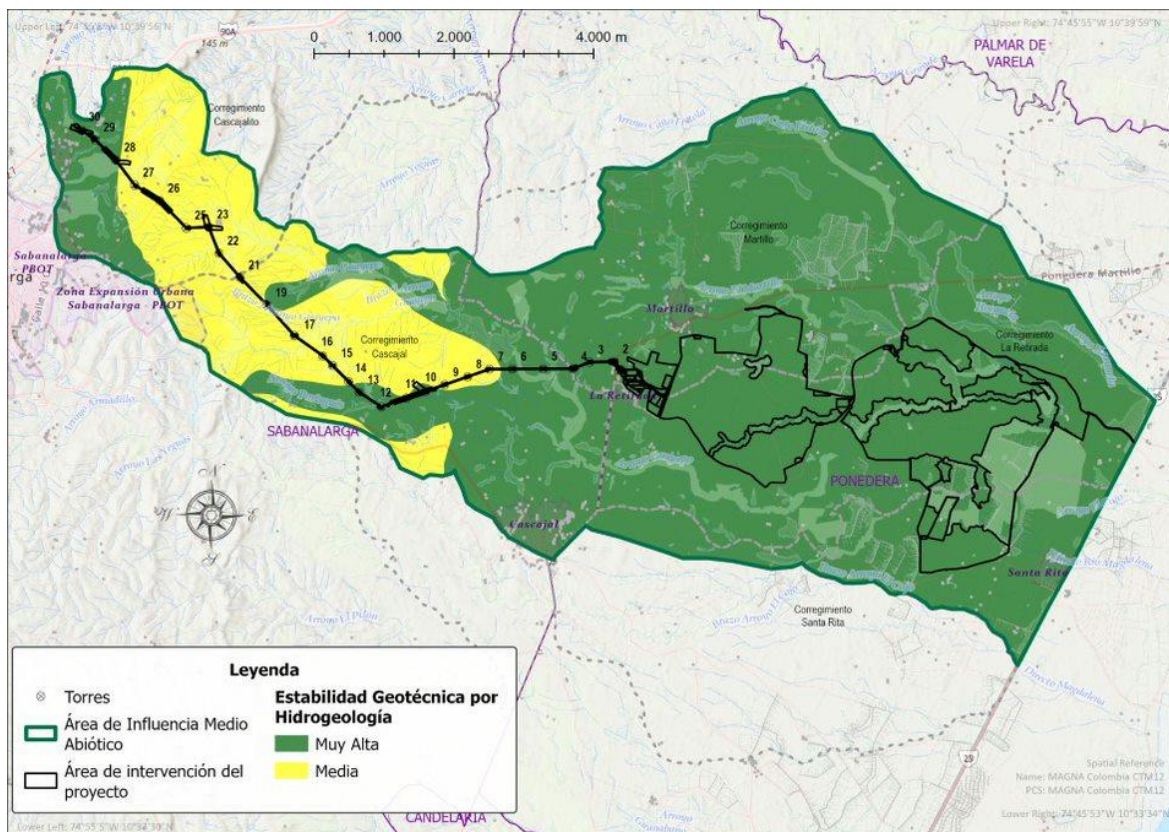
Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

De acuerdo con la condición hidrogeológica presente en el área de influencia del medio abiótico, se presentan susceptibilidades medias en aquellos sectores que hacen parte de la Formación geológica Tubará, debido a que el material rocoso encontrado no presenta rasgos de porosidad secundaria donde el fracturamiento permita el flujo de agua en el medio, lo anterior, debido a que el drenaje se encuentra controlado por la porosidad primaria y la topografía del sector, además de considerar que se puede presentar la saturación del material, lo que implica una susceptibilidad moderada de reducción de resistencia en los materiales.

En cuanto a la zona de susceptibilidad muy baja, que corresponde a los depósitos cuaternarios más recientes, y a los sedimentos arenosos asociados a las Gravas de Rotinet, se evidencia que esta zona permite la posibilidad de flujo en el medio, por su

condición intergranular, y se encuentra asociada a las zonas de recargas identificadas, por cuanto a pesar de su topografía, no genera una susceptibilidad alta en cuanto a fenómenos de remoción en masa, teniendo en cuenta el control del drenaje por la recarga y descarga localizadas.

Figura 5-68 Mapa de zonificación por hidrogeología



Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

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 a lo largo del área de influencia del medio abiótico, objeto de la modificación. En la Tabla 5-99 se presentan los rangos de valores asociados a la calificación de las pendientes del terreno.

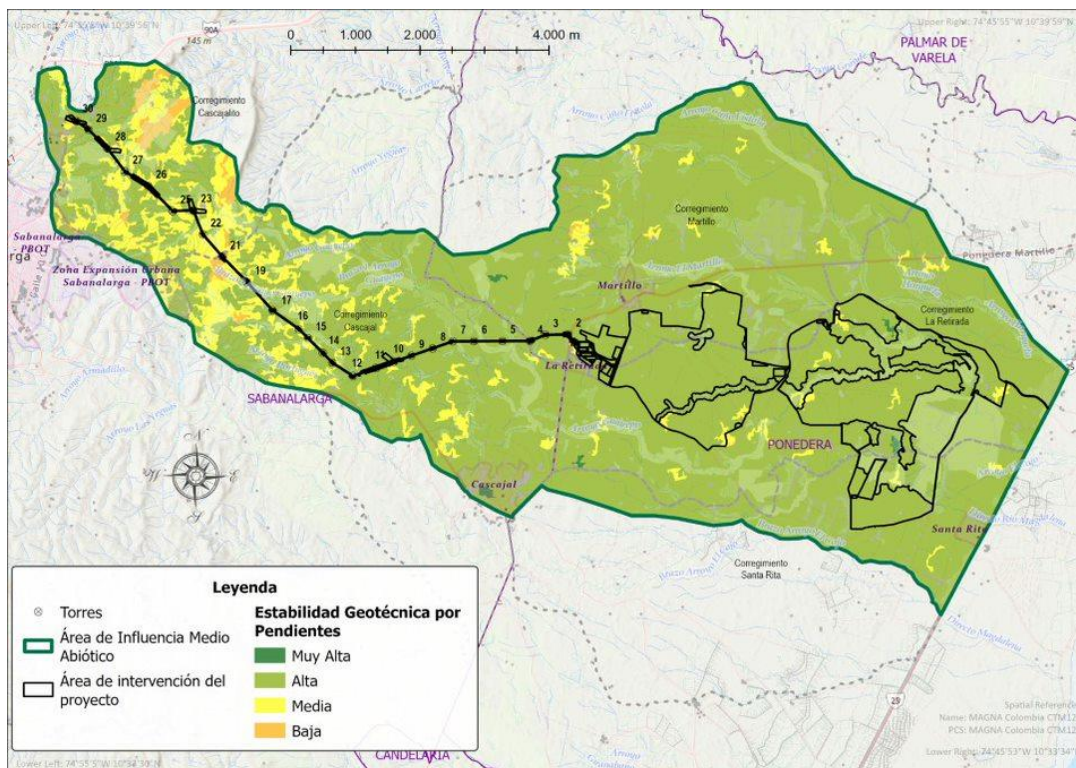
Tabla 5-99 Valores de susceptibilidad a la inestabilidad por pendientes

INCLINACIÓN	TIPO DE PENDIENTE	PESO
0-1%	A nivel	1
1-3%	Ligeramente plana	
3-7%	Ligeramente inclinada	
7-12%	Moderadamente inclinada	3
12-25%	Fuertemente inclinada	
25-50%	Ligeramente escarpada o ligeramente empinada	4
50-75%	Escarpado	
75-100%	Muy escarpado	5

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

De acuerdo con el análisis anterior, se evidencia que el área de influencia del medio abiótico se encuentra localizada sobre una zona predominantemente plana a ligeramente inclinada con pendientes que varían entre cero (0) y siete (7) %, y por lo tanto de alta estabilidad por pendiente. No obstante, debido a las geoformas y el ambiente denudacional, se presentan zonas con pendientes moderadas, en zonas puntuales con pendientes entre el 7 % y 12 %, que se clasifican como de estabilidad media. Se elaboró el mapa de zonificación por pendientes, el cual es presentado en la Figura 5-69.

Figura 5-69 Mapa de zonificación por pendientes



Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Uso actual y cobertura vegetal de 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, en la Tabla 5-100 muestran los pesos asociados al uso y la cobertura vegetal del suelo presente en el área de influencia del medio abiótico, objeto de la modificación.

De manera general, el área de influencia del medio abiótico cuenta con coberturas que presentan bajo nivel de afectación sobre la estabilidad de los materiales, excluyendo la zona de “cuerpos de agua artificial”, áreas que son susceptibles a presentar procesos erosivos debido a la ausencia de coberturas próximas a estas estructuras, facilitando el ingreso de agua y por tanto aumento de presión de poros que no es disipada rápidamente.

Tabla 5-100 Valores de susceptibilidad a la inestabilidad por uso actual y cobertura vegetal de suelo

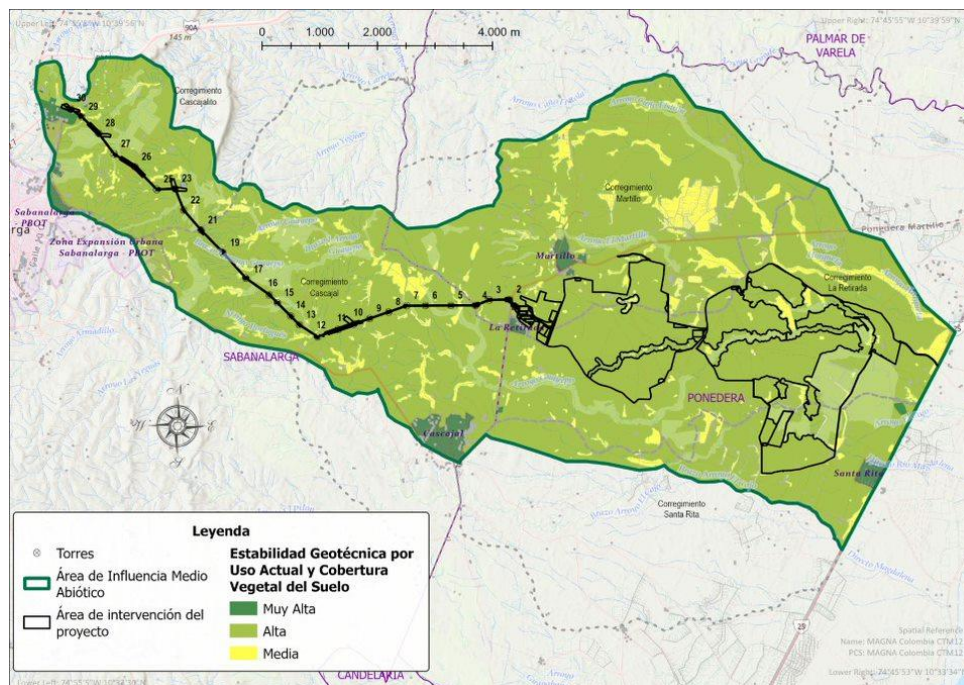
COBERTURA	TIPO	USO ACTUAL DE SUELO	PESO
(Ocpb) Otros cultivos permanentes arbóreos	Agricultura	Cultivos permanentes semi-intensivos (CPS)	2
(Oct) Otros cultivos transitorios	Agricultura	Cultivos transitorios semi-intensivos (CTS)	2
(Ad) Áreas deportivas	Asentamiento	Recreacional	1
(Tuc) Tejido urbano continuo	Asentamiento	Residencial	1
(Tud) Tejido urbano discontinuo	Asentamiento	Residencial	1
(LI) Lagunas lagos y ciénagas naturales	Conservación	Áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación (CRE)	2
(Tdd) Tierras desnudas y degradadas	Conservación	Áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación (CRE)	3
(Vsb) Vegetación Secundaria Baja	Conservación	Áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación (CRE)	2
(Zpnn) Zonas Pantanosas Naturales	Conservación	Áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación (CRE)	3
(Bfvs) Bosque fragmentado con vegetación secundaria	Forestal	Áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación (CRE)	2

(Bgr) Bosque de galería y ripario	Forestal	Áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación (CRE)	2
(Pilat) Plantación de latifoliadas	Forestal	Sistema forestal productor (FPD)	2
(Pa) Pastos arbolados	Ganadería	Pastoreo extensivo (PEX)	2
(Pe) Pastos enmalezados	Ganadería	Pastoreo extensivo (PEX)	2
(Pl) Pastos limpios	Ganadería	Pastoreo extensivo (PEX)	2
(C) Canales	Infraestructura	Servicios	3
(Caa) Cuerpos de agua artificiales	Infraestructura	Servicios	3
(Eac) Estanques para acuicultura continental	Infraestructura	Piscicultura	3
(Rv) Red vial y territorios asociados	Infraestructura	Transporte	2
(Zi) Zonas industriales	Infraestructura	Industrial	2
(Zpna) Zonas Pantanosas Artificializadas	Infraestructura	Servicios	3

Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2023

El mapa de zonificación por uso actual y cobertura vegetal del suelo se presenta en la Figura 5-70.

Figura 5-70 Mapa de zonificación por uso actual y cobertura vegetal del suelo



Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2023

Densidad de drenajes

La hidrología se evalúa a partir de la determinación de la densidad de drenajes presente en el área de influencia y la ponderación de acuerdo con el tipo de drenaje, categorizados con base en la capacidad de arrastre y las dimensiones físicas del cuerpo hídrico. Esta variable está 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. La evaluación de los drenajes se realizó teniendo en cuenta los pesos establecidos en la Tabla 5-101.

Tabla 5-101 Ponderación de cuerpos hídricos según su tipo

TIPO DE DRENAJE	PESO
Ríos	3
Quebradas	2
Drenajes menores	1

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

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 5-102.

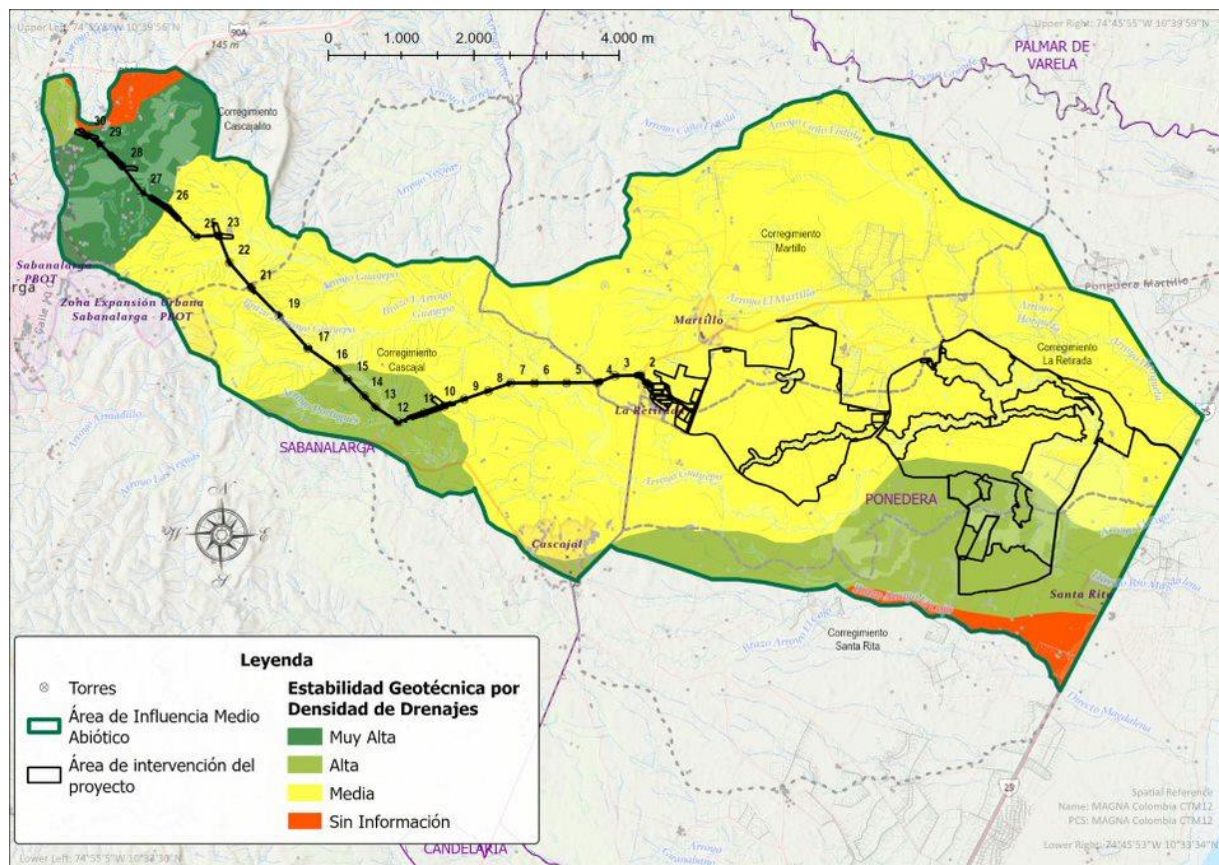
Tabla 5-102 Intervalos para categorizar la densidad de drenajes sobre el área de influencia

RANGOS DENSIDAD DE DRENAJES (m/Km^2)	PESO
<500	1
500 - 1200	2
1200 - 2300	3
2300 - 3500	4
>3500	5

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

La Figura 5-71 presenta el mapa de zonificación por densidad de drenajes para el área de influencia medio abiótico objeto de modificación.

Figura 5-71 Mapa de zonificación por densidad de drenajes



Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

Se observa que la zona occidental del área de influencia del medio abiótico se caracteriza por contar con gran densidad de drenajes, que, en conjunto con la precipitación, representan un parámetro proclive a la generación de procesos de remoción en masa. Por otra parte, la densidad de los drenajes presentes en la zona oriental del área de influencia preliminar y definitiva del medio abiótico se muestra en menor magnitud, por lo cual se consideran menores pesos para su ponderación.

5.1.8.1.2 Susceptibilidad a procesos de remoción en masa

A partir de la evaluación de los parámetros relacionados con los factores intrínsecos, para el EIA presentado en el proceso de licencia obtenida en la resolución 981 de junio de 2021 (EIA PROYECTO GUAYEPO SOLAR, 2020), se elaboró un mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa. Este análisis consistió en la sumatoria digital de los seis mapas de susceptibilidad temática, asociados a la evaluación de la estabilidad geotécnica del sector, con base en los factores intrínsecos. El desarrollo de este mapa se realizó a partir del siguiente algoritmo, evaluado mediante el uso de la herramienta computacional SIG – ArcGIS V10.0.

$$SPRM=L+GM+HG+P+UC+H$$

Donde,

SPRM: Susceptibilidad a procesos de remoción en masa,

L: Litología,

GM: Geomorfología,

HG: Hidrogeología,

P: Pendientes,

UC: Uso y cobertura,

H: Hidrología (densidad de drenajes).

De acuerdo con lo anterior, se definieron los rangos de evaluación y su ponderación correspondiente, tal como se indica en la Tabla 5-103.

Tabla 5-103 Intervalos para categorizar la susceptibilidad general del terreno a procesos de remoción en masa por factores intrínsecos

RANGOS	CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD	PESO
<12	Muy baja	1
12 - 15	Baja	2
16 - 19	Media	3
20 - 24	Alta	4
> 24	Muy alta	5

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

A partir de los rangos y pesos definidos, se elaboró el mapa de susceptibilidad a PRM, mostrado en la Figura 5-72. Adicionalmente, se presenta en la Tabla 5-104 la descripción establecida de cada una de las categorías definidas y analizadas para el área de influencia del medio abiótico, objeto de la modificación.

Tabla 5-104 Categorías de susceptibilidad a procesos de remoción en masa

PESO	CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD	DESCRIPCIÓN
1	Muy baja	Zonas en donde no se presentan procesos de remoción en masa, caracterizadas por materiales rocosos de buena calidad y/o depósitos de pendiente plana, con coberturas que contribuyen a la estabilidad geotécnica, por no permitir la infiltración de agua en los materiales térreos. Adicionalmente, presenta una densidad de drenaje muy baja y unidades litológicas que permiten la formación de acuíferos libres, con zonas de recarga y descarga definidas.
2	Baja	Zonas en donde se presentan procesos de remoción en masa de baja influencia, se caracteriza por la presencia de materiales rocosos de buena calidad y/o depósitos de pendiente plana a ligeramente inclinada, con una densidad de drenajes baja. Los materiales superficiales cuentan con coberturas vegetales que no presentan gran capacidad de filtración y permiten una mayor escorrentía superficial, con unidades litológicas caracterizadas por presentar porosidad primaria.
3	Media	Zonas susceptibles a desarrollar procesos de remoción en masa, caracterizadas por depósitos y/o suelos residuales con pendientes moderadamente inclinadas y niveles bajos de consolidación, cuyos ambientes de formación son denudacionales, además de presentar características hidrogeológicas que permiten la saturación de los materiales. Las coberturas vegetales presentan zonas pantanosas o cuerpos de agua artificial, con áreas de drenaje cuya densidad oscila entre 1200 y 2300 m/km ² .
4	Alta	Zonas con condiciones proclives a desarrollar procesos de remoción en masa, se caracterizan por depósitos con bajo nivel de consolidación, con pendientes moderadas a altas; en general la zona se marca con áreas de drenaje cuya densidad oscila entre 2300 y 3500 m/km ² .

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

Se evidencia en el área de influencia un predominio en las áreas de baja susceptibilidad a presentar procesos de remoción en masa, esto teniendo en cuenta los bajos rangos de pendientes, los valores de densidad en drenaje, la morfología suave y a nivel general las condiciones estables según los seis (6) parámetros analizados. Se observa un área con susceptibilidad muy baja hacia el suroriente del área de influencia, asociada al área del parque solar fotovoltaico, y hacia el occidente en la llegada a la subestación de Sabanalarga. Por último, se presenta una zona de susceptibilidad media hacia el terreno por donde va el trazado de la línea de transmisión, asociado principalmente a las pendientes mayores y a su morfología más acentuada.

The map displays the geographical area around Sabanalarga, Colombia, highlighting various corregimientos such as Cascajalito, Martillo, La Retena, Cascajal, Santa Rita, and Ponedera. A scale bar at the top indicates distances up to 4,000 meters. A legend box in the bottom left corner defines symbols for Torres (marked with a circle), Área de Influencia Medio Abiótico (outlined in green), and Área de intervención del proyecto (outlined in black). It also includes a color-coded legend for Geotechnical Stability based on intrinsic factors: Muy Alta (dark green), Alta (medium green), and Media (yellow). The map shows several numbered points along a route, likely representing the locations of the towers. Spatial coordinates are provided at the corners: Upper Left (74°36'W 10°39'56"N), Lower Left (74°55'53"W 10°33'34"N), Upper Right (74°45'33"W 10°38'58"N), and Lower Right (74°45'33"W 10°33'34"N).

Amenaza sísmica

Guayepo Solar
El sol que genera energía

Tabla 5-105 Valores de susceptibilidad a la inestabilidad por amenaza sísmica

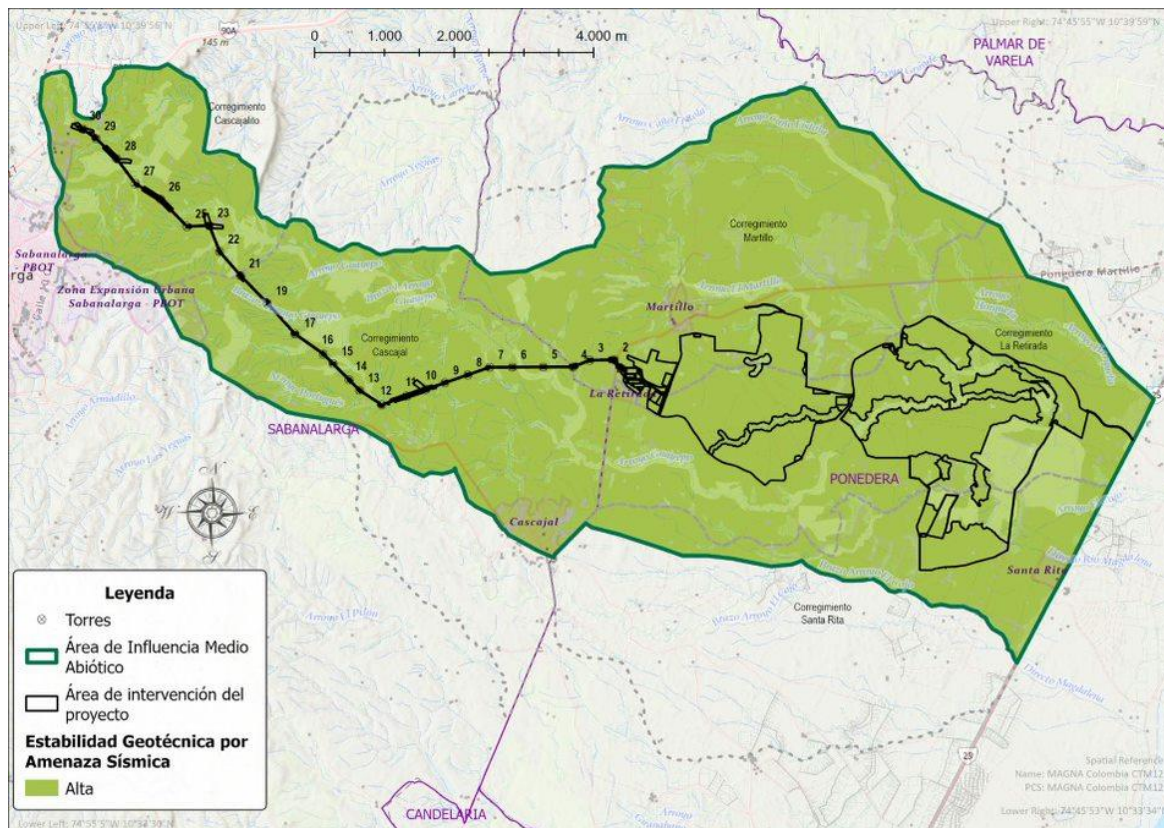
DESCRIPCIÓN	PESO
Aquellas regiones cuyo sismo de diseño no excede una aceleración pico efectiva (Aa) de 0.10 g. Aproximadamente el 55% del territorio colombiano se encuentra incluido en esta zona de amenaza.	2
Regiones donde existe la probabilidad de alcanzar valores de aceleración pico efectiva mayor de 0.10 g y menores a 0.20 g. Alrededor del 22% del territorio se encuentra incluido en esta zona.	3
Aquellas regiones donde se esperan sismos muy fuertes con valores de aceleración pico efectiva mayor a 0.20 g. Aproximadamente el 23% del territorio colombiano queda incluido en la zona de amenaza alta.	4

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

La Figura 5-73 muestra el mapa de zonificación por amenaza sísmica para el área de influencia del medio abiótico, objeto de modificación.

De acuerdo con el análisis, el área del proyecto se encuentra localizada en una zona de amenaza sísmica baja, cuya aceleración pico efectiva (Aa) no excede 0.10 g, por lo tanto, para la evaluación de esta variable se asignó un peso de dos (2).

Figura 5-73 Mapa de zonificación por amenaza sísmica



Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

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 medio abiótico, objeto de modificación condiciona la posibilidad 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 indican en la Tabla 5-106. A partir de lo anterior, se elaboró el mapa de zonificación por precipitación, presentado en la Figura 5-74.

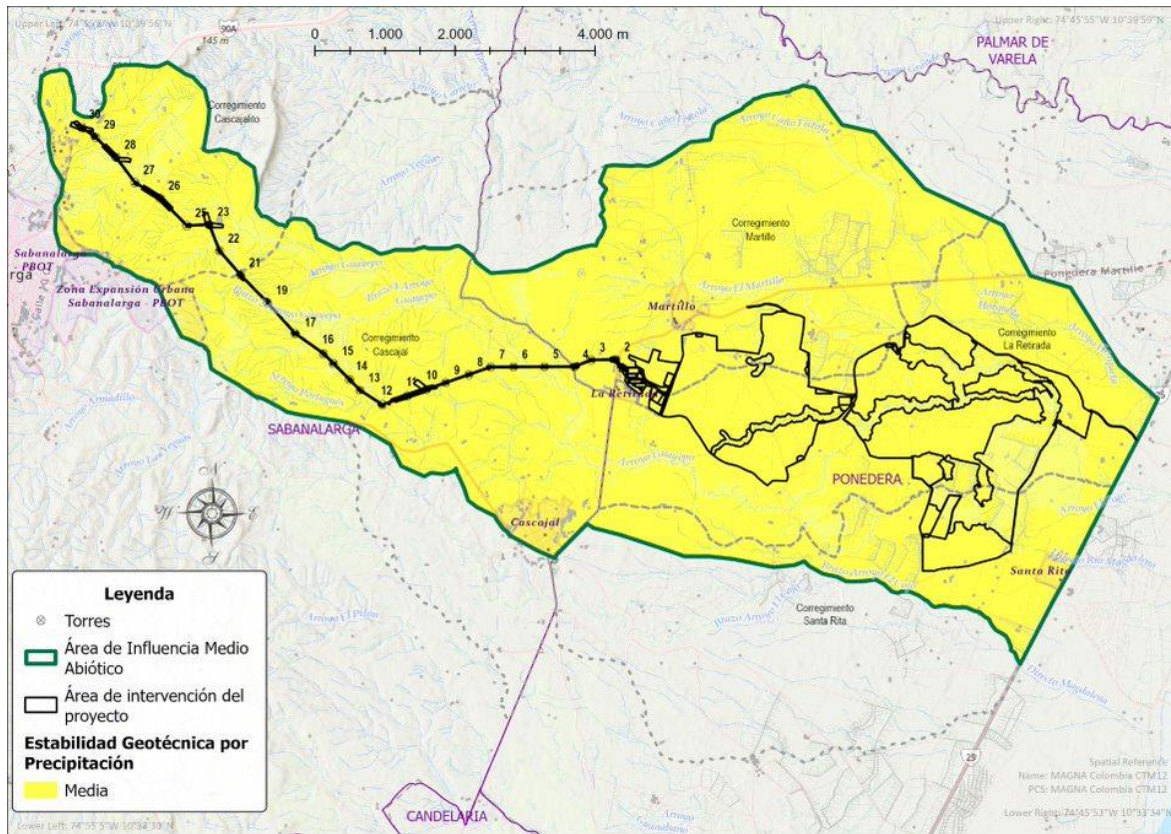
Tabla 5-106 Valores de susceptibilidad e inestabilidad por precipitación

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

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

La siguiente figura muestra que el área de influencia del medio abiótico objeto de modificación se encuentra localizada en una zona caracterizada por una precipitación de 1100 mm/año, evaluada con un peso de tres (3).

Figura 5-74 Mapa de zonificación por precipitación



Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2022

5.1.8.2 Zonificación geotécnica

La zonificación geotécnica del área de influencia del medio abiótico objeto de modificación se efectuó con base en la evaluación realizada previamente de los factores intrínsecos, a partir del mapa de susceptibilidad a la remoción en masa y su interacción con los factores detonantes (amenaza sísmica y precipitación). De acuerdo con lo anterior, se desarrolló el siguiente algoritmo.

$$ZG = SPRM \cdot (PR + AS)$$

Donde,

ZG: Zonificación Geotécnica,

SPRM: Susceptibilidad a procesos de remoción en masa,

PR: Precipitación,

AS: Amenaza sísmica.

En consecuencia, de lo anterior, se desarrolló el algoritmo para determinar la zonificación geotécnica del área de influencia del medio abiótico objeto de modificación, para lo cual se estableció la ponderación mostrada en la Tabla 5-107.

Tabla 5-107 intervalos para categorizar la zonificación geotécnica

Rangos	Categoría de amenaza		Peso	Estabilidad Geotécnica
<52	IIIB	Muy baja	1	Muy alta
52 - 95	IIIA	Baja	2	Alta
95 - 170	II	Media	3	Media
170 - 240	IB	Alta	4	Baja
> 240	IA	Muy alta	5	Muy baja

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

Las unidades resultantes del algoritmo se presentan en la Tabla 5-108, donde se incluye la descripción de las categorías consideradas en el establecimiento de la zonificación geotécnica, así como el área y porcentaje de cobertura del área de influencia. Su distribución se muestra en la Figura 5-75.

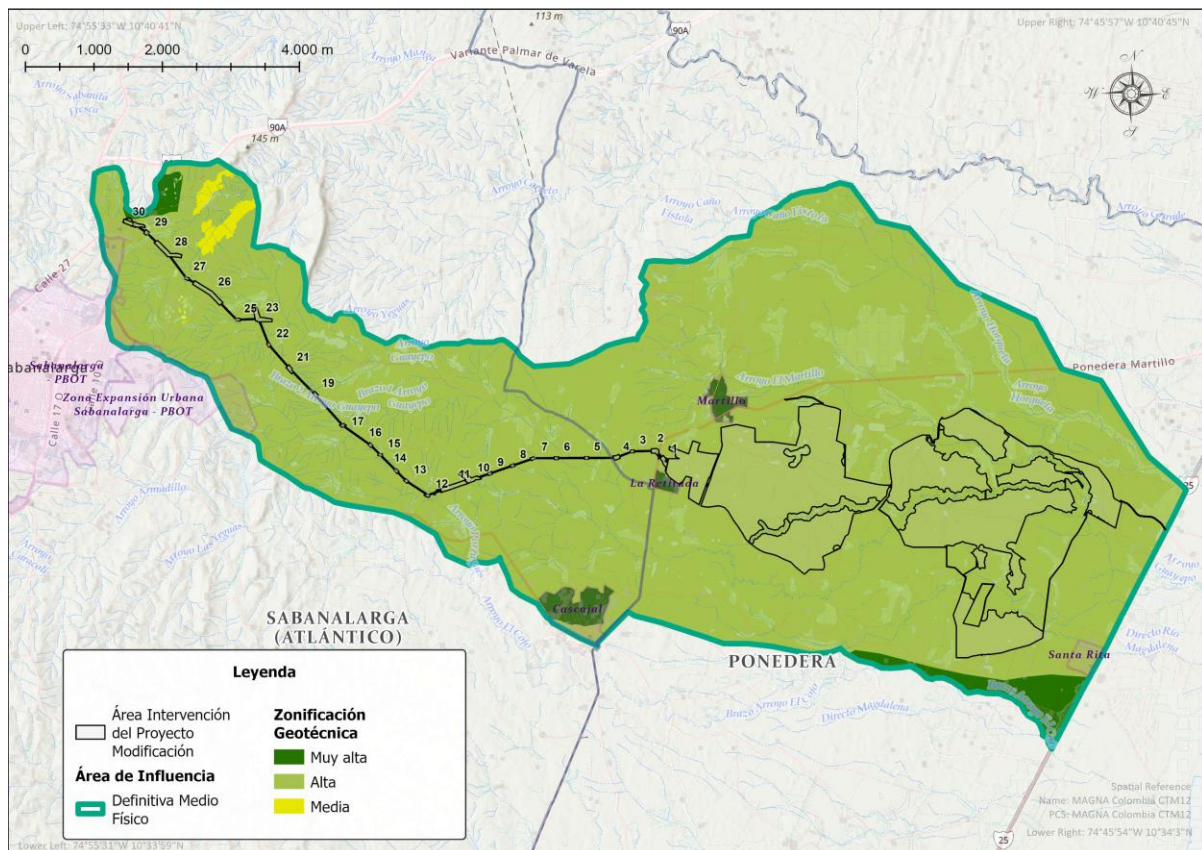
Tabla 5-108 Categorías de la zonificación geotécnica del área de influencia

UNIDAD	AMENAZA	ESTABILIDAD (ZONIFICACIÓN GEOTECNICA)	DESCRIPCIÓN	ÁREA DE INFLUENCIA MEDIO ABIÓTICO	
				ÁREA (ha)	ÁREA (%)
II	Media	Media	Corresponde principalmente a zonas de pendientes que alcanzan los rangos de fuertemente inclinadas a ligeramente escarpadas, donde se presentan suelos residuales de rocas sedimentarias arenosas, y una susceptibilidad media a presentar procesos de remoción en masa. En general, en la región se presentan precipitaciones medias de 1100 mm/año y aceleraciones sísmicas de 0.10 g.	36,77	0,55%
IIIA	Baja	Alta	Corresponde a zonas donde se evidencian depósitos con bajo nivel de consolidación y/o depósitos residuales provenientes de la meteorización de areniscas y lodolitas fisiles, con pendientes moderadas a altas (12% - 25%), identificada dentro de la geomorfología como montículos y ondulaciones denudacionales; la zona se marca con áreas de drenaje cuya densidad oscila entre 2300 y 3500 m/km ² , con características hidrogeológicas que permiten la saturación de los materiales. En general, estas zonas presentan precipitaciones medias de 1100 mm/año y aceleraciones sísmicas de 0.10 g.	6452,82	96,42%
IIIB	Muy Baja	Muy Alta	Corresponde a zonas caracterizadas por la presencia de materiales rocosos de buena calidad y/o depósitos de pendiente plana a moderadamente inclinada, cuyos ambientes de formación son denudacionales y	202,52	3,03%

			presentan geoformas planas a onduladas. Presenta una densidad de drenaje que oscila entre 500 y 2300 m/km ² , con materiales superficiales que cuentan con coberturas vegetales que no presentan gran capacidad de filtración y permiten una mayor escorrentía superficial, las unidades litológicas son caracterizadas principalmente por presentar porosidad primaria. Estas zonas presentan precipitaciones medias de 1100 mm/año y aceleraciones sísmicas de 0.10 g.		
TOTAL				6.692,11	100

Fuente: Modificado de EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020 GUAYEPO SOLAR, 2022.

Figura 5-75 Mapa de zonificación Geotécnica en el área de influencia



Fuente: GUAYEPO SOLAR, 2023

En la Figura 5-75 se presenta la zonificación geotécnica del área de influencia del medio abiótico objeto de modificación, desde el punto de vista de estabilidad global. Se identificó con tres categorías: media, alta y muy alta; encontrando que el 96,42% del área de influencia del medio abiótico (6452,82 ha) se caracteriza por presentar un nivel "Alto" de estabilidad categorizado principalmente por presentar pendientes bajas; en menor proporción se presenta un 3,03% del área (202,52ha) clasificada como de "Muy Alta"

estabilidad asociada principalmente a las zonas de áreas antrópicas, y por último con solo un 0,55% restante del área se presenta una zona de “Moderada” estabilidad geotécnica categorizada por las pendientes que alcanzan rangos de fuertemente inclinadas, concluyendo que la zona tiene buenas características desde el ámbito físico para realizar las actividades establecidas en la modificación del proyecto.

5.1.8.3 Campaña Geotécnica

Adicionalmente al análisis geotécnico realizado anteriormente por superposición de variables, durante la realización del EIA del 2020, se realizó una campaña geotécnica utilizando apiques o calicatas mecánicas, barrenos manuales y exploración geo eléctrica para complementar las descripciones de los materiales en el suelo y subsuelo. Los resultados de esta exploración geotécnica realizada por la empresa INGETEC en el año 2020 se resumen a continuación y se detallan en el Anexo 5.1.8 Geotecnia.

Las dimensiones de las calicatas fueron de entre 1,00 m y 2,00 m de ancho, 2,00 m de largo y 4,00 de profundidad promedio, y los barrenos alcanzaron profundidades de 3,00 m. Se encontró asociado al territorio de la línea de transmisión material correspondiente a Limo arenoso con algo de arcilla, café oscuro, de plasticidad media; Arcilla con trazas de arena, café medio de plasticidad baja; Arcilla amarillo claro, de plasticidad baja y Arcilla y limo, café claro de plasticidad baja. Hacia el Parque solar los resultados arrojaron material correspondiente a Arena fina, beige con planos cafés, algo de arcilla, plasticidad baja; Arcilla y arena fina, marrón amarillento, presencia de raíces, plasticidad baja; Limo arenoso color café oscuro y Limo orgánico, color café oscuro. En algunos apiques se observó la presencia de capas aisladas de suelo. Esto se debe a capas de suelo que se encuentran ubicadas entre dos capas de material impermeable, lo que evita el flujo natural de agua hacia profundidades mayores.

Las conclusiones de la exploración geo eléctrica arrojan en promedio valores bajos de resistividades asociados a arcillas saturadas por debajo de los 8 m de profundidad.

Los resultados de las pruebas de ensayo muestran materiales de consistencia entre muy dura a muy firme superficialmente, y entre 50 cm y 2.00 m de profundidad su consistencia se incrementa hasta dura a muy dura. Respecto al contenido de humedad natural, se presentan capas de arena con valores cercanos a 44,8, y arcillas saturadas con valores promedios de 17, indicando un grado de saturación de entre 50 y 70% (INGETEC, 2020).

Dando cumplimiento a los términos de referencia TdR-015 y TdR-17, que establecen los lineamientos para la elaboración del EIA de proyectos de uso de energía solar fotovoltaica y de proyectos de sistemas de transmisión de energía eléctrica respectivamente, a continuación, se expone la información caracterizada del componente atmosférico, con el fin de dar cumplimiento a ambos lineamientos.

5.1.9 Atmósfera

Dando cumplimiento a los términos de referencia TdR-015 y TdR-17, que establecen los lineamientos asociados a proyectos de uso de energía solar fotovoltaica y de proyectos de sistemas de transmisión de energía eléctrica respectivamente, a continuación, se expone la información caracterizada del componente atmosférico, basada en el análisis realizado para la elaboración del EIA presentado para la obtención de la licencia otorgada a través de la resolución 981 de junio de 2021 (EIA PROYECTO GUAYEPO SOLAR, 2020).

5.1.9.1 Identificación de fuentes de emisiones atmosféricas

El inventario de emisiones constituye una herramienta que permite realizar la identificación, localización y clasificación de las principales fuentes generadores de contaminación atmosférica en un área geográfica específica durante un periodo de tiempo determinado, siendo su finalidad la planificación de los sistemas de gestión y los sistemas de vigilancia de la calidad del aire.

Dichos inventarios aportan fundamentos científicos y técnicos para el desarrollo de políticas y estrategias, permitiendo la cuantificación y medición de los efectos en la

población receptora, y además permiten la cuantificación del efecto que pueden producir las medidas de mitigación y control que se adopten, así como el costo de la implementación de estas medidas.

5.1.9.1.1 Información secundaria de fuentes de emisiones atmosféricas

La información aquí presentada proviene de los datos recolectados y analizados en el EIA, 2020, donde se consultó la información de tipo oficial sobre fuentes de emisiones entregada por la Corporación Autónoma Regional del Atlántico – CRA Autónoma, mediante radicado 006820, el cual se presenta en el Anexo 5.1.9 Atmósfera.

Se presentan fuentes de generación de ozono relacionadas con los productos de combustión generados por los vehículos del parque automotor que transitan por el municipio de Sabanalarga, así como de PM10 y PM2.5, NO2 y CO que también dan indicios de contaminación por el funcionamiento de combustibles de motores con combustibles fósiles y vehículos automotores.

Por otra parte, con el fin de identificar fuentes fijas de área autorizadas por la CRA-Autónoma, para el EIA, 2020 se consultó con la misma entidad los sitios facultados para la extracción de materiales de cantera y/o materiales de arrastre. El informe relaciona un sitio para la extracción de materiales de cantera y/o materiales de arrastre en el municipio de Sabanalarga, en la vía que conduce de Sabanalarga a Manatí, desviándose en el kilómetro 13 por el camino que conduce al mirador.

Como sitios autorizados para la disposición del material proveniente de excavación la corporación afirma que sólo tiene autorizados El relleno sanitario Los Pocitos ubicado en la vía Tubará- Barranquilla, el relleno sanitario El Clavo localizado en el municipio de Palmar de Varela y, la antigua cantera Las Delicias en el municipio de Sabanagrande.

En el área de influencia del proyecto no se encuentran autorizados estos tipos de fuentes fijas.

5.1.9.1.2 Inventario de fuentes de emisiones

Posterior a la revisión de información por parte de fuentes oficiales durante la elaboración del EIA del año 2020, se desarrolló el inventario de fuentes de emisión susceptibles de generar contaminación atmosférica en el área de influencia. Se identificaron tanto fuentes fijas como fuentes móviles siendo clasificadas de acuerdo con lo estipulado en el artículo 18 del Decreto 948 de 1995 así:

- Fuentes Fijas: Puntuales, dispersas o áreas-fuente
- Fuentes Móviles: aéreas, terrestres, fluviales y marítimas.


A continuación, se relacionan las fuentes identificadas:

Las fuentes fijas puntuales identificadas en el área de influencia corresponden principalmente a viviendas que cocinan con leña, que emiten contaminantes a la atmósfera a través de ductos o chimeneas (Tabla 5-109).

En menor intensidad, como fuente de emisión fija dispersa identificada es la ganadería extensiva, la cual produce metano y al desplazarse por terrenos descubiertos, ocasionan re-suspensión del material particulado.

Tabla 5-109 Fuentes fijas puntuales y dispersas

FUENTE EMISIÓN	DESCRIPCIÓN	COORDENADAS MAGNA		REGISTRO FOTOGRÁFICO
		SIRGAS - ORIGEN NACIONAL		
		Norte	Este	
Fuente fijas puntuales y dispersas	Cuarto de cocina de leña y quemas a cielo abierto evidenciadas en el mismo predio	2.730.389	4.801.712	

	
<p>Fuente fijas dispersas</p> <p>En la zona se observa actividades de ganadería extensiva, asociado a coberturas como pastos arbolados y pastos limpios, relacionado más adelante</p> <p>No aplica</p>	

Fuente: Modificado de EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020, GUAYEPO SOLAR, 2022.


Por otra parte, se aclara que no se identificaron fuentes de emisión atmosférica naturales con actividades volcánicas o desierto.

Además, como fuentes de emisiones fijas dispersas se identificaron las vías a usar por el proyecto, puesto que, en el área, el estado de la superficie de las vías mayormente es sin pavimentar, causando que, al paso vehicular, se produzca una pulverización del material, levantando partículas que continúan en suspensión después del paso del automotor. El detalle de las vías y accesos a utilizar por el proyecto se muestran a detalle en el Anexo 11 Descripción del proyecto.

5.1.9.1.3 Trazados por operación de fuentes móviles

Se realizaron para el EIA del año 2020 aforos vehiculares en las dos (2) vías principales interceptadas por el proyecto, para presentar los trazados de operación de las dos fuentes móviles. En los aforos realizados se observó flujo vehicular, principalmente asociado a las actividades de transporte de pasajeros en motos y buses. Para efectos de la presente modificación de licencia se precisa que estas dos vías no serán objeto de modificación y que sus condiciones de uso mantienen.

Tabla 5-110 Vías principales aforadas

FUENTE EMISIÓN	NOMBRE VÍA	Coordenadas Magna Sirgas Nacional			REGISTRO FOTOGRÁFICO
			Este	Norte	
Fuentes móviles y de área dispersas	RUTA 25 Troncal de Occidente Tramo Ponedera - Santa Rita	Punto inicial	4.804.654	2.727.819	
		Punto final	4.804.671	2.733.795	
	Carretera Sabanalarga – Cascajal – Martillo.	Punto inicial	4.790.807	2.735.391	
		Punto final	4.799.907	2.732.739	

Fuente: Modificado de EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020, GUAYEPO SOLAR, 2022.

Los aforos tienen en cuenta los lineamientos de los TdR-015 y TdR-17, de modo que se levantó la información de la flota vehicular durante un período de veinticuatro (24) horas continuas, en día hábil y festivo.

Ambas vías son calzadas sencillas bidireccionales con dos carriles. El material de rodadura es superficie asfaltada y la pendiente de la vía Ponedera Puerto Giraldo (RUTA 25 Troncal de Occidente Tramo Ponedera - Santa Rita) y Sabanalarga Cascajal (Carretera Sabanalarga – Cascajal – Martillo.) es de 0,00 y 0,15 respectivamente. Sin embargo, los valores de pendientes los calcula los softwares de ruido y aire internamente, de acuerdo con el modelo de elevación digital.

La información fue procesada mediante modelos de emisión usados internacionalmente como lo estipulado por la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA por sus siglas en inglés), la cual proporciona factores de emisión para cada una de las categorías de emisión y diferenciadas por tipo de vehículo, es por esto por lo que se dividió el flujo vehicular en las categorías de Carros de pasajeros, motos, Buses, Camiones de tráfico liviano y Camiones de tráfico pesado. Los resultados se muestran en la Tabla 5-111.

Tabla 5-111 Características fuentes lineales de emisión

VÍA	CARROS PASAJEROS	MOTOS	BUSES	CAMIONES LIVIANOS	CAMIONES PESADOS	LONGITUD VÍA	ANCHO VÍA
						km	m
Vía Ponedera y Puerto Giraldo	196	186	7		5	16,4	6
Vía Sabanalarga y Cascajal	330	303	22	20	19	10,4	6

Fuente: Tomado de MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S, 2019, EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

Los aforos arrojan que el mayor flujo vehicular se presenta como constante en el horario diurno (que corresponde desde las 7 a 21 horas según la (Resolución 627, 2006)), y disminuye radicalmente en el horario nocturno.

Específicamente, en la Ruta 25, el mayor flujo vehicular es presentado a las 7 horas con un tránsito de 48 vehículos/hora en día hábil, y en día no hábil a las 14 horas con un flujo de 31 vehículos/hora. El menor tránsito es presentado entre las 22 horas y 5 horas con un flujo que varía entre 0 y 3 vehículos/hora.

Por el contrario, en la vía Sabanalarga-Cascajal, el mayor flujo se presenta en día hábil a las 8 y a las 12 horas con tránsito de 67 vehículos/hora. Por el contrario, en día no hábil se presenta tránsito que oscila en un rango de 57 a 63 vehículos/hora en el horario de 7, 8, 12, 13 y 14 horas. Los menores flujos reportados en esta vía oscilan entre 0 y 4 vehículos por hora, presentándose en el horario de 1 a 4.

5.1.9.1.4 Potenciales receptores

En esta clasificación se encuentran los asentamientos humanos, identificados como los potenciales receptores y emisores de la contaminación atmosférica. Asimismo, comprende una caracterización de los ecosistemas con influencia por el componente atmosférico como zonas de actividades pecuarias. A la vez, se descarta la presencia de áreas de fauna silvestre como Áreas Importantes para la Conservación de las Aves – AICAS.

Se establecen los potenciales receptores a contaminación atmosférica los asentamientos aledaños al área de influencia del medio abiótico correspondientes a El Martillo y La

Retirada en el municipio de Ponedera, y Cascajal y Cascajalito en el municipio de Sabanalarga.

5.1.9.2 Información meteorológica

El clima es un aspecto determinante para el desarrollo de los ecosistemas, constituyendo un conjunto de variables que determinan el tiempo atmosférico tanto a nivel espacial como en el tiempo y su interacción, las cuales definen a su vez la cobertura vegetal, la fauna, el desarrollo económico de una región, entre muchos otros aspectos.

En el presente numeral se caracterizan las principales variables climáticas del área de influencia del proyecto integrando los requisitos de los TdR 17 y TdR-015. Por ello se analizarán los siguientes factores del clima:

- Temperatura (espacial y temporal) media, máxima y mínima mensual y anual
- Precipitación (espacial y temporal) media mensual y anual
- Presión atmosférica
- Humedad Relativa media, máximos y mínimos mensuales y anuales
- Viento: Dirección y velocidades
- Radiación solar
- Nubosidad

Los factores climatológicos del área de estudio se describen a partir de registros de datos de estaciones meteorológicas del IDEAM ubicadas en la región, los cuales serán abordados a continuación.

5.1.9.2.1 Inventario de estaciones climatológicas

Para hacer la caracterización climática en el área del proyecto, se realizó una búsqueda de información en el IDEAM, que correspondiera a estaciones con la información requerida para el estudio. Es así como se obtuvo información de 11 estaciones meteorológicas categorías Pluviográfica (1), Pluviométricas (7), Climatológica Ordinaria (1), Climatológica Principal (1) y Sinóptica principal (1); de las 11 estaciones meteorológicas de interés se descartaron tres (3), en los siguientes párrafos se explica por qué se descartaron.

Inicialmente se hizo una revisión de las estaciones disponibles. Algunas de estas estaciones cuentan con información desde muchos años atrás, caso de Sabanalarga, Ponedera y Polonuevo que cuentan con información disponible de precipitación desde 1959, Apto E Cortissoz desde 1941, Juan de Acosta desde 1964, Normal Manatí desde 1963, Usiacurí desde 1964, Lena y San Rafael desde 1969. Sin embargo, se analizará la disponibilidad de información desde el año 1970, como se observa en la Tabla 5-115.

Una vez identificada la disponibilidad de información, se decide tomar 25 años de información para el análisis de temperatura y precipitación, para el periodo que va desde 1990 hasta 2014, debido a que el IDEAM solamente suministra información desde 1990 para la estación Montebello y teniendo en cuenta que entre el 2015 y 2017 hay información muy incompleta en algunas estaciones, lo cual puede alterar los resultados del estudio. Adicionalmente, no hay información reportada por el IDEAM para los años 2018 y 2019.

Se descartaron tres (3) estaciones para el análisis climático, siendo todas de tipo pluviométricas. La primera es la estación Ponedera (29040070), que, aunque es la más cercana al parque solar fotovoltaico, es la estación con más datos faltantes y su uso podría generar una distorsión en los resultados. Dentro de la serie de 25 años seleccionada (1990-2014) a la estación de Ponedera le hacen falta datos en 7 años, dentro de los cuales hay dos (2) años completos seguidos que no cuentan con información y son 2010 y 2011 y en el caso del año 2008 faltan ocho (8) meses continuos; el área de la estación Ponedera queda cubierta por las estaciones aledañas de Montebello, Lena, San Rafael y Sabanalarga. Otra estación descartada es Polonuevo (29040080), debido a que le falta información desde enero de 2012 a noviembre de 2013, el año 2004 tiene información de seis (6) meses y faltan los seis (6) meses restantes y, en el año 1999 también hay faltantes de información. Finalmente, se descartó la estación pluviométrica Los Campanos, tras un análisis sustentado en el numeral de precipitación.

La Tabla 5-112 muestra las ocho (8) estaciones seleccionadas, la cuales abarcan un rango altitudinal de 10 a 100 msnm.

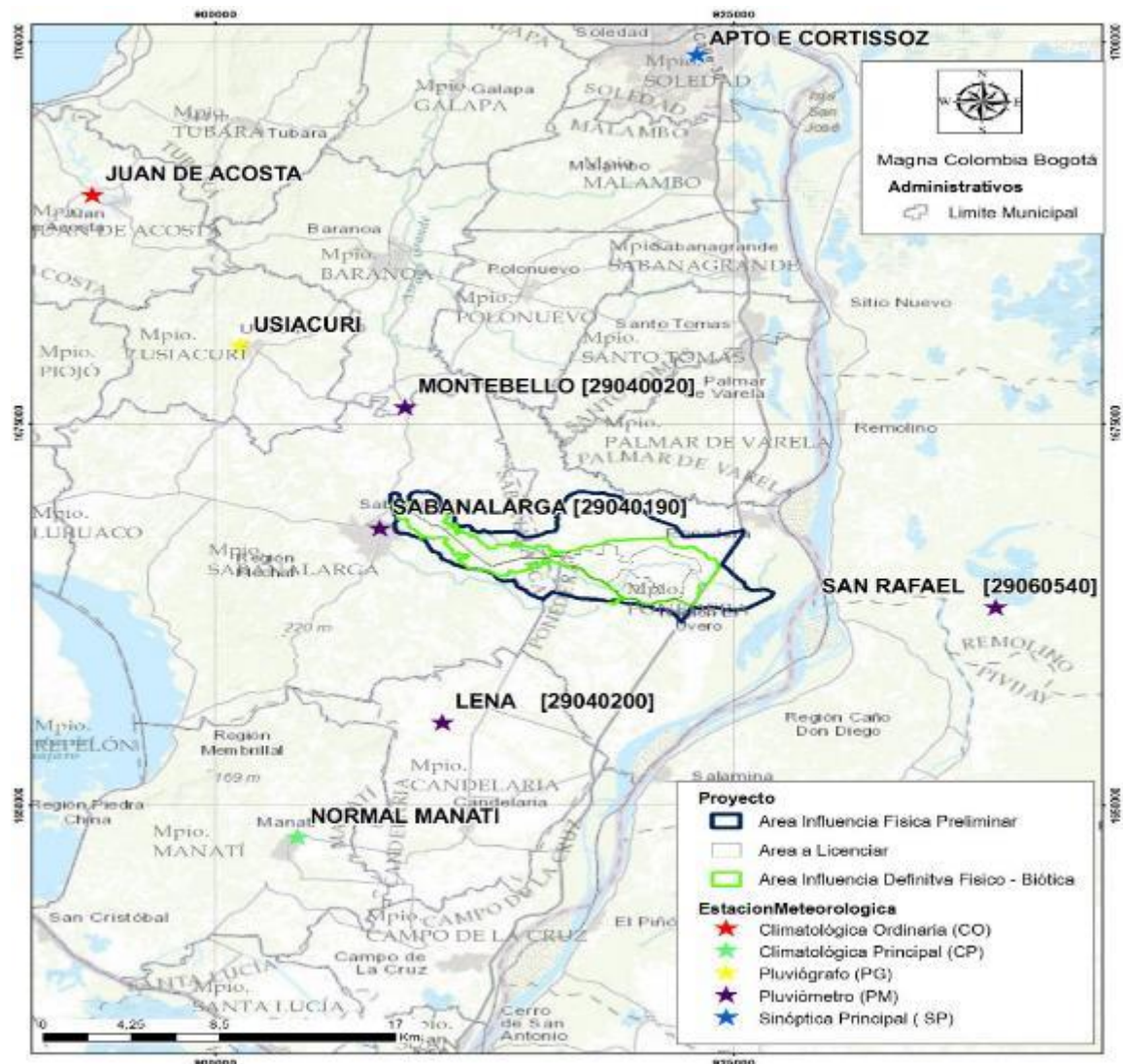
Tabla 5-112 Inventario de estaciones meteorológicas para el análisis climático del Área de Influencia

NOMBRE (Código)	MUNICIPIO	CORRIENTE	COORDENADAS MAGNA SIRGAS COLOMBIA BOGOTÁ		ALTITUD	FECHA DE INSTALACIÓN	ESTADO	TIPO CLASE CATEGORÍA*	PARÁMETROS DE ANÁLISIS
			ESTE	NORTE					
Usiacuri (29040240)	Usiacuri	Magdalena	901220,30	1680141,42	100	15/02/1964	Activa	Convencional Meteorológica	PG Precipitación
Sabanalarga (29040190)	Sabanalarga	Magdalena	907933,67	1668174,94	100	15/03/1959	Activa		PM Precipitación
Montebello (29040020)	Baranoa	Magdalena	909164,79	1676111,98	100	15/12/1985	Activa		PM Precipitación
Lena (29040200)	Candelaria	Magdalena	910976,71	1655445,19	45	15/06/1969	Activa		PM Precipitación
San Rafael (29060540)	Remolino	Magdalena	937676,33	1663006,64	10	15/07/1982	Activa		PM Precipitación
Apto E Cortissoz (29045020)	Soledad	Magdalena	923233,97	1699227,72	14	15/05/1940	Activa		SP Evaporación Humedad relativa Nubosidad Precipitación Temperatura Velocidad y dirección del viento
Juan de acosta (29045110)	Juan de acosta	Magdalena	894080,19	1690027,63	20	15/01/1964	Activa	CO	Evaporación Humedad Relativa Nubosidad Precipitación Temperatura
Normal Manatí (29035080)	Manatí	Cga. Guajaro	903964,74	1647926,24	10	15/10/1963	Activa	CP	Evaporación Humedad relativa Nubosidad Precipitación Temperatura

* Estación Pluviográfica (PG), Estación Pluviométrica (PM), Estación Sinóptica Principal (SP), Estación Climatológica Ordinaria (CO), Estación Climatológica Principal (CP)
Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM -, 2018

En la Figura 5-76 se presenta la ubicación geográfica de las ocho (8) estaciones meteorológicas utilizadas para el análisis climático del área de influencia.

Figura 5-76 Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas cercanas al área del proyecto.



Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM -, 2018, elaborado por EIA PROYECTO GUAYEPO SOLAR, 2020

5.1.9.2.2 Análisis de parámetros climatológicos

A continuación, se hace el análisis espacial y temporal de las variables climatológicas requeridas por los términos TdR-15 y TdR-17 y se comprueba la validación y confiabilidad y uso de la información para cada estación.

5.1.9.2.2.1 Temperatura

Teóricamente la temperatura es una magnitud física, que cuando está asociada a la atmósfera tiene la capacidad de transferir calor a su alrededor. Ésta es captada por un termómetro a la sombra y con buena ventilación a una altura entre 1,25 y 2,00 metros sobre el nivel de la superficie.

Por la ubicación geográfica y altitudinal del proyecto, el rango de variación de temperatura no es tan alto entre la época más fría y la más cálida del año, como se verá más adelante, lo cual también es un efecto por estar ubicado en la Zona de Confluencia Intertropical – ZCIT.

Debido a que las estaciones que se encuentran cercanas al proyecto son pluviométricas en su gran mayoría, no se pudieron usar para la medida de temperatura. Por esta razón, se utilizó información de las estaciones Juan de Acosta, Apto E Cortissoz y Normal Manatí, siendo estas las estaciones más distantes analizadas, ante la ausencia de mediciones de temperatura en el área del proyecto,

Las tres (3) estaciones en mención cuentan con series de más de 40 años de registros, de los cuales se selecciona el mismo rango determinado para el análisis de precipitación, el cual corresponde a los 25 años comprendidos entre 1990 y 2014, de tal manera que se puedan realizar análisis posteriores como la zonificación climática, como se dijo antes no se tuvo en cuenta la información entre los años 2015 al 2017 por estar incompleta en algunas estaciones.

Para temperatura se hará un análisis del comportamiento temporal de la temperatura media, máxima y mínima mensual y anual; adicionalmente, se analizará la distribución espacial de la temperatura media anual.

5.1.9.2.2.1.1 Distribución temporal de la temperatura

En la Tabla 5-113 se encuentran los valores medios de temperatura y su distribución mensual para las tres (3) estaciones antes mencionadas. Se puede observar que la temperatura media máxima registrada se presentó en la estación Juan de Acosta en el mes de julio de 2014 con 29,5°C y la media mínima se registró en la estación Apto E Cortissoz en el mes de febrero del año 2001 con 25,2°C.

Tabla 5-113 Temperatura media, media máxima y media mínima mensual en °C, para la E. Juan de Acosta, Apto E Cortissoz y Normal Manatí – Periodo 1990-2014

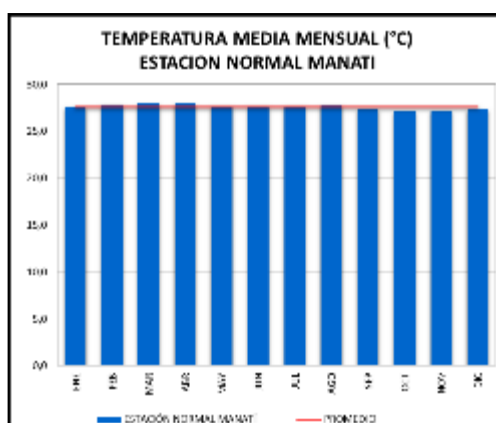
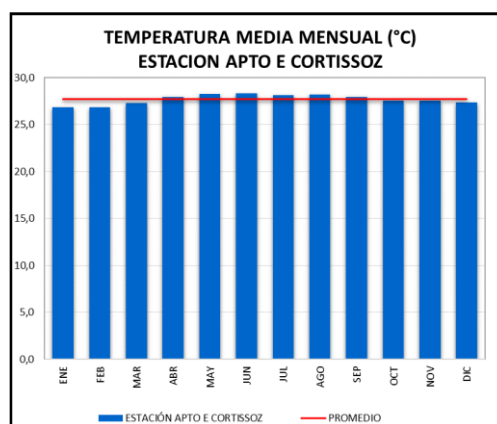
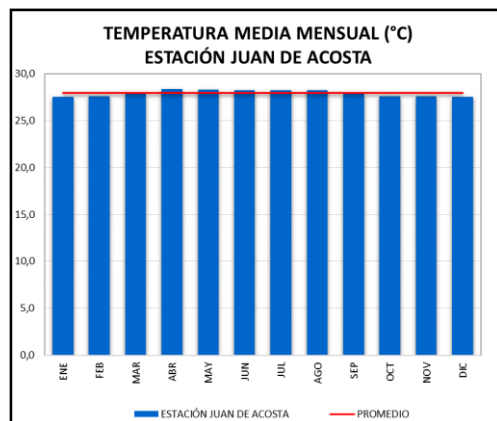
DATO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Medios E. Juan de Acosta	27,5	27,6	27,9	28,4	28,3	28,2	28,2	28,2	27,9	27,6	27,6	27,6
Máximos E. Juan de Acosta	28,7	28,7	29,2	29,4	29,1	29,3	29,5	29,1	28,5	28,2	28,4	28,5
Mínimos E. Juan de Acosta	26,5	26,4	27,0	27,7	27,3	27,6	27,4	27,4	26,9	26,6	26,8	26,7
Medios E. Apto E Cortissoz	26,8	26,9	27,3	27,9	28,3	28,3	28,1	28,2	27,9	27,6	27,6	27,4
Máximos E. Apto E Cortissoz	28,0	28,0	29,2	29,1	29,0	29,0	29,1	28,9	29,0	28,7	28,7	28,5
Mínimos E. Apto E Cortissoz	25,9	25,2	26,2	26,9	27,7	27,6	27,6	27,1	26,4	26,3	26,4	26,5
Medios E. Normal Manatí	27,6	27,8	27,9	28,0	27,7	27,7	27,7	27,7	27,4	27,1	27,2	27,3
Máximos E. Normal Manatí	29,3	29,1	29,3	29,2	29,8	29,1	29,3	28,6	28,6	28,2	28,4	28,7
Mínimos E. Normal Manatí	26,2	26,5	26,5	26,7	26,0	26,5	26,3	26,3	25,8	25,9	26,2	26,1

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

En la Figura 5-77 y Figura 5-78 se puede observar el análisis gráfico de la temperatura media mensual, en la cual se puede observar que la temperatura en la zona es muy uniforme, con valores medios entre las tres estaciones que oscilan entre 26,8°C y 28,4°C.

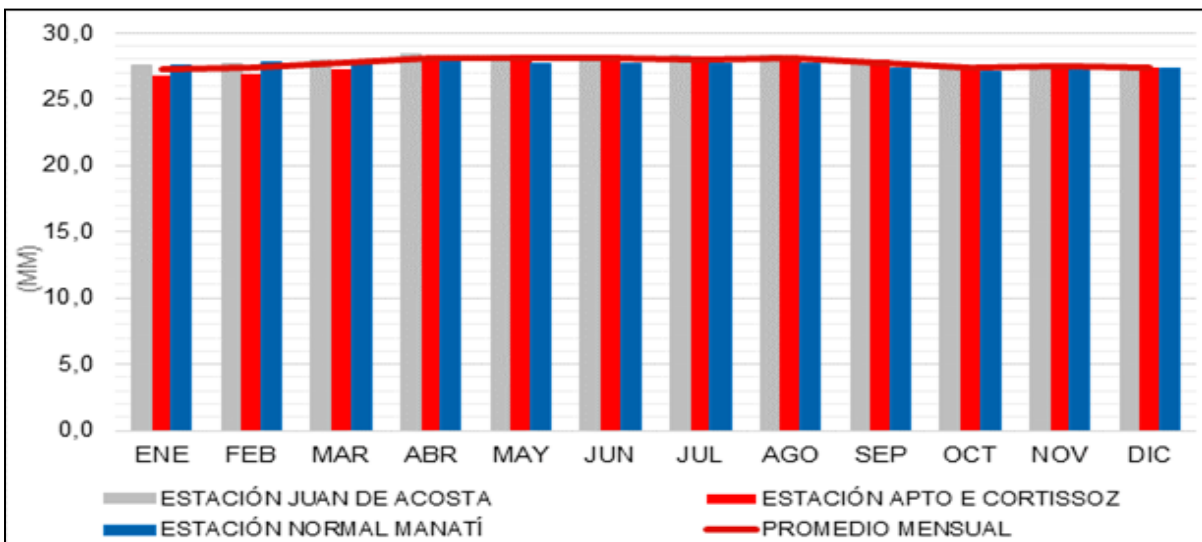
De acuerdo con la distribución de la temperatura en el tiempo se puede observar que el mes más frío es el mes de enero con temperaturas promedio de 27,3°C y los meses más calientes son abril, mayo, junio, julio y agosto con temperaturas en promedio de 28,1°C, con un marcado régimen monomodal.

Figura 5-77 Comportamiento de la temperatura media mensual (°C) – Período 1990 – 2014



Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM -, 2018, elaborado por EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

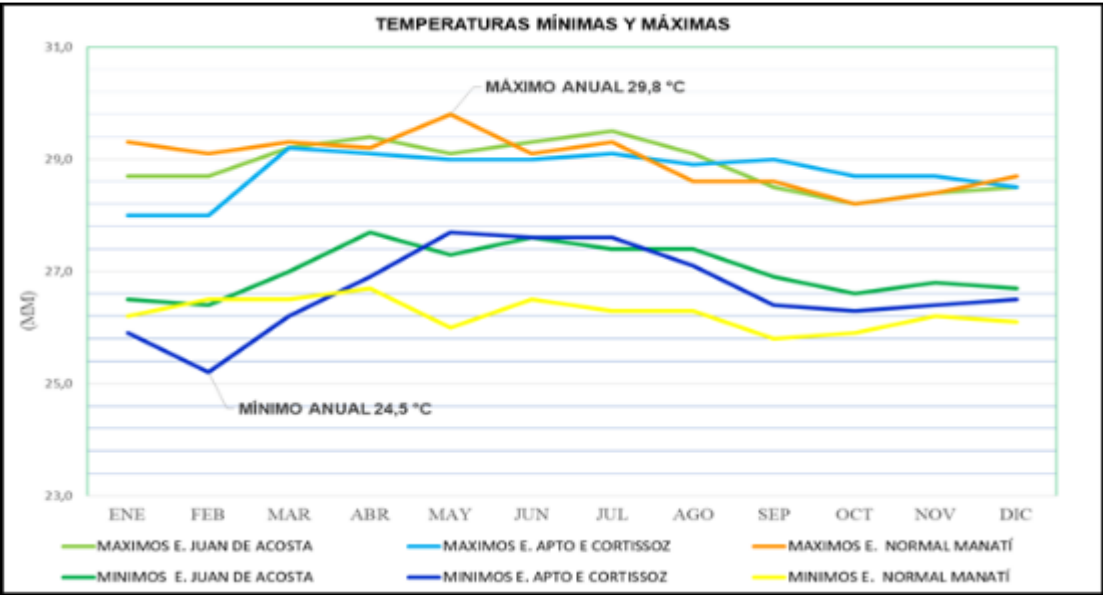
Figura 5-78 Variación temporal de la temperatura media mensual (°C) – Período 1990 – 2014



Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM -, 2018, elaborado por EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

En la Figura 5-79 se puede observar la variación mensual de temperatura media máxima y media mínima durante el periodo de análisis para las tres estaciones mencionadas.

Figura 5-79 Variación mensual de las temperaturas medias máximas y medias mínimas mensuales (°C) – Período 1990 – 2014



Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM -, 2018, elaborado por EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

Las temperaturas mínimas se presentan en las épocas más secas del año, lo cual se asocia a las bajas temperaturas nocturnas y a la influencia de los vientos alisios. La temperatura media anual para el proyecto se muestra en la Tabla 5-114 y su análisis gráfico se presenta en la Figura 5-80.

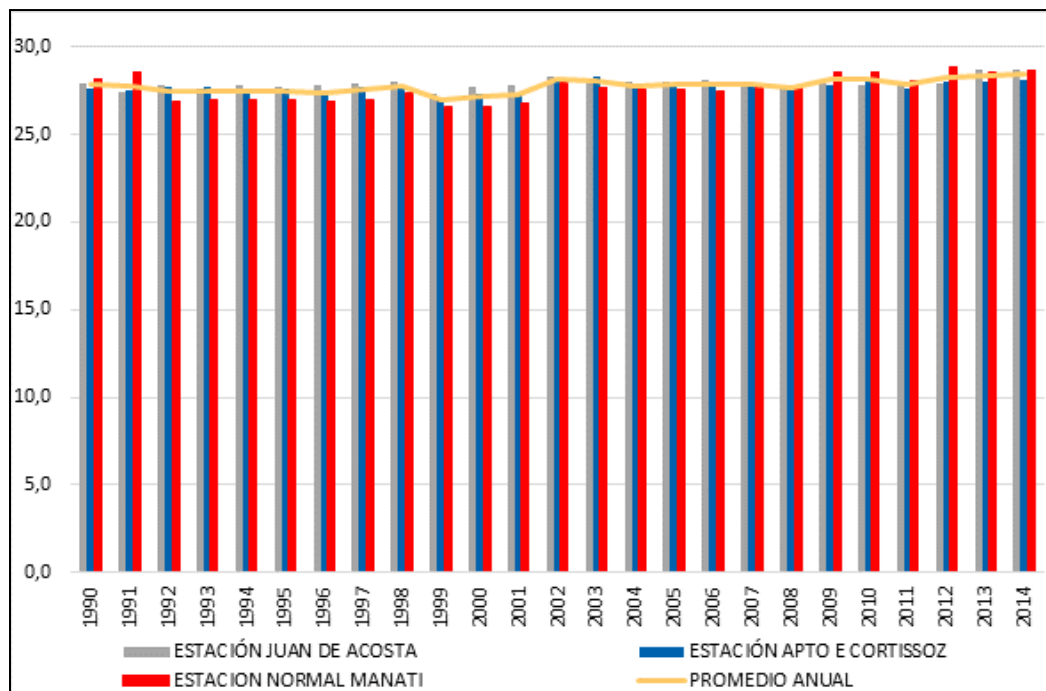
Tabla 5-114 Valores de temperatura media anual (°C)

DATO	VALOR MEDIO ANUAL
Medios E. Juan de Acosta	27,9
Máximos E. Juan de Acosta	29,5
Mínimos E. Juan de Acosta	26,4
Medios E. Apto E Cortissoz	27,7
Máximos E. Apto E Cortissoz	29,2
Mínimos E. Apto E Cortissoz	25,2
Medios E. Normal Manatí	27,6
Máximos E. Normal Manatí	29,8

DATO	VALOR MEDIO ANUAL
Mínimos E. Normal Manatí	25,8

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM -, 2018, elaborado por EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

Figura 5-80 Temperaturas medias anuales (°C) Estaciones Juan de Acosta, Apto E Cortissoz y Normal Manatí – Período 1990 – 2014

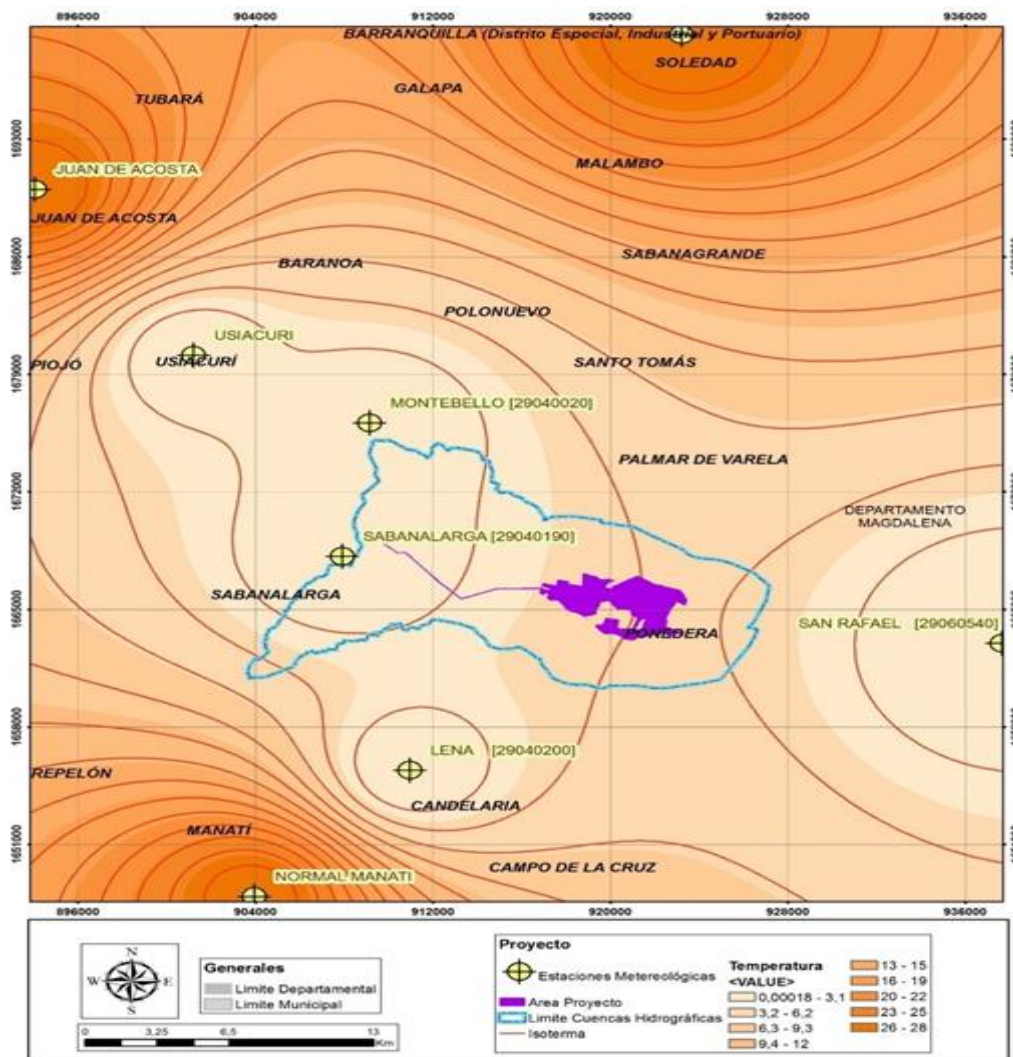


Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM -, 2018, elaborado por EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

5.1.9.2.2.1.2 Distribución espacial de la temperatura

En la Figura 5-81 se presenta la distribución espacial de la temperatura, en la cual se puede observar que en el área proyectada para la línea de evacuación se presentan las menores temperaturas, incrementando hacia el este y el norte del proyecto.

Figura 5-81 Distribución espacial de la temperatura – Período 1990 – 2014



Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM -, 2018, elaborado por EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

5.1.9.2.2 Precipitación

Se analizó la información disponible de precipitación desde el año 1970, como se observa en la Tabla 5-115. Una vez identificada la disponibilidad de información, se decide tomar 25 años de información para el análisis de precipitación, el cual abarca desde 1990 hasta 2014, debido a que el IDEAM suministra para la estación Montebello información desde 1990 y teniendo en cuenta que entre el 2015 y 2017 hay información muy incompleta en algunas estaciones que puede alterar los resultados del estudio.

Teniendo en cuenta que de las 11 estaciones seleccionadas fueron descartadas dos (2), se procede a realizar el análisis de homogeneidad a las nueve (9) estaciones restantes. Para garantizar que la información utilizada sea consistente para el periodo de 1990 a 2014, se hace una revisión de las series en cuanto a los cambios temporales de las mismas debido a influencias artificiales que se puedan presentar.

Estas influencias artificiales se deben en muchos casos a eventos que pueden llevar a que una serie de datos presenten variaciones con el tiempo que son notorias, por ejemplo, las fallas y mejoras de aparatos y técnicas de adquisición de datos climatológicos debido a que las mejoras muchas veces no documentadas en la ubicación de las estaciones de medición o en los métodos de procesamiento de los datos empleados pueden introducir no-homogeneidades en las series de tiempo.

Sin embargo, hay variaciones que han sido producto de otros fenómenos y el cambio climático como consecuencia del calentamiento global, los cuales se deben diferenciar de inconsistencias en la información y a las cuales se les hace el respectivo análisis.

Tabla 5-115 Inventario de información de precipitación de las estaciones IDEAM disponibles

[illegible]

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM -, 2018, elaborado por EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

Así, se procede a evaluar la homogeneidad de la información para precipitación en las nueve (9) estaciones y poder detectar posibles inconsistencias en las series. Para ello se utilizan métodos gráficos como lo son el de distribución de precipitaciones mensuales, la curva de masa sencilla y la curva de doble masa.

Inicialmente se hacen las gráficas de distribución de precipitaciones mensuales, en las cuales se puede observar el comportamiento mensual de las lluvias a lo largo de toda la serie para cada estación de manera independiente. De dicho análisis se encuentran ocho (8) estaciones consistentes y una (1), la estación Los Campanos, en la cual se detecta falta de homogeneidad y consistencia en la información. Para la elaboración de los gráficos mencionados se completan las series, y, al ser pocos los datos faltantes, se hace uso de los valores medios mensuales obtenidos de la serie original, de tal manera que no se genere alteraciones; posteriormente se evalúa la consistencia.

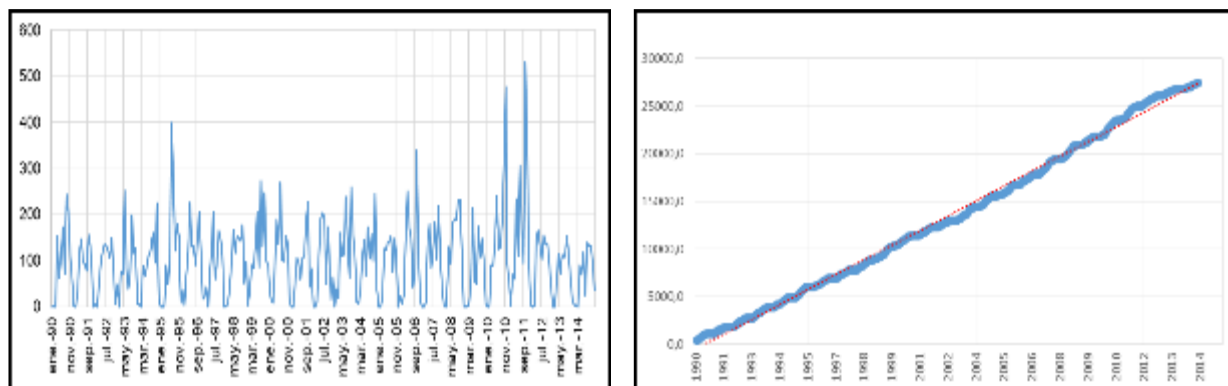
También se realiza la regresión gráfica sobre una curva de masa sencilla; los cambios debidos a inconsistencias en los datos se identifican fijando una línea de tendencia ajustada mediante mínimos cuadrados, y evaluando el coeficiente de determinación de la regresión lineal efectuada.

Posteriormente, se realiza un análisis de consistencia que permite evaluar la homogeneidad de una serie con respecto a otra que se sabe que es homogénea. Para ello, se aplica el método de la curva de doble masa en el cual las parejas de valores en la estación analizada y en la estación índice (considerada homogénea) se acumulan y representan gráficamente. La estación índice para el presente análisis fue la Estación Sabanalarga, debido a la homogeneidad gráfica presentada en la distribución de precipitaciones mensuales y la tendencia más lineal en la gráfica de masa simple. En el caso del método de la curva de doble masa, los datos han sido emparejados y graficados tal como recomienda el método, es decir, dibujando los valores acumulados de la estación analizada en el eje de las ordenadas y los valores correspondientes a la estación índice en el eje de las abscisas. El método lo que supone es que, mediante la adición sucesiva de valores, los errores aleatorios tienden a cancelarse unos con otros, y en este caso la

relación lineal se ve reforzada mediante la repetición efectuada. Un cambio importante en esa relación lineal, o diferentes tendencias sostenidas y pronunciadas, pueden ser un indicativo de inconsistencia o no homogeneidad de los datos. Los tres gráficos para el análisis de consistencia para cada estación, mencionado anteriormente, pueden verse desde la Figura 5-83 a la Figura 5-91.

La estación Sabanalarga presenta consistencia en la información como se puede observar en la Figura 5-82, en la cual se observa como la distribución de la precipitación a lo largo de la serie solo tiene unas leves variaciones; estas variaciones se asocian más a ocurrencia de fenómenos de El Niño y La Niña, entre las que se destaca el aumento de precipitaciones entre el 2011-2012 y una reducción de precipitaciones entre el 2012 y el 2014. Como ya se mencionó, esta es la estación que se utilizó como referencia en las curvas de doble masa de las otras estaciones.

Figura 5-82 Análisis gráfico de precipitación (mm) Estación Sabanalarga – 1990 – 2014

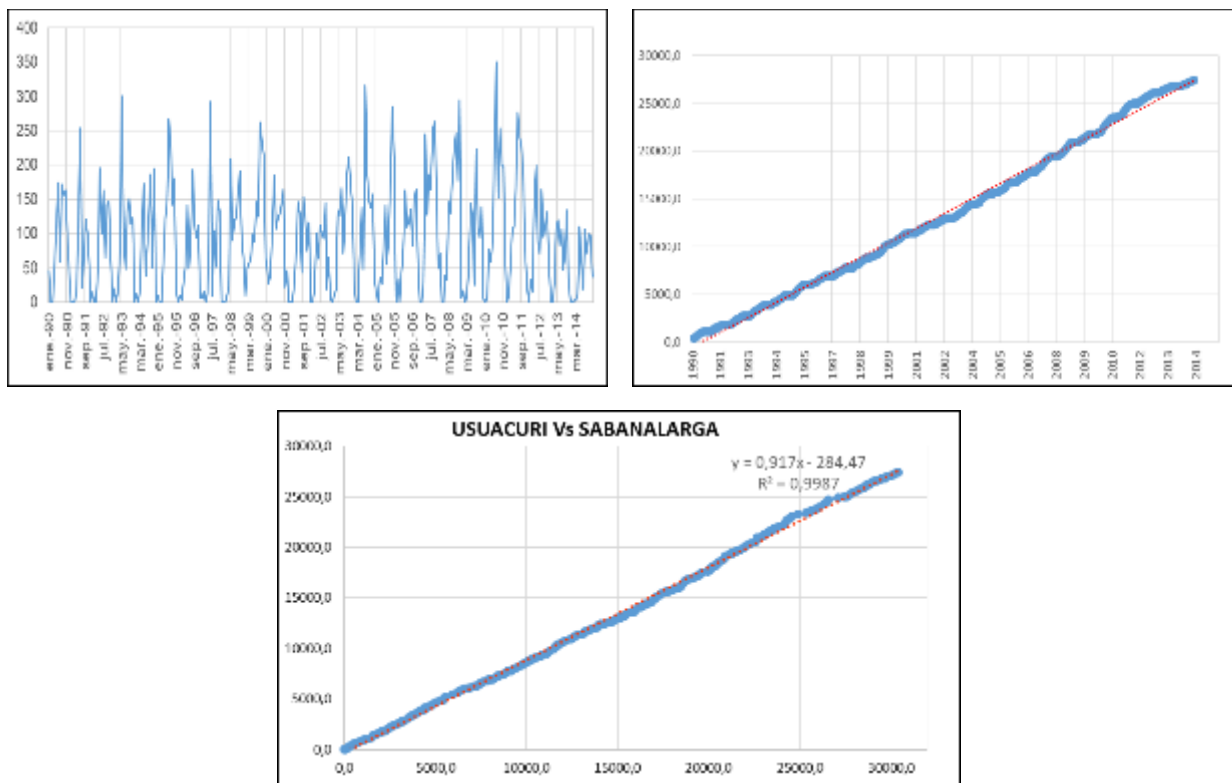


Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM -, 2018, elaborado por EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

La estación Usiacurí presenta consistencia en la información como se puede observar en la Figura 5-83 en la cual la distribución de la precipitación a lo largo de la serie solo tiene unas leves variaciones las cuales se asocian más a fenómenos del Niño y La Niña. Adicionalmente, en la curva de doble masa se corrobora la consistencia de la información, dando una tendencia lineal que demuestra coherencia de esta estación con las demás

estaciones de la zona. Como se observa en la gráfica de distribución de precipitaciones mensuales en la estación Usiacurí son más frecuentes las precipitaciones por debajo de 150mm mensuales. La curva de masa simple para la estación tiene una tendencia lineal que demuestra su homogeneidad y consistencia, lo cual se corrobora con la curva de doble masa que se graficó frente a los datos de la información de la estación Sabanalarga; esto demuestra que no hay desviaciones importantes que pongan en duda la confiabilidad de la información.

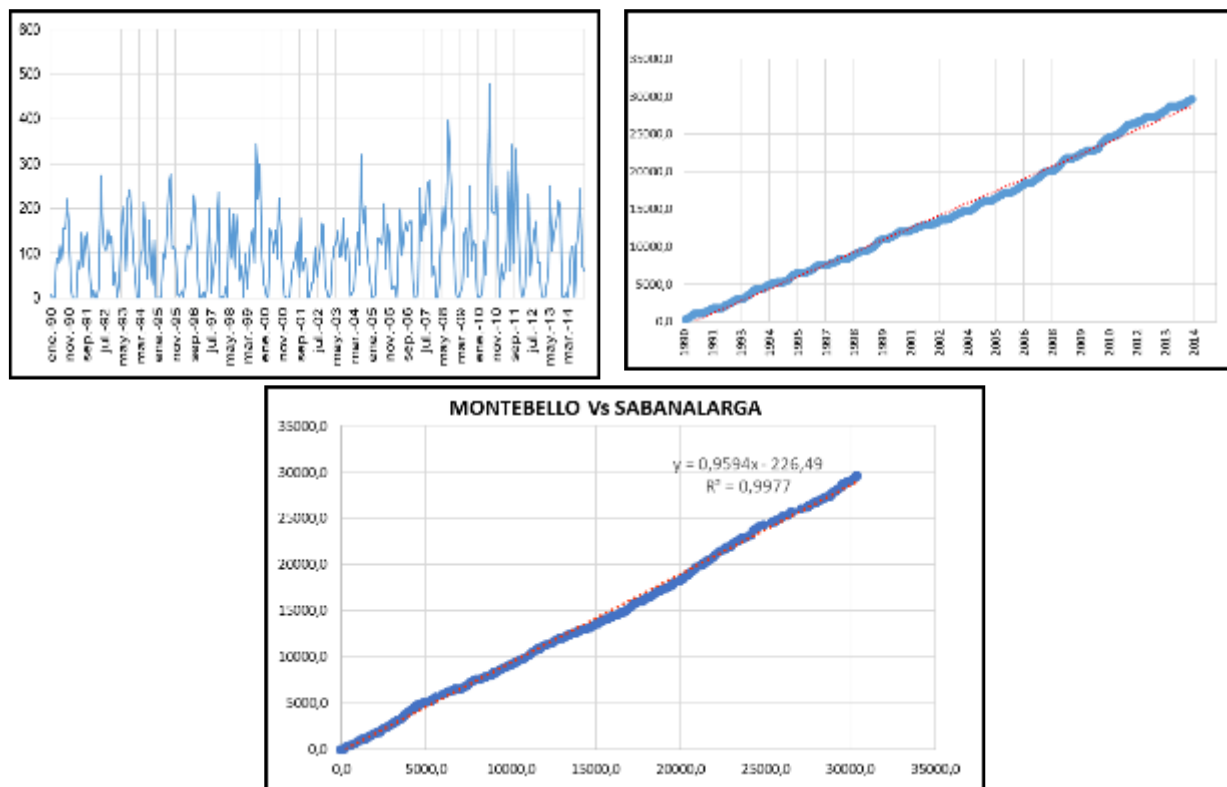
Figura 5-83 Análisis gráfico de precipitación (mm) - Estación Usiacuri – 1990 – 2014



Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM -, 2018, elaborado por EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

La estación Montebello presenta consistencia y homogeneidad en la información como se puede observar en la Figura 5-84, en la cual la distribución de la precipitación presenta leves variaciones a lo largo del tiempo, que se asocian a ocurrencia de fenómenos de El Niño y La Niña, entre las que se destaca el aumento de precipitaciones en los años 2000, 2004, 2008 y 2011 y una reducción entre el 2001 y 2003.

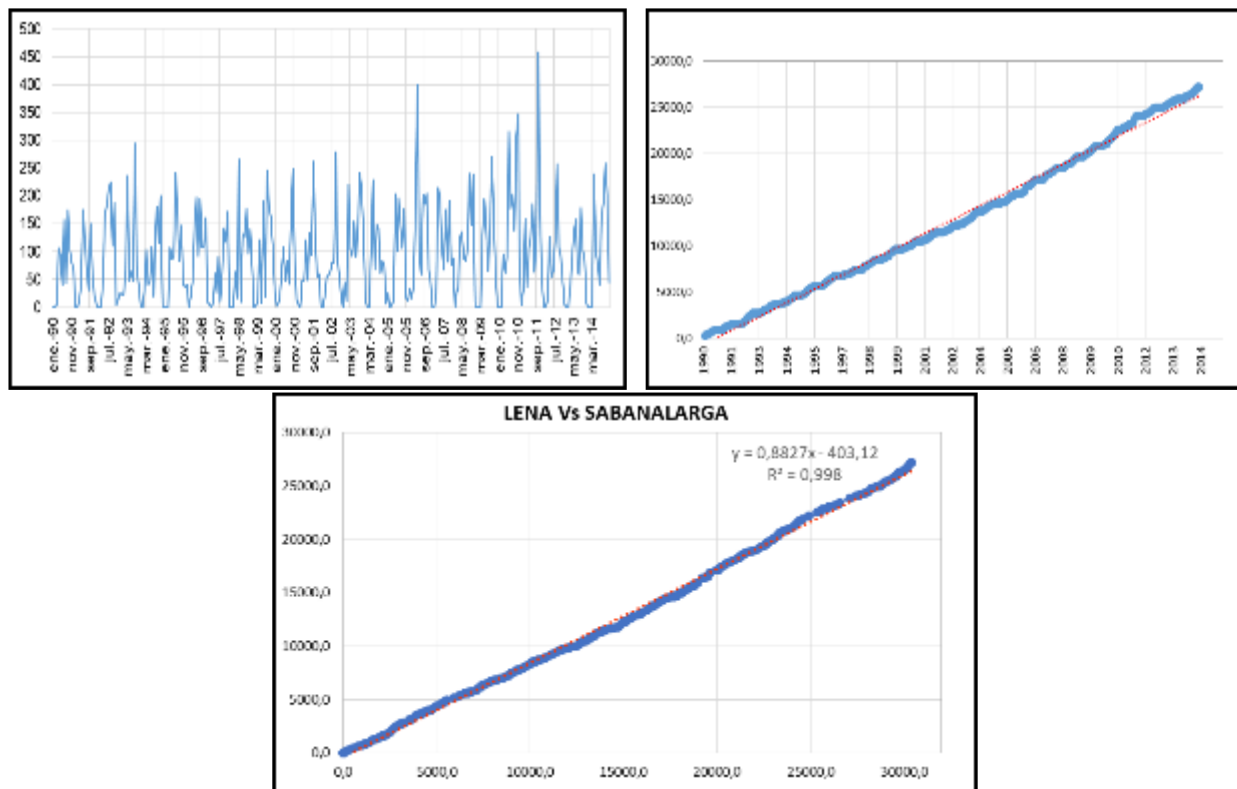
Figura 5-84 Análisis gráfico de precipitación (mm) Estación Montebello – 1990 – 2014



Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM -, 2018, elaborado por EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

La estación Lena presenta consistencia y homogeneidad en la información como se puede observar en la Figura 5-85, en la cual la distribución de la precipitación presenta leves variaciones que se asocian a ocurrencia de fenómenos de El Niño y La Niña, entre las que se destaca el aumento de precipitaciones en los años 2006, 20011-2012 y 2011 y una reducción en los años 1990, 1997, 2008 y 2012. La estación evidencia una homogeneidad y consistencia de la información tanto en la curva de masa simple como en la de doble masa, demostrándose solo unas leves variaciones propias de la ocurrencia de fenómenos climáticos, más no presenta inconsistencias para el uso de los datos.

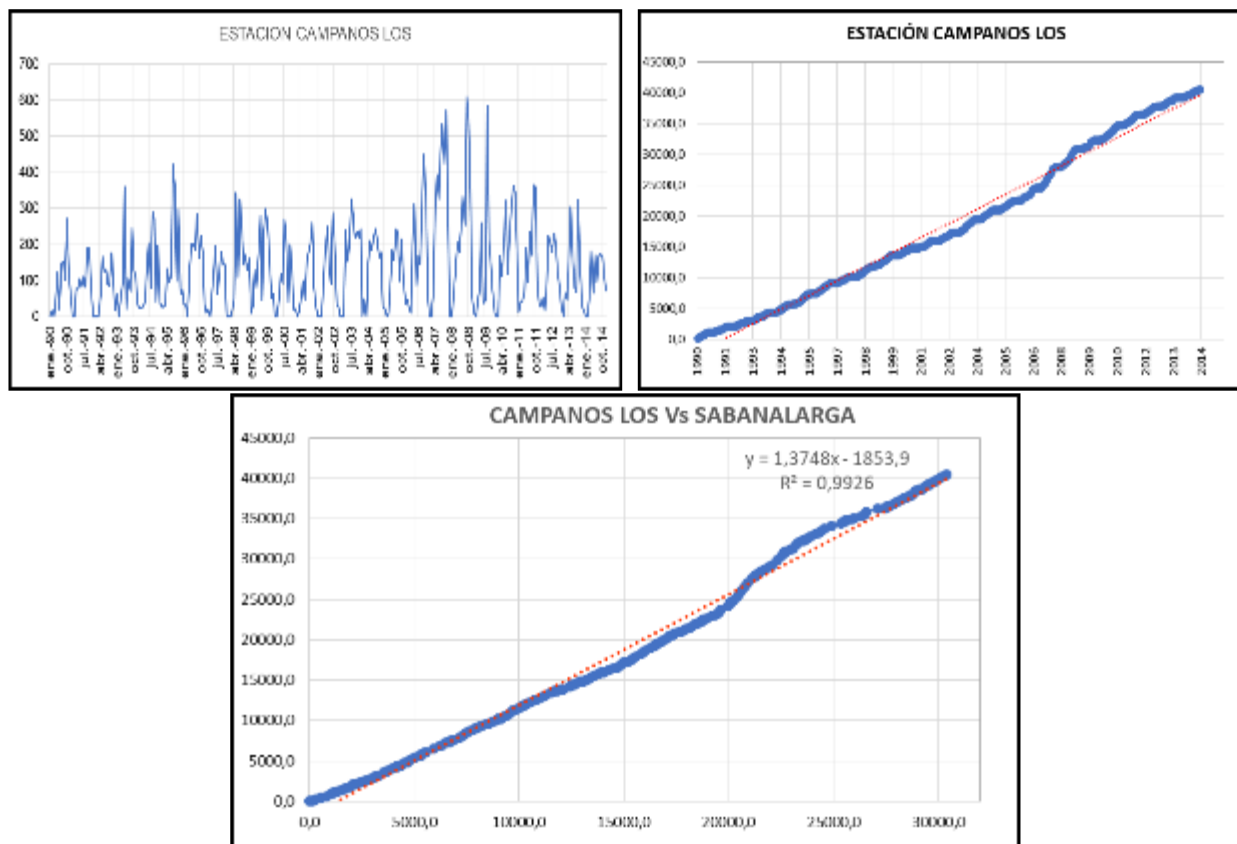
Figura 5-85 Análisis gráfico de precipitación (mm) Estación Lena – 1990 – 2014



Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM -, 2018, elaborado por EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

La estación Los Campanos no evidencia la consistencia y homogeneidad en la información que han venido presentando las demás las estaciones, como se puede detallar en la Figura 5-86 y Figura 5-84 debido principalmente a la precipitación en el periodo 2007 - 2010.

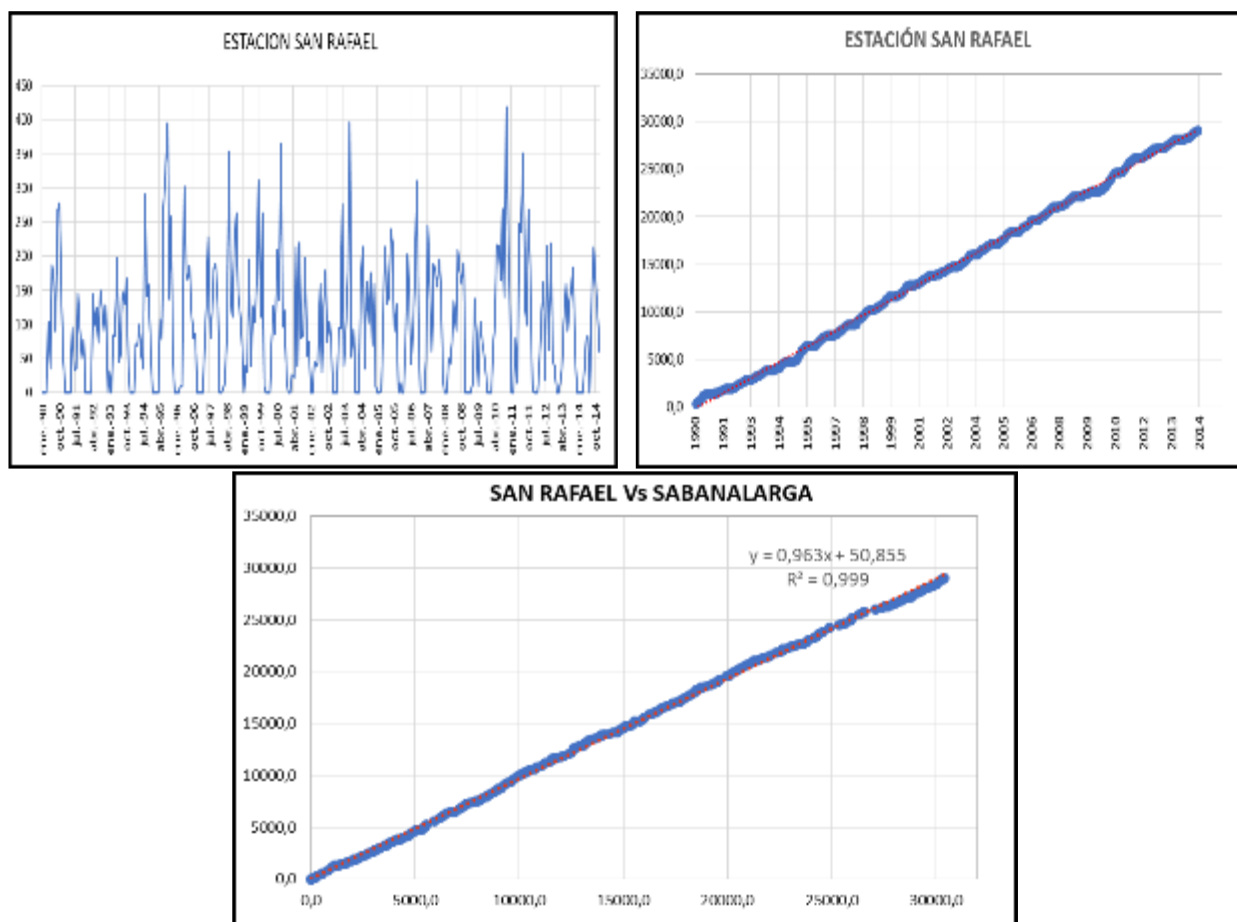
Figura 5-86 Análisis gráfico de precipitación (mm) Estación Los Campanos – 1990 – 2014



Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM -, 2018, elaborado por EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

La distribución de la precipitación a lo largo de la serie de datos de la estación San Rafael presentan importantes variaciones que se asocian a la ocurrencia de fenómenos climáticos, como se aprecia en la Figura 5-87; entre estas variaciones se destacan el aumento de precipitaciones en los años 1995, 2001-2003 y 2011 y una reducción importante en los años 1991, 1993, y 2013.

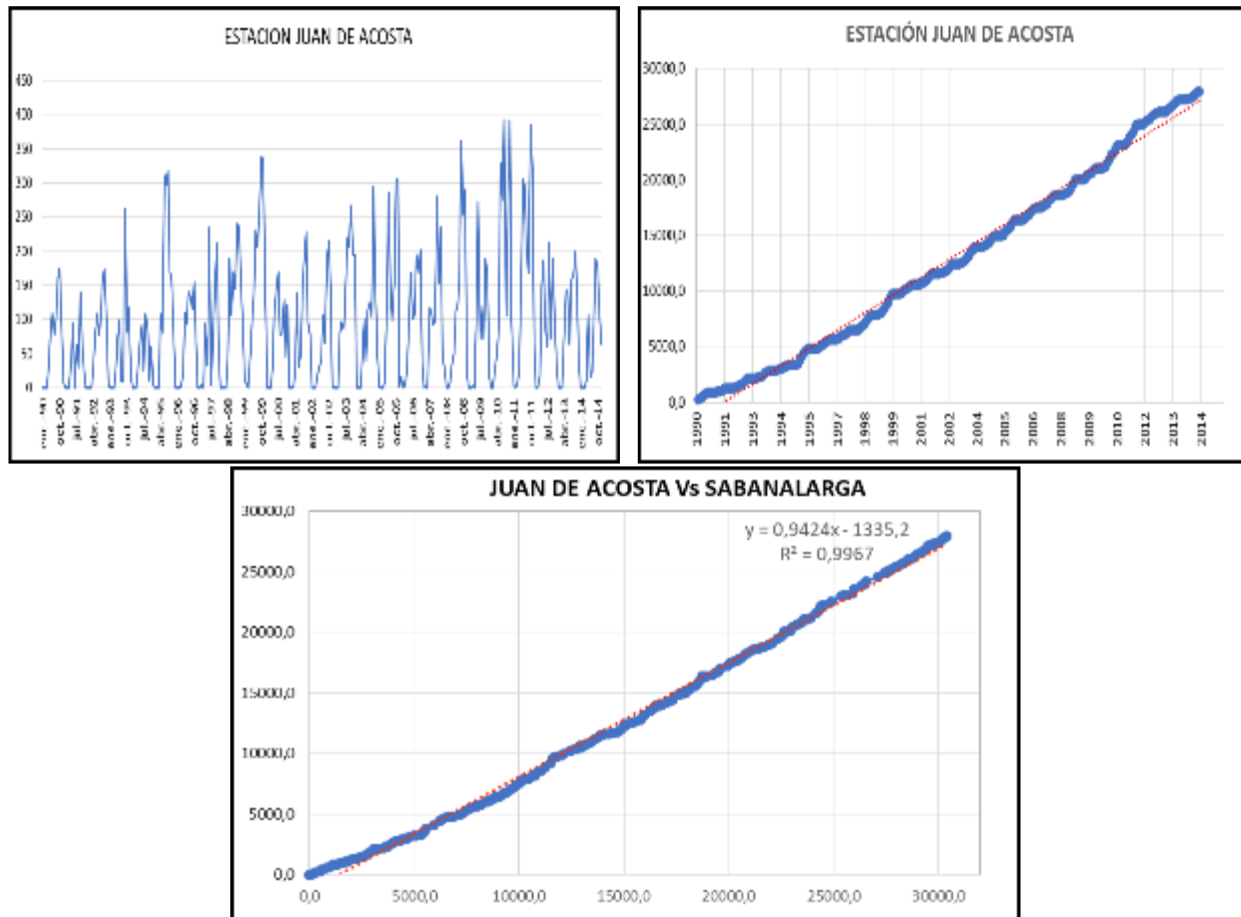
Figura 5-87 Análisis gráfico de precipitación (mm) Estación San Rafael – 1990 – 2014



Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM -, 2018, elaborado por EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

En la Figura 5-88 se observa que la distribución de la precipitación a lo largo de la serie de datos de la estación Juan de Acosta presenta importantes variaciones que se asocian a la ocurrencia de fenómenos climáticos, entre las que se destaca el aumento de precipitaciones en los años 2009, 2010 y 2011 y una reducción importante en los años 1991 y 1994; sin embargo, la serie presenta consistencia y homogeneidad en la información por lo cual se procede a hacer uso de las serie de esta estación.

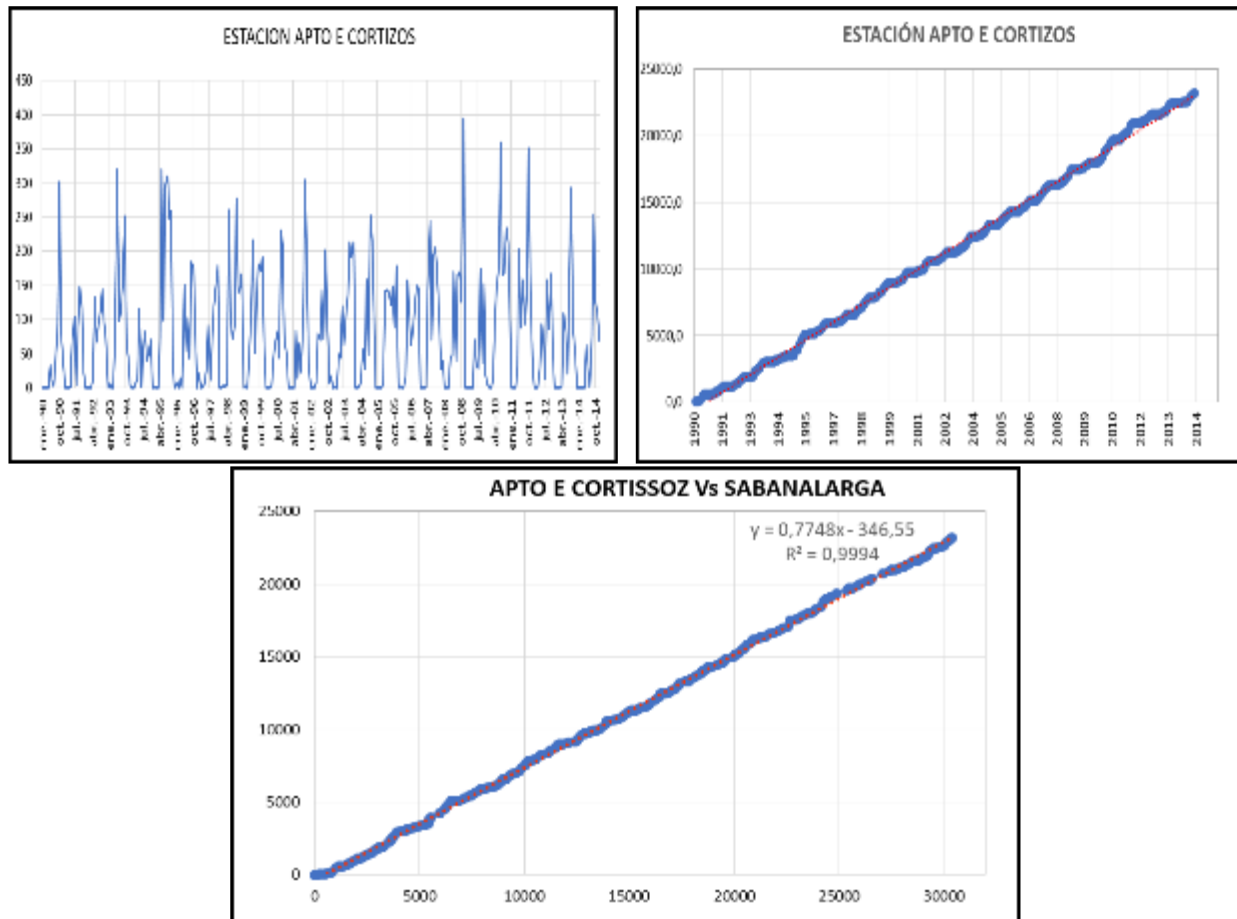
Figura 5-88 Análisis gráfico de precipitación (mm) Estación Juan de Acosta – 1990 – 2014



Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM -, 2018, elaborado por EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

La estación Apto E Cortissoz presenta la consistencia y homogeneidad en la información dada la tendencia lineal que se puede observar en la Figura 5-89. Adicionalmente, se observan incrementos importantes de precipitación en algunos años, los cuales fuera de ser una inconsistencia, fueron ocasionados por fenómenos climáticos,

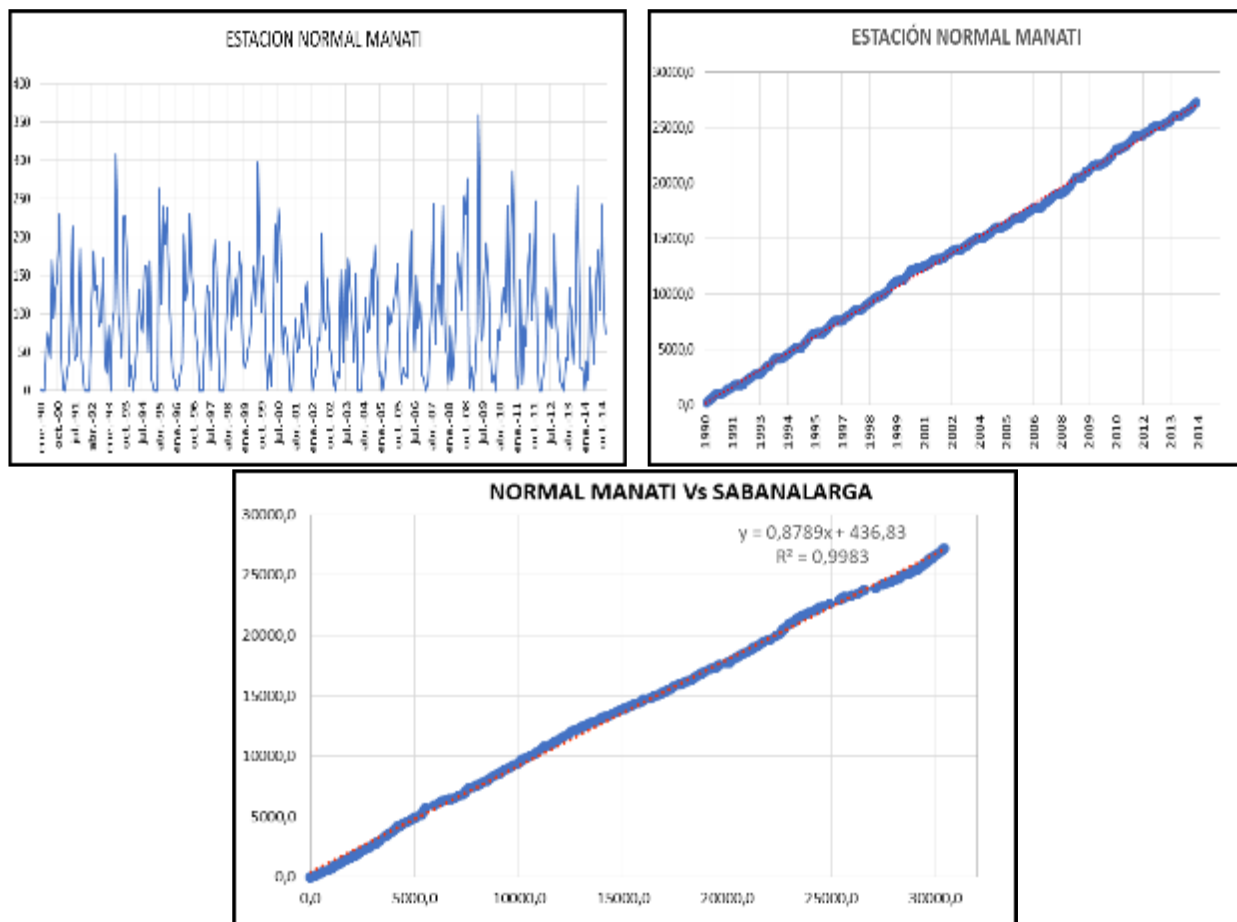
Figura 5-89 Análisis gráfico de precipitación (mm) Estación Apto E Cortisoz – 1990 – 2014



Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM -, 2018, elaborado por EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

En la Figura 5-90 se puede observar la consistencia y homogeneidad de la serie correspondiente a la estación Manatí, en la cual se observan variaciones de épocas de sequía y pluviosidad por fenómenos climáticos, siendo la variación más relevante el aumento de la precipitación en el año 2010 y la reducción del año 2000-2001.

Figura 5-90 Análisis gráfico de precipitación (mm) Estación Normal Manatí – 1990 – 2014



Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM -, 2018, elaborado por EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

Es así como el análisis de precipitación se realiza a partir de las estaciones Usiacurí, Sabanalarga, Montebello, Lena, San Rafael, Juan de Acosta, Apto E Cortissoz y Normal Manatí, dada la homogeneidad y consistencia que presentó la información de estas estaciones en cuanto a datos de precipitación.

5.1.9.2.2.2.1 Distribución temporal de la precipitación

La precipitación presenta variaciones en el tiempo, las cuales se pueden evaluar con periodicidad mensual y periodicidad anual. La periodicidad mensual varía por ciclos mientras que para la anual, aunque debería ser semejante, presenta variaciones por la ocurrencia de fenómenos climáticos como El Niño y La Niña y la influencia del cambio climático. A continuación, se hace el respectivo análisis de la precipitación media con frecuencia mensual y anual las estaciones del IDEAM seleccionadas para el análisis climatológico.

5.1.9.2.2.2.1.1 Precipitación media mensual

El análisis de la precipitación media mensual se hace con las series de precipitación media mensual de las estaciones del IDEAM seleccionadas y analizadas previamente, para el periodo 1990 a 2014 como había sido mencionado. En la Tabla 5-116 se resumen los valores medios mensuales de la serie.

Tabla 5-116 Precipitación media mensual (mm) período 1990 – 2014

DATO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM MENS
Estación Usiacuri	10,0	6,1	21,4	71,3	137,3	126,2	125,7	144,8	150,1	145,9	119,4	32,2	90,9
Estación Sabanalarga	10,1	6,6	35,2	106,5	144,6	128,3	147,3	132,7	141,0	192,6	133,8	37,2	101,3
Estación Montebello	5,5	11,1	20,6	85,0	145,2	131,6	129,2	177,3	168,3	159,1	115,3	36,4	98,7
Estación Lena	6,1	7,5	29,4	94,6	139,4	106,9	107,0	130,0	164,3	161,1	110,0	31,8	90,7
Estación San Rafael	1,9	1,8	22,0	81,1	146,0	135,7	116,2	167,9	169,6	177,2	113,8	27,2	96,7
Estación Juan de Acosta	1,2	0,6	2,8	46,2	99,9	137,9	117,6	147,3	165,6	204,5	151,0	44,3	93,2
Estación Apto E Cortissoz	1,5	0,3	1,8	26,7	124,7	84,5	93,3	113,4	168,2	165,9	113,2	33,6	77,3
Estación Normal Manatí	12,0	11,6	33,6	84,1	146,0	114,5	107,9	143,9	141,2	149,2	106,9	37,1	90,7

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

Como se puede observar en la Figura 5-91 y la Figura 5-92 en todas las estaciones se presenta un régimen de precipitaciones monomodal con algunas variaciones de intensidad que se describen más adelante.

Este régimen está influenciado por la ubicación dentro de la zona de confluencia intertropical, el paso de las ondas del este, la presencia de huracanes en el Caribe, la distancia que tiene frente a la línea costera, la elevación sobre el nivel del mar, los ciclos ENSO, entre otros factores de nivel local. En la zona de estudio, la precipitación que se presenta es conectiva y por convergencia, movida por flujos de calor de la superficie hacia la atmósfera y por la confluencia de los vientos alisios, ante la lejanía de unidades orográficas.

Los periodos de lluvia y sequía se describen así:

- **Periodo de lluvias**

Como tal se considera que hay un solo periodo de lluvias que inicia en el mes de abril y se extiende hasta el mes de noviembre, aunque se presenten variación en las precipitaciones mes a mes.

El periodo de lluvias inicia en el mes de abril, mes en el cual incrementan considerablemente los volúmenes de precipitación y continúa incrementando hasta el mes de mayo el cual presenta un primer pico importante de pluviosidad con un promedio de 142,3 mm. En mayo se registró la mayor precipitación en la Estación San Rafael con 146 mm, muy nivelada en volúmenes con las estaciones Normal Manatí, Montebello y Sabanalarga. La estación que registra menor precipitación en el mes de mayo es la estación Juan de Acosta con 99,9mm.

Posteriormente, en junio y julio se presenta una reducción de las precipitaciones, siendo la estación Sabanalarga la que presenta mayores precipitaciones en estos meses con 147,3mm, seguida por las estaciones Juan de Acosta y San Rafael. Las estaciones con menores precipitaciones en este periodo es la estación Apto E Cortissoz con 84,5mm.

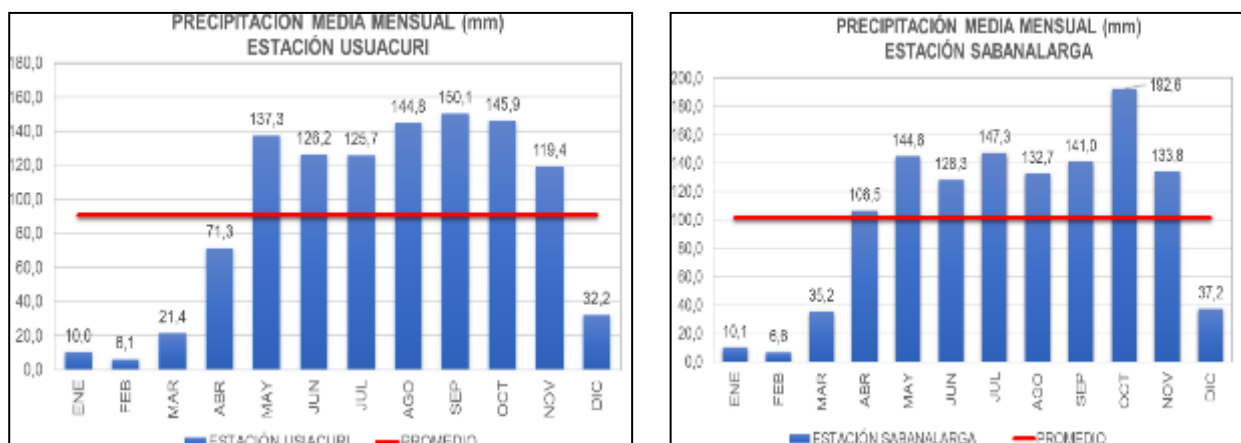
Finalmente vienen los meses de mayor intensidad en la precipitación que van desde agosto hasta noviembre, siendo octubre el mes más lluvioso con un promedio de 177,4mm. El mayor registro de precipitación media mensual también se da en octubre en la estación Juan de Acosta con una precipitación de 204,5mm seguido por la estación

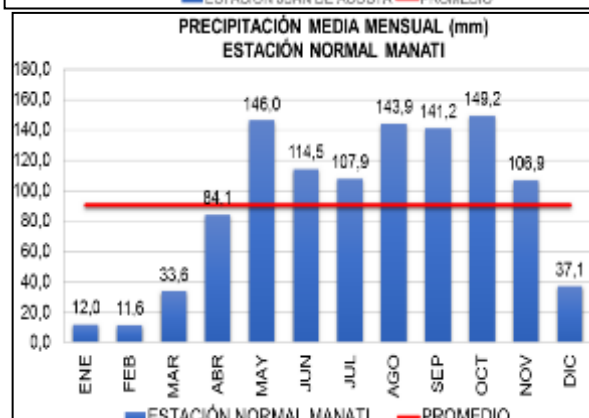
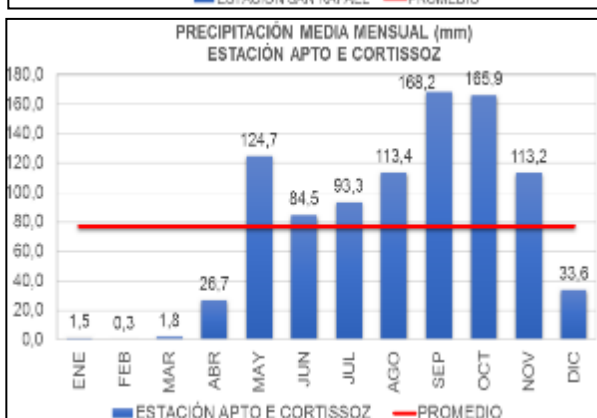
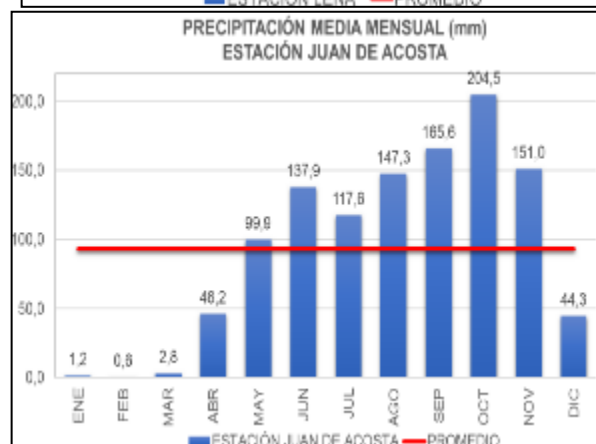
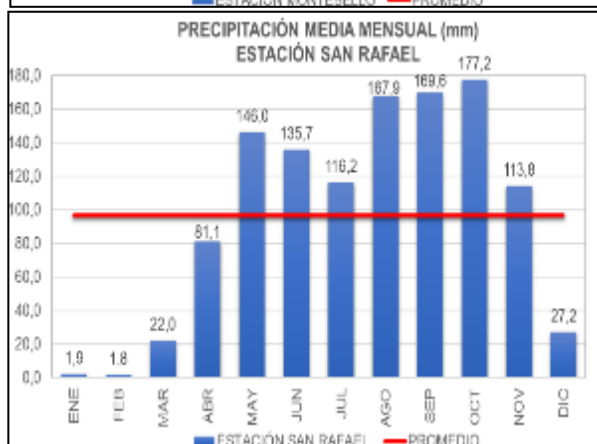
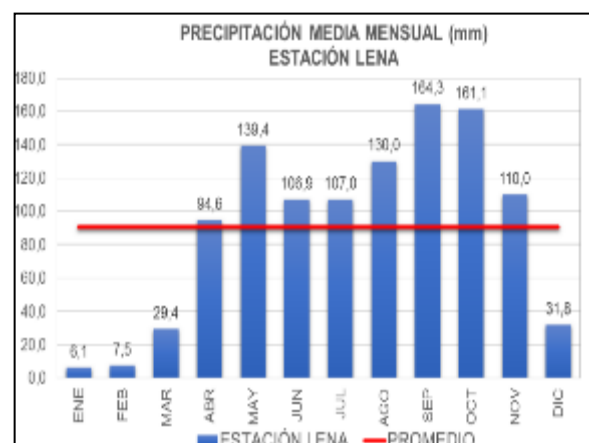
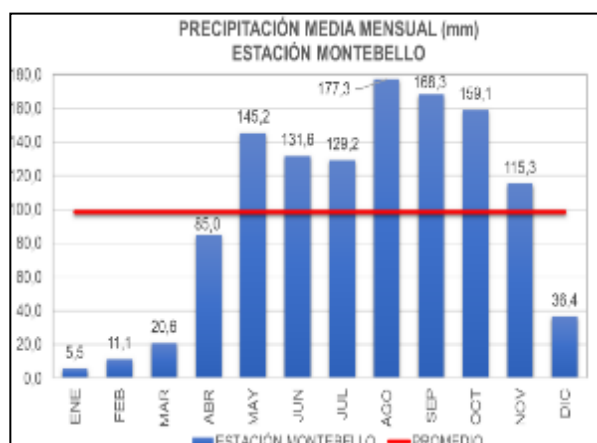
Sabanalarga con 192,6mm y las menores precipitaciones de estos meses las registra la estación Normal Manatí en noviembre siendo de 106,9mm.

- **Periodo seco**

- En diciembre disminuyen considerablemente las precipitaciones, extendiéndose el periodo seco hasta el mes de marzo, sin embargo, la sequía se manifiesta con mayor intensidad desde enero hasta marzo, siendo enero y febrero los meses más secos del año con precipitaciones promedio de 7mm en el periodo de análisis, incluso hubo meses sin precipitación alguna.

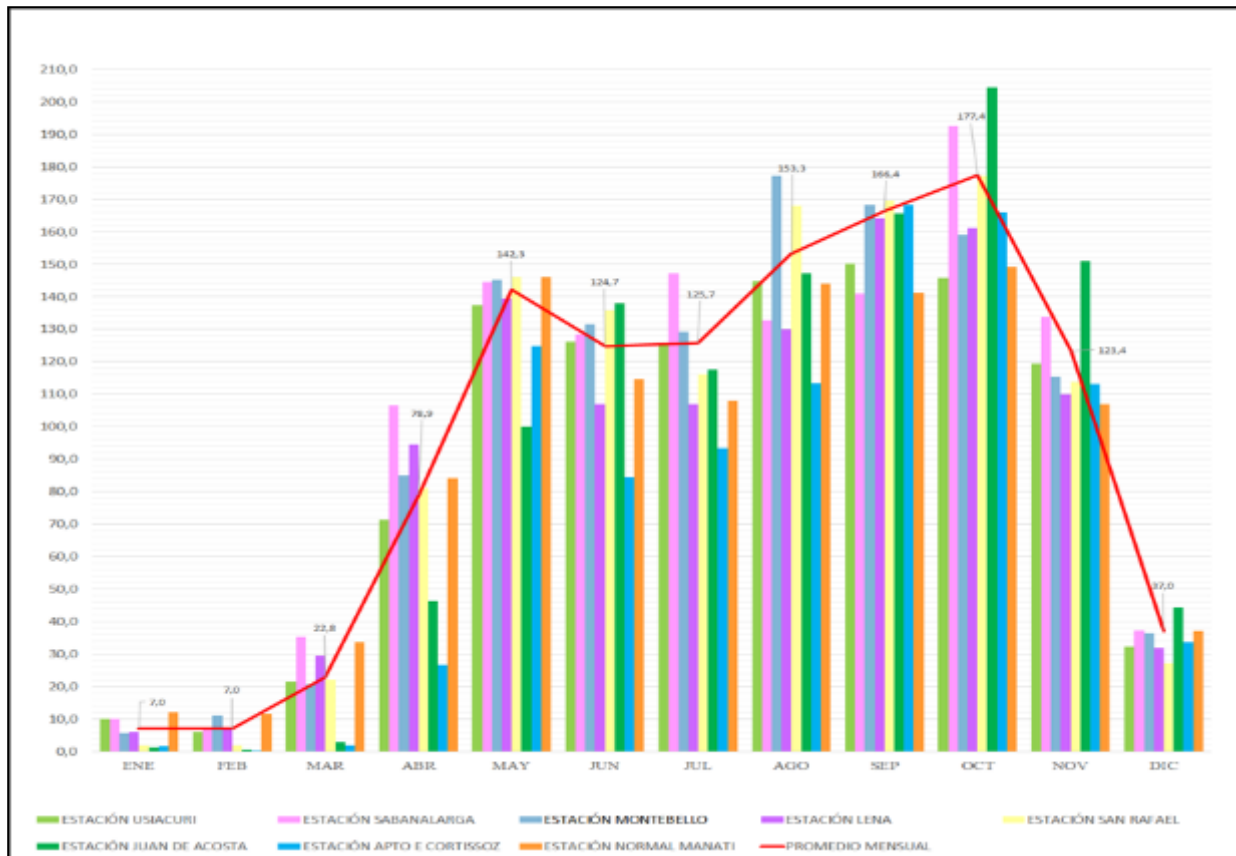
Figura 5-91 Distribución temporal de la precipitación media mensual (mm) 1990 – 2014





Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

Figura 5-92 Distribución temporal de la precipitación media mensual (mm) consolidada 1990 – 2014



Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

5.1.9.2.2.1.2 Precipitación media anual

En la Tabla 5-117 se presentan los valores medios anuales de precipitación para las estaciones de interés y el análisis gráfico se presenta en la Figura 5-93 y Figura 5-94.

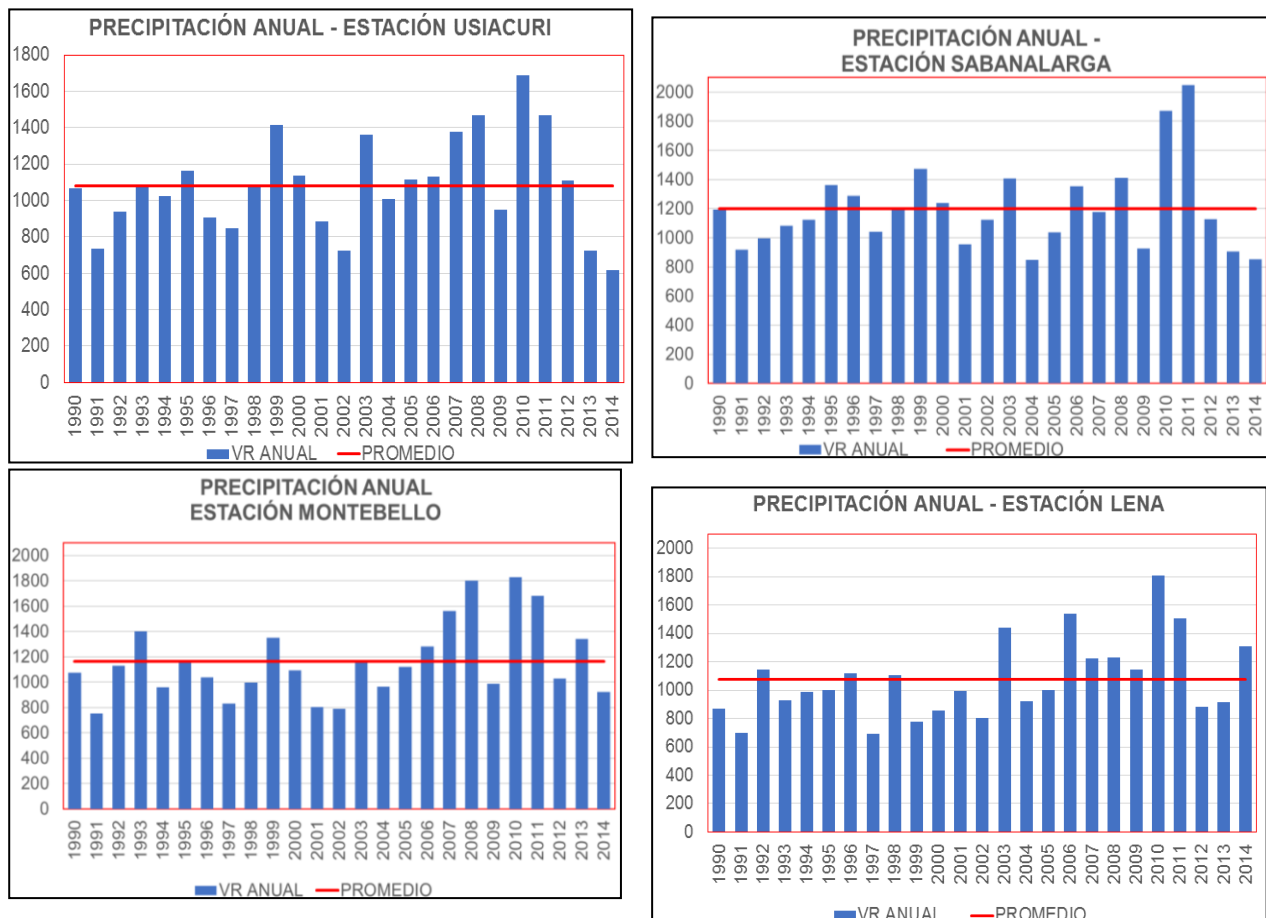
Tabla 5-117 Precipitación media anual (mm) periodo 1990 – 2014

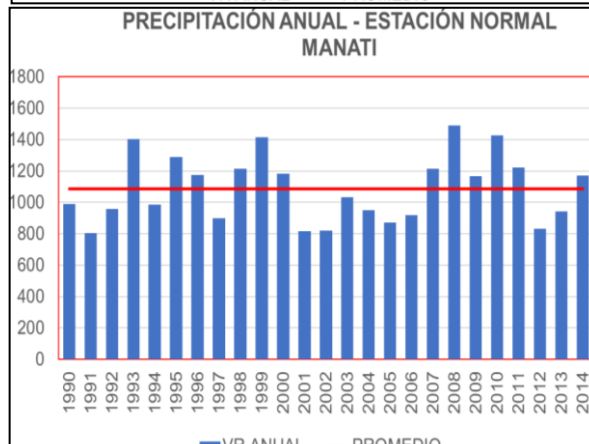
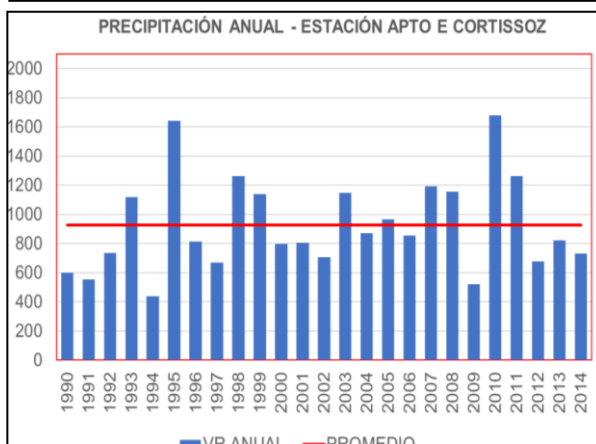
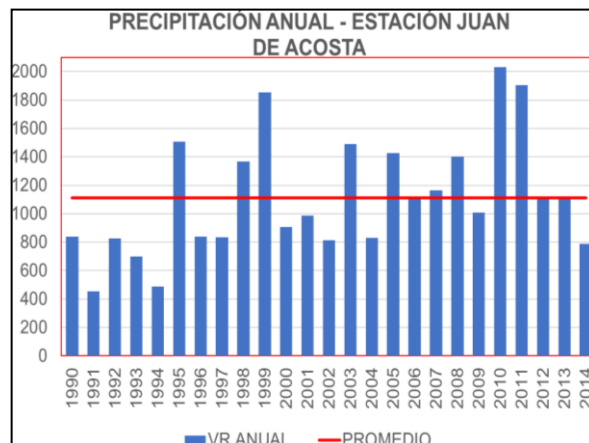
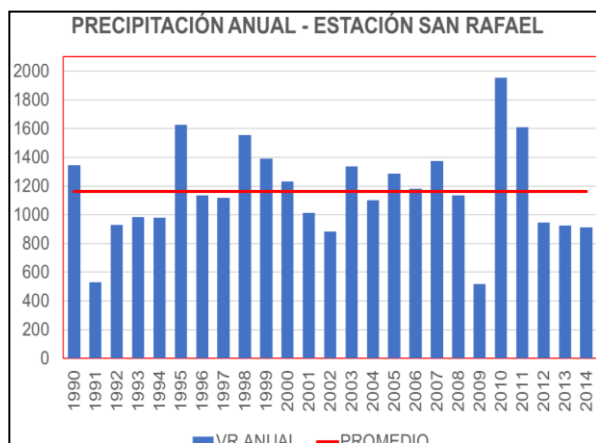
AÑO	ESTACION USIACURÍ	ESTACIÓN SABANALARGA	ESTACIÓN MONTEBELLO	ESTACIÓN LENA	ESTACIÓN SAN RAFAEL	ESTACIÓN JUAN DE ACOSTA	ESTACIÓN APTO E CORTISOZ	ESTACIÓN NORMAL MANATÍ	PROMEDIO ANUAL
1990	1.069,0	1195,0	1.076,4	870,0	1346,0	838,4	599,5	990,8	998,1
1991	734,7	917,0	751,7	696,0	532,0	454,1	555,3	803,5	680,5
1992	936,6	996,0	1.131,0	1.148,0	930,0	825,3	735,4	958,2	957,6
1993	1.080,0	1.083,0	1.400,0	931,0	986,0	697,6	1.118,0	1.404,9	1.087,6
1994	1.023,1	1.122,0	959,8	989,0	978,0	487,0	439,8	987,4	873,3
1995	1.162,6	1.360,0	1.176,2	1001,0	1628,0	1.507,6	1.642,7	1.290,6	1.346,1
1996	907,3	1.286,0	1.036,8	1.118,0	1.135,0	839,0	812,2	1.175,2	1.038,7
1997	845,9	1.043,0	828,7	691,0	1.118,0	834,7	670,2	899,6	866,4
1998	1.081,2	1196,0	997,5	1.103,0	1.556,0	1.367,5	1.264,7	1216,1	1.222,8
1999	1.416,7	1.474,0	1.349,6	777,0	1.392,0	1.853,2	1.140,1	1.413,4	1.352,0
2000	1.136,9	1.239,0	1.092,8	857,0	1.231,0	904,3	796,2	1.183,2	1.055,1
2001	884,8	956,5	802,2	991,0	1.015,0	985,9	807,5	816,4	907,4
2002	722,6	1.122,0	791,1	806,0	882,0	815,2	707,3	820,4	833,3
2003	1.362,4	1.409,0	1.169,0	1.438,0	1.338,0	1.490,6	1.147,8	1.034,9	1.298,7
2004	1.006,8	849,0	962,3	925,0	1.100,0	829,8	873,6	952,0	937,3
2005	1.114,1	1.035,0	1.119,7	999,6	1.287,0	1424,7	967,1	871,9	1.102,4
2006	1.132,8	1.353,0	1.279,6	1.537,0	1.182,0	1.120,8	856,4	918,6	1.172,5
2007	1.376,7	1.175,0	1.562,6	1.225,6	1.374,0	1.164,1	1.193,6	1.212,5	1.285,5
2008	1.466,6	1.413,0	1.800,9	1.227,0	1.135,0	1.402,9	1.157,5	1.488,6	1.386,4
2009	946,9	925,0	987,2	1.147,0	518,0	1.006,3	520,9	1.168,8	902,5
2010	1.690,2	1.870,0	1.826,2	1.806,0	1.954,0	2030,8	1.680,0	1.426,3	1.785,4
2011	1.468,5	2.049,0	1.683,0	1.507,4	1.611,0	1.905,0	1.262,0	1.220,9	1.588,4
2012	1111,1	1.127,8	1.026,6	885,0	947,0	1.106,6	679,3	833,5	964,6
2013	724,5	907,5	1.342,8	913,0	926,0	1.105,1	821,1	942,7	960,3
2014	615,6	850,0	922,7	1308,0	914,0	787,3	731,5	1.172,9	912,8
PROMEDIO	1.080,7	1.198,1	1.163,1	1.075,9	1.160,6	1.111,4	927,2	1.088,1	-

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

Como se observa en la tabla, la precipitación media anual oscila entre 833,3 mm y 1785 mm para el área de estudio, siendo la máxima y la mínima influenciadas por fenómenos climáticos.

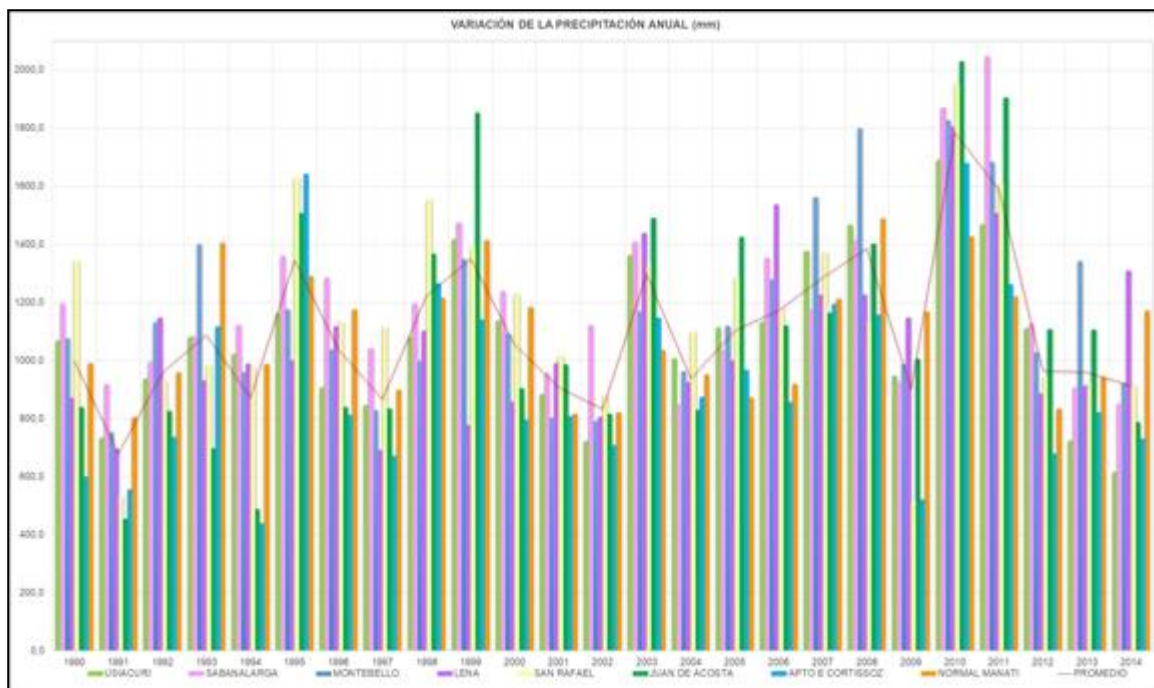
Figura 5-93 Distribución temporal de la precipitación media anual (mm) 1990 – 2014





Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

Figura 5-94 Distribución temporal de la precipitación media anual (mm) consolidada 1990 – 2014



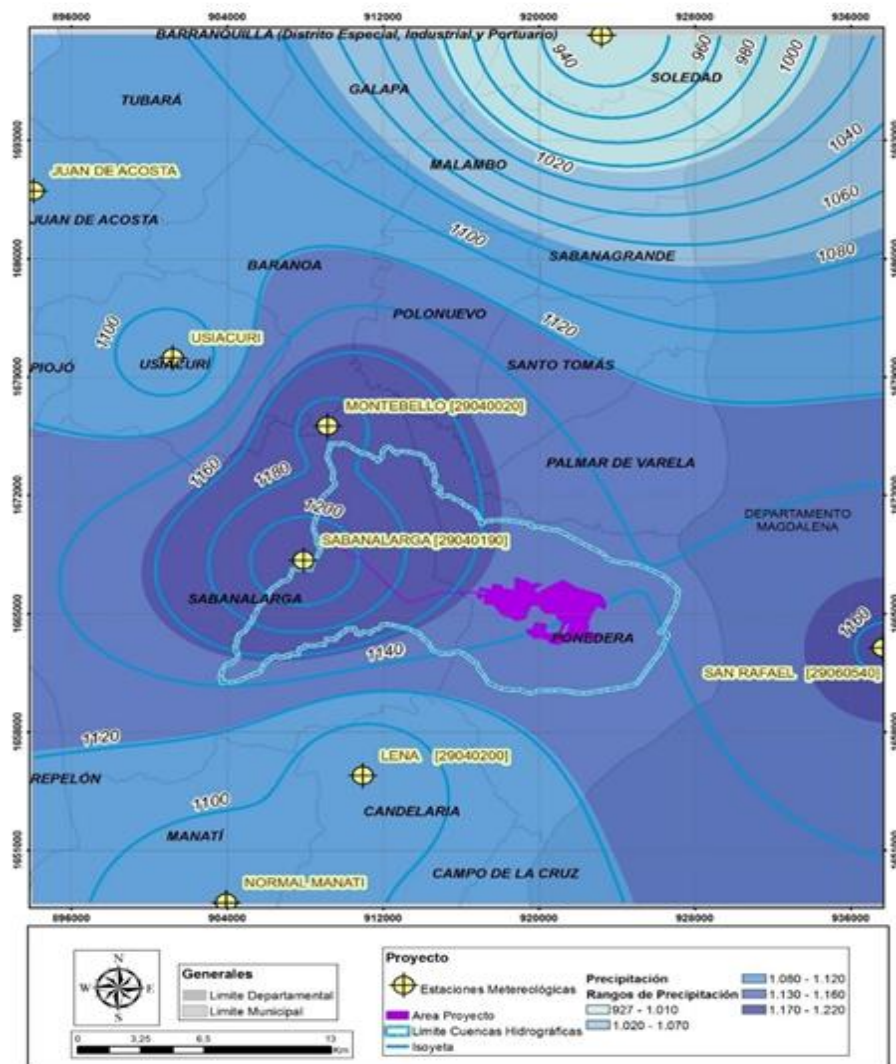
Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

En las estadísticas se puede observar años con precipitaciones bajas como es el caso de 1991, 1994 y 2009 y de precipitaciones altas como es el caso de 1995, 1999, 2010 y 2011, asociados respectivamente a fenómenos de niño y niña.

5.1.9.2.2.2 Distribución espacial de la precipitación

En la Figura 5-95 se puede observar la distribución espacial de la precipitación, en la cual se observa que la zona de la línea de evacuación se presentan las mayores precipitaciones del estudio con promedios de 1.160mm y, para el área del parque solar fotovoltaico se presentan promedios de 1140mm, disminuyendo en sentido norte y en sentido suroccidente.

Figura 5-95 Distribución espacial de la precipitación – Período 1990 – 2014



Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM -, 2018, elaborado por EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

5.1.9.2.2.3 Presión atmosférica

En virtud de su peso, la atmósfera gaseosa de la tierra ejerce una presión sobre la superficie terrestre. Esta presión es igual al peso de una columna vertical de aire de sección transversal unitaria, que actúa por arriba de la superficie de la Tierra, extendiéndose hasta los límites exteriores de la atmósfera.

Para establecer las características de la presión atmosférica en el área de influencia del proyecto, se estimó a partir de los valores de referencia del visor de la aeronáutica para la estación AP. ALM.PADILLA, Código 0015065180, cuyas coordenadas son 1126530,153E 1766919,697N y altura de 4 m.s.n.m. Esta estación se encuentra ubicada en la ciudad de Riohacha y es la estación más cercana con medición de este parámetro, cuyo valor de Presión Atmosférica es de 1010,28 hPa o mb o 757,77 mmHg.

Adicionalmente, se tienen en cuenta los valores de referencia conocidos, que son 760mm de Hg a nivel del mar 0 m.s.n.m., y 560 mm de Hg para Bogotá a 2600 m.s.n.m. Teniendo en cuenta que la línea de evacuación y el parque solar fotovoltaico se encuentra entre los 100 y 10 m.s.n.m. aproximadamente y tomando como promedio altitudinal 55 m.s.n.m. y los valores de referencia que son 760mm de Hg a nivel del mar 0 m.s.n.m., 757,77 mmHg para la estación AP.AL.M.PADILLA y 560 mm de Hg para Bogotá a 2600 m.s.n.m., se hace interpolación a partir de dicha información, obteniéndose una presión atmosférica de 753,88mmHg o 1 005,09 hPa o mb para el área del presente estudio.

5.1.9.2.2.4 Humedad relativa

La humedad relativa hace referencia a la cantidad de agua que está presente en el aire y el nivel de saturación de esta se indica en porcentaje (%) y se considera una fuente de agua disponible para que las plantas la puedan captar. Este parámetro está ligado de manera directa a la distribución de las lluvias a lo largo del tiempo, a los vientos y tiene una relación inversa con la temperatura.

Para el área a licenciar del proyecto, la Humedad Relativa se obtiene a partir de registros instrumentales de las estaciones Apto E Cortissoz y Normal Manatí para un periodo de 25 años correspondiente al mismo periodo de análisis de la precipitación y la temperatura, descartándose los registros de la estación Juan de Acosta por falta de homogeneidad en la información en la serie puesto que los años 1990, 1992-1994, 2007 y 2010-2012 se encuentran muy incompletos e incluso algunos años se encuentran sin información.

5.1.9.2.2.4.1 Humedad relativa media, mínima y máxima mensual

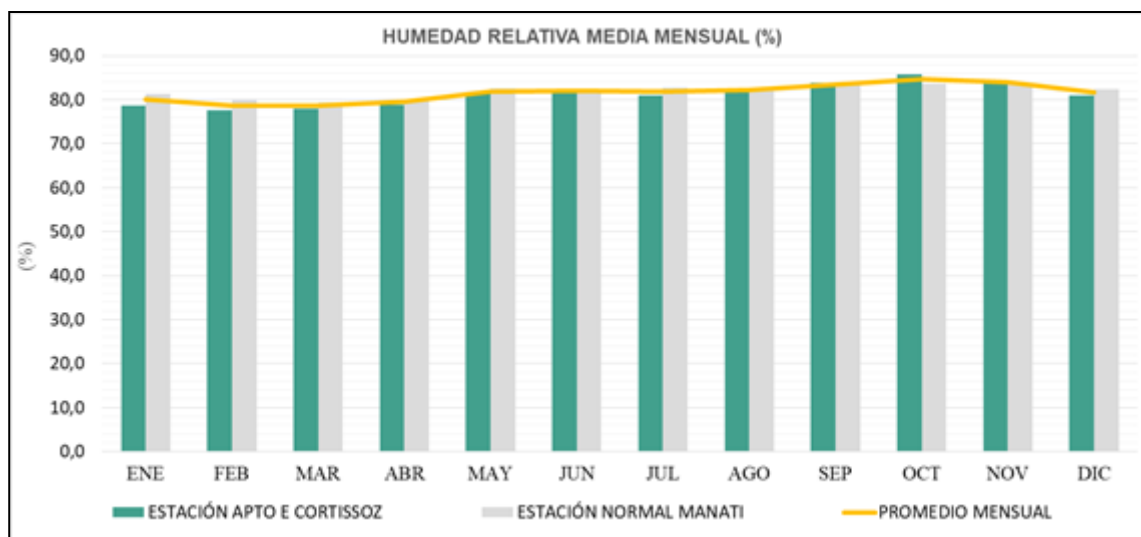
Los valores de humedad relativa mensual del proyecto se encuentran en la Tabla 5-118 y el análisis gráfico se presenta en la Figura 5-96 para valores medios y en la Figura 5-97 para valores medios máximos y medios mínimos.

Tabla 5-118 Humedad relativa media, media máxima y media mínima mensual (%) periodo 1990 – 2014 Estaciones Apto E Cortissoz y Normal Manatí

DATO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM MENS
MEDIOS E. APTO E CORTISSOZ	78,7	77,5	78,0	78,9	81,4	81,9	80,9	81,8	83,8	85,7	84,3	80,9	81,1
MÁXIMOS E. APTO E CORTISSOZ	88,0	86,0	87,0	87,0	91,0	90,0	88,0	89,0	93,0	93,0	90,0	91,0	93,0
MÍNIMOS E. APTO E CORTISSOZ	74,0	73,0	74,0	76,0	78,0	77,0	76,0	77,0	79,0	80,0	81,0	76,0	73,0
MEDIOS E. NORMAL MANATÍ	81,4	79,8	79,4	80,1	82,5	82,3	82,7	82,4	83,2	83,7	83,8	82,3	82,0
MÁXIMOS E. NORMAL MANATÍ	90,0	86,0	89,0	88,0	89,0	89,0	89,0	88,0	89,0	89,0	90,0	89,0	90,0
MÍNIMOS E. NORMAL MANATÍ	74,0	73,0	68,0	70,0	76,0	75,0	74,0	72,0	76,0	79,0	79,0	78,0	68,0

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

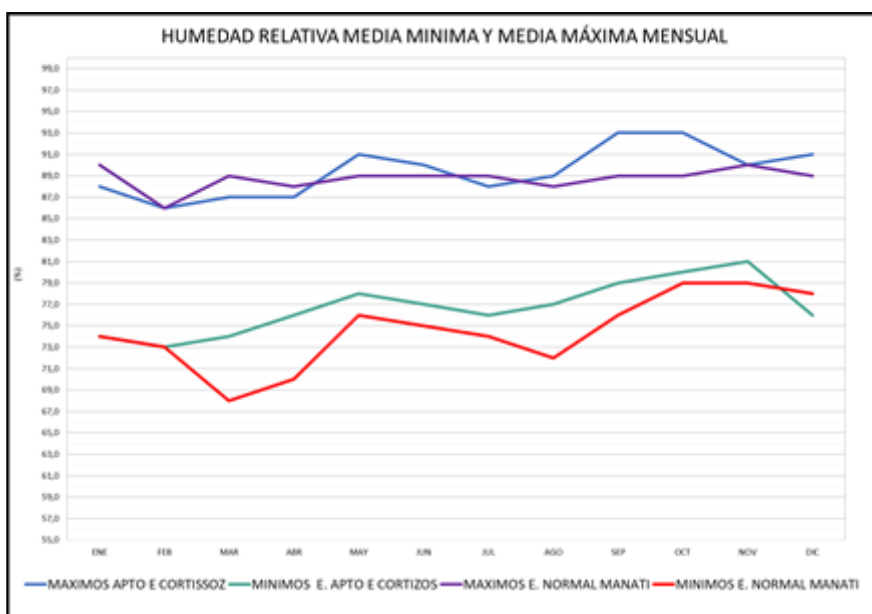
Figura 5-96 Humedad relativa media mensual (%) Estación Normal Manatí y Apto E Cortissoz – 1990 – 2014



Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM -, 2018, elaborado por EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

Como se observa gráficamente la humedad relativa es constante a lo largo del año, con un promedio de 82% y geográficamente a lo largo del área de estudio para el componente de hidrología también es muy homogénea. En cuanto a los mínimos y máximos, son similares los comportamientos para las dos estaciones, presentándose oscilaciones entre un mínimo de 70% para abril en la estación Normal Manatí y un máximo de 73% para el mes de febrero en la estación Apto E Cortissoz.

Figura 5-97 Humedad relativa media máxima y media mínima mensual (%) Estación Normal Manatí y Apto E Cortissoz – 1990 – 2014



Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM -, 2018, elaborado por EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

5.1.9.2.2.4.2 Humedad relativa anual

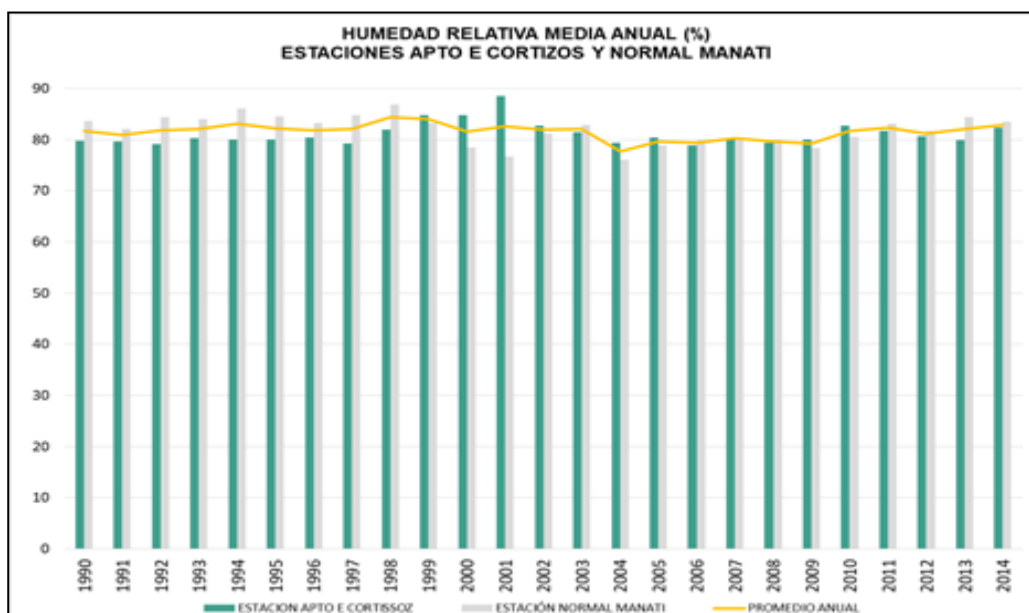
El resumen de valores de humedad relativa anuales se presenta en la Tabla 5-119 y su análisis gráfico se presenta en la Figura 5-98.

Tabla 5-119 Humedad relativa media anual (%) periodo 1990 – 2014 Estaciones Apto E Cortissoz y Normal Manatí

DATO	PROMEDIO ANUAL
MEDIOS E. APTO E CORTISSOZ	81,1
MÁXIMOS E. APTO E CORTISSOZ	93,0
MÍNIMOS E. APTO E CORTIZOS	73,0
MEDIOS E. NORMAL MANATÍ	82,0
MÁXIMOS E. NORMAL MANATÍ	90,0
MÍNIMOS E. NORMAL MANATÍ	68,0

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM -, 2018, elaborado por EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

Figura 5-98 Humedad relativa anual (%) Estación Normal Manatí y Apto E Cortissoz – 1990 – 2014



Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM -, 2018, elaborado por EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

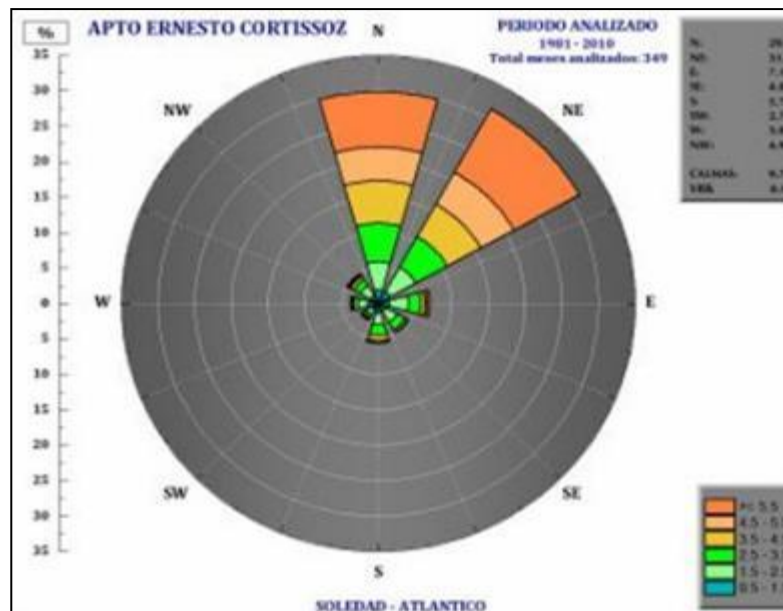
Se observa uniformidad en los valores anuales de humedad relativa, con un aumento considerable en la estación Apto E Cortissoz entre 1999 y 2001 y por el contrario, en la estación Normal Manatí durante el año 2000 disminuyeron los valores de humedad relativa, la cual vuelve a incrementarse en el 2013.

5.1.9.2.2.5 Dirección y velocidad del viento

Los valores de velocidad y dirección del viento fueron tomados de la estación sinóptica principal Apto E Cortissoz, que realiza esta medición en el área de influencia. A continuación, se exponen los resultados publicados directamente del Atlas de vientos del (IDEAM, 2020).

La Figura 5-99 de la Rosa de vientos representa gráficamente la dirección predominante de las diferentes velocidades del viento, mostradas en el análisis de la estación Apto E Cortissoz (IDEAM, 2020).. La estación analizada indica que la dirección predominante de los vientos es Noreste (NE) y Norte (N) con frecuencias de 34% y 28% respectivamente, tal como se visualiza en la Tabla 5-120. Las velocidades más frecuentes son las del rango 1,5 – 2,5 m/s y ≥ 5.5 m/s. De acuerdo con la escala Beaufort, predominan brisas muy débiles y brisas débiles y moderadas, cuyas características de ésta última es levantar el polvo y los papeles del suelo, y mover las ramas pequeñas de los árboles (IDEAM y UPME - Unidad de Planeación Minero Energética, 2006

Figura 5-99 Rosa de los vientos – Estación Apto E. Cortissoz



Fuente: IDEAM, 2020

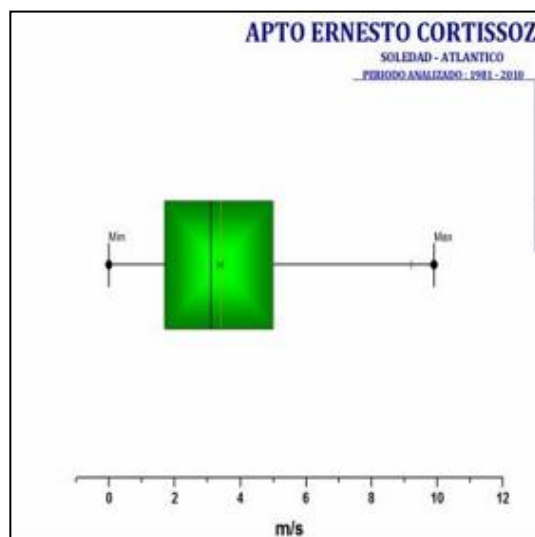
Tabla 5-120 Tabla de frecuencias de vientos

VEL	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	VRB	CALMA	TOTAL
0.5-1.5	2	2	2	1	1	1	1	1	0	0	11
1.5-2.5	4	4	3	2	2	1		2	0	0	19
2.5-3.5	5	5	2	1	1	1		1	0	0	17
3.5-4.5	6	6	1	0	1	0		1	0	0	15
4.5-5.5	4	5	0	0	0	0		0	0	0	9
≥5.5	7	12	0	0	0	0		0	0	0	19
CALMA	0	0	0	0	0	0		0	0	10	10
TOTAL	28	34	8	4	5	3	3	5	0	10	100

Fuente: IDEAM, 2020

Con el fin de identificar los valores atípicos y simetría de la distribución de la muestra en la estación Apto E Cortissoz, se analiza el diagrama Boxplot representado en la Figura 5-100.

Figura 5-100 Diagrama Boxplot – Estación Apto E Cortissoz



Fuente: IDEAM, 2020

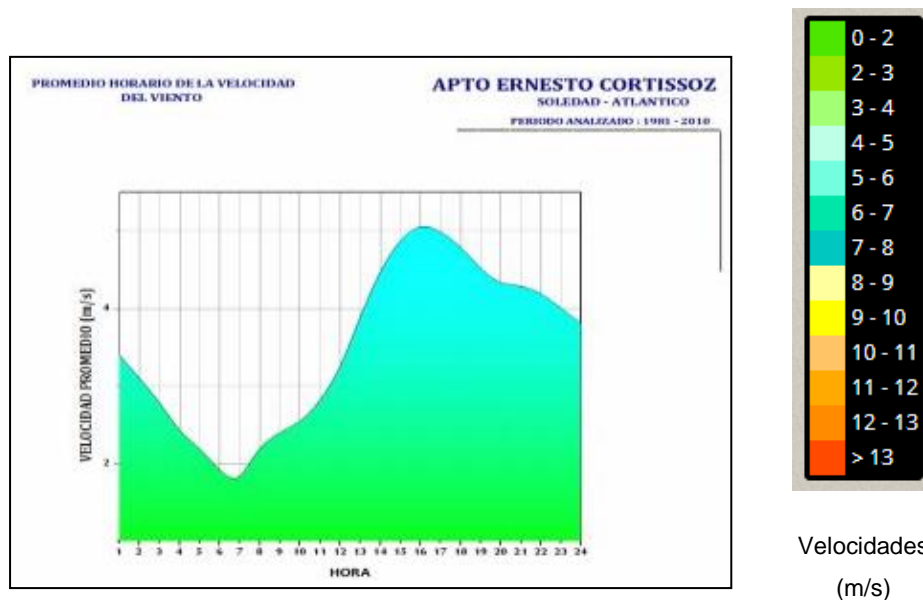
A partir de datos como Q1: 1.70, Q2: 3.10, Q3: 5.0, Rango intercuartil: 3.30, Máximo: 9.90; se puede calcular la dispersión de los datos, identificando que el rango intercuartil o la longitud de la caja es de 3,3; lo cual indica que hay relativamente poca variabilidad o dispersión de los datos en un rango total de 9,90.

Por otra parte, al estar la mediana o Q2 más cerca al primer cuartil, que del tercero, quiere decir que la distribución es asimétrica positiva, indicando que hay un sesgo positivo en

los datos localizados hacia la derecha de la caja. Asimismo, se puede inferir que la media en este caso es mayor que la mediana (3,10), y la mediana a su vez es mayor que la moda (0,0)

Continuando con el análisis, en la Figura 5-101 se muestra el ciclo horario de la velocidad del viento, cuyas mayores velocidades se dan entre las 15 y 18 horas del día (3 p.m y 6 p.m), con valores de 4,9 m/s a las 15 horas, alcanzando el máximo horario a las 16 horas con 5,1 m/s. Esta condición hace posible el arrastre de los contaminantes, cuanto mayor sea la velocidad del viento mayor será la dispersión de los contaminantes. Al contrario, las menores velocidades del viento se alcanzan entre las 6 y 7 horas con valores promedio registrados de 19 m/s y 17 m/s respectivamente.

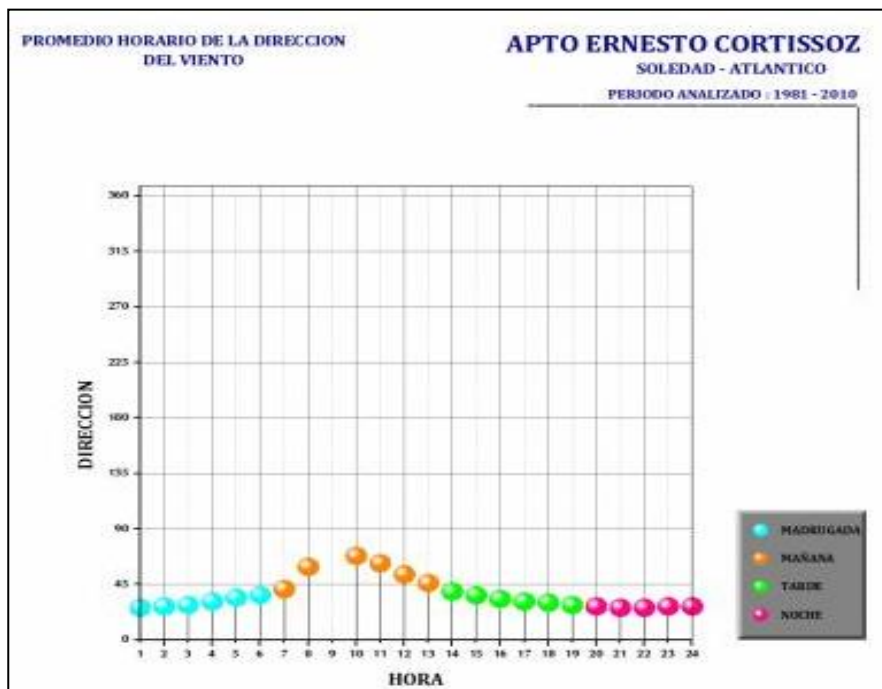
Figura 5-101 Promedio horario de la velocidad del viento. Periodo 1981-2010



Fuente: IDEAM, 2020

En la Figura 5-102 se representa el valor de la dirección del viento promedio, identificándola en relación con los valores registrados en grados, para cada una de las horas del día. Es posible afirmar que predominan los valores en dirección NorEste- NE, los cuales se encuentran entre el rango 22,6 a 67,5 grados; y valores en dirección Norte – N con rango de 337,6 a 22,5 grados.

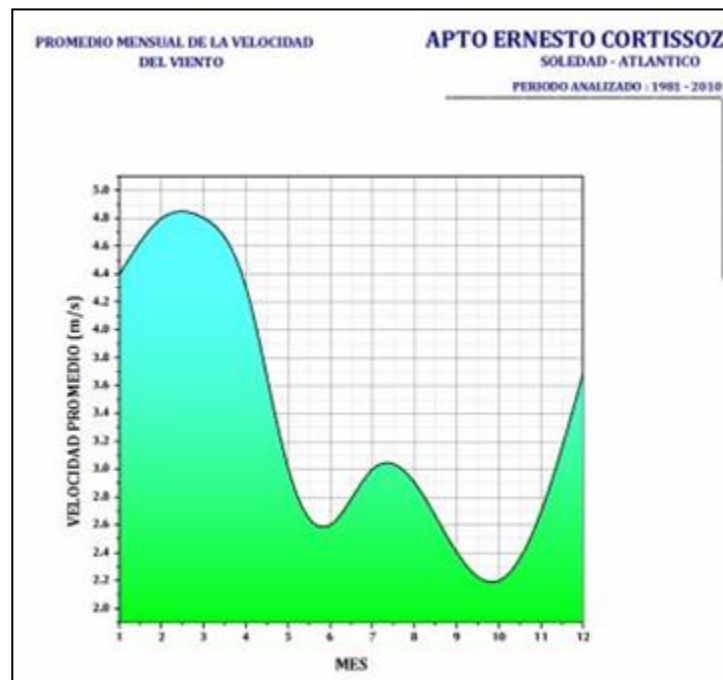
Figura 5-102 Promedio horario de la dirección del viento o ciclo horario



Fuente: IDEAM, 2020

La Figura 5-103 representa el valor de la velocidad del viento promedio, para cada uno de los meses del año. Los mayores valores se evidencian durante los primeros meses del año tales como febrero y marzo que registran velocidades medias de 4,8 m/s cada una. Después de estos meses, las velocidades disminuyen a 2,6 m/s en el mes de junio, incrementándose hasta 3,0 m/s en julio, y disminuyendo nuevamente a valores de 2,2 m/s en el mes de octubre.

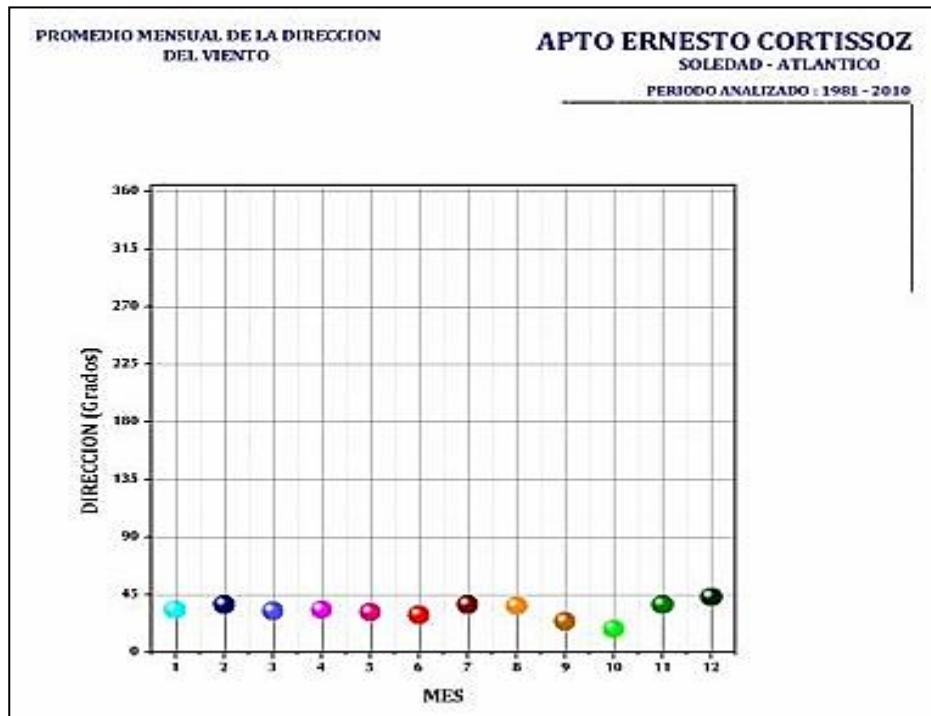
Figura 5-103 Promedio mensual de la velocidad del viento



Fuente: IDEAM, 2020

En la Figura 5-104 se representa el valor de la dirección del viento promedio, para cada uno de los meses del año. Los valores registrados en grados para la estación Apto E Cortissoz representan valores en dirección NE (NorEste), los cuales se encuentran entre el rango 22,6 a 67,5 grados en todos los meses del año, a excepción de octubre. En el décimo mes presenta una dirección promedio de 18 grados, la cual se encuentra en el rango 337,6 y 22,5, correspondiendo a la dirección Norte.

Figura 5-104 Promedio mensual de la dirección del viento



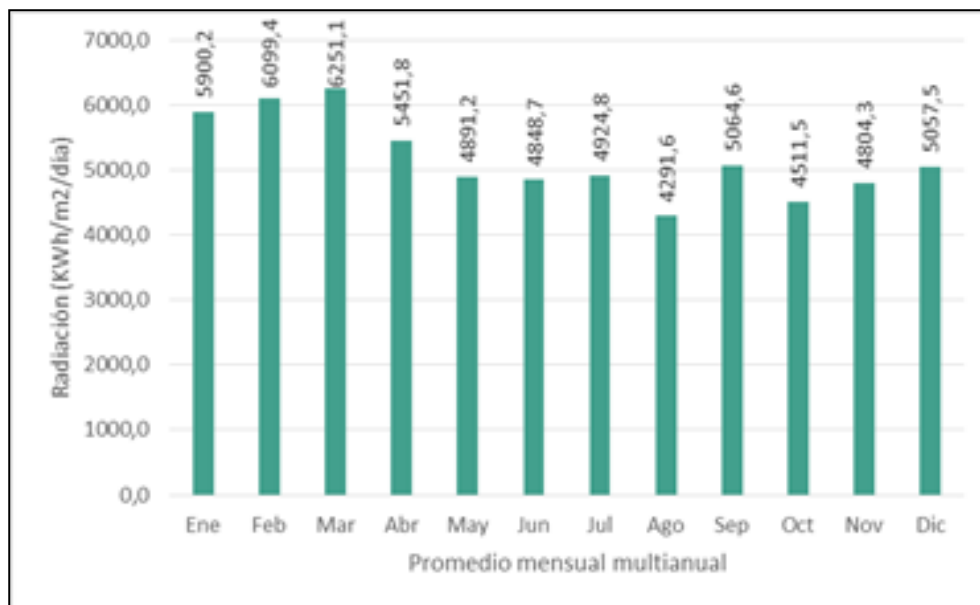
Fuente: IDEAM, 2020

5.1.9.2.2.6 Radiación solar

La radiación solar de la zona de estudio se obtiene a partir del Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia del IDEAM donde se encuentra el mapa “Irradiación Global Horizontal medio diario anual” del año 2014 en una escala 1:9.000.000.

A partir de este mapa y la información de promedios mensuales de radiación que se encuentran en la Figura 5-105 correspondiente a la Estación Apto Ernesto Cortissoz se concluye que la radiación media en la zona es de 5,17 KWh/m².

Figura 5-105 Promedios mensuales de irradiación global media recibida en superficie para la estación Apto E Cortissoz



Fuente: IDEAM, 2020 elaborado por EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

En cuanto a los valores medios mensuales se puede observar que la mínima radiación en el mes de agosto está cerca de los 4,2 KWh/m² y la máxima en el mes de marzo con cerca de 6,2 KWh/m². El promedio anual es de ,17 KWh/m².

Por otra parte, en Figura 5-106 y Figura 5-107 se muestran los promedios mensuales multianuales relacionados con brillo solar de 30 años de información, desde enero del año 1980 hasta octubre de 2012.

Figura 5-106 Promedios mensuales de brillo solar en horas de sol al día

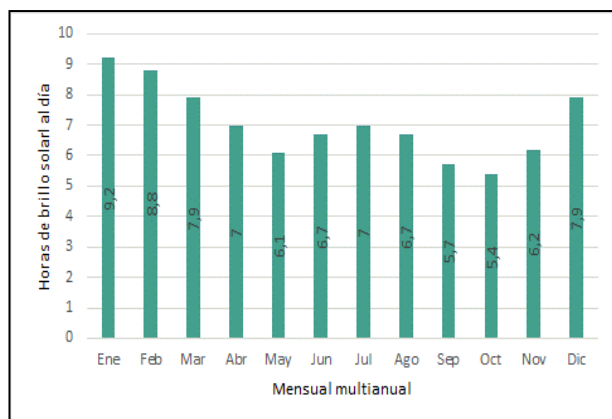
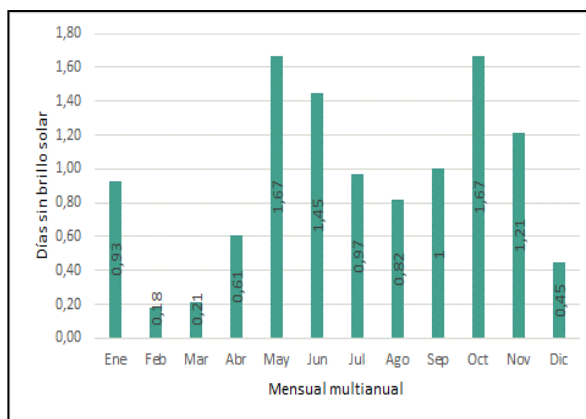


Figura 5-107 Promedios mensuales del número de días sin brillo solar



Fuente: IDEAM, 2020., elaborado por EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

De la Figura 5-106 es posible concluir que el brillo solar presenta un comportamiento bimodal, en el cual en diciembre inicia un incremento, extendiéndose hasta el mes de marzo, presentando su pico más alto en el mes de enero con 9,2 horas de sol al día, hSd. Posteriormente en mayo alcanza un mínimo de 6,1 hSd, seguido por un incremento en los meses de junio, julio y agosto, para continuar con meses con menor brillo solar como septiembre y octubre, con 5,7 y 5,2 horas de brillo al día respectivamente. El valor promedio de hSd es de 7,05, coincidiendo con el rango reportado por el (IDEAM, 2020) entre 7 y 9 hSd para esta región.

Por otro lado, en la Figura 5-107 se contabiliza el número de días sin brillo solar. En este caso se contabilizan y promedian los días del mes en los cuales las horas de brillo solar estuvieron en el rango entre 0,0 y 0,5 hSd. En general, los días sin brillo no exceden los dos (2) días al mes, presentando los promedios más bajos a nivel nacional.

Es posible evidenciar que los meses de febrero y marzo corresponden a aquellos que presentan menores días sin brillo solar, coincidiendo de esta manera, con el análisis anterior. Se presentan dos grandes picos de días sin brillo solar que corresponden a mayo y octubre con una estimación de 1,67 días en cada mes.

5.1.9.2.2.7 Valores promedio de ozono mensual multianual

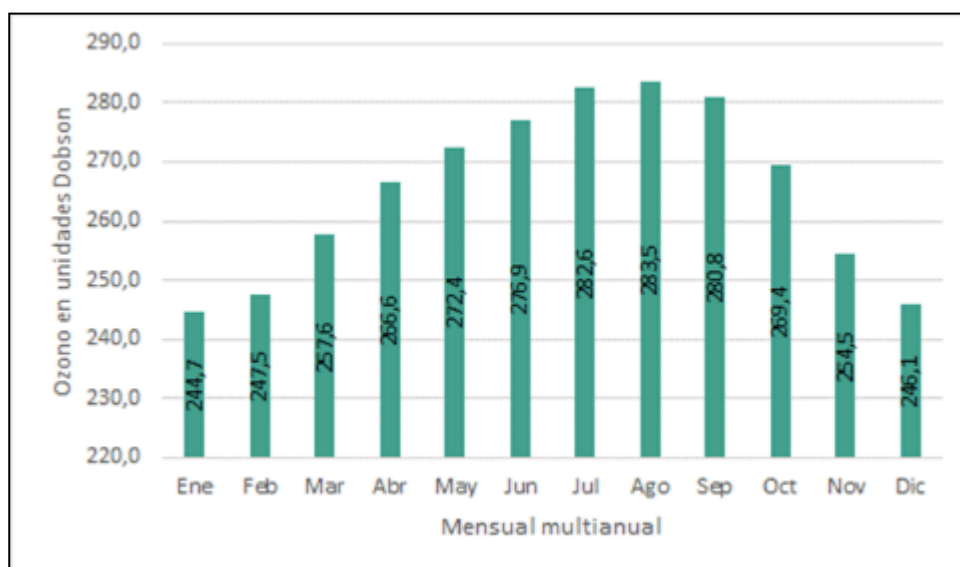
Las medidas más usuales del ozono son: el ozono total que expresa la cantidad total de ozono contenido en la columna vertical de la atmósfera sobre la superficie de la Tierra y el perfil vertical del ozono que indica las concentraciones de este gas en función de la altura o la presión. La medida del ozono total se expresa en términos de Unidades Dobson (U.D.), que corresponden a una concentración atmosférica media, de aproximadamente, una parte por billón en volumen (1 ppbv). Los valores de ozono total, a nivel global, oscilan entre 200 a 500 U.D., con un valor medio mundial de 300 U.D.

Se considera que existe agujero de la capa de ozono cuando los niveles de ozono se encuentran por debajo de las 220 UD (IDEAM, 2020)

Aunque en Colombia no se presenta el problema del agujero de la capa de ozono, los niveles de ozono en el país son habitualmente bajos (con mínimos del orden de 230 unidades Dobson - U.D. en enero y máximos de hasta de 285 U.D. en agosto), debido a la circulación de vientos BrewerDobson que transporta el ozono producido en los trópicos (zona de mayor producción en el mundo) hacia la estratosfera de las latitudes altas y medias.

De acuerdo con los valores reportados en la Figura 5-108, estos oscilan entre 244,7 UD y 283,5 UD, presentándose el mínimo en el mes de enero y el máximo en el mes de agosto, con un promedio de 265,2 UD, correspondiendo con los promedios reportados en Colombia.

Figura 5-108 Valores promedio de ozono mensual multianual en Unidades Dobson
(Periodo 1979 – 2009)



Fuente: IDEAM, 2020, elaborado por (EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020)

5.1.9.2.2.8 Nubosidad

La nubosidad se refiere a la fracción del cielo que se encuentra cubierta por nubes independiente de su tipología y se mide en octas, que son los octavos de cielo que se encuentren cubiertos en el momento de la medición. Este parámetro se obtiene mediante observación directa haciéndose una división imaginaria del cielo.

La Organización Mundial de Meteorología (OMM) ha establecido ocho niveles o categorías expresadas en octas, como se muestra en la Tabla 5-121.

Tabla 5-121 Valores para la interpretación de nubosidad

OCTAS	DEFINICIÓN	CATEGORÍA
0	Despejado	Buen tiempo
1	1/8 de cielo cubierto o menos, pero no cero	Buen tiempo
2	2/8 de cielo cubierto	Buen tiempo
3	3/8 de cielo cubierto	Parcialmente nuboso
4	4/8 de cielo cubierto	Parcialmente nuboso
5	5/8 de cielo cubierto	Parcialmente nuboso
6	6/8 de cielo cubierto	Nuboso
7	7/8 de cielo cubierto	Nuboso

Fuente: Organización Meteorológica Mundial, 2020)

Para analizar este parámetro se tomaron los valores medios mensuales de nubosidad de las estaciones Apto E Cortissoz y Normal Manatí para el periodo 1993 a 2012, correspondiendo a una serie de veinte (20) años, cuyo resumen se observa en la Tabla

5-122 y su análisis gráfico en la Figura 5-109. Aunque la estación Juan de Acosta presenta registros desde el año 1965, fue descartada por presentar información incompleta en la mayor parte de los datos.

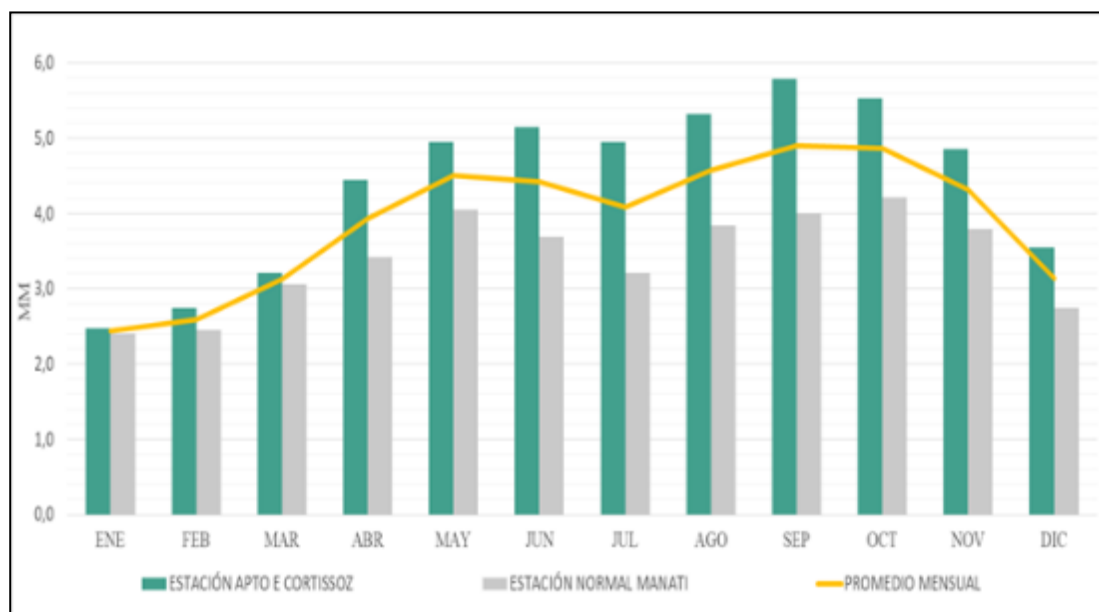
Tabla 5-122 Nubosidad media (octas) de las estaciones Apto E Cortissoz y Normal Manatí

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Promedio Anual
Estación Apto E Cortissoz	2,5	2,7	3,2	4,5	5,0	5,2	4,9	5,3	5,8	5,5	4,9	3,6	4,4
Estación Normal Manatí	2,4	2,5	3,1	3,4	4,1	3,7	3,2	3,8	4,0	4,2	3,8	2,7	3,4
Promedio Mensual	2,4	2,6	3,1	3,9	4,5	4,4	4,1	4,6	4,9	4,9	4,3	3,1	3,9

Fuente: IDEAM, 2020, elaborado por (EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020)

La nubosidad en el Área del Proyecto presenta un promedio de 3,9 octas, con valores promedio mensuales entre 2,4 y 4,9, donde el valor mínimo se presentó en enero que es mes de menores precipitaciones y el valor máximo se presentó en los meses de septiembre y octubre que son los meses de mayores precipitaciones.

Figura 5-109 Variación de la nubosidad media mensual (octas)



Fuente: IDEAM, 2020, elaborado por (EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020)

5.1.9.3 Calidad del aire

La evaluación de la calidad del aire tiene como propósito fundamental hacer el seguimiento al estado de preservación del recurso, velando porque la posible carga de contaminantes gaseosos, vapores y/o material particulado no sobrepase los límites permisibles establecidos en la normatividad ambiental. En consecuencia, la información analizada para la presente modificación revisa y actualiza los datos contenidos en el monitoreo de calidad de aire realizado para el EIA del año 2020, comparados con los resultados obtenidos del monitoreo realizado para efectos de la modificación.

Para la elaboración del componente Calidad del Aire en el EIA 2020, se realizó un monitoreo de calidad de aire entre los días 29 de diciembre de 2018 y 15 de enero de 2019, durante época seca, el cual refleja cumplimiento de los límites establecidos en la (Resolución 2254, 2017) para PM10, PM2.5, NO2, SO2 y CO. De igual manera, se realiza una comparación indicativa con la norma anual y se observa que se presentaron 10 sobrepasos de esta para PM10. Sin embargo, el promedio de los primeros 15 días de monitoreo no sobrepasó el 80% del límite anual para los parámetros que presentan límites anuales, por lo que NO se extendió el periodo de monitoreo de 18 a 24 días.

El monitoreo realizado para el EIA 2020 fue realizado en cuatro (4) estaciones de calidad de aire, ubicadas analizando las posibles fuentes de emisión en la zona de estudio, receptores sensibles y los factores climatológicos. En estas estaciones se determinaron las concentraciones de los siguientes compuestos: Material Particulado menor a 10 micrómetros (PM10), Material Particulado menor a 2,5 micrómetros (PM2.5) y Dióxido de Azufre (SO2) con muestreos diarios de 24 horas; además de Monóxido de Carbono (CO) y Dióxido de Nitrógeno (NO2), con muestreos diarios de una hora.

En el informe presentado a continuación se muestra el análisis del monitoreo de la calidad del aire realizado para la modificación de licencia, esta vez durante época húmeda y por lo tanto durante 36 días, con el que se busca determinar las condiciones actuales de calidad del aire. Se llevó a cabo mediante la instalación de cuatro (4) puntos de monitoreo, los cuales fueron localizados según el análisis y revisión de las estaciones de monitoreo establecidas en el EIA 2020. En los mismos se instalaron equipos para medir los niveles

de: material particulado inhalable expresado como PM₁₀, material particulado inhalable fino expresado como PM_{2.5}, muestreadores de dióxidos de azufre (SO₂) y dióxidos de nitrógeno (NO₂).

Las mediciones de calidad del aire fueron desarrolladas por el laboratorio SIAM INGENIERÍA S.A.S, entre el 6 de abril y el 12 de mayo de 2022.

En las mediciones se utilizaron los métodos de muestreo y de cálculo recomendados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (U.S. EPA) y avalados en la Normativa Legal Vigente Colombiana, así como los términos de referencia dados por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT (actualmente Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible - MADS) mediante el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire adoptado por la Resolución 2154 de 2010.

El documento incluye el reporte de cálculos junto con el respectivo análisis de resultados basados en la acreditación de SIAM INGENIERÍA S.A.S mediante la Resolución No.1742 del 30 de julio de 2018 y la Resolución de extensión No. 0195 del 09 de marzo de 2021. Se presenta la comparación de los resultados de las mediciones con la norma vigente de calidad del aire para Colombia, Resolución 2254 del 01 de noviembre de 2017, y los manuales de Operación y Diseño contenidos en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, ajustado bajo la Resolución 2154 de 2010 del MAVDT (ahora MADS), al igual que sus respectivas conclusiones.

Con el fin de dar cumplimiento a los términos de referencia, se presenta a continuación la línea base, justificada en el diseño del Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire – SVCA, teniendo en cuenta las particularidades del proyecto, las fuentes de emisión emplazadas y los potenciales receptores identificados en el área de influencia (ver numeral 5.1.9.1 Identificación de fuentes de emisiones atmosféricas).

5.1.9.3.1 Monitoreo de calidad del aire

5.1.9.3.1.1 Fecha y hora

Las mediciones de calidad del aire se realizaron en los sitios, fechas y coordenadas presentes en la Tabla 5-123:

Tabla 5-123. Fecha de monitoreo.

Estación	Fecha		Coordenadas geográficas (GCS_WGS_1984)		Coordenadas Planas Origen Nacional (CTM12)	
	Inicial	Final	Norte	Oeste	Norte	Este
E1: PT CA 1	2022/04/06	2022/05/12	10°36'44.98"	74°48'32.88"	2'731.289	4'802.158
E2: PT CA 2	2022/04/06	2022/05/12	10°37'48.43"	74°48'13.15"	2'733.234	4'802.769
E3: PT CA 3	2022/04/06	2022/05/12	10°37'24.85"	74°50'05.24"	2'732.530	4'799.359
E4: PT CA 4	2022/04/06	2022/05/12	10°38'24.70"	74°54'44.29"	2'734.419	4'790.891

Fuente: SIAM Ingeniería, 2022.

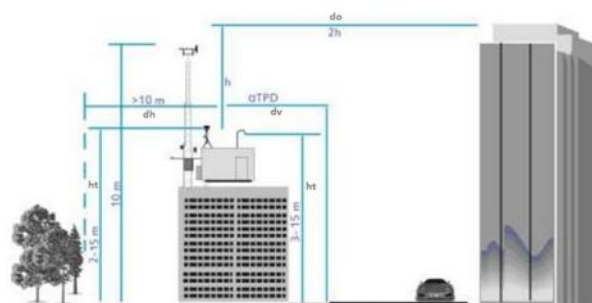
En el Anexo 5.1.9 Atmósfera, están disponibles los formatos de campo donde se especifica la fecha de inicio y fecha final de cada una de las mediciones diarias; para las mediciones de material particulado PM₁₀ y PM_{2.5}, gases NO₂, SO₂.

5.1.9.3.1.2 Localización

La localización de los puntos de monitoreo se realizó teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

Para la ubicación de las estaciones de monitoreo en el área de influencia, se tuvo como primera medida las localizaciones de los puntos de muestreo establecidos durante el EIA del 2020, donde se verificó la representatividad espacial y las zonas donde se ubicarán las fuentes que podrían tener una potencial afectación a la calidad del aire, así como los criterios evidenciados en la Figura 5-110, actualizando su localización según fuese necesario.

Figura 5-110. Criterios de Ubicación puntos de monitoreo de Calidad del aire.



Dónde:

h : Diferencia de altura entre el toma muestras y el obstáculo más cercano.

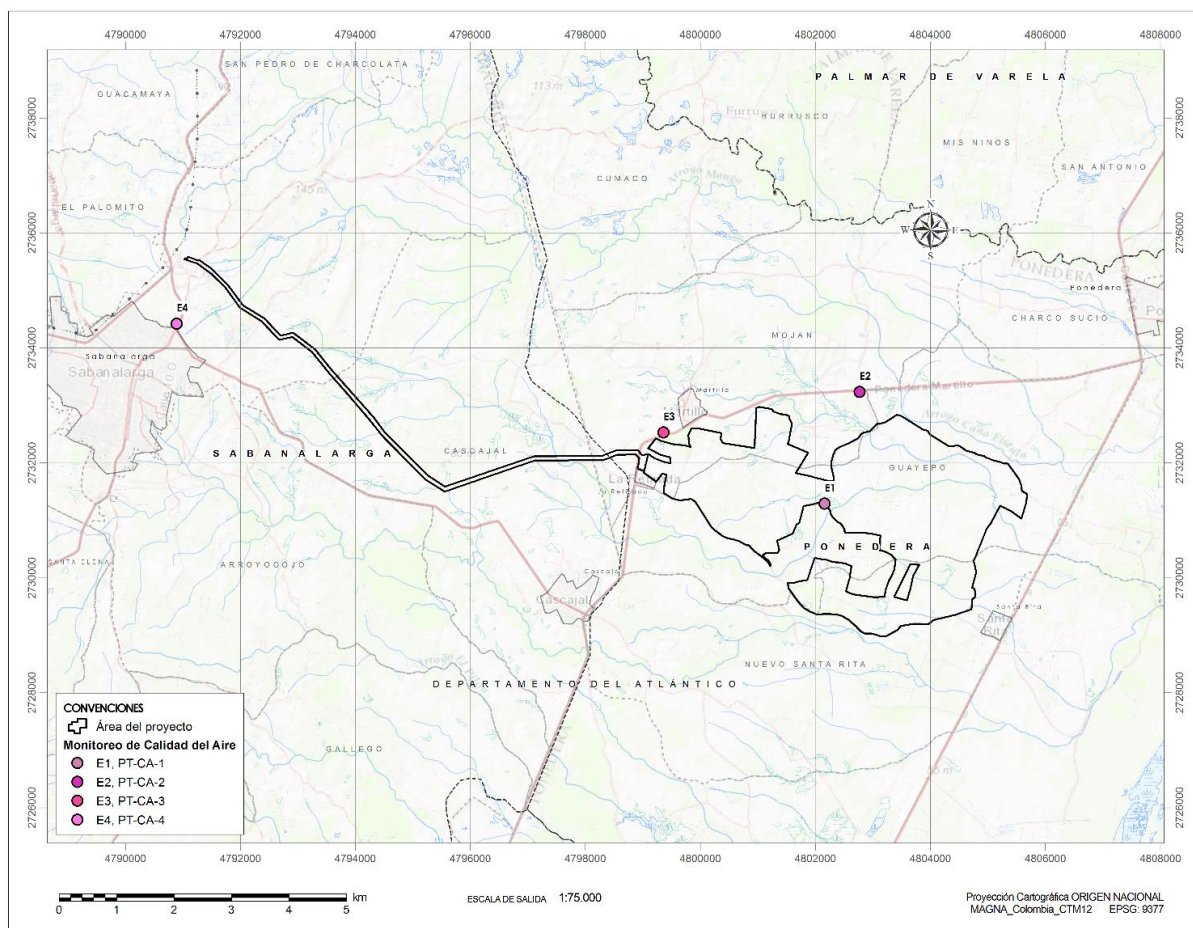
TPD: Tráfico Promedio Diario.

α TPD: Distancia proporcional al tráfico promedio diario

Fuente: (Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire, 2010, p.67).

En la Figura 5-111 se observa la ubicación de las estaciones de monitoreo en el área de estudio.

Figura 5-111 Localización de las estaciones de muestreo



Fuente: SIAM Ingeniería, 2022

De acuerdo con la Figura 5-110 se establecen los siguientes criterios que contempla el Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire establecido por el MAVDT en su Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire en el numeral 6.4 Criterios de micro localización de los sitios de vigilancia:

- **(ht)** La altura de la toma de muestra al piso debe estar por lo menos de 2 – 15 metros para PM₁₀ y de 3 – 15 metros para SO₂ y NO₂.
- **(dh)** La distancia horizontal del equipo al árbol más cercano debe ser por lo menos 10 metros, sí el árbol actúa como un obstáculo.
- **(do)** La distancia del muestreador a obstáculos como edificios, deberá ser por lo menos el doble de la altura que sobresale el obstáculo del muestreador. Se recomienda un radio libre de 10 metros.
- **(dv)** La distancia desde la toma muestras de material particulado hasta el borde de la vía deberá ser como mínimo de 5 metros, para CO la ubicación mínima es correcta entre 2-10 metros.

A nivel de micro localización se siguieron los criterios de ubicación establecidos por el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire en su Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire, numeral 6.4.

5.1.9.3.1.3 Descripción del área de estudio y fuentes de emisión.

Las estaciones de medición de calidad del aire se ubicaron de tal manera que registraran el grado de contaminación actual, en cada una de ellas se identificaron las fuentes predominantes del sector.

De la Tabla 5-124 a la Tabla 5-125 se describen las fuentes identificadas de acuerdo con la ubicación de cada estación de monitoreo cuya localización está dada en el sistema de coordenadas Origen Nacional (Magna Colombia CTM12):

Tabla 5-124. Descripción del entorno y las fuentes de emisión Estación 1.

Estación	Fuentes de emisión identificadas
----------	----------------------------------

<p>Estación 1: PT CA 1</p>	<p>En el sector de monitoreo se encuentran las siguientes fuentes de emisión:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Galpones. • Chimeneas domésticas. • Vía privada de ingreso. • Vías terciarias de desplazamiento. • Vías terciarias de ingreso sector la Y. • Vías terciarias de ingreso a la vereda Guayepo. • Vía primaria.
<p>Galpones</p> 	<p>Chimenea Doméstica</p> 
<p>Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4'802.175. Norte: 2'731.261.</p>	<p>Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4'802.166. Norte: 2'731.268.</p>
<p>Vía privada de ingreso</p> 	<p>Vía terciaria de desplazamiento</p> 
<p>Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4'802.118 Norte: 2'731.293.</p>	<p>Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4'802.121. Norte: 2'731.336.</p>

Fuente: SIAM Ingeniería, 2022

Registro fotográfico

<p>Vía terciaria de ingreso</p> 	<p>Vía terciaria de ingreso sector la Y</p> 
<p>Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4'802.321 Norte: 2'731.854.</p>	<p>Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4'802.465 Norte: 2'732.297</p>
<p>Vía terciaria de ingreso a la vereda Guayepo</p> 	<p>Vía primaria doble sentido</p> 
<p>Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4'802.957 Norte: 2'732.891</p>	<p>Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4'802.837 Norte: 2'733.267</p>

Fuente: SIAM Ingeniería, 2022

Tabla 5-125. Descripción del entorno y las fuentes de emisión Estación 2.

Estación	Fuentes de emisión identificadas
<p>Estación 2: PT CA 2</p>	<p>En el sector de monitoreo se encuentran las siguientes fuentes de emisión:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zona de ingreso • Vía privada de desplazamiento • Vía primaria doble sentido • Chimenea doméstica • Galpones • Construcción de galpones
<p>Registro fotográfico</p>	

Zona de ingreso



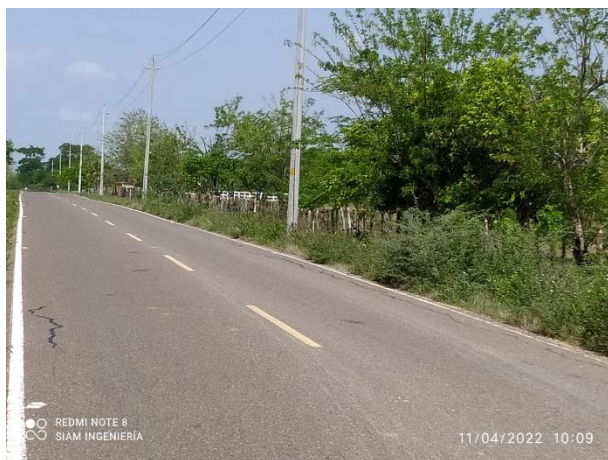
Georreferencia: (Origen nacional):
Este: 4'802.746 Norte: 2'733.243

Vía privada de desplazamiento



Georreferencia: (Origen nacional):
Este: 4'802.765 Norte: 2'733.175

Vía primaria doble sentido



Georreferencia: (Origen nacional):
Este: 4'802.788 Norte: 2'733.259

Chimeneas domésticas



Georreferencia: (Origen nacional):
Este: 4'802.732 Norte: 2'733.214

Fuente: SIAM Ingeniería, 2022

Registro fotográfico

Galpones 	Construcción de galpones 
Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4'802.677 Norte: 2'733.088	Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4'802.745 Norte: 2'733.109
Vía terciaria de ingreso 	Vía terciaria de ingreso 
Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4'802.908 Norte: 2'733.063	Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4'802.868 Norte: 2'733.180

Fuente: SIAM Ingeniería, 2022

Tabla 5-126. Descripción del entorno y las fuentes de emisión Estación 3.

Estación	Fuentes de emisión identificadas
Estación 3: PT CA 3	<p>En el sector de monitoreo se encuentran las siguientes fuentes de emisión:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vía primaria doble sentido • Chimeneas domésticas • Zona de ingreso • Vía primaria

Vía primaria doble sentido



Georreferencia: (Origen nacional):
Este: 4'799.232 Norte: 2'732.436

Chimeneas domésticas



Georreferencia: (Origen nacional):
Este: 4'799.395 Norte: 2'732.531

Zona de ingreso



Georreferencia: (Origen nacional):
Este: 4'799.395 Norte: 2'732.531.

Vía primaria



Georreferencia: (Origen nacional):
Este: 4'802.732 Norte: 2'733.214

Registro fotográfico



Vía primaria doble sentido	Vía secundaria
Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4'790.934 Norte: 2'74.248	Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4'790.873 Norte: 2'734.303
Vía secundaria doble calzada	Acopio de materiales
Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4'790.951 Norte: 2'734.443.	Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4'790.919 Norte: 2'734.454

Fuente: SIAM Ingeniería, 2022

Tabla 5-127. Descripción del entorno y las fuentes de emisión Estación 4.

Estación	Fuentes de emisión identificadas
Estación 4: PT CA 4	En el sector de monitoreo se encuentran las siguientes fuentes de emisión: <ul style="list-style-type: none"> • Vía primaria doble sentido • Vía secundaria • Vía secundaria doble calzada • Acopio de materiales • Zona de ingreso • Construcción.

Registro fotográfico

Zona de ingreso	Construcción
	
Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4'790.926 Norte: 2'734.439.	Georreferencia: (Origen nacional): Este: 4'790.876 Norte: 2'734.385.

Fuente: SIAM Ingeniería, 2022

En la Tabla 5-128 y Tabla 5-129 Se presenta la ficha técnica de las estaciones con base en los criterios consignados en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del aire.

Tabla 5-128 Ficha técnica de Estación 1.

Información general					
Nombre de la estación:		PT-CA-1		N° Estación:	1
Municipio / departamento:		Guayepo/Atlántico			
Coordenadas Geográficas:	Norte:	10°36'44.98"	Oeste:	74°48'32.88"	Altura (msnm) 30
Coordenadas Origen Nacional:	Norte:	2'731.289	Este:	4'802.158	
Representatividad:		Monitorear la calidad del aire de la zona de influencia durante 36 días en época húmeda, capturando muestras todos los días.			
Elementos	Criterio				Observaciones
estación	Seguridad y entorno				Bueno
	Conexiones eléctricas				Bueno
	Estabilidad de la estructura				Bueno
	¿Existen salidas de sistemas de aire acondicionado o ventilaciones cerca?				No
	¿Existen zonas de parqueo, depósitos de químicos o de combustibles?				No
	¿Existen acumulaciones de residuos sólidos o líquidos en las cercanías?				No

¿Existen fuentes menores cercanas de contaminación como hornos, o quemadores de basuras?	SI
¿Existen carreteras destapadas, campos deportivos o lotes sin vegetación?	SI
Altura de la toma muestra (m)*	2,38 metros
Características de la superficie en el que se instala el punto de monitoreo	El punto de monitoreo se instaló en una superficie plana con baja vegetación
Distancia a obstáculos elevados (m)	10
Diferencia de altura entre el muestreador y el obstáculo elevado (m)	3
Distancia vertical desde las estructuras de soporte hasta el toma muestra (m)	1,5
Distancia a otra toma muestras de PM (m)	3,25
Distancia a árboles (m)	15
Distancia de separación a vías (m)	20

<p>Fuente: Google Earth, 2022</p>	<p>Fuente: Siam Ingeniería 2022</p>
-----------------------------------	-------------------------------------

Descripción del punto de monitoreo	Estación de calidad de aire instalada al este de lo que será el proyecto al costado suroeste cerca de la vía de ingreso privada de desplazamiento sin pavimentar.
---	---

Clasificación de la estación		
Nivel I: Tipo Área	Nivel II: Tiempo de muestreo	Nivel III: Estaciones dominantes
Urbana:	Fija:	Tráfico:
Suburbana:	Indicativa:	x
Rural:	x	Punto crítico:
		Industrial: X
		De fondo:
Entorno local puntos cardinales		
Al Norte: 80 m vía terciaria sin pavimentar de desplazamiento de la vereda Guayepo		Al Sur: 50 m establos de ovejas y galpones,
Al Este: 30 m zona despejada de vegetación baja.		Al Oeste: 100 m se encuentra las plantas eléctricas de suministro del equipo, 110m vía privada de

desplazamiento de la finca Guayepo sin pavimentar, 125m finca Guayepo.											
Contaminantes evaluados											
PM ₁₀	PM _{2.5}	PST	SO ₂	NO ₂	CO	O ₃	VOC'S	H ₂ S	NH ₃	TRS	OTROS
X	X	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-
Métodos empleados											
PM ₁₀ (Manual)		U.S. EPA CFR Título 40, Parte 50, Apéndice J. Alto Volumen. Método de Referencia Manual: RFPS0202-141.									
PM _{2.5} (Semiautomático)		U.S. EPA CFR Título 40, Capítulo I, Subcapítulo C, Parte 50, Apéndice L. Método de Referencia Manual: RFPS-0498-118.									
SO ₂ (Manual)		U.S. EPA CFR Título 40, Parte 50, Apéndice A-2. Pararrosanilina									
NO ₂ (Automático)		Determinación Directa en Campo de Óxidos de Nitrógeno: U.S. EPA CFR, Titulo 40, Parte 50, Apéndice F. Quimioluminiscencia Fase Gaseosa. Método de Referencia Automatizado: RFNA-1289-074.									
VEL. VIENTO	DIR. VIENTO	PRES. BAR	TEMP.	HUM. REL.	PRECIP.	RAD. SOLAR		RAD. UV		OTRO	
-	-	-	-	-	-	-		-		-	
Influencia de Viviendas			Zona rural con viviendas y alto flujo de la vía primaria, áreas aledañas de la vereda Guayepo. Relieve no montañoso.								
Influencia de Vías			Vía privada de desplazamiento de la vereda Guayepo. Con bajo flujo de vehículos, vía angosta de un solo carril por dirección. Vía privada ubicada a 10 metros del punto de monitoreo, vía secundaria de bajo flujo vehicular de un solo carril doble sentido ubicada a 80m y diferencia de cota de 672 metros aproximadamente.								
Influencia Antrópica			Sector de viviendas aledañas de la vereda el morro, paso de vehículos, parqueo de vehículos y vías privadas sin pavimentar.								
Influencia por Fuentes Naturales			Las velocidades del viento permiten la resuspensión de partículas sobre terrenos sin pavimentar como las vías privadas solo en algunas horas del día, la quema de basuras y chimeneas domésticas.								
Actividad Característica del Área en Estudio			Vías sin pavimentar, vías secundarias y privadas.								
Condiciones Climáticas			Se evidenciaron altas temperaturas en algunos días del monitoreo.								
Objetivo del Monitoreo			Monitoreo de calidad de aire para la renovación de la licencia Ambiental.								
Observaciones Adicionales			La estación de monitoreo de calidad de aire fue instalada como área de punto de afectación y sector crítico.								
Técnico de Campo responsable del monitoreo			Pedro Alejandro Peñuela Castro.								

Fuente: SIAM Ingeniería, 2022

Tabla 5-129. Ficha técnica de Estación 2.

Información general					
Nombre de la estación:		PT-CA-2		N° Estación:	2
Municipio / Departamento:		Martillo/Atlántico			
Coordenadas geográficas:	Norte:	10°37'48.4 3"	Oeste :	74°48'13.15"	Altura (msnm) 27
Coordenadas origen nacional:	Norte:	2'733.234	Este:	4'802.769	
Representatividad:	Monitorear la calidad del aire de la zona de influencia durante 36 días en época húmeda, capturando muestras todos los días.				
Elementos	Criterio				Observaciones
Estación	Seguridad y entorno				Bueno
	Conexiones eléctricas				Bueno
	Estabilidad de la estructura				Bueno
	¿Existen salidas de sistemas de aire acondicionado o ventilaciones cerca?				No
	¿Existen zonas de parqueo, depósitos de químicos o de combustibles?				No
	¿Existen acumulaciones de residuos sólidos o líquidos en las cercanías?				No
	¿Existen fuentes menores cercanas de contaminación como hornos, o quemadores de basuras?				SI
	¿Existen carreteras destapadas, campos deportivos o lotes sin vegetación?				SI
	Altura de la toma muestra (m)*				2,32 metros
	Características de la superficie en el que se instala el punto de monitoreo				El punto de monitoreo se instaló en una superficie plana con baja vegetación
	Distancia a obstáculos elevados (m)				80
	Diferencia de altura entre el muestreador y el obstáculo elevado (m)				3,5
	Distancia vertical desde las estructuras de soporte hasta el toma muestra (m)				1,48
	Distancia a otra toma muestras de PM (m)				3,25
	Distancia a árboles (m)				18
	Distancia de separación a vías (m)				30

Fuente: Google Earth, 2022	Fuente: Siam Ingeniería 2022
Descripción del punto de monitoreo	Estación de calidad de aire instalada al este de lo que será el proyecto, al costado suroeste cerca de la vía primaria y la vía privada de ingreso de desplazamiento sin pavimentar de la granja Tropicana.

Clasificación de la estación											
Nivel I: Tipo Área			Nivel II: Tiempo de muestreo				Nivel III: Estaciones dominantes				
Urbana:			Fija:				Tráfico: X				
Suburbana:			Indicativa:				Punto crítico: X				
Rural: X							Industrial:				
							De fondo:				
Al Norte: 60m vía primaria doble sentido que conduce a ponedera, martillo, cascajal y Sabanalarga.							Al Sur: 10m vía de ingreso privada sin pavimentar por donde entran y salen camiones con la carga, 100m construcción de galpones, 120m galpones, 90m vías privadas de desplazamiento sin pavimentar.				
Al Este: 20m zona despejada con vegetación alta, 45m vía secundaria de ingreso sin pavimentar que conduce a las veredas de Guayepo.							Al Oeste: 10m vía privada sin pavimentar de ingreso de los camiones a los galpones, 30m finca granja Tropicana.				
PM ₁₀	PM _{2.5}	PST	SO ₂	NO ₂	CO	O ₃	VOC'S	H ₂ S	NH ₃	TRS	OTROS
X	X	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-
PM ₁₀ (Manual)			U.S. EPA CFR Título 40, Parte 50, Apéndice J. Alto Volumen. Método de Referencia Manual: RFPS0202-141.								
PM _{2.5} (Semiautomático)			U.S. EPA CFR Título 40, Capítulo I, Subcapítulo C, Parte 50, Apéndice L. Método de Referencia Manual: RFPS-0498-118.								
SO ₂ (Manual)			U.S. EPA CFR Título 40, Parte 50, Apéndice A-2. Pararrosanilina								
NO ₂ (Automático)			Determinación Directa en Campo de Óxidos de Nitrógeno: U.S. EPA CFR, Titulo 40, Parte 50, Apéndice F. Quimioluminiscencia Fase Gaseosa. Método de Referencia Automatizado: RFNA-1289-074.								



VEL.	DIR.	PRES.	TEMP.	HUM. REL.	PRECIP.	RAD.	RAD. UV	OTRO
-	-	-	-	-	-	-	-	-
Influencia de Viviendas			Zona rural con viviendas y alto flujo de la vía primaria, áreas aledañas de la vereda Guayepo. Relieve no montañoso.					
Influencia de Vías			Vía privada de desplazamiento de la vereda Guayepo. Con bajo flujo de vehículos, vía angosta de un solo carril por dirección. Vía privada ubicada a 10 metros del punto de monitoreo, vía secundaria de bajo flujo vehicular de un solo carril doble sentido ubicada a 80m y diferencia de cota de 672 metros aproximadamente.					
Influencia Antrópica			Sector de viviendas aledañas de la vereda el morro, paso de vehículos, parqueo de vehículos y vías privadas sin pavimentar.					
Influencia por Fuentes Naturales			Las velocidades del viento permiten la resuspensión de partículas sobre terrenos sin pavimentar como las vías privadas solo en algunas horas del día, la quema de basuras y chimeneas domésticas.					
Actividad Característica del Área en Estudio			Vías sin pavimentar, vías secundarias y privadas.					
Condiciones Climáticas			Se evidenciaron altas temperaturas en algunos días del monitoreo.					
Objetivo del Monitoreo			Monitoreo de calidad de aire para la renovación de la licencia Ambiental.					
Observaciones Adicionales			La estación de monitoreo de calidad de aire fue instalada como área de punto de afectación y sector crítico.					
Técnico de Campo responsable del monitoreo			Pedro Alejandro Peñuela Castro.					

Fuente: SIAM Ingeniería, 2022

Tabla 5-130. Ficha técnica de Estación 3.

Información general						
Nombre de la estación:			PT-CA-3		N° Estación: 3	
Municipio / Departamento:			Martillo/Atlántico			
Coordenadas geográficas:		Norte:	10°37'24.85"	Oeste:	74°50'5.24"	Altura (msnm) 48
Coordenadas Origen Nacional:		Norte:	2'732.530	Este:	4'799.359	
Representatividad:		Monitorear la calidad del aire de la zona de influencia durante 36 días en época húmeda, capturando muestras todos los días.				
Elementos		Criterio			Observaciones	
Estación	Seguridad y entorno		Bueno			
	Conexiones eléctricas		Bueno			
	Estabilidad de la estructura		Bueno			
	¿Existen salidas de sistemas de aire acondicionado o ventilaciones cerca?		No			
	¿Existen zonas de parqueo, depósitos de químicos o de combustibles?		No			

¿Existen acumulaciones de residuos sólidos o líquidos en las cercanías?	No
¿Existen fuentes menores cercanas de contaminación como hornos, o quemadores de basuras?	SI
¿Existen carreteras destapadas, campos deportivos o lotes sin vegetación?	SI
Altura de la toma muestra (m)*	2,38 metros
Características de la superficie en el que se instala el punto de monitoreo	El punto de monitoreo se instaló en una superficie plana con baja vegetación
Distancia a obstáculos elevados (m)	8
Diferencia de altura entre el muestreador y el obstáculo elevado (m)	2
Distancia vertical desde las estructuras de soporte hasta el toma muestra (m)	1,5
Distancia a otra toma muestras de PM (m)	3,25
Distancia a árboles (m)	30
Distancia de separación a vías (m)	45

 <p>Fuente: Google Earth, 2022</p>	 <p>Fuente: Siam Ingeniería 2022</p>
--	---

Descripción del punto de monitoreo	Estación de calidad de aire instalada al este de lo que será el proyecto al costado suroeste cerca de la vía primaria y la vía privada de ingreso de desplazamiento sin pavimentar de Santa Clara
---	---

Clasificación de la estación			
Nivel I: Tipo Área		Nivel II: Tiempo de muestreo	
Urbana:		Fija:	
Suburbana:		Indicativa:	
Rural:		X	
		Tráfico:	
		Punto crítico:	
		Industrial:	
		De fondo:	
		X	

Al Norte: 80m zona despejada de alta vegetación, 30m vía terciaria desprovista de asfalto y concreto que conduce a martillo.						Al Sur: 10m un kiosco, 21m zona de ingreso a la finca santa clara, 70m vía primaria doble sentido que conduce a la retirada, cascajal, Sabanalarga, martillo y ponedera.					
Al Este: 60m vivienda de la finca santa clara, 30m depósito de herramientas, 80m quemas y fogones,						Al Oeste: 100m finca san Agustín,					
PM ₁₀	PM _{2.5}	PST	SO ₂	NO ₂	CO	O ₃	VOC'S	H ₂ S	NH ₃	TRS	OTROS
X	X	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-
PM ₁₀ (Manual)			U.S. EPA CFR Título 40, Parte 50, Apéndice J. Alto Volumen. Método de Referencia Manual: RFPS0202-141.								
PM _{2.5} (Semiautomático)			U.S. EPA CFR Título 40, Capítulo I, Subcapítulo C, Parte 50, Apéndice L. Método de Referencia Manual: RFPS-0498-118.								
SO ₂ (Manual)			U.S. EPA CFR Título 40, Parte 50, Apéndice A-2. Pararosanilina								
NO ₂ (Automático)			Determinación Directa en Campo de Óxidos de Nitrógeno: U.S. EPA CFR, Titulo 40, Parte 50, Apéndice F. Quimioluminiscencia Fase Gaseosa. Método de Referencia Automatizado: RFNA-1289-074.								
Variables meteorologicas medidas											
VEL.	DIR.	PRES.	TEMP.	HUM. REL.	PRECIP.	RAD.		RAD. UV		OTRO	
-	-	-	-	-	-	-		-		-	
Influencia de Viviendas			Zona rural con viviendas y alto flujo de la vía primaria, áreas aledañas de la vereda Guayepo. Relieve no montañoso.								
Influencia de Vías			Vía privada de desplazamiento de la vereda Guayepo. Con bajo flujo de vehículos, vía angosta de un solo carril por dirección. Vía privada ubicada a 10 metros del punto de monitoreo, vía secundaria de bajo flujo vehicular de un solo carril doble sentido ubicada a 80m y diferencia de cota de 672 metros aproximadamente.								
Influencia Antrópica			Sector de viviendas aledañas de la vereda el morro, paso de vehículos, parqueo de vehículos y vías privadas sin pavimentar.								
Influencia por Fuentes Naturales			Las velocidades del viento permiten la resuspensión de partículas sobre terrenos sin pavimentar como las vías privadas solo en algunas horas del día, la quema de basuras y chimeneas domésticas.								
Actividad Característica del Área en Estudio			Vías sin pavimentar, vías secundarias y privadas.								
Condiciones Climáticas			Se evidenciaron altas temperaturas en algunos días del monitoreo.								
Objetivo del Monitoreo			Monitoreo de calidad de aire para la renovación de la licencia Ambiental.								
Observaciones Adicionales			La estación de monitoreo de calidad de aire fue instalada como área de punto de afectación y sector crítico.								
Técnico de Campo responsable del monitoreo			Pedro Alejandro Peñuela Castro.								

Tabla 5-131. Ficha técnica de Estación 4.

Información general						
Nombre de la estación:			PT-CA-4		N° Estación: 4	
Municipio / departamento:			Sabanalarga/ Atlántico			
Coordenadas Geográficas:	Norte:	10°38'24.70"	Oeste :	74°54'44.29"	Altura (msnm)	27
Coordenadas Origen Nacional:	Norte:	2'734.419	Este:	4'790.891		
Representatividad:		Monitorear la calidad del aire de la zona de influencia durante 36 días en época húmeda, capturando muestras todos los días.				
Criterios de ubicación						
Elementos		Criterio			Observaciones	
Estación	Seguridad y entorno					Bueno
	Conexiones eléctricas					Bueno
	Estabilidad de la estructura					Bueno
	¿Existen salidas de sistemas de aire acondicionado o ventilaciones cerca?					No
	¿Existen zonas de parqueo, depósitos de químicos o de combustibles?					No
	¿Existen acumulaciones de residuos sólidos o líquidos en las cercanías?					No
	¿Existen fuentes menores cercanas de contaminación como hornos, o quemadores de basuras?					SI
	¿Existen carreteras destapadas, campos deportivos o lotes sin vegetación?					No
	Altura de la toma muestra (m)*					2,38 metros
	Características de la superficie en el que se instala el punto de monitoreo		El punto de monitoreo se instaló en una superficie plana con baja vegetación			
	Distancia a obstáculos elevados (m)					Zona despejada
	Diferencia de altura entre el muestreador y el obstáculo elevado (m)					Zona despejada
	Distancia vertical desde las estructuras de soporte hasta el toma muestra (m)					1,50
	Distancia a otra toma muestras de PM (m)					3,25
	Distancia a árboles (m)					20
Distancia de separación a vías (m)					10	

<p>FUENTES DE EMISION Sabalarga / Atlántico</p> <p>Google Earth</p>	<p>REDMI NOTE 8 SIAM INGENIERIA</p> <p>05/04/2022 08:28</p>
Fuente: Google Earth, 2022	Fuente: Siam Ingeniería 2022
Descripción del punto de Monitoreo	Estación de calidad de aire instalada al oeste de lo que será el proyecto al costado noroeste cerca de la vía primaria y la vía privada de ingreso de desplazamiento sector codorniz.

Clasificación de la estación											
Nivel I: Tipo Área				Nivel II: Tiempo de muestreo				Nivel III: Estaciones dominantes			
Urbana:				Fija:				Tráfico: X			
Suburbana:				Indicativa:				X Punto crítico:			
Rural: X								Industrial:			
								De fondo:			
Entorno local puntos cardinales											
Al Norte: 50 m zona despejada, 180 m invasiones de la vereda once de febrero, 70m un arroyo						Al Sur: 35 m vía secundaria de alto flujo vehicular doble calzada con dirección a ponedera y de ingreso a Sabanalarga, 80m vía primaria con destino a la retirada, martillo y ponedera.					
Al Este: 25m vía secundaria doble calzada de ingreso a Sabanalarga, 80m hospital san Rafael, 110m viviendas del sector codorniz						Al Oeste: 15 m construcción de villa caribe, 45m cancha sintética, 85 m negocios del sector codorniz.					
Contaminantes evaluados											
PM ₁₀	PM _{2.5}	PST	SO ₂	NO ₂	CO	O ₃	VOC'S	H ₂ S	NH ₃	TRS	OTROS
X	X	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-
PM ₁₀ (Manual)			U.S. EPA CFR Título 40, Parte 50, Apéndice J. Alto Volumen. Método de Referencia Manual: RFPS0202-141.								
PM _{2.5} (Semiautomático)			U.S. EPA CFR Título 40, Capítulo I, Subcapítulo C, Parte 50, Apéndice L. Método de Referencia Manual: RFPS-0498-118.								
SO ₂ (Manual)			U.S. EPA CFR Título 40, Parte 50, Apéndice A-2. Pararrosanilina								

NO ₂ (Automático)	Determinación Directa en Campo de Óxidos de Nitrógeno: U.S. EPA CFR, Título 40, Parte 50, Apéndice F. Quimioluminiscencia Fase Gaseosa. Método de Referencia Automatizado: RFNA-1289-074.							
Variables meteorológicas medidas								
VEL. VIENTO	DIR. VIENTO	PRES. BAR	TEMP.	HUM. REL.	PRECIP.	RAD. SOLAR	RAD. UV	OTRO
-	-	-	-	-	-	-	-	-
Observaciones obtenidas durante el monitoreo								
Influencia de Viviendas			Zona rural con viviendas y alto flujo de la vía primaria, áreas aledañas de la vereda Sabanalarga. Relieve no montañoso.					
Influencia de Vías			Vía primaria y vía privada de desplazamiento de la vereda Sabanalarga, vía primaria con alto flujo de vehículos, Vía doble calzada. Vía primaria Ubicada a 80 metros del punto de monitoreo, vía secundaria de alto flujo vehicular doble calzada ubicada a 35m y diferencia de cota de 107 metros aproximadamente.					
Influencia Antrópica			Sector de viviendas aledañas de la vereda Sabanalarga, paso de vehículos y vías primarias, secundarias de alto flujo vehicular.					
Influencia por Fuentes Naturales			Las velocidades del viento permiten la resuspensión de partículas por el alto flujo vehicular, las construcciones aledañas y la quema de basuras.					
Actividad Característica del Área en Estudio			Vía primaria, secundaria de alto flujo vehicular y construcción.					
Condiciones Climáticas			Se evidenciaron altas temperaturas en algunos días del monitoreo y en otros días lluvias					
Objetivo del Monitoreo			Monitoreo de calidad de aire para la renovación de la licencia Ambiental.					
Observaciones Adicionales			La estación de monitoreo de calidad de aire fue instalada como área de punto de afectación y sector crítico vientos arriba.					
Técnico de Campo responsable del monitoreo			Pedro Alejandro Peñuela Castro.					

Fuente: SIAM Ingeniería, 2022


5.1.9.3.1.4 Equipos de medición

Las estaciones de monitoreo se equiparon con las siguientes unidades de monitoreo, las cuales se presentan en la Tabla 5-132:

Tabla 5-132 Equipos empleados en el monitoreo de calidad de aire.

Equipo	Fotografía	Número de Serie	Fecha de calibración (C) o Verificación (V)
Equipo PM ₁₀ con controlador de flujo másico MFC		E1: E-CAM-PM ₁₀ -15	2022-04-05 (V)
		E2: E-CAM-PM ₁₀ -13	2022-04-05 (V)

		E3: E-CAM-PM ₁₀ -10	2022-04-05 (V)
		E4: E-CAM-PM ₁₀ -12	2022-04-05 (V)
Equipo muestreador de bajo volumen para medición de PM _{2.5}		E1: E-CAM-LOW-17	2022-04-05 (V)
		E2: E-CAM-LOW-11	2022-04-05 (V)
		E3: E-CAM-LOW-16	2022-04-05 (V)
		E4: E-CAM-LOW-10	2022-04-05 (V)
Tren de muestreo para medición de gases (SO ₂) mediante absorción en soluciones especiales (Rack de gases)		E1: E-CAM-RACK-19	2022-04-05 (V)
		E2: E-CAM-RACK-23	2022-04-05 (V)
		E3: E-CAM-RACK-13	2022-04-05 (V)
		E4: E-CAM-RACK-01	2022-04-05 (V)

Equipo	Fotografía	Número de Serie	Fecha de calibración (C) o Verificación (V)
Analizador para la medición directa NO ₂ por Quimioluminiscencia, Thermo 42i		E1: E-CAM-AUTO-08	2022-04-05 (V)
		E2: E-CAM-AUTO-44	2022-04-05 (V)
		E3: E-CAM-AUTO-63	2022-04-05 (V)
		E4: E-CAM-AUTO-43	2022-04-05 (V)

Calibrador tipo variflow de equipo Hi Vol		E-CAM-CAL-03 SERIAL/MODELO: 2403	2021-08-04 al 2022-08-04 (C)
Caudalímetro de Gases Deltacal		E-CAM-CAL-02 S/N 094	2021-07-12 al 2022-07-12 (C)
Calibrador de flujo BIOS		E-CAM-CAL-07 DEFENDER 510 SERIAL: SN115496	2021-06-15 al 2022-06-15 (C)
Gases Patrón		EA0026379	2019-10-25 (LI) 2027-10-25 (E) LI: Llenado E: Expiración

Equipo	Fotografía	Número de Serie	Fecha de calibración (C) o Verificación (V)
Estación Meteorológica DAVIS Pro 2		E-CAM-MET-12	2021-05-28 2022-05-28

Fuente: SIAM Ingeniería, 2022

5.1.9.3.1.5 Responsable del informe

El monitoreo de Calidad del Aire y el presente informe fue realizado por la empresa SIAM INGENIERÍA S.A.S., Laboratorio acreditado por el IDEAM mediante la Resolución No. 1742 del 30 de julio de 2018 y Resolución de extensión No. 0195 del 09 de marzo de 2021, cuyos datos se consignan en la Tabla 5-133.

Tabla 5-133. Responsable del Informe.

Razón social	SIAM INGENIERÍA S.A.S	Ciudad	Piedecuesta, Santander
	900.525-359-7		Luis Fernando Reyes Díaz
	Km 3 vía Piedecuesta-Bucaramanga Parcelación Manzanares Lote 3 Finca Villa Cecilia		asesorcomercial@siamingenieria.com
	7 6997994		3183976635

Fuente: SIAM Ingeniería, 2022

Las Resoluciones de SIAM Ingeniería se pueden visualizar en el Anexo 5.1.9. Atmósfera

5.1.9.3.1.6 Resultados y análisis

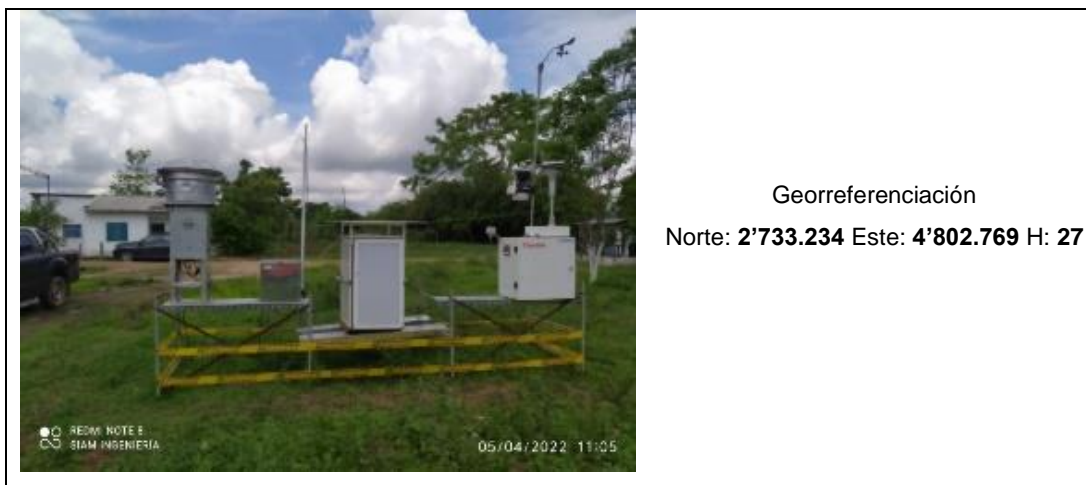
Esta sección presenta los resultados de calidad de aire obtenidos durante la campaña de monitoreo desarrollada del 6 de abril al 12 de mayo de 2022, con el objeto de evaluar las condiciones actuales de los contaminantes PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂, SO₂, en el área de influencia del proyecto parque solar fotovoltaico Guayepo con capacidad de generación de 400 MW, su línea de evacuación 500 kV y bahía de conexión en el departamento del Atlántico en los municipios de Sabanalarga y Ponedera, presentándose en primer lugar las condiciones meteorológicas que predominaron en la zona y se describen los resultados de concentración corregidos a condiciones de referencia de 25°C y 760 mm Hg comparados con la norma vigente de calidad del aire para Colombia Resolución 2254 del 1 de noviembre de 2017 del MADS para los contaminantes medidos, con el análisis respectivo.

Meteorología

Con el propósito de tener una evaluación climatológica del área de influencia del Proyecto parque solar fotovoltaico Guayepo con capacidad de generación de 400 MW, su línea de evacuación 500 kV y bahía de conexión en el departamento del Atlántico en los municipios de Sabanalarga y Ponedera, durante el tiempo de realización del monitoreo de calidad del aire se tomaron mediciones meteorológicas, registrándose datos con intervalos de 30 minutos en los parámetros de presión atmosférica, temperatura, humedad relativa, precipitación, dirección y velocidad de viento.

A continuación, se presenta el resumen de las variables meteorológicas con sus respectivas gráficas y análisis:

Figura 5-112. Estación meteorológica ubicada en la Estación 2.



Fuente: SIAM Ingeniería, 2022.

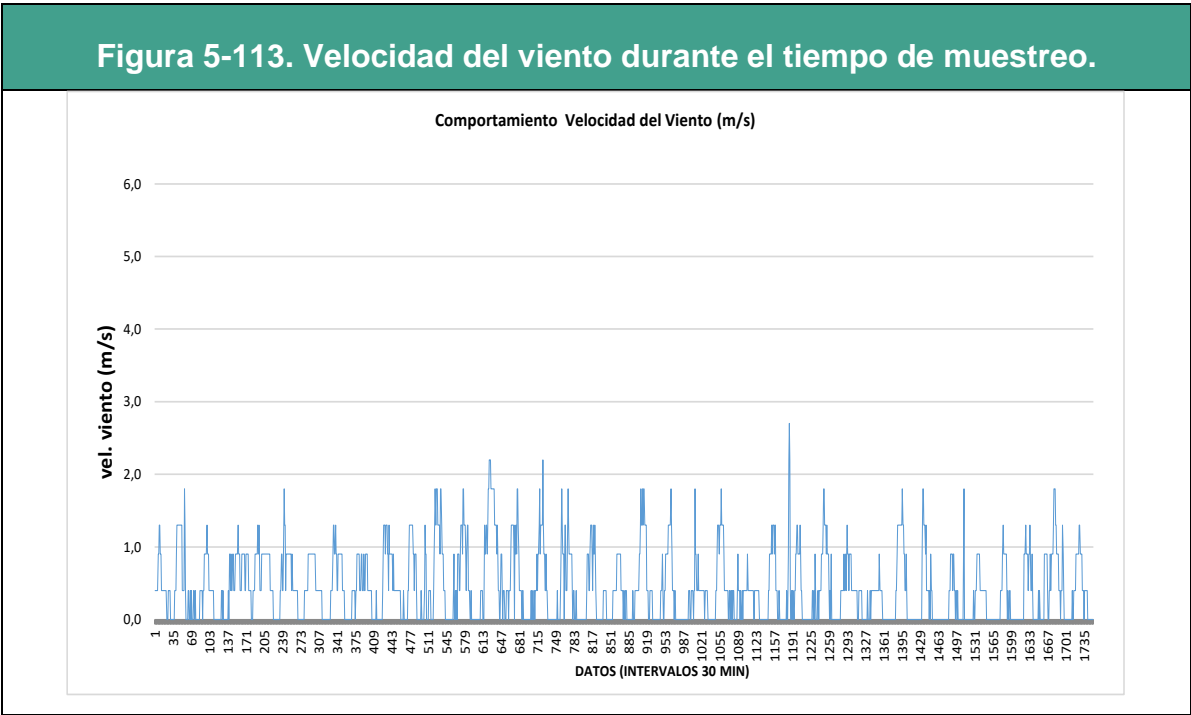
Tabla 5-134 Resumen variables meteorológicas promedio diario.

<i>Fecha</i>	<i>Temp Promedio (°C)</i>	<i>Pbar Promedio (mm Hg)</i>	<i>Humedad Promedio (%)</i>	<i>WS Prom (m/s)</i>	<i>Precip Promedio (mm H₂O)</i>
2022-04-06	28,0	756,44	84,02	0,53	0,00
2022-04-07	27,2	757,38	89,63	0,38	14,21
2022-04-08	27,9	757,54	85,98	0,28	2,03
2022-04-09	28,7	756,79	80,50	0,66	0,00
2022-04-10	28,0	756,59	83,85	0,54	0,25
2022-04-11	28,9	756,08	78,98	0,51	0,00
2022-04-12	28,4	755,15	81,20	0,39	0,00
2022-04-13	30,3	755,74	75,41	0,61	0,00
2022-04-14	28,2	755,88	82,88	0,43	0,00
2022-04-15	28,3	756,20	83,27	0,51	0,00
2022-04-16	28,2	756,01	84,81	0,39	14,23
2022-04-17	27,8	756,99	81,85	0,64	0,00
2022-04-18	27,6	757,70	83,69	0,53	0,51
2022-04-19	27,7	758,68	82,88	0,91	0,00
2022-04-20	26,8	759,17	86,29	0,54	13,19
2022-04-21	26,6	759,24	88,90	0,48	7,87
2022-04-22	25,3	759,01	92,90	0,47	30,49
2022-04-23	26,6	758,13	89,02	0,35	3,81
2022-04-24	27,8	756,75	85,83	0,31	1,27
2022-04-25	27,5	757,59	87,85	0,55	0,00
2022-04-26	27,7	757,61	87,08	0,42	0,00
2022-04-27	27,8	756,97	86,56	0,33	0,00
2022-04-28	26,9	756,95	88,90	0,48	16,25
2022-04-29	27,6	756,79	88,13	0,33	0,00
2022-04-30	29,0	756,14	84,90	0,33	0,00
2022-05-01	26,9	757,24	88,38	0,45	63,24
2022-05-02	29,4	757,34	84,17	0,48	0,00
2022-05-03	28,9	756,84	86,35	0,42	0,00
2022-05-04	29,1	756,40	84,19	0,20	0,00
2022-05-05	27,6	758,00	88,48	0,45	0,00
2022-05-06	26,4	759,33	92,63	0,31	3,05
2022-05-07	27,8	758,79	87,42	0,24	49,02
2022-05-08	27,9	757,83	87,15	0,25	10,91
2022-05-09	28,8	756,73	87,81	0,23	0,00
2022-05-10	27,3	757,56	90,56	0,31	4,05
2022-05-11	26,3	757,53	91,71	0,61	44,70
2022-05-12	27,1	756,90	89,56	0,36	0,25
Promedio	27,79	757,24	86,05	0,44	
Total					279,33

Fuente: SIAM Ingeniería, 2022.

Comportamiento de la velocidad del viento

La dispersión de contaminantes de una fuente depende de la cantidad de turbulencia en la atmósfera cercana que es creada por el movimiento horizontal (viento) y vertical de la atmósfera. La velocidad del viento afecta en gran medida la concentración de contaminantes en un área, mientras mayor sea la velocidad del viento mayor será la dilución y dispersión de contaminantes. La Figura 5-113 muestra el comportamiento de la velocidad del viento durante la campaña de monitoreo, en ella se observa que los registros estuvieron en el orden de los 0,4 a 2,7 m/s.



Fuente. SIAM Ingeniería, 2022

La mayor velocidad del viento registrada fue de 2,7 m/s, el día 1 de mayo de 2022 a las 04:00, la velocidad mínima fue 0,4 m/s y la velocidad promedio estuvo por el orden de 0,44 m/s que según la escala Beaufort (Ver Tabla 5-135) se clasifica en Ventolina por su velocidad media.

Tabla 5-135. Escala de Beaufort.

Definición	Nudos	m/seg	km/h	Condición en tierra
------------	-------	-------	------	---------------------

• F0-Calma	s< 1	0-0,2	< 1	El humo sube verticalmente
• F1 - Ventolina	1-3	0,3-1,5	1-5	La dirección del viento se define por la del humo, pero no por las veletas y banderas
• F2 - Flojito (Brisa muy débil)	4-6	1,6-3,3	6-11	El viento se siente en la cara. Se mueven las hojas de los árboles, veletas y banderas
• F3 - Flojo (Brisa débil)	7-10	3,4-5,4	12-19	Las hojas de los árboles se agitan constantemente. Se despliegan las banderas
• F4 – Bonancible (Brisa moderada)	11-16	5,5 – 7,9	20-29	Se levanta polvo y papeles, se agitan las copas de los árboles

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM.

Dirección del viento

En la Figura 5-114 a Figura 5-116 se presenta la rosa de los vientos para el periodo de monitoreo.

Figura 5-114 Rosa de viento diurna.

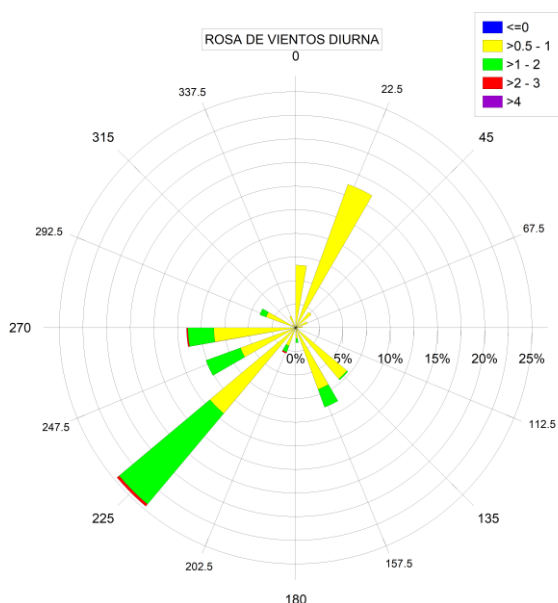


Figura 5-115 Rosa de viento nocturna.

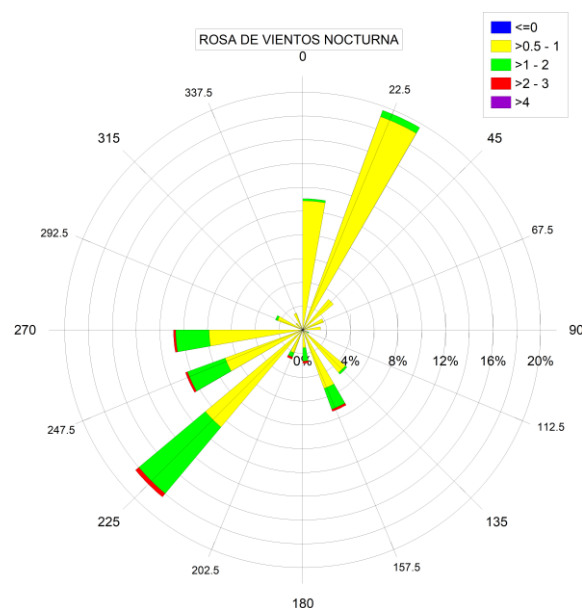
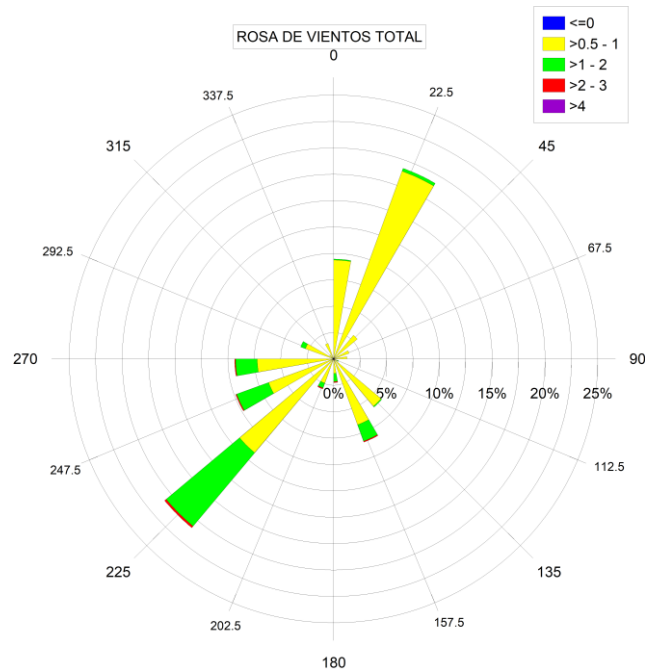


Figura 5-116 Rosa de vientos total.



Fuente. SIAM Ingeniería, 2022

En la Figura 5-114 se presenta la rosa de vientos diurna donde se resalta que los vientos alcanzaron velocidades 2,2 m/s, los cuales provienen predominantemente desde el Suroeste (SO) con una frecuencia cercana a 25%.

En la Figura 5-115 se presenta la rosa de vientos nocturna donde se resalta que los vientos alcanzaron velocidades de 2,7 m/s y provienen predominantemente desde el Nor-Noreste (NNE) con una frecuencia cercana a 20%. De igual forma en dirección Suroeste (SO) se concentran vientos con velocidades menores con una representatividad de 19% aproximadamente.

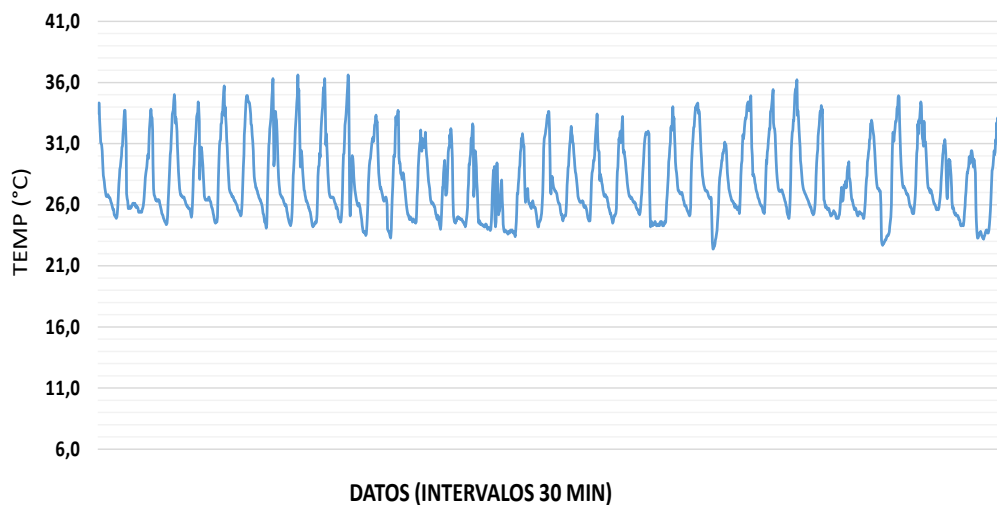
En la Figura 5-116 se presenta la rosa de vientos total, la cual confirma la predominancia del viento observada en la rosa diurna y nocturna, es decir en sentido Suroeste (SO) con una representatividad de 22,5%, así mismo, se alcanzaron velocidades de 2,7 m/s.

Comportamiento de la temperatura

La dispersión de contaminantes depende de la cantidad de turbulencia en la atmósfera cercana que puede ser generada por el movimiento horizontal (viento) y vertical de la atmósfera. El movimiento vertical de la atmósfera afecta el transporte y dispersión de los contaminantes del aire, debido a los cambios de temperatura que se presentan durante el día, ya que se genera un movimiento constante que crea condiciones inestables y dispersa los contaminantes.

Se pueden presentar condiciones atmosféricas estables originando la inversión térmica cuando el aire más caliente se encuentra por encima del aire frío, impidiendo la mezcla vertical, reteniendo el ascenso y dispersión de contaminantes de las capas más bajas de la atmósfera lo que causa un problema localizado de contaminación del aire.

Figura 5-117. Registros temperaturas horarias.



Fuente. SIAM Ingeniería, 2022

En la Figura 5-117 se observa que la temperatura máxima fue de 36,6°C registrada el 14 de abril de 2022 a las 12:00, la temperatura mínima fue de 22,4°C registrada el día 1 de mayo de 2022 a las 4:00 y la temperatura media es de 27,8°C.

Figura 5-118. Temperatura promedio diaria °C.

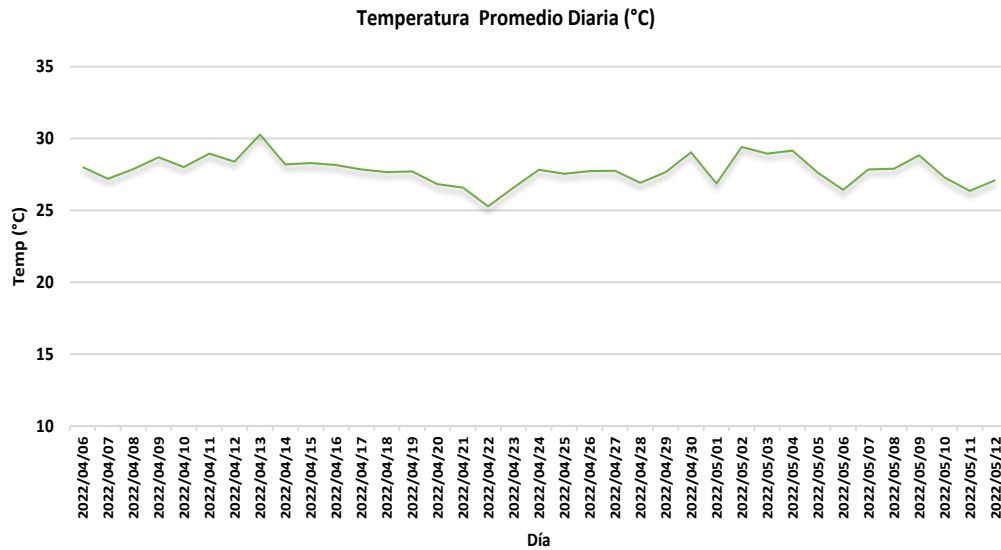
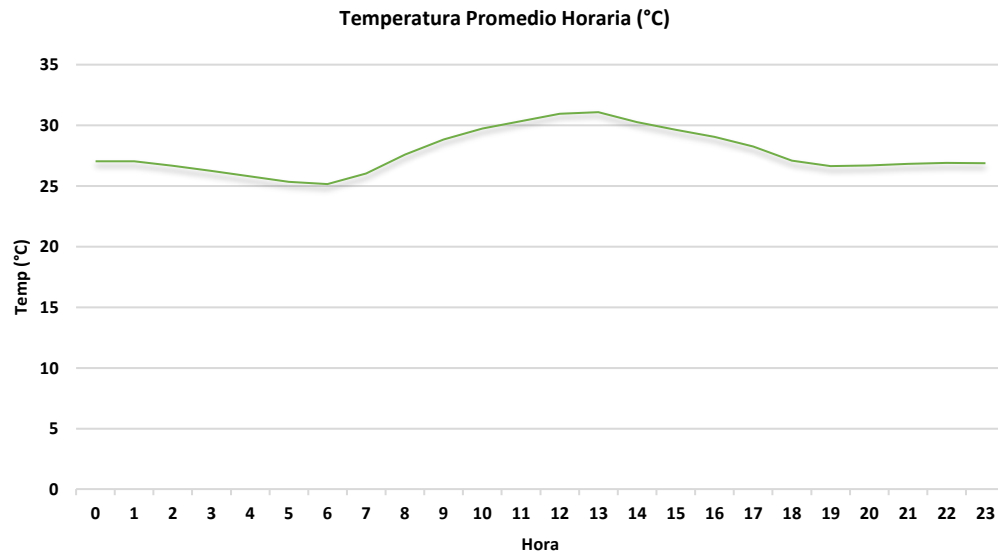


Figura 5-119. Temperatura promedio multihorario °C.



Fuente. SIAM Ingeniería, 2022.

La Figura 5-119 presenta el promedio multi-horario de temperatura, es decir, el promedio para todas las horas 1, todas las horas 2, todas las horas 3, etc. En el periodo de

monitoreo, se evidencia un aumento de temperatura desde las 7:00 horas alcanzando su máximo de aproximadamente en 31,08°C a las 13:00 horas, donde la temperatura inicia un descenso hacia valores cercanos a los 25,16°C. En cuanto al promedio diario, en la Figura 5-118 se puede resaltar que los días más calientes estuvieron por el orden de los 30,27°C.

Precipitación

La precipitación es uno de los factores climáticos que mayor incidencia tiene dentro de los procesos de dispersión de contaminantes, pues su presencia hace que las sustancias en suspensión en forma de aerosoles o gases sean arrastradas con ella. En consecuencia, surte un efecto de lavado, manifestado con la disminución en la concentración.

Durante los días de monitoreo comprendidos del 6 de abril al 12 de mayo de 2022 se registraron precipitaciones durante 18 días de muestreo.

Figura 5-120. Precipitación acumulada diaria.

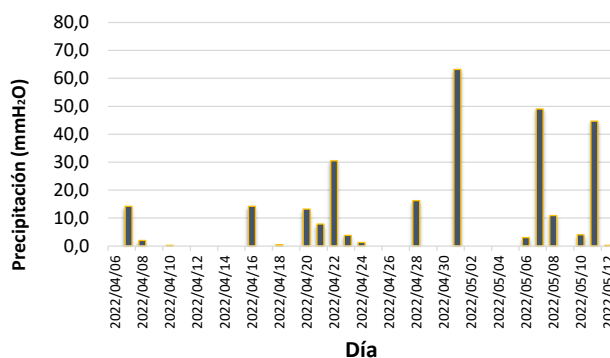
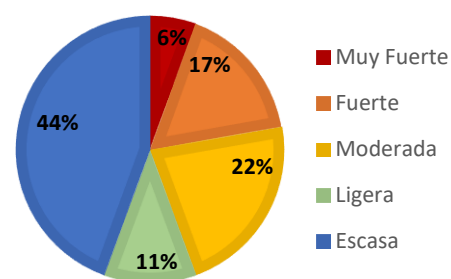


Figura 5-121. Distribución lluvias por categoría.



Fuente. SIAM Ingeniería, 2022.

La Figura 5-120 presenta los registros acumulados diarios de precipitación comprendidos del 6 de abril al 12 de mayo de 2022 y como se evidencia en la Figura 5-121 la

precipitación se clasifica en muy fuerte, fuerte, moderada, ligera y escasa, es de resaltar que el día 1 de mayo de 2022 se presentó una precipitación con clasificación “Muy fuerte” cuyo aporte fue de 63,24 mmH₂O. Validando que el monitoreo se realizó en época húmeda.

Resultados del monitoreo de la calidad del aire

Una vez tomadas las muestras de campo, analizadas en el laboratorio y posteriormente aprobadas por el director de laboratorio, se determinó si las muestras cumplían con todos los requerimientos para ser validadas y tenidas en cuenta en el tratamiento estadístico³.

Los resultados de PM₁₀ fueron obtenidos a partir de equipos de alto volumen para material particulado (Hi-Vol.); los resultados de PM_{2.5} fueron obtenidos a partir de equipos de bajo volumen (Low- Vol), los resultados de SO₂ fueron obtenidos a partir de equipos RACK de gases, los resultados de NO₂ fueron obtenidos por analizadores automáticos; los resultados presentados en este capítulo se desarrollaron entre el 06 de abril de 2022 al 12 de mayo de 2022 y las concentraciones son expresadas a “*condiciones de referencia de 25 °C y 760 mmHg*”.

El pesaje de filtros PM₁₀ y PM_{2.5} y el análisis de los gases se llevó a cabo por SIAM INGENIERÍA S.A.S acreditado mediante Resolución de acreditación No. 1742 del 30 de julio de 2018 y Resolución de Extensión No. 0195 del 09 de marzo de 2021 del IDEAM. (Ver Anexo 4).

Respecto a los tiempos de medición para PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂ las muestras fueron válidas en todas las estaciones de calidad del aire pues se mantuvieron entre 23 y 25 horas cumpliendo con el tiempo requerido para las mediciones. Para NO₂ las mediciones fueron válidas pues se mantuvieron en tiempo establecido en la normatividad de 1 hora.

Cabe anotar que el día 08 de mayo de 2022 se debía realizar cambio de muestras en el proyecto, pero no fue posible realizarlo por la situación de orden público generada por los

³Determinación de valores Promedio, Mediana, Máximo, Mínimo, Percentil 25, Percentil 75 y Desviación estándar.

grupos al margen de la ley, razón por la cual se extendió el monitoreo para cumplir con la totalidad de las muestras.

Material particulado inhalable PM₁₀

Los principales valores obtenidos según la medición realizada de PM₁₀ se resumen en la Tabla 5-136 y Tabla 5-137:

Tabla 5-136. Resultados de concentraciones y estadísticas de PM₁₀ Estación 1 y 2.

Fecha	PM ₁₀ (µg/m ³)		Operación	Símbolo	Resultados E1. PT-CA-1	Resultados E2. PT-CA-2
	E1	E2				
2022-04-06	23,26	59,48				
2022-04-08	37,59	37,05	Numero de datos	n	18	18
2022-04-10	28,66	27,25	Promedio Aritmético	X1	25,71	26,05
2022-04-12	39,44	32,20	Mediana	m	21,35	24,10
2022-04-14	49,81	33,71	Coeficiente de Variación	Cv	50%	49%
2022-04-16	46,79	38,46	Desviación estándar	S	12,91	12,86
2022-04-18	44,58	40,07	Intervalo de confianza	µ (10%)	6,82	6,79
2022-04-20	14,49	14,33	Intervalo de confianza	µ1 (5%)	18,89	19,26
2022-04-22	12,37	14,71	Intervalo de confianza	µ2 (2.5%)	30,91	30,86
2022-04-24	11,09	12,21	Percentil 25	25%	15,03	15,04
2022-04-26	13,07	14,00	Percentil 75	75%	36,25	33,33
2022-04-28	17,57	16,00	Valor más alto registrado	Max	49,81	59,48
2022-04-30	20,00	20,96	Día de registro	Date	2022-04-14	2022-04-06
2022-05-02	16,67	16,39	Valor más bajo registrado	Min	11,09	11,68
2022-05-04	13,31	11,68	Día de registro	Date	2022-04-24	2022-05-04
2022-05-06	19,18	30,98	Calificación valor máximo registrado respecto Norma diaria 75 (µg/m ³)		Cumple	Cumple
2022-05-10	22,70	19,03				
2022-05-12	32,24	30,45				

Fuente: SIAM Ingeniería, 2022.

Tabla 5-137. Resultados de concentraciones y estadísticas de PM₁₀ Estación 3 y 4.

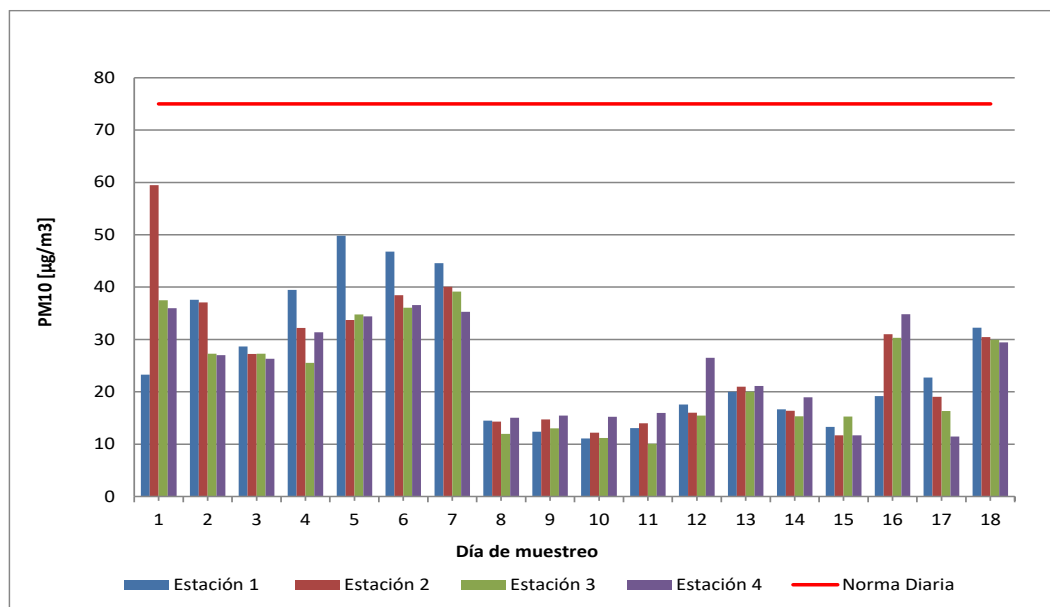
Fecha	PM ₁₀ (µg/m ³)		Operación	Símbolo	Resultados E3. PT-CA-3	Resultados E4. PT-CA-4
	E3	E4				
2022-04-06	37,49	35,98				
2022-04-08	27,30	27,00	Numero de datos	n	18	18
2022-04-10	27,26	26,30	Promedio Aritmético	X1	23,13	24,59
2022-04-12	25,55	31,38	Mediana	m	22,78	26,41
2022-04-14	34,77	34,42	Coeficiente de Variación	Cv	43%	37%
2022-04-16	36,06	36,59	Desviación estándar	S	9,95	9,04

2022-04-18	39,17	35,26	Intervalo de confianza	μ (10%)	5,26	4,78
2022-04-20	11,94	15,03	Intervalo de confianza	μ_1 (5%)	17,88	19,81
2022-04-22	13,00	15,47	Intervalo de confianza	μ_2 (2.5%)	27,95	27,04
2022-04-24	11,17	15,21	Percentil 25	25%	15,28	15,59
2022-04-26	10,06	15,95	Percentil 75	75%	30,22	33,66
2022-04-28	15,46	26,51	Valor más alto registrado	Max	39,17	36,59
2022-04-30	20,02	21,13	Día de registro	Date	2022-04-18	2022-04-16
2022-05-02	15,31	18,96	Valor más bajo registrado	Min	10,06	11,46
2022-05-04	15,27	11,70	Día de registro	Date	2022-04-26	2022-05-10
2022-05-06	30,31	34,80	Calificación valor máximo registrado respecto Norma diaria 75 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Cumple	Cumple
2022-05-10	16,32	11,46				
2022-05-12	29,95	29,46				

Fuente: SIAM Ingeniería, 2022.

En la Figura 5-122 se presentan los datos diarios de PM_{10} obtenidos en las estaciones y su comparación frente a los valores establecidos en la normatividad, Resolución 2254/2017 del MADS, para exposición diaria ($75 \mu\text{g}/\text{m}^3$). De acuerdo con el análisis estadístico efectuado para las concentraciones de PM_{10} , se evidencia que no presentaron valores superiores a la norma 24 horas.

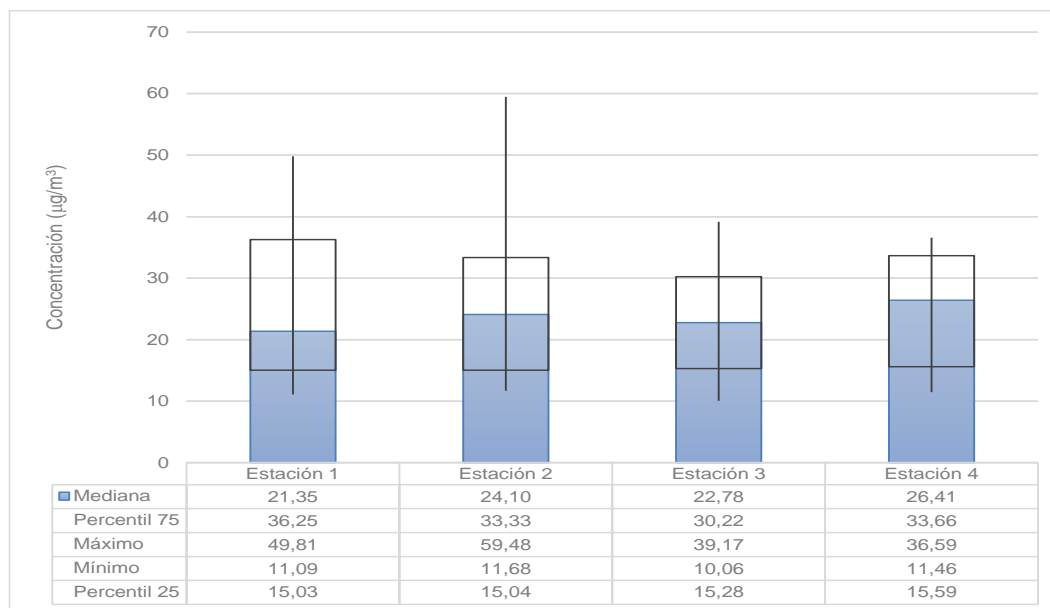
Figura 5-122. Datos de calidad del aire para PM_{10} .



Fuente: SIAM Ingeniería, 2022.

En la Figura 5-123 se presenta el diagrama de cajas y bigotes para las concentraciones de PM₁₀ en las estaciones:

Figura 5-123. Diagrama de caja para PM₁₀.



Fuente: SIAM Ingeniería, 2022.

El valor máximo de PM₁₀ corresponde a 59,48 µg/m³ en la estación 2 el día 6 de abril de 2022, donde el 75% de los datos son inferiores a 33,33 µg/m³, seguido de la estación 1 con un rango de concentraciones similar, por su parte, las estaciones restantes registran concentraciones que oscilan en un rango aproximado entre 10 a 39 µg/m³. En general los valores en las estaciones mantienen una baja variabilidad con una desviación aproximada entre 9 y 12 µg/m³.

Material particulado inhalable fino PM_{2.5}

Los principales valores obtenidos según la medición realizada de PM_{2.5} se resumen en la Tabla 5-138 y Tabla 5-139 :

Tabla 5-138. Resultados de concentraciones y estadísticas de PM_{2.5} Estación 1 y 2.

Fecha	PM _{2.5} (µg/m ³)		Operación	Símbolo	Resultados E1. PT-CA-1	Resultados E2. PT-CA-2
	E1	E2				
2022-04-06	13,98	19,75				

2022-04-08	13,86	15,22	Numero de datos	n	18	18
2022-04-10	16,29	19,38	Promedio Aritmético	X1	11,03	12,69
2022-04-12	12,58	20,64	Mediana	m	11,98	11,85
2022-04-14	16,83	21,64	Coeficiente de Variación	Cv	32%	40%
2022-04-16	12,96	15,09	Desviación estándar	S	3,51	5,06
2022-04-18	12,63	14,56	Intervalo de confianza	μ (10%)	1,85	2,67
2022-04-20	8,92	9,62	Intervalo de confianza	μ_1 (5%)	9,18	10,02
2022-04-22	7,77	8,18	Intervalo de confianza	μ_2 (2.5%)	21,51	23,06
2022-04-24	6,52	7,60	Percentil 25	25%	7,51	8,33
2022-04-26	7,43	6,12	Percentil 75	75%	13,63	15,19
2022-04-28	11,29	9,23	Valor más alto registrado	Max	16,83	21,64
2022-04-30	12,02	13,78	Día de registro	Date	2022-04-14	2022-04-14
2022-05-02	6,65	8,03	Valor más bajo registrado	Min	6,33	6,12
2022-05-04	6,33	7,17	Día de registro	Date	2022-05-04	2022-04-26
2022-05-06	6,42	8,76	Calificación valor máximo registrado respecto Norma diaria 37 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Cumple	Cumple
2022-05-10	14,15	11,55				
2022-05-12	11,95	12,16				

Fuente: SIAM Ingeniería, 2022.

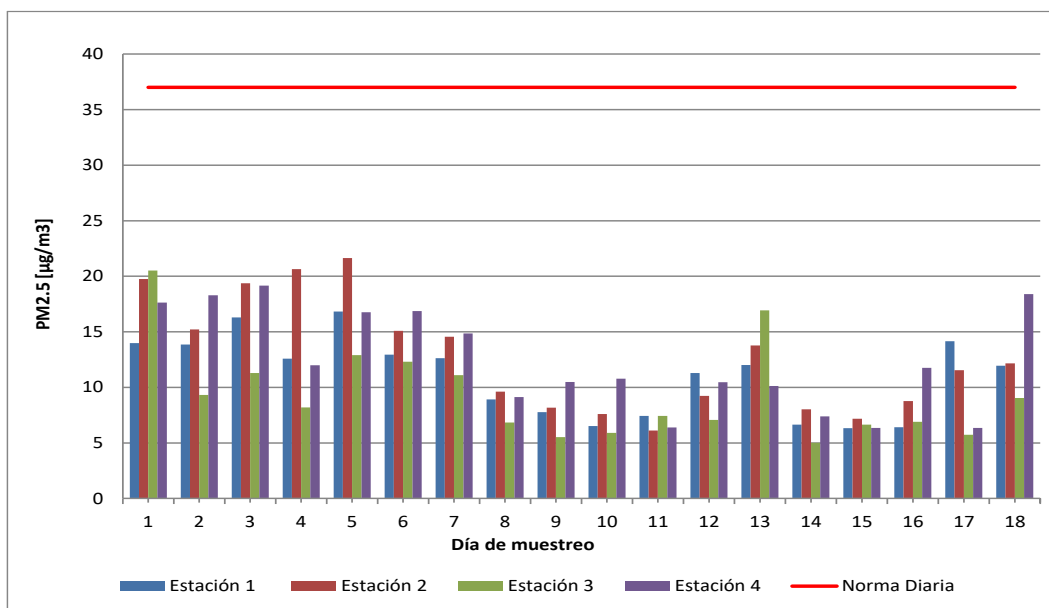
Tabla 5-139. Resultados de concentraciones y estadísticas de PM_{2.5} Estación 3 y 4.

Fecha	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Operación	Símbolo	Resultados E3. PT-CA-3	Resultados E4. PT-CA-4
	E3	E4				
2022-04-06	20,52	17,64				
2022-04-08	9,31	18,28	Numero de datos	n	18	18
2022-04-10	11,29	19,17	Promedio Aritmético	X1	9,37	12,40
2022-04-12	8,20	12,00	Mediana	m	7,82	11,28
2022-04-14	12,89	16,77	Coeficiente de Variación	Cv	45%	37%
2022-04-16	12,31	16,88	Desviación estándar	S	4,19	4,54
2022-04-18	11,10	14,86	Intervalo de confianza	μ (10%)	2,21	2,40
2022-04-20	6,84	9,12	Intervalo de confianza	μ_1 (5%)	7,15	10,00
2022-04-22	5,52	10,49	Intervalo de confianza	μ_2 (2.5%)	22,19	22,54
2022-04-24	5,90	10,79	Percentil 25	25%	6,69	9,37
2022-04-26	7,44	6,39	Percentil 75	75%	11,24	16,85
2022-04-28	7,06	10,45	Valor más alto registrado	Max	20,52	19,17
2022-04-30	16,92	10,13	Día de registro	Date	2022-04-06	2022-04-10
2022-05-02	5,02	7,38	Valor más bajo registrado	Min	5,02	6,35
2022-05-04	6,64	6,35	Día de registro	Date	2022-05-02	2022-05-04
2022-05-06	6,89	11,76	Calificación valor máximo registrado respecto Norma diaria 37 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Cumple	Cumple
2022-05-10	5,72	6,36				
2022-05-12	9,03	18,40				

Fuente: SIAM Ingeniería, 2022.

En la Figura 5-124 se presentan los datos individuales por día de PM_{2.5} obtenidos en las estaciones y su comparación frente a los valores establecidos en la normatividad, Resolución 2254/2017 del MADS, para exposición diaria (37 µg/m³). De acuerdo con el análisis estadístico efectuado para las concentraciones de PM_{2.5}, se evidencian valores inferiores a la norma 24 horas.

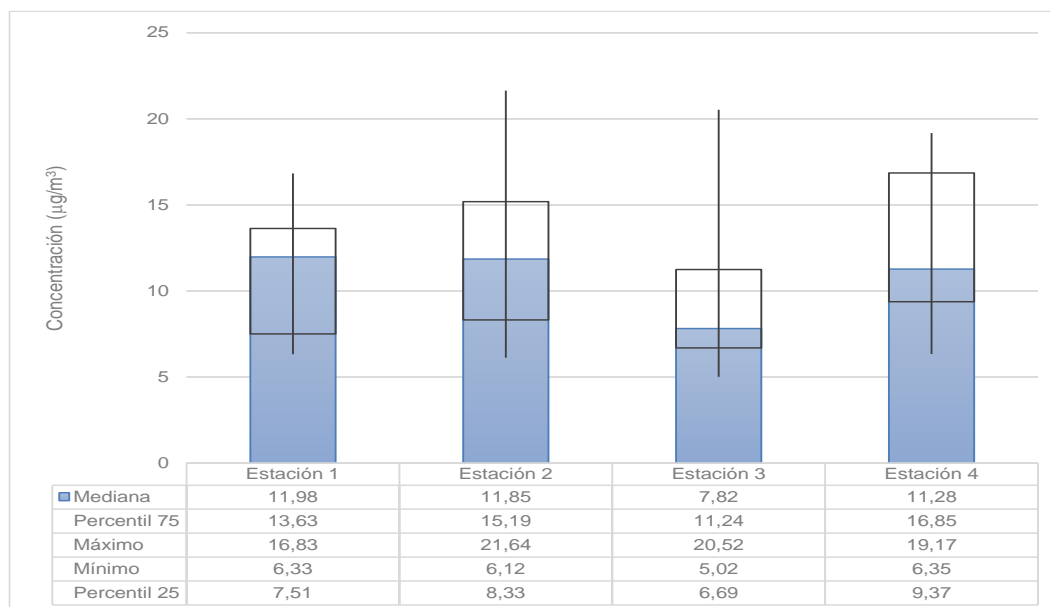
Figura 5-124. Datos de calidad del aire para PM_{2.5}.



Fuente: SIAM Ingeniería, 2022.

En la Figura 5-125 se presenta el diagrama de cajas y bigotes para la concentración de PM_{2.5} en las estaciones:

Figura 5-125. Diagrama de caja para PM_{2.5}.



Fuente: SIAM Ingeniería, 2022.

El punto con mayores partículas finas corresponde a la estación 2 con un valor máximo de 21,64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, seguido de la estación 4, donde el 75% de los datos son inferiores a 16,85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, así mismo, se evidencia que, la estación 3 presenta menor impacto donde el 75% de los datos son inferiores a 11,24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y en general los resultados mantienen una baja variabilidad (desviación desde 3 a 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), dado lo anterior todas las concentraciones cumplen con la norma de exposición diaria, por tanto, se puede inferir que en la zona se espera el cumplimiento de dicho estándar.

Dióxido de nitrógeno (NO₂)

Los máximos valores horarios obtenidos según la medición realizada de NO₂ se resumen en la Tabla 5-140 y Tabla 5-141:

Tabla 5-140. Resultados de concentraciones y estadísticas de NO₂ en la Estación 1 y 2.

Fecha	NO ₂ (µg/m³)		Operación	Símbolo	Resultados E1. PT-CA-1	Resultados E2. PT-CA-2
	E1	E2				
2022-04-06	31,46	32,17				
2022-04-08	44,24	44,24	Numero de datos	n	18	18

2022-04-10	39,47	40,07	Promedio Aritmético	X1	40,66	40,72
2022-04-12	42,17	43,70	Mediana	m	41,44	40,85
2022-04-14	36,55	35,87	Coeficiente de Variación	Cv	12%	12%
2022-04-16	46,32	45,02	Desviación estándar	S	4,96	4,78
2022-04-18	32,07	32,29	Intervalo de confianza	μ (10%)	2,62	2,53
2022-04-20	41,07	40,72	Intervalo de confianza	μ 1 (5%)	38,04	38,19
2022-04-22	34,77	34,30	Intervalo de confianza	μ 2 (2.5%)	22,96	22,78
2022-04-24	37,45	39,08	Percentil 25	25%	37,63	39,13
2022-04-26	38,15	40,60	Percentil 75	75%	42,91	44,11
2022-04-28	49,23	48,55	Valor más alto registrado	Max	49,23	48,55
2022-04-30	40,85	40,97	Día de registro	Date	2022-04-28	2022-04-28
2022-05-02	42,88	41,29	Valor más bajo registrado	Min	31,46	32,17
2022-05-04	48,01	48,34	Día de registro	Date	2022-04-06	2022-04-06
2022-05-06	41,82	39,29	Calificación valor máximo registrado respecto Norma horaria 200 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Cumple	Cumple
2022-05-10	42,44	42,02				
2022-05-12	42,92	44,37				

Fuente: SIAM Ingeniería, 2022.

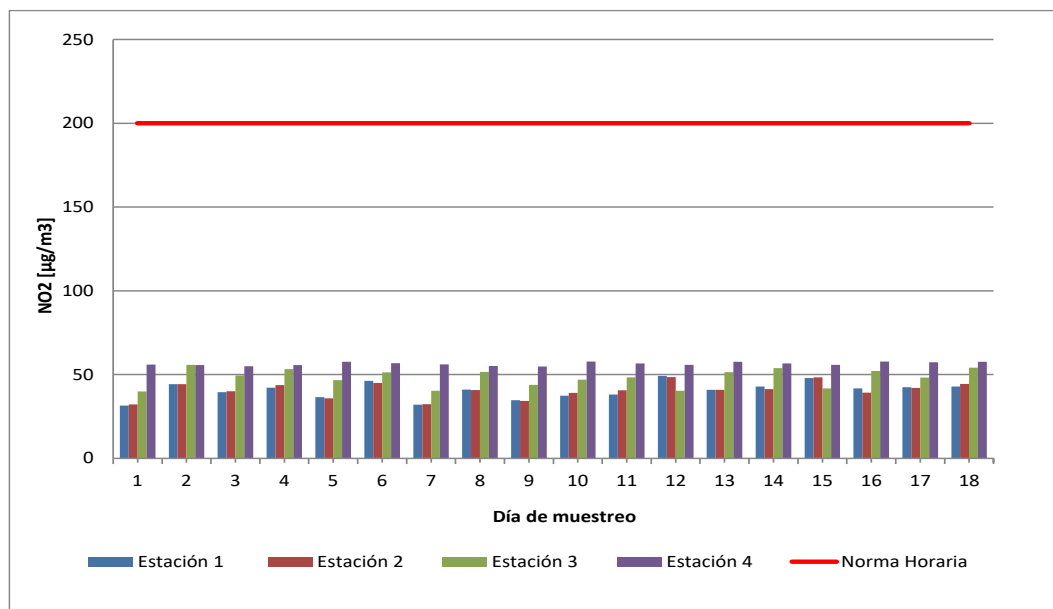
Tabla 5-141. Resultados de concentraciones y estadísticas de NO₂ en la Estación 3 y 4.

Fecha	NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Operación	Símbolo	Resultados E3. PT-CA3	Resultados E4. PT-CA-4
	E3	E4				
2022-04-06	39,96	55,93				
2022-04-08	55,77	55,61	Numero de datos	n	18	18
2022-04-10	49,52	54,92	Promedio Aritmético	X1	48,30	56,46
2022-04-12	53,31	55,73	Mediana	m	48,96	56,43
2022-04-14	46,65	57,72	Coeficiente de Variación	Cv	11%	2%
2022-04-16	51,26	56,80	Desviación estándar	S	5,18	1,04
2022-04-18	40,29	56,16	Intervalo de confianza	μ (10%)	2,74	0,55
2022-04-20	51,53	55,14	Intervalo de confianza	μ 1 (5%)	45,57	55,91
2022-04-22	43,83	54,84	Intervalo de confianza	μ 2 (2.5%)	23,18	19,04
2022-04-24	46,99	57,77	Percentil 25	25%	44,53	55,75
2022-04-26	48,39	56,72	Percentil 75	75%	52,05	57,58
2022-04-28	40,34	55,88	Valor más alto registrado	Max	55,77	57,83
2022-04-30	51,50	57,72	Día de registro	Date	2022-04-08	2022-05-06
2022-05-02	53,80	56,70	Valor más bajo registrado	Min	39,96	54,84
2022-05-04	41,74	55,84	Día de registro	Date	2022-04-06	2022-04-22
2022-05-06	52,22	57,83	Calificación valor máximo registrado respecto Norma horaria 200 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Cumple	Cumple
2022-05-10	48,28	57,42				
2022-05-12	54,11	57,64				

Fuente: SIAM Ingeniería, 2022.

En la Figura 5-126 se observa el registro de las concentraciones máximas horarias por día de NO₂ obtenidas en las estaciones de monitoreo, en la cual se establece que todos los valores se ubican por debajo del límite máximo permisible horario de 200µg/m³:

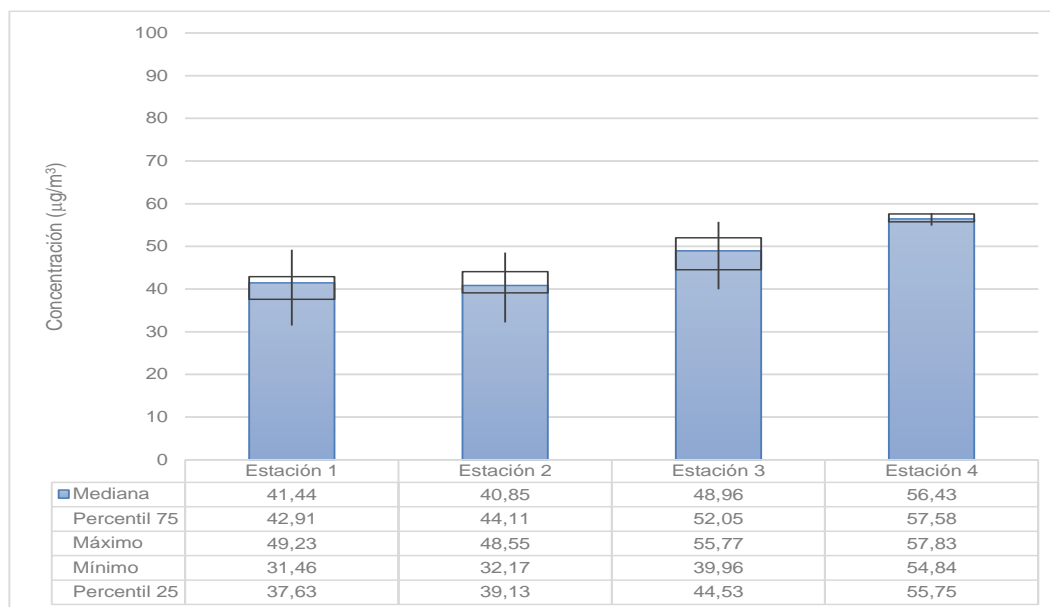
Figura 5-126. Datos de calidad del aire para NO₂.



Fuente: SIAM Ingeniería, 2022.

La Figura 5-126 presenta el diagrama de cajas y bigotes para la concentración de NO₂ de los valores *máximos horarios por cada día* para las estaciones.

Figura 5-127. Diagrama de cajas para NO₂.



Fuente: SIAM Ingeniería, 2022.

La concentración máxima de NO₂ corresponde a la estación 4 con un valor 57,83 µg/m³ el día 6 de mayo de 2022 y al comparar de forma indicativa se evidencia que cumple la norma de exposición horaria de (200 µg/m³) dado por la Resolución MADS 2254 de 2017, en general las estaciones presentan una desviación entre 1 y 5 µg/m³ demostrando una baja variación entre los datos, dado lo anterior, se puede inferir que en la zona se espera el cumplimiento de dicho estándar, demostrando que las emisiones producidas por el paso de vehículos y actividades propias de la región no representan riesgo a la salud de los expuestos.

Dióxidos de azufre SO₂

Los principales valores obtenidos según la medición realizada de SO₂ se resumen en la Tabla 5-142 y Tabla 5-143, donde de acuerdo con los resultados obtenidos se evidencia que se presentaron valores menores al límite de cuantificación mínimo (LCM) del método empleado durante todo el monitoreo en las cuatro estaciones.

Tabla 5-142. Resultado de concentraciones y estadísticas de SO₂ Estación 1 y 2.

Fecha	SO ₂ (µg/m ³)		Operación	Símbolo	Resultados E1. PT-CA-1	Resultados E2. PT-CA-2
	E1	E2				
2022-04-06	<LCM	<LCM				
2022-04-08	<LCM	<LCM	Numero de datos	n	-	-
2022-04-10	<LCM	<LCM	Promedio Aritmético	X1	-	-
2022-04-12	<LCM	<LCM	Mediana	m	-	-
2022-04-14	<LCM	<LCM	Coeficiente de Variación	Cv	-	-
2022-04-16	<LCM	<LCM	Desviación estándar	S	-	-
2022-04-18	<LCM	<LCM	Intervalo de confianza	µ (10%)	-	-
2022-04-20	<LCM	<LCM	Intervalo de confianza	µ1 (5%)	-	-
2022-04-22	<LCM	<LCM	Intervalo de confianza	µ2 (2.5%)	-	-
2022-04-24	<LCM	<LCM	Percentil 25	25%	-	-
2022-04-26	<LCM	<LCM	Percentil 75	75%	-	-
2022-04-28	<LCM	<LCM	Valor más alto registrado	Max	-	-
2022-04-30	<LCM	<LCM	Día de registro	Date	-	-
2022-05-02	<LCM	<LCM	Valor más bajo registrado	Min	-	-
2022-05-04	<LCM	<LCM	Día de registro	Date	-	-
2022-05-06	<LCM	<LCM	Calificación respecto a la Norma diaria 50 (µg/m ³) con respecto al valor máximo registrado (Res 2254/2017)		Cumple	Cumple
2022-05-10	<LCM	<LCM				
2022-05-12	<LCM	<LCM				

Fuente: SIAM Ingeniería, 2022.

*LCM: límite de cuantificación mínimo del método (LCM): 7,20 µg SO₂/m³

Tabla 5-143. Resultado de concentraciones y estadísticas de SO₂ Estación 3 y 4.

Fecha	SO ₂ (µg/m ³)		Operación	Símbolo	Resultados E3. PT-CA-3	Resultados E4. PT-CA-4
	E3	E4				
2022-04-06	<LCM	<LCM				
2022-04-08	<LCM	<LCM	Numero de datos	n	-	-
2022-04-10	<LCM	<LCM	Promedio Aritmético	X1	-	-
2022-04-12	<LCM	<LCM	Mediana	m	-	-
2022-04-14	<LCM	<LCM	Coeficiente de Variación	Cv	-	-
2022-04-16	<LCM	<LCM	Desviación estándar	S	-	-
2022-04-18	<LCM	<LCM	Intervalo de confianza	µ (10%)	-	-
2022-04-20	<LCM	<LCM	Intervalo de confianza	µ1 (5%)	-	-
2022-04-22	<LCM	<LCM	Intervalo de confianza	µ2 (2.5%)	-	-
2022-04-24	<LCM	<LCM	Percentil 25	25%	-	-
2022-04-26	<LCM	<LCM	Percentil 75	75%	-	-
2022-04-28	<LCM	<LCM	Valor más alto registrado	Max	-	-
2022-04-30	<LCM	<LCM	Día de registro	Date	-	-
2022-05-02	<LCM	<LCM	Valor más bajo registrado	Min	-	-
2022-05-04	<LCM	<LCM	Día de registro	Date	-	-
2022-05-06	<LCM	<LCM				

2022-05-10	<LCM	<LCM	Calificación respecto a la Norma diaria 50 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) con respecto al valor máximo registrado (Res 2254/2017)	Cumple	Cumple
2022-05-12	<LCM	<LCM			

Fuente: SIAM Ingeniería, 2022.

*LCM: límite de cuantificación mínimo del método (LCM): $7,20 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$

En general los valores obtenidos de SO_2 se encuentran en concentraciones inferiores al estándar máximo permisible dado por la normatividad ambiental vigente para un tiempo de exposición de 24 horas. Se podría asegurar que en lo que refiere a este contaminante no se sobrepasara en ninguna época del año el límite fijado por la norma.

Consolidado de los resultados. Contaminantes PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$, NO_2 , SO_2

En la Tabla 5-144 se presentan los valores de las concentraciones máximas de los contaminantes evaluados a condiciones de referencia durante los días del 6 de abril al 12 de mayo de 2022 para las cuatro estaciones comparados con el valor máximo permisible en la norma actual vigente para calidad del aire.

Tabla 5-144. Comparación de resultados concentración Parámetros Evaluados respecto al límite máximo permisible para tiempos de exposición anual.

MONITOREO Y ANÁLISIS DE CALIDAD DE AIRE DEL PROYECTO PARQUE SOLAR FOTOVOLTAICO GUAYEPO	Concentración máxima			
	PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$\text{PM}_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}$)	NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
E1: PT-CA-1	49,81	16,83	<LCM	49,23
E2: PT-CA-2	59,48	21,64	<LCM	48,55
E3: PT-CA-3	39,17	20,52	<LCM	55,77
E4: PT-CA-4	36,59	19,17	<LCM	57,83
Norma Diaria (Res-MADS2254/2017)	75	37	50	-
Norma Horaria (Res-MADS-2254/2017)	-	-	-	200

Fuente: SIAM Ingeniería, 2022.

Índice de calidad del aire

De acuerdo con las concentraciones obtenidas en la presente campaña de monitoreo por cada parámetro y por cada estación, se calculan los índices de calidad del aire, que permiten establecer cómo se encuentra la calidad del aire del área de influencia del

Proyecto Parque solar fotovoltaico Guayepo, con respecto a la normatividad actual vigente llevadas a las condiciones atmosféricas de referencia.

De la Tabla 5-145 a la Tabla 5-148, se caracterizan los ICA mediante la escala de colores:

Tabla 5-145. Índices de Calidad del Aire en la estación 1.

Fecha	Estación 1: PT-CA-1				
	ICA - PM_{10}	ICA - $PM_{2.5}$	ICA- NO_2	ICA - DÍA	Parámetro
2022-04-06	21,53	54,88	15,73	54,88	$PM_{2.5}$
2022-04-08	34,80	54,64	22,12	54,64	$PM_{2.5}$
2022-04-10	26,54	59,41	19,73	59,41	$PM_{2.5}$
2022-04-12	36,52	52,14	21,08	52,14	$PM_{2.5}$
2022-04-14	46,12	60,47	18,28	60,47	$PM_{2.5}$
2022-04-16	43,33	52,87	23,16	52,87	$PM_{2.5}$
2022-04-18	41,28	52,24	16,03	52,24	$PM_{2.5}$
2022-04-20	13,42	37,15	20,53	37,15	$PM_{2.5}$
2022-04-22	11,45	32,35	17,38	32,35	$PM_{2.5}$
2022-04-24	10,27	27,16	18,73	27,16	$PM_{2.5}$
2022-04-26	12,10	30,94	19,08	30,94	$PM_{2.5}$
2022-04-28	16,27	47,03	24,62	47,03	$PM_{2.5}$
2022-04-30	18,52	51,03	20,43	51,03	$PM_{2.5}$
2022-05-02	15,43	27,70	21,44	27,70	$PM_{2.5}$
2022-05-04	12,33	26,39	24,00	26,39	$PM_{2.5}$
2022-05-06	17,76	26,73	20,91	26,73	$PM_{2.5}$
2022-05-10	21,02	55,22	21,22	55,22	$PM_{2.5}$
2022-05-12	29,85	49,80	21,46	49,80	$PM_{2.5}$

Fuente: SIAM Ingeniería, 2022.

Tabla 5-146. Índices de Calidad del Aire en la estación 2.

Fecha	Estación 2: PT-CA-2				
	ICA - PM_{10}	ICA - $PM_{2.5}$	ICA- NO_2	ICA - DÍA	Parámetro
2022-04-06	53,68	66,19	16,08	66,19	$PM_{2.5}$
2022-04-08	34,31	57,31	22,12	57,31	$PM_{2.5}$
2022-04-10	25,23	65,47	20,03	65,47	$PM_{2.5}$
2022-04-12	29,81	67,93	21,85	67,93	$PM_{2.5}$
2022-04-14	31,22	69,88	17,93	69,88	$PM_{2.5}$
2022-04-16	35,61	57,05	22,51	57,05	$PM_{2.5}$
2022-04-18	37,10	56,01	16,14	56,01	$PM_{2.5}$
2022-04-20	13,27	40,10	20,36	40,10	$PM_{2.5}$
2022-04-22	13,62	34,08	17,15	34,08	$PM_{2.5}$
2022-04-24	11,31	31,67	19,54	31,67	$PM_{2.5}$
2022-04-26	12,96	25,51	20,30	25,51	$PM_{2.5}$
2022-04-28	14,82	38,45	24,27	38,45	$PM_{2.5}$

2022-04-30	19,41	54,48	20,48	54,48	PM _{2.5}
2022-05-02	15,18	33,47	20,64	33,47	PM _{2.5}
2022-05-04	10,81	29,87	24,17	29,87	PM _{2.5}
2022-05-06	28,69	36,51	19,64	36,51	PM _{2.5}
2022-05-10	17,62	48,11	21,01	48,11	PM _{2.5}
2022-05-12	28,20	51,31	22,19	51,31	PM _{2.5}

Fuente: SIAM Ingeniería, 2022.

Tabla 5-147. Índices de Calidad del Aire en la estación 3.

Fecha	ESTACIÓN 3: PT-CA-3				
	ICA - PM ₁₀	ICA - PM _{2.5}	ICA-NO ₂	ICA - DfA	Parámetro
2022-04-06	34,72	67,70	19,98	67,70	PM _{2.5}
2022-04-08	25,27	38,81	27,89	38,81	PM _{2.5}
2022-04-10	25,24	47,03	24,76	47,03	PM _{2.5}
2022-04-12	23,65	34,19	26,65	34,19	PM _{2.5}
2022-04-14	32,19	52,75	23,32	52,75	PM _{2.5}
2022-04-16	33,39	51,61	25,63	51,61	PM _{2.5}
2022-04-18	36,26	46,26	20,14	46,26	PM _{2.5}
2022-04-20	11,06	28,49	25,76	28,49	PM _{2.5}
2022-04-22	12,04	23,01	21,91	23,01	PM _{2.5}
2022-04-24	10,34	24,60	23,50	24,60	PM _{2.5}
2022-04-26	9,31	31,00	24,20	31,00	PM _{2.5}
2022-04-28	14,31	29,43	20,17	29,43	PM _{2.5}
2022-04-30	18,53	60,65	25,75	60,65	PM _{2.5}
2022-05-02	14,17	20,90	26,90	26,90	NO ₂
2022-05-04	14,14	27,67	20,87	27,67	PM _{2.5}
2022-05-06	28,06	28,72	26,11	28,72	PM _{2.5}
2022-05-10	15,11	23,85	24,14	24,14	NO ₂
2022-05-12	27,74	37,65	27,06	37,65	PM _{2.5}

Fuente: SIAM Ingeniería, 2022.

Tabla 5-148. Índices de Calidad del Aire en la estación 4.

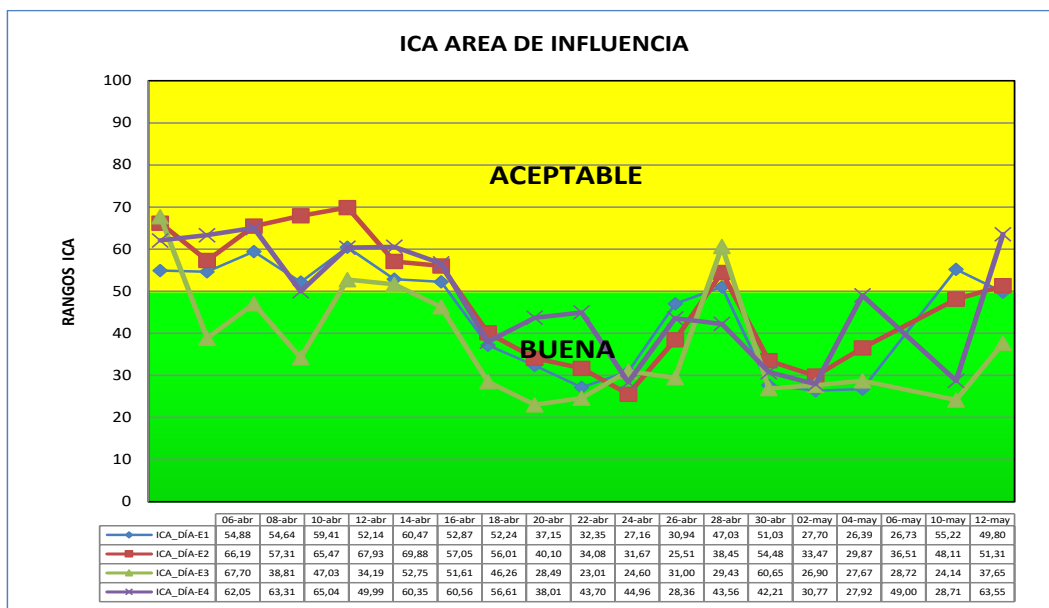
Fecha	ESTACIÓN 4: PT-CA-4				
	ICA - PM ₁₀	ICA - PM _{2.5}	ICA-NO ₂	ICA - DfA	Parámetro
2022-04-06	33,32	62,05	27,97	62,05	PM _{2.5}
2022-04-08	25,00	63,31	27,81	63,31	PM _{2.5}
2022-04-10	24,35	65,04	27,46	65,04	PM _{2.5}
2022-04-12	29,06	49,99	27,86	49,99	PM _{2.5}
2022-04-14	31,87	60,35	28,86	60,35	PM _{2.5}
2022-04-16	33,88	60,56	28,40	60,56	PM _{2.5}
2022-04-18	32,65	56,61	28,08	56,61	PM _{2.5}
2022-04-20	13,92	38,01	27,57	38,01	PM _{2.5}
2022-04-22	14,32	43,70	27,42	43,70	PM _{2.5}
2022-04-24	14,08	44,96	28,89	44,96	PM _{2.5}
2022-04-26	14,77	26,63	28,36	28,36	NO ₂
2022-04-28	24,55	43,56	27,94	43,56	PM _{2.5}
2022-04-30	19,56	42,21	28,86	42,21	PM _{2.5}

2022-05-02	17,56	30,77	28,35	30,77	PM _{2.5}
2022-05-04	10,83	26,44	27,92	27,92	NO ₂
2022-05-06	32,23	49,00	28,91	49,00	PM _{2.5}
2022-05-10	10,61	26,48	28,71	28,71	NO ₂
2022-05-12	27,27	63,55	28,82	63,55	PM _{2.5}

Fuente: SIAM Ingeniería, 2022.

De la Figura 5-128 se representan los ICA mediante escala de colores:

Figura 5-128. Índices de Calidad del aire.



Fuente: SIAM Ingeniería, 2022.

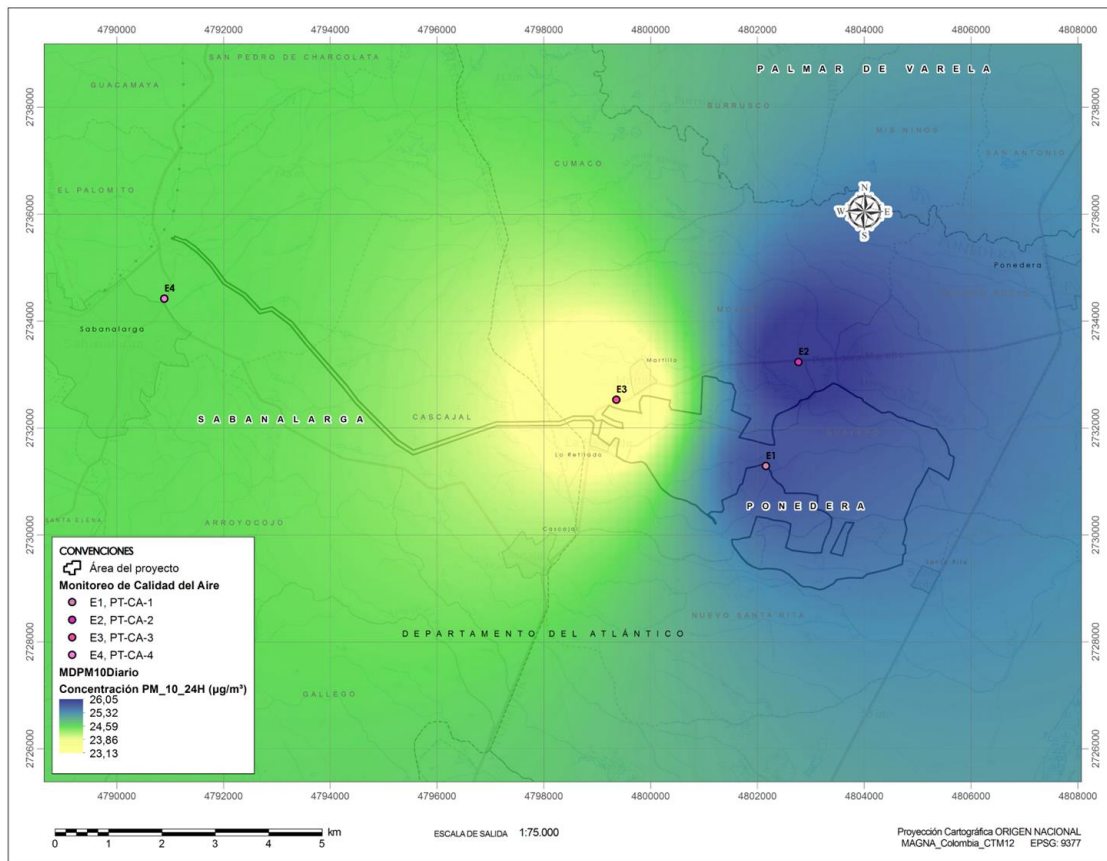
Las concentraciones reportadas son la base fundamental para el cálculo de los Índices de Calidad del Aire, de modo que el comportamiento presentado en los resultados analíticos de los niveles de PM_{2.5}, PM₁₀ y NO₂, es equivalente a los representados por los ICA.

Los ICA durante la campaña de monitoreo se presentaron en un 93,05% relacionados con el parámetro PM_{2.5} y en el porcentaje restante con NO₂, así mismo la zona de monitoreo estuvo descrita como calidad del aire “Buena”, puesto que en el 59,7% de las mediciones se determinó este ICA y el 40,3% restante se clasifica en calidad del aire

“Aceptable” demostrándose que el área evaluada presenta un riesgo bajo en el estado de salud hacia personal expuesto y población del área de influencia, lo anterior puede atribuirse a la influencia de fuentes como chimeneas doméstica, vía de acceso sin pavimentar, vía primaria de alto flujo vehicular, acopio de material y actividades constructivas.

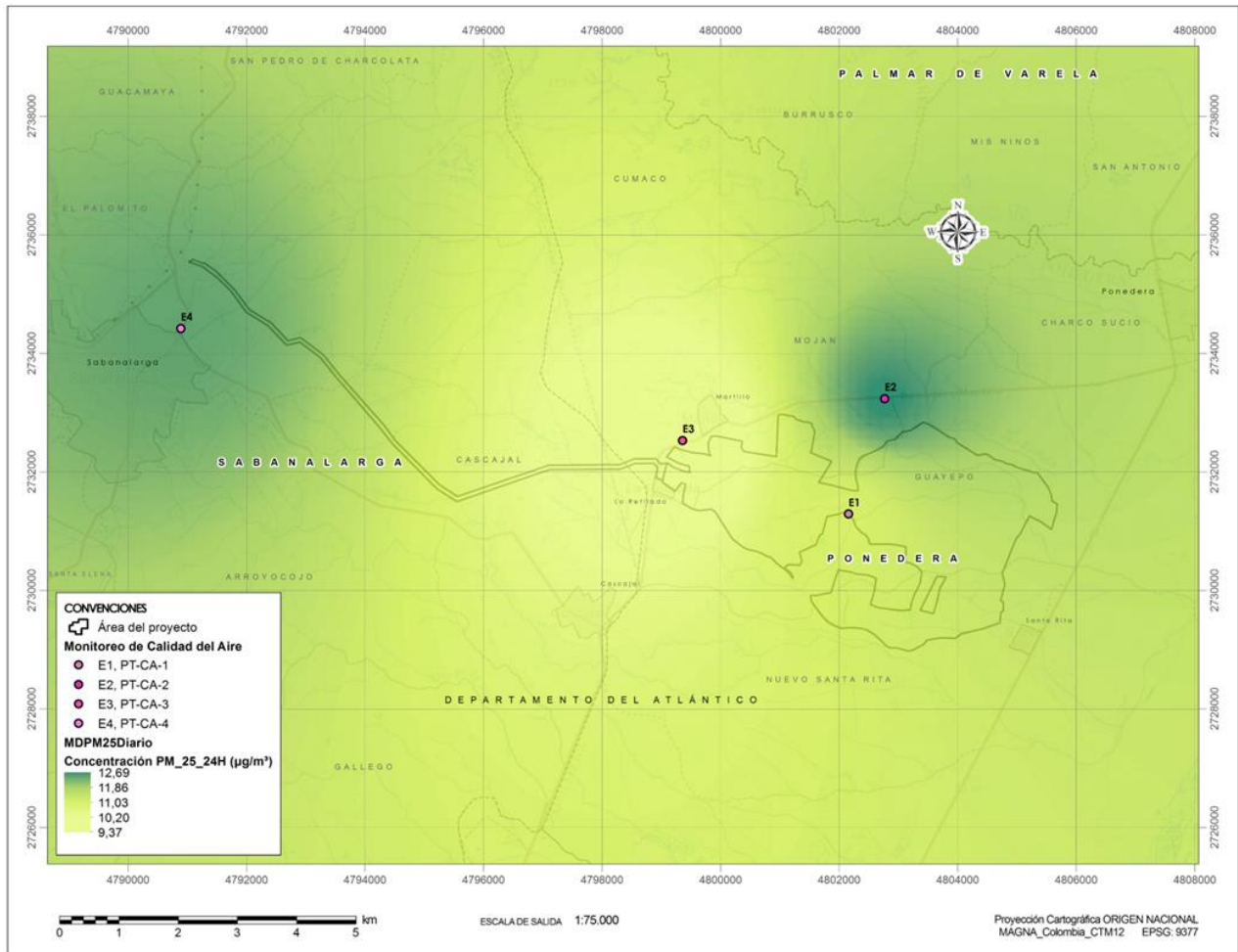
Por último, los mapas de ISO concentraciones de los contaminantes PM10, PM2.5 y NO2 se presentan en la Figura 5-129 a la Figura 5-131

Figura 5-129. Mapa isoconcentración PM10.



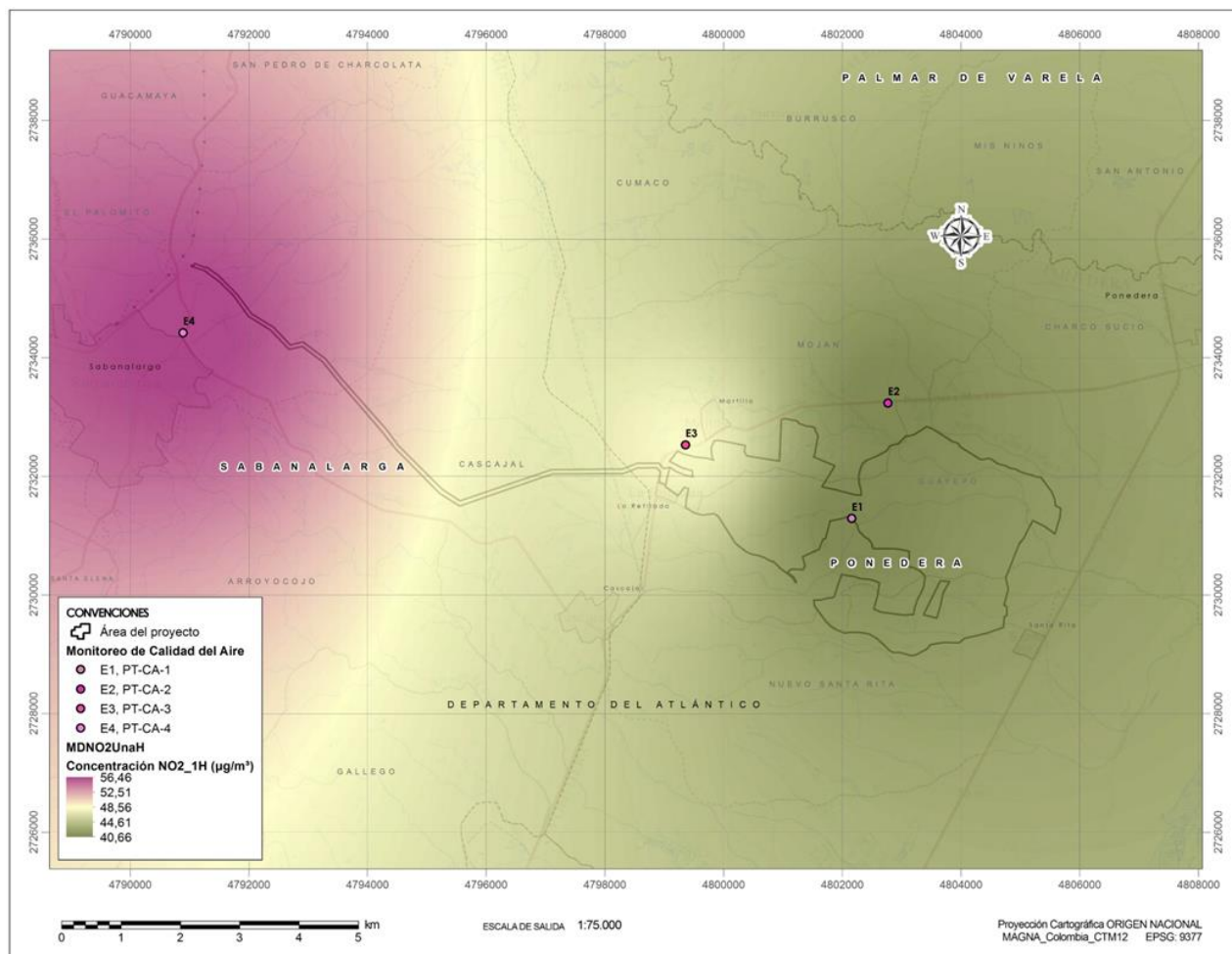
Fuente: SIAM Ingeniería, 2022

Figura 5-130. Mapa isoconcentración PM2.5.



Fuente: SIAM Ingeniería, 2022

Figura 5-131. Mapa isoconcentración NO₂.



Fuente: SIAM Ingeniería, 2022

5.1.9.3.1.7 Observaciones y conclusiones

El presente estudio determinó los niveles de inmisión de la calidad del aire para la modificación de la licencia ambiental (resolución 981 de 2021) del proyecto parque solar fotovoltaico Guayepo con capacidad de generación de 400MW, su línea de evacuación 500KV y bahía de conexión, mediante la medición y determinación de las concentraciones de los contaminantes: PM₁₀ (Material particulado inhalable), PM_{2.5} (Material particulado inhalable fino), NO₂ (Óxidos de nitrógeno) y SO₂ (Dióxido de azufre), durante un periodo húmedo de 36 días comprendido entre el 06 de abril y el 12 de mayo de 2022.

Generalidades

Las estaciones de monitoreo de calidad de aire se instalaron aplicando los criterios de ubicación fijados en el manual de diseño de sistemas de vigilancia de la calidad del aire del antiguo MAVDT ahora llamado Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y siguiendo las directrices suministradas por el cliente.

Meteorología

Durante el periodo de medición (6 de abril y el 12 de mayo de 2022), la temperatura promedio fue de 27,8°C, la humedad relativa fue de 86,05%, presentó una dirección que proviene predominantemente desde el Suroeste (SO) y la velocidad del viento promedio estuvo por el orden de 0,44 m/s que según la escala Beaufort se clasifica en Ventolina por su velocidad media.

Medición de parámetros: PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂, SO₂

La máxima concentración diaria de PM₁₀ con un valor de 59,48 µg/m³ se presentó el día 6 de abril de 2022, dicho valor cumple con el límite máximo permisible establecido en la Resolución 2254 de 2017 del MADS para un tiempo de exposición de 24 horas de 75 µg/m³. Pese a que se presentó un aumento en el valor máximo registrado con respecto a los resultados del EIA 2020, el cual fue de 58 µg/m³, los promedios de las 4 Estaciones disminuyeron pasando de rondar valores cercanos a 35 a estar rondando valores de 25 µg/m³.

La máxima concentración diaria de PM_{2.5} se presentó el día 14 de abril de 2022 con un valor de 21,64 µg/m³ y cumple con el límite máximo permisible establecido en la Resolución 2254 de 2017 del MADS para un tiempo de exposición de 24 horas con un valor de 37 µg/m³. Este parámetro presentó un leve aumento en los valores máximos medidos para cada Estación, comparado con los resultados del EIA 2020, donde se presentaban valores máximos promedio de 17 µg/m³.

La concentración de NO₂ presentó un máximo de 57,83 µg/m³ el día 6 de mayo de 2022, y en general los valores para este parámetro no superan los límites permisibles.

establecidos en la Resolución 2254 de 2017 del MADS para un tiempo de exposición horario con un valor de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Se evidencian valores promedio de NO_2 muy similares a los evidenciados durante el EIA 2020, los cuales en su gran mayoría estaban por debajo de $52,19 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con una concentración máxima de $55,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La concentración de SO_2 presentó valores inferiores a la norma diaria para SO_2 de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ establecida por la Resolución 2254 del 2017 del ahora MADS. Es importante resaltar que las estaciones de monitoreo en su totalidad presentaron concentraciones inferiores al límite de cuantificación del método del laboratorio, el cual es de $7,20 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$, evidenciando así la misma situación que se presentó para el EIA del 2020.

Los índices de la calidad del aire (ICA) de acuerdo con lo establecido en la tabla No. 06 de la Resolución 2254 de 2017 del MADS, para los parámetros PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ y NO_2 , presenta un estado de la calidad del aire que se describe como Bueno en el 59,7% de las ocasiones y el 40,3% restante se describe como Aceptable, demostrándose y manteniéndose con respecto al EIA del año 2020, que el área evaluada presenta un riesgo bajo en el estado de salud hacia personal expuesto y población del área de influencia.

5.1.9.3.2 Dinámica de dispersión de contaminantes

De acuerdo con TdR-015, a continuación, se presenta la dinámica de dispersión de contaminantes del proyecto realizado para el EIA del año 2020, considerando que para la presente modificación las características y condiciones generales del proyecto se mantienen a las usadas como insumos para la presentación de este primer EIA.

Teniendo en cuenta los valores altos para los contaminantes de interés PM_{10} Y $\text{PM}_{2.5}$ arrojados durante el monitoreo, se realiza la dinámica de dispersión basa en estos contaminantes, el cual permite evaluar las actividades del proyecto mediante el incremento de los niveles a causa del funcionamiento de automotores, movimientos de tierras y la combustión de vehículos motores.

Las modelaciones fueron realizadas para dos áreas específicas:

- La línea de evacuación y bahía de conexión a la subestación Sabanalarga
- El área del parque solar fotovoltaico

Teniendo en cuenta las actividades evaluadas en el documento del EIA 2020 se engloban de manera general las actividades del proyecto donde se determinaron las que conllevan emisión de material particulado asociado al movimiento y aprovechamiento del material como lo son:

- El despejado general de la tierra
- Cargue y descargue de material
- Grandes construcciones

De esta manera, se realizaron modelaciones del proyecto en:

- Línea base de acuerdo con el monitoreo
- Línea base para para la vía aforada
- Dinámica de dispersión sin medidas de control
- Dinámica de dispersión con medidas de control. Las medidas previstas son medidas mínimas como irrigación de las vías, el encerramiento con poli sombra y control en el horario de trabajo.

Con el fin de definir el impacto en calidad de aire en etapa de línea base, se tomó en cuenta la tipificación de la vía que conecta a Ponedera con Puerto Giraldo y se complementó el análisis con el monitoreo en las estaciones de calidad de aire realizado en el año 2020 para identificar los niveles de concentración.

Para determinar el comportamiento de la dispersión de contaminantes, se empleó el modelo gaussiano AERMOD, y sus preprocesadores AERMET y AERMAP.

El modelo requirió los siguientes parámetros de entrada:

- Caracterización del terreno: Por medio de Modelos digitales de Elevación (DEM) del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).
- Meteorología del lugar: Mediante el modelo MM5.
- Caracterización de las fuentes involucradas en el área de modelación.

Desde el punto de vista meteorológico, en el área de influencia, los vientos predominantes son de la dirección NE y N con valores promedio de velocidad horaria entre 3 m/s y 5 m/s, temperatura promedio mensual que varió entre 26°C y 30°C. La precipitación se encuentra entre 0 y 195 mm al mes, siendo el total anual 531mm.

Los resultados de la modelación se basaron en una grilla de 2200 receptores para el área de la línea de evacuación y 1500 receptores para la modelación del área del parque solar fotovoltaico, abarcando una distancia de 5 kilómetros de las fuentes de emisión.

Como configuraciones principales del modelo, se consideró un suelo rural, con efectos de la elevación del terreno, las demás variables como algoritmos de agotamiento de concentración, tiempo de vida o exponente de decaimiento de los contaminantes no se tuvieron en cuenta, con el fin de analizar el ***peor escenario***.

Se plantearon los resultados para que se permitiera comparar los valores predichos con cada uno de los tiempos de exposición establecidos en la Resolución 2254 del 2017 del MADS.

En la Figura 5-132 y en la Figura 5-133 se observa la topografía de la zona, la cual fue obtenida por medio de la base de datos de la USGS, donde la resolución es de 90 metros.

Figura 5-132 Modelo de elevación digital en el área del Parque solar fotovoltaico

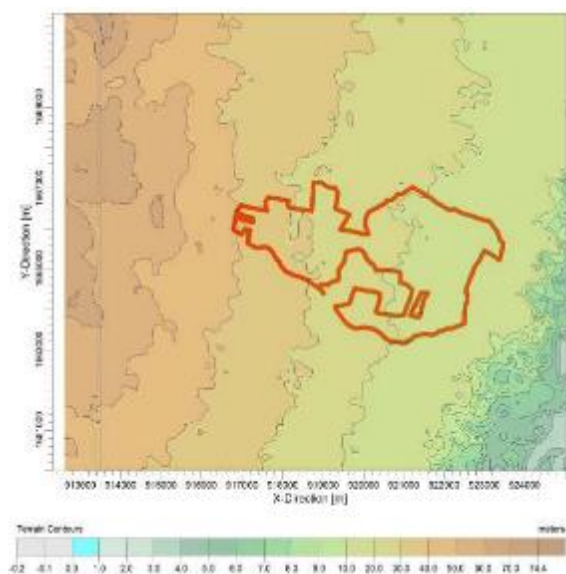
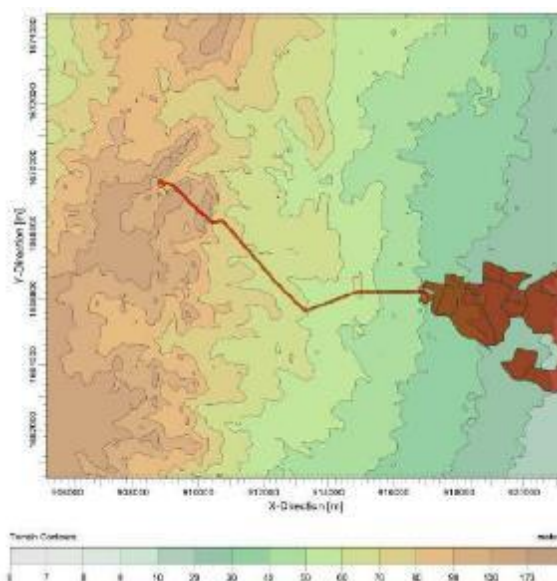


Figura 5-133 Modelo de elevación digital en el área de la Línea de evacuación y bahía de conexión



Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2020

Como se mencionó previamente la elaboración de los modelos de dispersión de contaminantes se realizó por medio del software AERMOD, el cual es un modelo gaussiano de estado estacionario. Se ha elaborado por la versión comercial denominada AERMOD ViewTM y a su vez se utilizó el software ArcGIS para la representación gráfica de los mapas. El software cuenta con dos preprocesadores (AERMET y AERMAP) y un procesador principal (AERMOD), descritos en detalle en el documento de EIA (EIA PROYECTO GUAYEPO SOLAR,2020) presentado previamente, numeral 5.1.9.3 Atmósfera.

Condiciones meteorológicas en la modelación

La información meteorológica para la modelación fue adquirida a través de modelos a mesoescala en este caso MM5 para el área de influencia, lo anterior debido a que la información solicitante del modelo debe ser de un año y horaria.

La meteorología de la zona es una de las variables más importantes al analizar la dispersión del contaminante. Es por lo anterior que el presente apartado pretende describir las variables meteorológicas, sus principales características y su tendencia.

Temperatura: Los meses con mayor temperatura son septiembre y diciembre mientras que los meses con temperaturas menos altas fueron enero y marzo. En promedio la temperatura es de 28.9°C lo anterior debido al piso altitudinal en el que se encuentra.

Precipitación: La precipitación en el área de influencia se incrementa entre abril y mayo, presentándose un gran incremento entre octubre y noviembre. En total en el año la cantidad de precipitación fue de 531 mm. Los meses húmedos son agosto, octubre y noviembre.

Velocidad y dirección del viento: La dirección predominante del viento es E. Asimismo, en revisión del comportamiento mensual de los vientos, se evidencia que todos los meses del año la predominancia es la misma (ESTE). Y respecto al comportamiento horario se evidencia que no existe variación a lo largo del día, la dirección predominante es ESTE.

Radiación solar: A medio día se encuentra el valor más elevado con 220 W/m² además el mes de septiembre tienen la radiación solar promedio más elevada del año.

Altura de capa de mezcla: Las variables anteriormente descritas, en conjunto crean escenarios en los cuales la dispersión del contaminante puede ser más eficiente o por el contrario la interacción entre penacho y atmosfera hace que los niveles de inmisión sean más elevados, lo anterior se representa con la Altura de capa de mezcla, que es la altura donde los contaminantes se mezclan con la atmosfera y la estabilidad atmosférica, que es la propiedad que hace que la emisión se disperse con más facilidad o por el contrario se precipite.

Como parte de la capa de mezcla, son determinados los parámetros de altura capa límite convectiva (CBL) y la altura estable de la capa límite (SBL). La CBL se manifiesta en horas del día mientras que la SBL se presenta en cualquier momento, pero se hace más importante en las noches, en las cuales los fenómenos de dispersión se realizan en una atmósfera estable, donde el fenómeno turbulento es determinante, mientras el fenómeno

de convección es despreciable. Se observa que la CBL empieza a las 6:00 a.m. creciendo hasta 2000 metros sobre las 5:00 p.m., sin embargo, la SBL, existente durante todo el día tiene su máximo en 600 metros sobre las 8:00 a.m.

Estabilidad atmosférica: La longitud de Monin-Obukhov es una variable que representa la estabilidad atmosférica, su interpretación indica que en horas de luz solar cuando existe calentamiento, la atmósfera es inestable y presenta valores negativos, caso contrario en horas de la noche donde los valores positivos indican el enfriamiento de la atmósfera por ende las condiciones de estabilidad. Aproximadamente a las 6:00 a.m. la inestabilidad es bastante fuerte y por el contrario a las 5:00 p.m. las condiciones de estabilidad son muy marcadas, a una escala mensual la predominancia de inestabilidad se presenta durante la mayoría el año, siendo el mes de marzo el de inestabilidad más fuerte.

Variables de superficie: Son variables como el Albedo, Relación de Bowen y Rugosidad superficie.

Albedo: El albedo es la radiación que cualquier superficie puede reflejar respecto a la radiación que incide sobre la misma. Esta variable depende del suelo, las superficies claras poseen valores superiores a las oscuras. La medición varía entre 0, que se refieren a superficies totalmente absorbentes y 1 que son superficies totalmente reflectivas. La zona de estudio está principalmente constituida por suelo rural, por ende, el valor que se tomó se basó en los valores por defecto que la EPA propone. En pastizales, el promedio del Albedo es de 0.29.

Relación de Bowen: Se refiere a la razón entre la transferencia de calor sensible y latente de una superficie, en la zona de estudio se tomó valores por defecto de la EPA, al igual que el albedo para suelo rural. En pastizales, el promedio de la relación de Bowen es de 0.925.

Rugosidad de superficie: Se define como la altura sobre el suelo en el que la velocidad del viento tiende a cero. Entre más grande es el valor más grande es la turbulencia generada. Al igual que para las variables anteriores, se tomó el valor por defecto para suelo rural. En pastizales, el promedio de la rugosidad de superficie es de 0.04025.

Fuentes de emisión

Para el escenario base se identificaron dos (2) fuentes de emisión asociadas al tránsito vehicular de la vía principal que conecta los cascos urbanos de Ponedera y Puerto Giraldo y la segunda que conecta a Sabanalarga con Cascajal, mostradas con más detalle en el numeral 5.1.9.1, del presente documento. Estas son vías pavimentadas de aproximadamente 6 metros de ancho.

Las fuentes móviles que transitan por la vía son las tenidas en cuenta en el presente estudio, se tipificaron dos emisiones, la primera es la emisión propia de la combustión del vehículo y que sale por el ducto de escape o exosto y la segunda es el desgaste de la llanta y de los frenos.

La Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA por sus siglas en inglés) no proporciona factores de emisión para cada una de las categorías de emisión y diferenciadas por tipo de vehículo, es por esto por lo que se dividió el flujo vehicular en las categorías mencionadas en la Tabla 5-149.

Para determinar el tráfico promedio diario que transita por los ejes viales se tomó en cuenta la información de los aforos vehiculares y se homologó de acuerdo con lo estipulado por la EEA.

Con el fin de identificar el aporte de contaminantes se procedió a determinar los factores de emisión, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 5-149. Factores de emisión fuentes móviles

TIPO DE VEHÍCULO	COMBUSTIÓN - EXOSTO ^A						DESGASTE ^A	
	CO	VOC	NOX	CO2	PM10	SOX ^b	PM10	PM2,5
Carro de pasajeros	0,620	0,065	0,061	0,398	0,001	0,050	0,014	0,007
Motos	7,170	0,839	0,317	0,221	0,004	0,020	0,0064	0,0034
Buses	0,223	0,022	5,420	0,265	0,046	0,250	0,0064	0,0034
Camiones de carga pesada	0,105	0,010	3,830	0,486	0,024	0,970	0,059	0,032

a: Todos los valores están en g/km por vehículo

b: Para el SOx los valores fueron tomados del estudio realizado por el PNUMA y la TNT denominado "Modulo 18"

Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2020

Al recopilar la información de la cantidad de vehículos y la longitud de la vía se puede inferir cuantos kilómetros son transitados al día y asociando este recorrido al factor de emisión se puede obtener cuantos gramos de contaminante se emiten diariamente en cada uno de los ejes viales evaluados, obteniendo el siguiente resultado:

Tabla 5-150 Emisiones gramo por día fuentes móviles

VÍA	EMISIONES g/día						
	CO	VOC	NO2	CO2	PM10	PM2,5	SO2
Vía Ponedera y Puerto Giraldo	23840,2	44266,7	2094,2	2018,8	241492,2	24177,2	329,2
Vía Sabanalarga y Cascajal	24871,7	52203,2	3378,0	2301,8	338557,2	33888,9	627,0

Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2020

Para complementar el análisis de calidad de aire, se analizaron los valores encontrados en el monitoreo de calidad de aire realizada en el año 2020 estableciendo así línea base, como se muestra a continuación:

Tabla 5-151 Concentraciones medias - estaciones calidad de aire

NOMBRE	PM10 ug/m3	PM2.5 ug/m3
Estación 1 - Predio Fruncia	40,50	11,28
Estación 2 - Predio Guayepo	35,60	10,30
Estación 3 - Predio La Retirada	38,40	12,20
Estación 4 - SubEstación Sabanalarga	44,08	11,67

Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2020

La modelación obtuvo como resultado las siguientes emisiones para las actividades analizadas durante la etapa de construcción del proyecto.

Tabla 5-152 Emisión material particulado sin medidas de control

ACTIVIDAD	PM _{2.5} (g/s)	PM ₁₀ (g/s)
General land clearing - Bulldozing	0,024	0,045
Heavy Construction	1085,607	253,308

Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2020

En el escenario CON MEDIDAS DE CONTROL, se tuvo en cuenta el documento de la EPA (1988) denominado “CONTROL OF OPEN FUGITIVE DUST SOURCES”, el cual establece que medidas mínimas de control de humectación de las vías, control del material y de la enclaustración con polisombra, significa una mitigación del 90% de material particulado.

Tabla 5-153 Emisión material particulado con medidas de control

ACTIVIDAD	PM _{2.5} (g/s)	PM ₁₀ (g/s)
General land clearing - Bulldozing	0,0024	0,0045
Heavy Construction	108,5	25,3

Fuente (EPA - United States Environmental Protection Agency, 1988), citado por: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2020

Diseño modelo de dispersión

Con la información procesada y completa, se corrieron los siguientes modelos:

Tabla 5-154 Diseño modelaciones

MODELOS POR ÁREA	GRILLA (RECEPTORES)	CONTAMINANTE	ANUAL	24 HORAS
Área del Parque solar fotovoltaico	1500	PM ₁₀	X	X
		PM _{2.5}	X	X
Área de la Línea de evacuación y bahía de conexión	2000	PM ₁₀	X	X
		PM _{2.5}	X	X

Fuente: EIA Proyecto GUAYEPO SOLAR, 2020

Se creó una grilla con un total de 1500 receptores para los modelos del área del parque solar fotovoltaico y de 2000 receptores para el área de la línea de evacuación y bahía de conexión. Ambos abarcando una distancia de 5 kilómetros de cada locación.

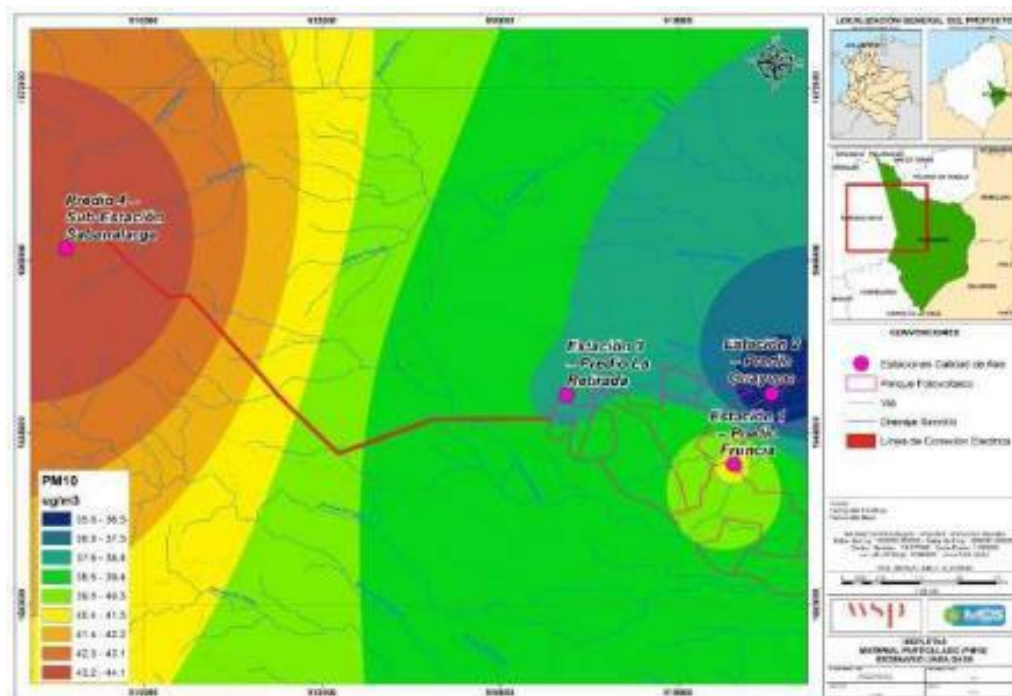
Resultados y conclusiones de las modelaciones

A continuación, se presentan las modelaciones realizadas tanto para el área de la línea de evacuación y bahía de conexión como para el área del parque solar fotovoltaico para el EIA del proyecto, presentado para la licencia ambiental, otorgada mediante Resolución 981 de 2021.

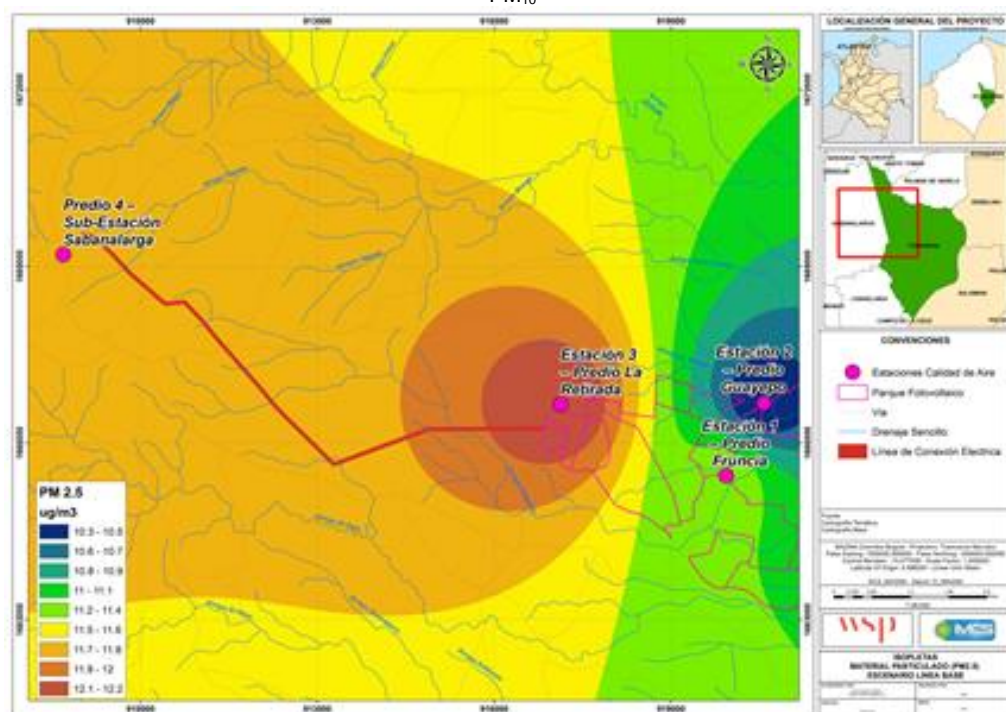
Para efectos del análisis de línea base, tanto para el área de la línea de evacuación como para el área del parque solar, se realizaron dos modelaciones: la primera es la modelación de la vía tipificada y la segunda en la especialización de los monitoreos de calidad del aire.

A continuación, en la Figura 5-134 se muestran los resultados de las modelaciones en línea base de acuerdo con el monitoreo, y en la Figura 5-135 se evidencian los resultados de línea base de las vías tipificadas. Por otra parte, las modelaciones de la etapa constructiva sin medidas de control se muestran en la Figura 5-136 y la fase constructiva con medidas se visualiza en la Figura 5-137.

Figura 5-134 Resultados modelaciones en Línea base – Monitoreo- Línea de evacuación y parque solar fotovoltaico



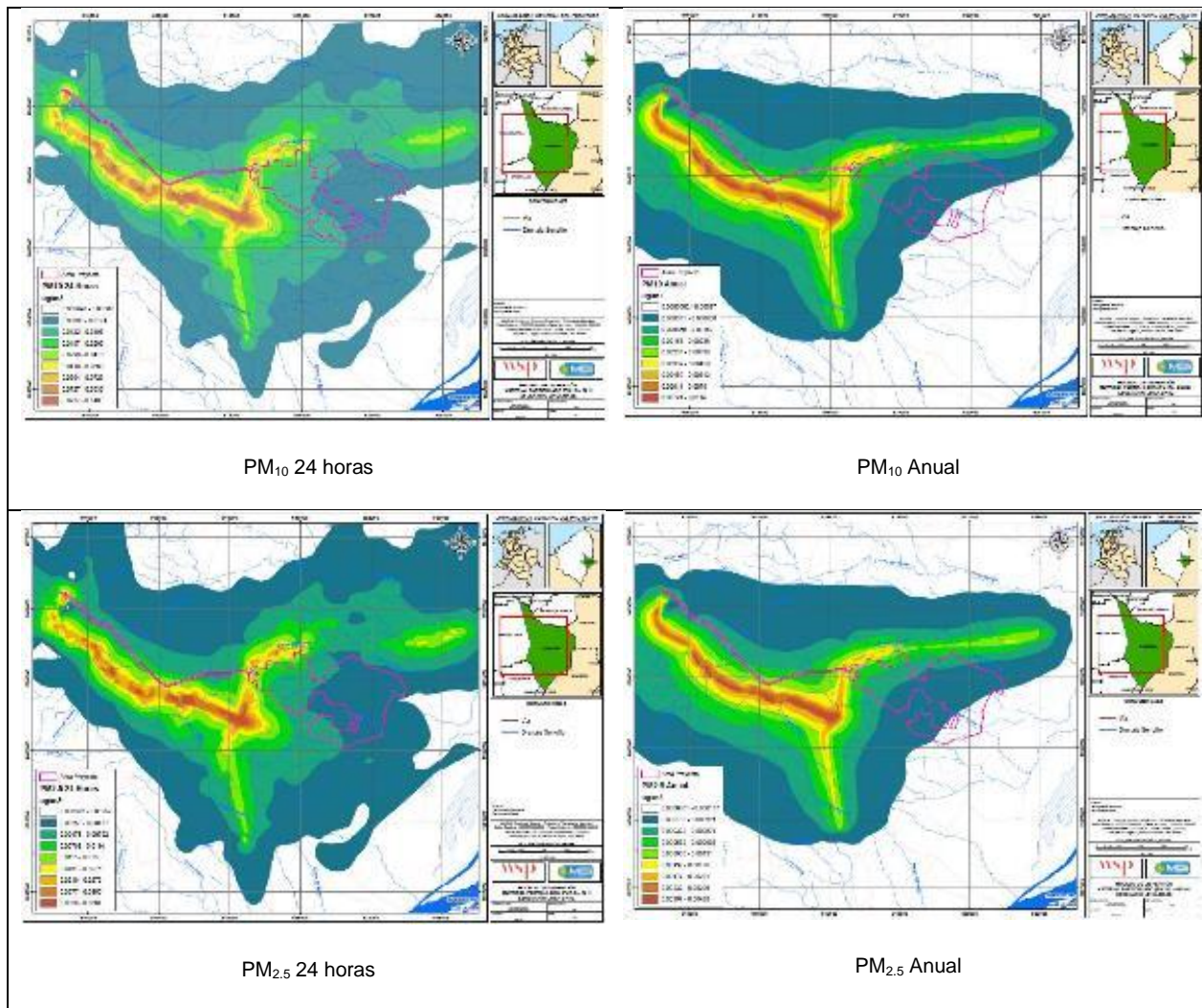
PM₁₀



PM_{2.5}

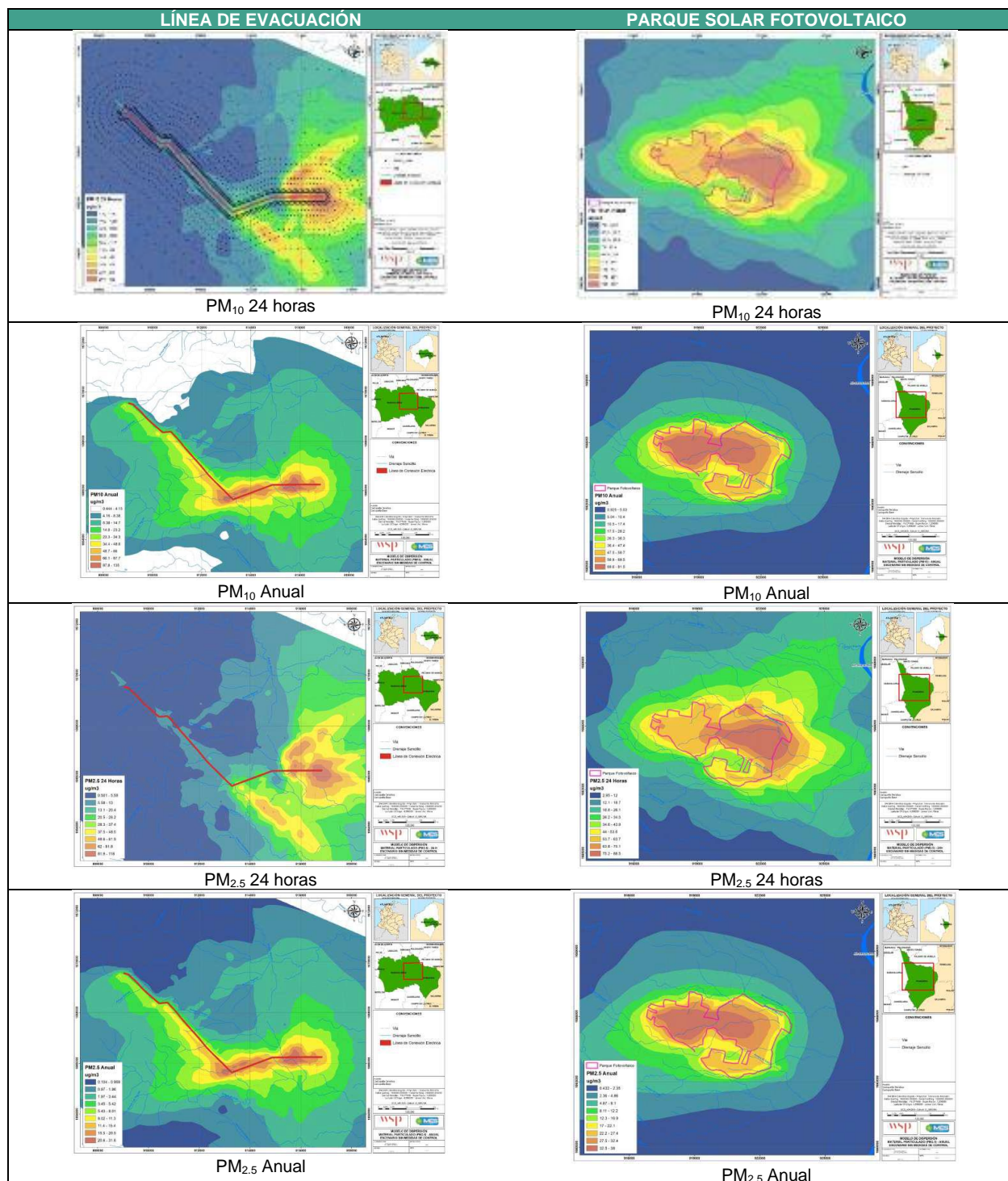
Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2020

Figura 5-135 Resultados modelaciones en Línea base – Vía- Línea de evacuación y parque solar fotovoltaico



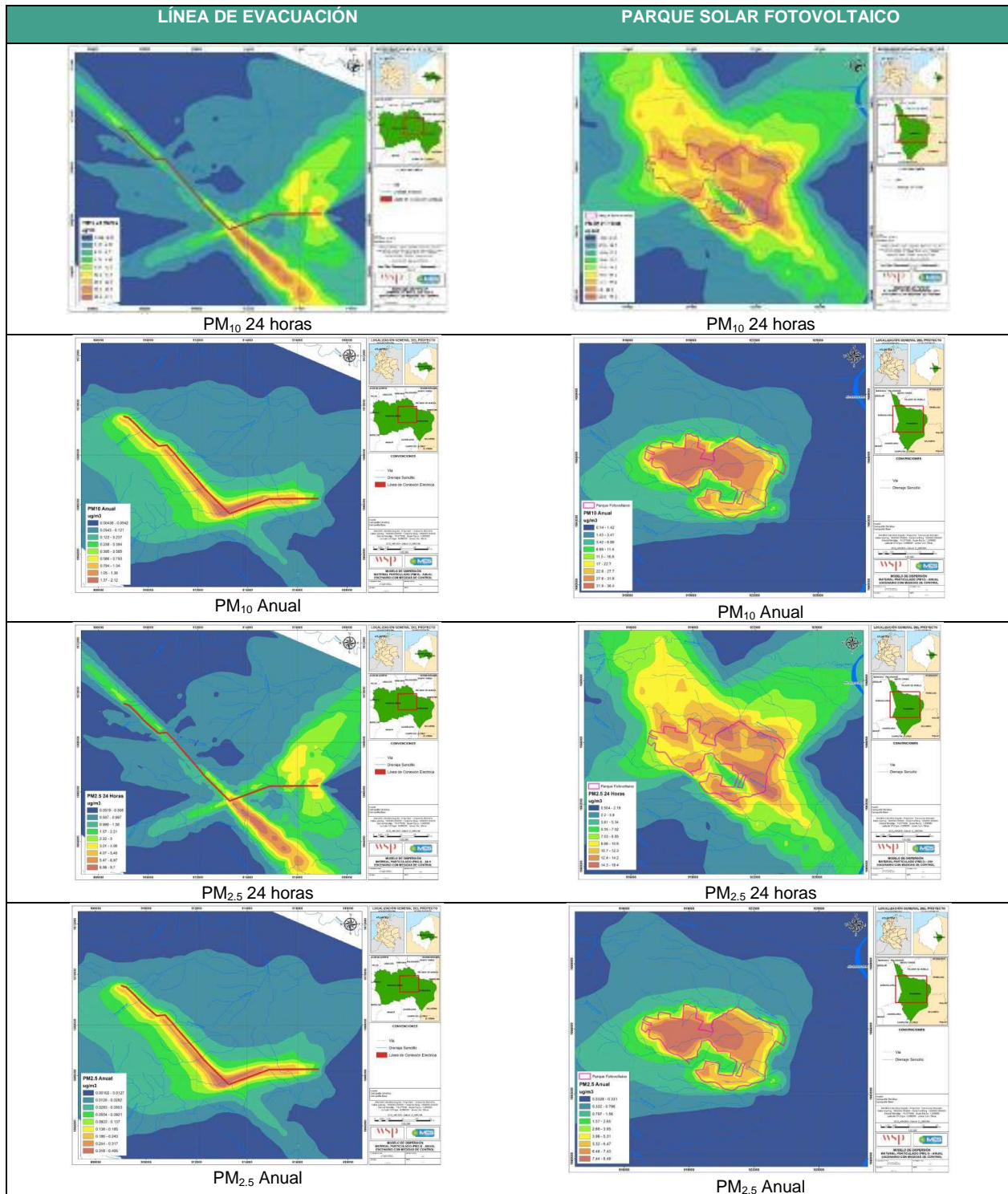
Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2020

Figura 5-136 Resultados modelaciones sin medidas de control



Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2020

Figura 5-137 Resultados modelaciones con medidas de control



Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2020

El análisis de resultados en **Línea base**, para ambas áreas (línea de evacuación y parque solar fotovoltaico), y para ambos parámetros modelados (PM₁₀ y PM_{2.5}), permite demostrar que el impacto por la **vía** es mínimo, con resultados máximos de 24 horas y anual que no superan los límites normativos.

Para complementar el análisis se contrarrestó el resultado con las isopletras de PM₁₀ y PM_{2.5} asociadas a las estaciones de monitoreo, donde se observa un gran aporte de contaminantes a la atmosfera.

Ahora bien, para la **etapa constructiva** se realizaron dos (2) escenarios: emisiones sin ninguna medida de control y modelo de emisiones con la implementación de medidas tales como irrigación de las vías, encerramiento con polisombra y control en el horario de trabajo. Los resultados de cada escenario y su comparación con la (Resolución 2254, 2017) se muestran en la Tabla 5-155.

Tabla 5-155 Resultados modelaciones para la construcción

CONTAMINANTE	T. EXPOSICIÓN	LÍNEA DE EVACUACIÓN		LÍMITE NORMA	PARQUE SOLAR FOTOVOLTAICO	
		Escenario sin medidas	Escenario con medidas		Escenario sin medidas	Escenario con medidas
		ug/m ³	ug/m ³	ug/m ³	ug/m ³	ug/m ³
PM ₁₀	Anual	136.1	2.14	50	81.5	36.4
	24 horas	406.6	41.6	75	237.1	71.6
PM _{2.5}	Anual	31.8	9.72	25	38.1	8.49
	24 horas	118.8	0.499	37	88.5	18.4

Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2020

De lo anterior es posible inferir el efecto de la dirección y velocidad del viento en la dispersión del PM₁₀ y PM_{2.5} en las dos áreas modeladas, por otro lado, las medidas de mitigación evidencian la disminución de la concentración llegando a valores por debajo de los límites permisibles.

Las emisiones de PM_{2.5} son evidentemente menores a las de PM₁₀, y al observar los resultados con medidas de mitigación se observa un cumplimiento normativo de ambos contaminantes, asumiendo una NO afectación a comunidades aledañas.

Con el fin de complementar el análisis de resultados de la etapa constructiva, siendo esta la etapa más crítica y por ende analizada, esta información se asimila con la proporcionada por estaciones bases. Para el área de evacuación se tomó como fondo la estación 4 – subestación Sabanalarga, y para el área del parque solar fotovoltaico se definió la estación 1- Fruncia. Ambas estaciones de fondo evidencian un cumplimiento normativo de la legislación nacional, sin embargo, se encuentran niveles altos de material particulado.

Analizando los resultados obtenidos de las modelaciones a proyección anual y asumiendo las concentraciones de fondo, se observan los resultados de los modelos de dispersión de contaminantes, comparando con el límite normativo establecido en la Resolución 2254 de 2017 (Tabla 5-156).

Tabla 5-156 Resultados de los modelos de dispersión de contaminantes

TIEMPO DE EXPOSICIÓN	CONTAMINANTE	LÍNEA DE EVACUACIÓN				PARQUE SOLAR FOTOVOLTAICO		
		Escenario con medidas (ECM)	Fondo	ECM + Fondo	LÍMITE NORMA	Escenario con medidas (ECM)	Fondo	ECM + Fondo
		ug/m ³	ug/m ³	ug/m ³		ug/m ³	ug/m ³	ug/m ³
Anual	PM ₁₀	2,14	44,10	46,24	50	36,40	40,50	76,90
	PM _{2.5}	9,72	11,60	21,32	25	8,49	11,28	19,77

Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2020

Como se puede evidenciar en la tabla anterior, en el área de la línea de evacuación, en el escenario con medidas de control NO sobrepasa los límites permisibles en la Resolución 2254 de 2017. Para PM₁₀ los valores alcanzan 46,24 ug/m³ siendo el límite de 50 ug/m³. Asimismo, el PM_{2.5} anual es de 21,32 siendo el límite de 25 ug/m³, lo que supone una NO trasgresión de los límites.

Ahora bien, respecto al área del parque solar fotovoltaico, en el escenario anual y al aplicar las medidas de control, para el parámetro PM_{2.5}, NO sobrepasa el límite

permisible en la Resolución 2254 de 2017. El resultado de la modelación sumado al escenario de fondo es de 19,77 ug/m³, siendo el límite de 25 ug/m³.

Por otra parte, al analizar la concentración de PM₁₀ en el área del parque solar fotovoltaico, se evidencia que la concentración de fondo es de 40,50 ug/m³ y sumando la concentración máxima resultante en etapa de construcción de 36,40 ug/m³ resultaría en una concentración de 76,9 ug/m³, lo cual implica una trasgresión del límite permisible de 50 ug/m³ para este parámetro.

Como resultado de las modelaciones, se puede concluir que, al estimar la concentración modelada sumada a la concentración de fondo, el único parámetro que trasgrede los límites permisibles establecidos en la Resolución 2254 de 2017 es el PM₁₀.

5.1.9.4 Ruido

El ruido es considerado un contaminante ambiental que altera las condiciones normales de una determinada zona. Si bien el ruido no se acumula, traslada o mantiene en el tiempo como los otros contaminantes, puede causar grandes daños en la calidad de vida de las personas si no se controla adecuadamente. La perturbación generada por un sonido no solamente depende de su nivel, la frecuencia también afecta la perturbación; a mayores frecuencias las molestias son más pronunciadas que a bajas frecuencias. Al mismo nivel sonoro, los tonos puros perturban más que un sonido complejo cargado de muchos tonos (Kjaer, 1986).

Para la presente modificación se realiza una revisión y actualización de los datos contenidos en el monitoreo de ruido realizado para el EIA 2020, comparados con los resultados obtenidos del monitoreo realizado para efectos de la modificación.

En el año 2020 con la elaboración del EIA, se ejecutaron dos (2) campañas de monitoreo. La primera campaña, denominada C1, fue realizada los días 12 y 13 de enero de 2019, definiéndose seis (6) estaciones; y la segunda campaña, denominada C2, fue realizada

durante los días 28 y 29 de diciembre de 2019 con el establecimiento de cinco (5) puntos de ruido ambiental.

Las mediciones se realizaron en los horarios diurno y nocturno y en día hábil y día no hábil, tomándose lecturas para verificar los Niveles de Presión Sonora (NPS). En total, se realizaron para el EIA 2020, mediciones de ruido ambiental en 11 puntos que constituyeron una representatividad del área de estudio.

El análisis del monitoreo de ruido ambiental realizado para la modificación de licencia del Proyecto parque solar fotovoltaico Guayepo con capacidad de generación de 400 MW, su línea de evacuación 500 kV y bahía de conexión, con el que se busca determinar las condiciones actuales de ruido ambiental, se realizó mediante la medición de ruido en doce (12) puntos, 11 de los cuales se presentan en los mismos puntos o en cercanías a los presentados durante el EIA 2020 para poder realizar comparativos, y un (1) punto nuevo que se determinó como necesario debido a la presencia de una fuente receptora no contemplada en la primera oportunidad.

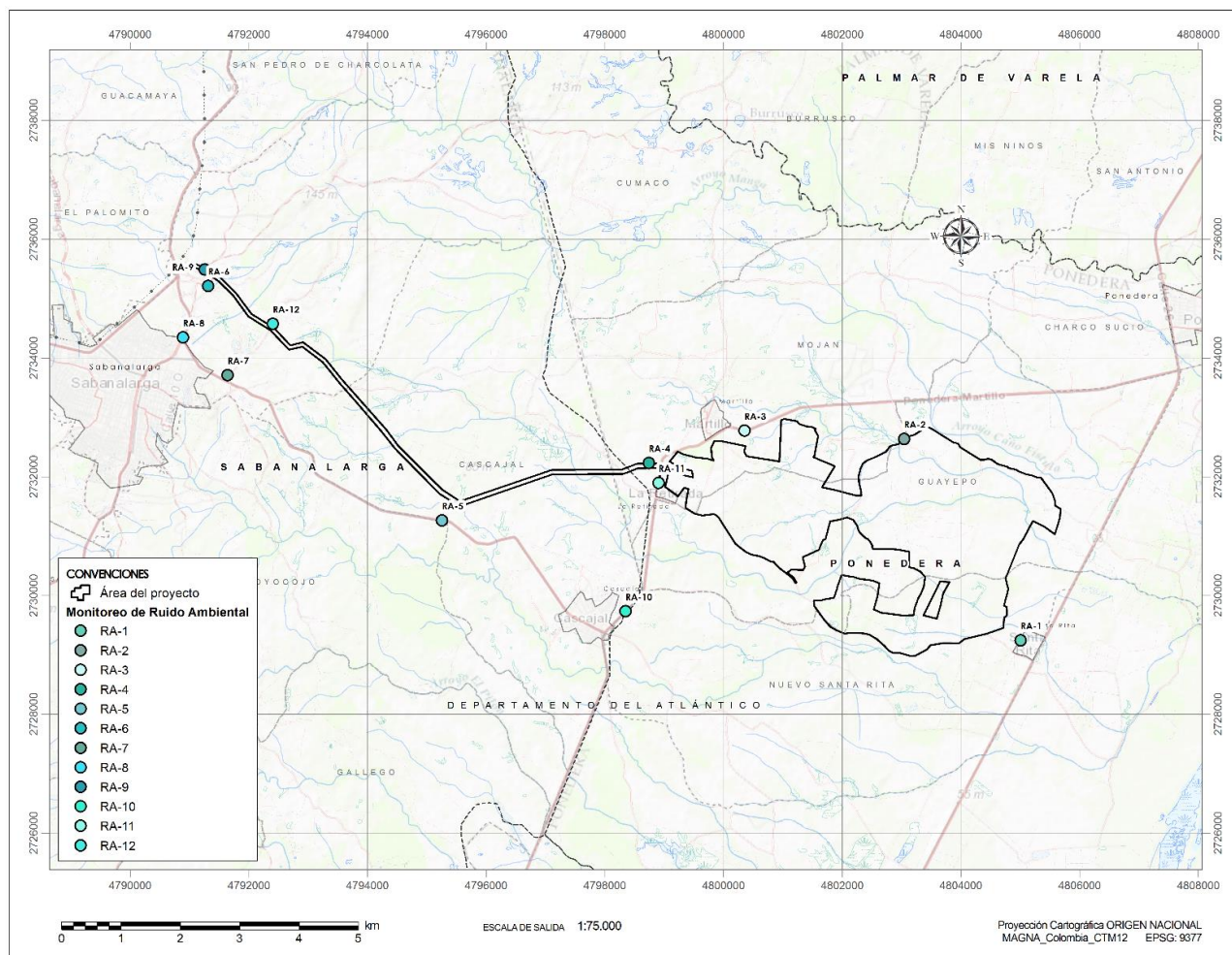
Las mediciones de ruido ambiental para la modificación fueron desarrolladas por el laboratorio SIAM INGENIERÍA S.A.S, entre los meses abril y mayo del 2022.

Con base en lo anterior se presenta la información general, la metodología seguida en la ejecución del monitoreo y el reporte de los cálculos junto con el respectivo análisis de resultados basados en la acreditación de SIAM INGENIERÍA S.A.S., mediante la Resolución de acreditación No.1742 del 30 de julio de 2018 y la Resolución de extensión No. 0195 del 09 de marzo de 2021. Asimismo, se muestra la comparación de los resultados de las mediciones con la norma vigente de ruido ambiental para Colombia, Resolución 627 del 2006.

5.1.9.4.1 Monitoreo de ruido

La ubicación de los puntos de monitoreo se presenta en la Figura 5-138 y su georreferenciación se muestra en la Tabla 5-157, donde se puede ver que la nomenclatura va de RA-1 a RA-12 asignada a cada una de las localizaciones.

Figura 5-138. Imagen satelital de los puntos de medición.



Fuente: eQual consultoría y servicios ambientales, SAS. 2022

Tabla 5-157. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo.

Tipo de medición	Código	Nombre del punto de medición	Coordenadas geográficas (GCS_WGS_1984)		Coordenadas planas origen nacional (CTM12)		Altura (msnm)
			Norte	Oeste	Norte	Este	
Ruido ambiental	RA-1	RA-1	10°35'38.94"	74°46'58.80"	2'729.244	4'805.005	16
	RA-2	RA-2	10°37'29.02"	74°48'03.98"	2'732.636	4'803.044	25
	RA-3	RA-3	10°37'33.03"	74°49'32.62"	2'732.775	4'800.352	49
	RA-4	RA-4	10°37'15.04"	74°50'25.51"	2'732.232	4'798.741	54
	RA-5	RA-5	10°36'42.87"	74°52'20.06"	2'731.265	4'795.254	70
	RA-6	RA-6	10°38'50.59"	74°54'30.53"	2'735.212	4'791.314	102
	RA-7	RA-7	10°38'01.75"	74°54'19.37"	2'733.710	4'791.644	111
	RA-8	RA-8	10°38'22.25"	74°54'44.26"	2'734.344	4'790.891	111
	RA-9	RA-9	10°38'59.58"	74°54'32.45"	2'735.489	4'791.257	104
	RA-10	RA-10	10°35'53.67"	74°50'37.91"	2'729.735	4'798.349	50
	RA-11	RA-11	10°37'04.17"	74°50'20.09"	2'731.897	4'798.904	51
	RA-12	RA-12	10°38'30.04"	74°53'54.43"	2'734.574	4'792.407	101

Fuente: SIAM Ingeniería, 2022.

5.1.9.4.1.1 Fecha de la medición del estudio

En la Tabla 5-158 y Tabla 5-159 se muestra la información referente a fechas, horarios y códigos de los puntos de medición donde se realizó el estudio de ruido ambiental.

Tabla 5-158. Información general de los puntos de muestreo – día ordinario jornada diurna y nocturna.

Código del punto de medición	Fecha de medición	Horario diurno ordinario			Fecha de medición	Horario nocturno ordinario		
		Código data	Hora de inicio	Hora de finalización		Código data	Hora de inicio	Hora de finalización
RA-1	2022-05-02	S763	15:35	16:35	2022-05-02	S764	21:03	22:03
RA-2	2022-05-02	S762	14:12	15:12	2022-05-02	S765	22:14	23:13
RA-3	2022-05-02	S761	13:01	14:01	2022-05-02	S766	23:35	00:35
RA-4	2022-04-29	S750	11:52	12:52	2022-04-30	S754	05:07	06:07
RA-5	2022-04-29	S747	08:01	09:01	2022-04-29	S751	21:01	22:01
RA-6	2022-05-04	S767	08:07	09:07	2022-05-04	S772	21:01	22:01
RA-7	2022-05-04	S770	11:46	12:46	2022-05-05	S775	00:33	01:33
RA-8	2022-05-04	S769	10:31	11:31	2022-05-04	S774	23:22	00:22

RA-9	2022-05-04	S768	09:18	10:18	2022-05-04	S773	22:12	23:12
RA-10	2022-04-29	S748	09:21	10:21	2022-04-29	S752	22:21	23:21
RA-11	2022-04-29	S749	10:37	11:37	2022-04-30	S753	03:49	04:49
RA-12	2022-05-04	S771	13:07	14:07	2022-05-05	S776	01:46	02:46

Fuente: SIAM Ingeniería, 2022

Tabla 5-159. Información general de los puntos de muestreo – día dominical jornada diurna y nocturna.

Código del Punto de Medición	Fecha de Medición	Horario Diurno Dominical			Fecha de Medición	Horario Nocturno Dominical		
		Código Data	Hora de Inicio	Hora de Finalización		Código Data	Hora de Inicio	Hora de Finalización
RA-1	2022-05-01	S757	11:45	12:45	2022-05-01	S758	21:02	22:02
RA-2	2022-05-01	S756	10:20	11:20	2022-05-01	S759	22:28	23:28
RA-3	2022-05-01	S755	09:03	10:03	2022-05-01	S760	23:43	00:43
RA-4	2022-05-15	S780	11:59	12:59	2022-05-15	S783	21:02	22:02
RA-5	2022-05-15	S777	08:15	09:15	2022-05-15	S784	22:16	23:16
RA-6	2022-05-22	S309	08:16	09:16	2022-05-22	S314	21:04	22:04
RA-7	2022-05-22	S312	12:12	13:12	2022-05-23	S317	00:58	01:58
RA-8	2022-05-22	S311	10:58	11:58	2022-05-22	S316	23:43	00:43
RA-9	2022-05-22	S310	09:33	10:33	2022-05-22	S315	22:21	23:21
RA-10	2022-05-15	S778	09:28	10:28	2022-05-15	S785	23:28	00:28
RA-11	2022-05-15	S779	10:42	11:42	2022-05-16	S786	00:41	01:41
RA-12	2022-05-22	S313	13:25	14:25	2022-05-23	S318	02:10	03:09

Fuente: SIAM Ingeniería, 2022

5.1.9.4.1.2 Marco legal

El marco legal que regula actualmente en Colombia los procedimientos de medida y evaluación de la contaminación acústica ambiental, se estipulan en la Resolución 627 del 2006 emitida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.

Artículos y anexos involucrados:

➤ Artículo 2. Horarios

Diurno	Nocturno
De las 07:01 a las 21:00 horas	De las 21:01 a las 07:00 horas

➤ Artículo 4. Parámetros de medida

- Nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, LAeq,T, ponderado lento (S)
- Nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A con respuesta temporal I, Impulso, Leq-A
- Niveles de presión sonora continuo equivalente ponderado A con frecuencias de tercios de octava, LA-1/3

➤ Artículo 5. Intervalo unitario de tiempo de medida

- Se establece en una; (1), hora para los parámetros de medida del artículo 4, la cual se puede medir en forma continua o mínimo 15 minutos en intervalos de tiempo uniformemente distribuidos en esa hora.

➤ Artículo 6. Ajustes

- Los niveles de presión sonora continuo equivalente ponderado A, LAeq,T, LAeq,T, residual y nivel percentil L90, se corrigen por impulsividad, tonalidad, condiciones meteorológicas, horario, tipos de fuentes y receptores para obtener los respectivos niveles corregidos.

➤ Artículo 14. Aplicabilidad del ruido ambiental

- Los resultados de las mediciones de ruido ambiental, según los procedimientos estipulados en los Capítulos II y III del Anexo 3 de la Resolución 627 de 2006, se utilizan para realizar el diagnóstico del ambiente por ruido, llevando los

resultados a mapas de ruido para visualizar la realidad e identificar las zonas críticas y posibles contaminadores por emisión de ruido.

- Artículo 15. Intervalo de tiempo de referencia. T
 - Se establece como intervalo de tiempo de referencia T, 14 horas para el periodo diurno y 10 horas para el periodo nocturno de acuerdo con los artículos 2 y 5 de la Resolución 627 de 2006 que permitan determinar los respectivos niveles LAeq,d diurno y LAeq,n nocturno.
- Artículo 17. Estándares Máximos Permisibles de niveles de Ruido Ambiental
 - Luego de realizar la captura de datos de ruido ambiental, cada uno de los puntos seleccionados fue clasificado según el sector y el subsector al que pertenecían, de acuerdo con el artículo 17 del Capítulo III de la Resolución 627 del 2006, emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial MAVDT, ahora MADS.

Tabla 5-160. Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental expresados en decibeles ponderados A dB(A).

Sector	Subsector	Diurno	Nocturno
		7:01 - 21:00	21:01 - 7:00
Sector A. Tranquilidad y silencio	Hospitales, bibliotecas, guarderías, sanatorios, hogares geriátricos.	55	45
Sector B. Tranquilidad y ruido moderado	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelera y hospedajes.	65	50
	Universidades, colegios, escuelas, centros de estudio e investigación.		
	Parques en zonas urbanas diferentes a los parques mecánicos al aire libre.		
Sector C. Ruido intermedio restringido	Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas.	75	70
	Zonas con usos permitidos comerciales, como centros comerciales, almacenes, locales o instalaciones de tipo comercial, talleres de mecánica automotriz e industrial, centros deportivos y recreativos, gimnasios, restaurantes, bares, tabernas, discotecas, bingos, casinos.	70	55

	Zonas con usos permitidos de oficinas	65	50
	Zonas con usos institucionales		
	Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales.	80	70
Sector D. Zona suburbana o rural de tranquilidad y ruido moderado	Residencial suburbana		
	Rural habitada destinada a explotación agropecuaria	55	45
	Zonas de recreación y descanso como parques y reservas naturales		

Fuente: MAVDT, (Ahora MADS). Resolución Número 627 del 7 de abril de 2006

En la Tabla 5-161 se presenta la clasificación de los puntos monitoreados junto con los niveles máximos permitidos en la Resolución 627 de 2006.

Tabla 5-161. Puntos de muestreo clasificados como sectores, subsectores inmersos y límites máximos permisibles.

Código	Sector	Subsector inmerso	Límite máximo permitido (7:01-21:00)	Límite máximo permitido (21:01-7:00)
RA-1	Sector C. Ruido Intermedio Restringido	Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas.	75	70
RA-11				
RA-7		Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales.	80	70
RA-9				
RA-10				
RA-2	Sector D. Zona Suburbana o Rural de Tranquilidad y Ruido Moderado	Rural habitada destinada a explotación agropecuaria	55	45
RA-3				
RA-4				
RA-5				
RA-6				
RA-12				
RA-8		Zonas de recreación y descanso como parques y reservas naturales		

Fuente: SIAM Ingeniería, 2022

- Artículo 24. Requisitos mínimos para la elaboración de los mapas de ruido.
 - Las autoridades competentes, según el artículo 66 de la Ley 99 de 1993 y el artículo 13 de la Ley 768 de 2002, deben realizar dos (2) mapas de ruido, uno para periodo diurno y otro para periodo nocturno.
 - Las representaciones graficas deben ser por curvas Iso-ruido a una altura de 4 metros respecto al nivel del piso.
 - El software utilizado debe estar basado en métodos científicos reconocidos e indicar el método de calculo
- Artículo 31. Anexos.
 - Los anexos 1, 2, 3, 4 y 5 a los que alude dicho acto administrativo hacen parte integral de la Resolución
 - f* Anexo 2: Determinación de los valores de ajuste K
 - f* Anexo 3 - Capitulo II: Procedimiento de medición para ruido ambiental
- Artículo 32. Vigencia y derogatorias.
 - La Resolución rige a partir de la fecha de su publicación en el diario oficial y deroga todas las normas que le fueran contrarias.

5.1.9.4.1.3 Resultados monitoreo ruido

En este capítulo se presentan los resultados de las mediciones, donde se incluyen las condiciones meteorológicas, los ajustes K, el cálculo de la incertidumbre de ruido expandida y la comparación con los límites máximos permitidos por la Resolución 627 de 2006.

Meteorología

Como se puede observar en la Tabla 5-163 y Tabla 5-164 se plasman las condiciones meteorológicas de los puntos de medición cumpliendo a cabalidad con el artículo 20 de la Resolución 627 de 2006, donde se establece que la velocidad del viento no debe superar los tres metros por segundo (3 m/s), al igual que las mediciones deben efectuarse en tiempo seco. Es preciso resaltar que los datos meteorológicos corresponden a la respectiva hora y jornada de medición en cada punto de monitoreo.

Ruido ambiental

De la Tabla 5-162 a la Tabla 5-167 se muestran los resultados y los ajustes K de cada uno de los puntos de monitoreo de ruido ambiental para la zona de interés del proyecto:

Tabla 5-162. Resultados y ajustes K mediciones día ordinario en horario diurno.

Lectura o Sesión #	Código	Descripción del Punto	Valores en dB:									LAREq B(A)
			L _{EQS}	KS	KR	KT	L _{EQI}	LI = L _{EQS} -L _{EQI}	Componente Impulsivo	KI	K	
S763	RA-1	RA-1	54,7	0	0	6	58,6	3,9	Neto	3	6	60,7
S762	RA-2	RA-2	60,1	0	0	6	61,9	1,8	Nulo	0	6	66,1
S761	RA-3	RA-3	65,3	0	0	6	68,2	2,9	Nulo	0	6	71,3
S750	RA-4	RA-4	54,8	0	0	6	56,9	2,1	Nulo	0	6	60,8
S747	RA-5	RA-5	65,2	0	0	3	67,3	2,1	Nulo	0	3	68,2
S767	RA-6	RA-6	53,8	0	0	6	61,1	7,3	Fuerte	6	6	59,8
S770	RA-7	RA-7	53,3	0	0	3	54,6	1,3	Nulo	0	3	56,3
S769	RA-8	RA-8	69,4	0	0	0	69,5	0,1	Nulo	0	0	69,4
S768	RA-9	RA-9	55,1	0	0	6	60,6	5,5	Neto	3	6	61,1
S748	RA-10	RA-10	62,6	0	0	3	63,1	0,5	Nulo	0	3	65,6
S749	RA-11	RA-11	56,0	0	0	6	60,8	4,8	Neto	3	6	62,0
S771	RA-12	RA-12	53,5	0	0	3	53,8	0,3	Nulo	0	3	56,5

Fuente: SIAM Ingeniería, 2022

Tabla 5-163. Datos meteorológicos monitoreo día ordinario en jornadas diurna y nocturna

Meteorología día ordinario diurno y nocturno (datos hora medición por cada punto y jornada)													
Punto	Altura (msnm)	Velocidad del viento (m/s)		Temperatura (°C)		Pluviosidad (mm)		Dirección del viento		Presión atmosférica (mm Hg)		Humedad relativa	
		Diu	Noc	Diu	Noc	Diu	Noc	Diu	Noc	Diu	Noc	Diu	Noc
RA-1	16	2,7	0,9	33,7	27,8	00	00	WSW	WNW	757,7	758,6	69	90
RA-2	25	2,6	0,0	34,3	27,3	00	00	SSE	NW	758,1	759,0	69	91
RA-3	49	2,6	0,0	33,4	26,8	00	00	SSE	NW	759,1	759,5	74	93
RA-4	54	1,8	0,4	32,3	25,4	00	00	WNW	NNW	759,3	757,5	76	96
RA-5	70	0,9	1,3	26,8	26,9	00	00	SE	N	759,5	759,2	93	92
RA-6	102	0,9	0,0	30,2	27,0	00	00	NNW	NNE	759,3	759,2	81	92
RA-7	111	2,7	0,0	35,4	26,3	00	00	W	NNE	758,6	759,4	65	94
RA-8	111	1,8	0,0	32,9	26,5	00	00	W	NNE	759,1	759,0	74	94
RA-9	104	1,3	0,0	31,9	26,8	00	00	SSE	NNE	759,4	758,9	77	93
RA-10	50	2,2	1,3	28,4	27,1	00	00	SSE	N	759,3	759,3	88	92
RA-11	51	2,7	0,4	30,3	25,7	00	00	ESE	NEN	759,0	757,2	83	95
RA-12	101	2,7	0,0	35,9	25,9	00	00	W	NNE	758,2	758,9	62	95

Diu: Diurno; Noc: Nocturno
Fuente SIAM Ingeniería, 2022

Tabla 5-164. Datos meteorológicos monitoreo del día dominical en jornadas diurna y nocturna.

Meteorología día dominical diurno y nocturno (datos hora medición por cada punto y jornada)													
Punto	Altura (msnm)	Velocidad del viento (m/s)		Temperatura (°C)		Pluviosidad (mm)		Dirección del viento		Presión atmosférica (mm Hg)		Humedad relativa	
		Diu	Noc	Diu	Noc	Diu	Noc	Diu	Noc	Diu	Noc	Diu	Noc
RA-1	16	2,7	0,4	28,8	26,9	00	00	ESE	N	759,7	759,0	82	89
RA-2	25	1,8	0,0	27,5	26,4	00	00	WSW	WNW	759,5	759,5	87	91
RA-3	49	2,2	1,3	26,2	24,5	00	00	SW	WNW	759,3	759,5	96	92
RA-4	54	1,5	0,3	30,5	25,8	00	00	SSW	N	759,5	758,2	78	96
RA-5	70	1,8	0,6	31,2	26,3	00	00	NW	NNE	758,3	758,2	76	94
RA-6	102	2,4	1,4	29,6	25,9	00	00	WS	NNE	759,6	759,4	83	92
RA-7	111	2,6	1,3	30,2	27,2	00	00	NW	NNE	758,1	758,6	80	91
RA-8	111	2,1	0,2	31,4	25,8	00	00	SE	N	758,1	758,5	71	90
RA-9	104	1,3	0,6	30,3	26,4	00	00	NW	NS	758,3	758,5	73	91
RA-10	50	0,2	1,6	28,9	24,8	00	00	SSE	N	759,5	758,2	91	96
RA-11	51	0,5	0,1	32,2	25,0	00	00	NNS	SSE	758,3	759,2	80	94

RA-12	101	2,2	0,7	31,4	27,3	00	00	WS	NE	757,6	758,4	62	97
-------	-----	-----	-----	------	------	----	----	----	----	-------	-------	----	----

Diu: Diurno; Noc: Nocturno
Fuente SIAM Ingeniería, 2022

Tabla 5-165. Resultados y ajustes K mediciones del día ordinario en horario nocturno.

Lectura o Sesión #	Código	Descripción del Punto	Valores en dB:									LAREq B(A)
			L _{EQS}	KS	KR	KT	L _{EQI}	LI = L _{EQS} -L _{EQI}	Componente Impulsivo	KI	K	
S764	RA-1	RA-1	54,3	0	0	6	58,4	4,1	Neto	3	6	60,3
S765	RA-2	RA-2	54,2	0	0	6	56,2	2,0	Nulo	0	6	60,2
S766	RA-3	RA-3	46,7	0	0	6	50,4	3,7	Neto	3	6	52,7
S754	RA-4	RA-4	58,7	0	0	6	60,0	1,3	Nulo	0	6	64,7
S751	RA-5	RA-5	57,5	0	0	6	58,8	1,3	Nulo	0	6	63,5
S772	RA-6	RA-6	53,0	0	0	6	56,4	3,4	Neto	3	6	59,0
S775	RA-7	RA-7	47,4	0	0	6	51,1	3,7	Neto	3	6	53,4
S774	RA-8	RA-8	63,3	0	0	3	64,7	1,4	Nulo	0	3	66,3
S773	RA-9	RA-9	52,6	0	0	6	56,9	4,3	Neto	3	6	58,6
S752	RA-10	RA-10	64,1	0	0	6	66,5	2,4	Nulo	0	6	70,1
S753	RA-11	RA-11	51,8	0	0	6	53,9	2,1	Nulo	0	6	57,8
S776	RA-12	RA-12	48,1	0	0	6	52,5	4,4	Neto	3	6	54,1

Fuente: SIAM Ingeniería, 2022

Tabla 5-166. Resultados y ajustes K mediciones del día dominical en horario diurno.

Lectura o Sesión #	Código	Descripción del Punto	Valores en dB:									LAREq B(A)
			L _{EQS}	KS	KR	KT	L _{EQI}	LI = L _{EQS} -L _{EQI}	Componente Impulsivo	KI	K	
S757	RA-1	RA-1	59,3	0	0	3	61,9	2,6	Nulo	0	3	62,3
S756	RA-2	RA-2	51,6	0	0	6	55,2	3,6	Neto	3	6	57,6
S755	RA-3	RA-3	59,6	0	0	6	64,2	4,6	Neto	3	6	65,6
S780	RA-4	RA-4	53,3	0	0	6	53,6	0,3	Nulo	0	6	59,3
S777	RA-5	RA-5	53,5	0	0	6	54,6	1,1	Nulo	0	6	59,5
S309	RA-6	RA-6	52,2	0	0	6	57,6	5,4	Neto	3	6	58,2
S312	RA-7	RA-7	51,8	0	0	6	59,3	7,5	Fuerte	6	6	57,8
S311	RA-8	RA-8	63,6	0	0	0	65,9	2,3	Nulo	0	0	63,6
S310	RA-9	RA-9	52,4	0	0	3	58,5	6,1	Fuerte	6	6	58,4
S778	RA-10	RA-10	49,6	0	0	6	53,1	3,5	Neto	3	6	55,6
S779	RA-11	RA-11	52,8	0	0	6	54,1	1,3	Nulo	0	6	58,8
S313	RA-12	RA-12	52,3	0	0	0	64,8	12,5	Fuerte	6	6	58,3

Fuente: SIAM Ingeniería, 2022

Tabla 5-167. Resultados y ajustes K mediciones del día dominical en horario nocturno.

Lectura o Sesión #	Código	Descripción del Punto	Valores en dB:									LAREq B(A)
			L _{EQS}	KS	KR	KT	L _{EQI}	LI = L _{EQS} -L _{EQI}	Componente Impulsivo	KI	K	
S758	RA-1	RA-1	58,4	0	0	6	61,3	2,9	Nulo	0	6	64,4
S759	RA-2	RA-2	54,9	0	0	6	57,3	2,4	Nulo	0	6	60,9
S760	RA-3	RA-3	58,7	0	0	6	62,5	3,8	Neto	3	6	64,7
S783	RA-4	RA-4	55,4	0	0	6	56,9	1,5	Nulo	0	6	61,4
S784	RA-5	RA-5	52,6	0	0	6	55,4	2,8	Nulo	0	6	58,6
S314	RA-6	RA-6	53,4	0	0	6	56,0	2,6	Nulo	0	6	59,4
S317	RA-7	RA-7	54,6	0	0	0	62,4	7,8	Fuerte	6	6	60,6
S316	RA-8	RA-8	71,4	0	0	0	83,3	11,9	Fuerte	6	6	77,4
S315	RA-9	RA-9	52,8	0	0	6	55,9	3,1	Neto	3	6	58,8
S785	RA-10	RA-10	57,7	0	0	6	58,8	1,1	Nulo	0	6	63,7
S786	RA-11	RA-11	55,6	0	0	6	56,9	1,3	Nulo	0	6	61,6
S318	RA-12	RA-12	51,1	0	0	6	61,8	10,7	Fuerte	6	6	57,1

Fuente: SIAM Ingeniería, 2022

Incertidumbre expandida

La incertidumbre expandida de las mediciones calculadas de ruido ambiental para cada lectura en su gran mayoría estuvo por el orden de ± 2 y ± 4 dB (A), por lo cual se consideran aceptables para las mediciones realizadas.

La Tabla 5-168 muestra la incertidumbre expandida calculada para los días ordinario y dominical en la jornada diurna y nocturna.

Tabla 5-168. Incertidumbre de ruido ambiental día ordinario y dominical en jornada diurna y nocturna

Punto #	Horario diurno ordinario		Horario nocturno ordinario		Horario diurno dominical		Horario nocturno dominical	
	LAREq dB(A)	Incertidumbre de medición expandida, dB	LAREq dB(A)	Incertidumbre de medición expandida, dB	LAREq dB(A)	Incertidumbre de medición expandida, dB	LAREq dB(A)	Incertidumbre de medición expandida, dB
RA-1	60,7	$\pm 2,1$	60,3	$\pm 2,3$	62,3	$\pm 2,2$	64,4	$\pm 2,4$
RA-2	66,1	$\pm 2,0$	60,2	$\pm 2,6$	57,6	$\pm 2,0$	60,9	$\pm 2,0$
RA-3	71,3	$\pm 2,0$	52,7	$\pm 2,1$	65,6	$\pm 2,0$	64,7	$\pm 2,7$
RA-4	60,8	$\pm 4,2$	64,7	$\pm 3,9$	59,3	$\pm 3,6$	61,4	$\pm 2,0$

RA-5	68,2	±3,2	63,5	±2,6	59,5	±3,4	58,6	±2,8
RA-6	59,8	±2,0	59,0	±2,3	58,2	±2,0	59,4	±2,0
RA-7	56,3	±2,1	53,4	±2,0	57,8	±2,6	60,6	±2,1
RA-8	69,4	±2,5	66,3	±3,2	63,6	±2,9	77,4	±2,8
RA-9	61,1	±2,0	58,6	±2,2	58,4	±2,1	58,8	±2,1
RA-10	65,6	±2,0	70,1	±2,6	55,6	±3,7	63,7	±2,7
RA-11	62,0	±4,2	57,8	±2,4	58,8	±3,6	61,6	±2,0
RA-12	56,5	±2,0	54,1	±2,0	58,3	±2,3	57,1	±3,1

Fuente: SIAM Ingeniería, 2022

5.1.9.4.1.4 Comparación de los resultados obtenidos con la normatividad

La Tabla 5-169 y Tabla 5-170 se muestra la comparación de los resultados obtenidos con la norma actual:

Tabla 5-169. Comparación niveles de ruido ambiental día ordinario con la normatividad

Punto de medición	Sector	L _{RAeq} ⁽¹⁾ Horario Diurno [dB(A)]	Máximo Permitido Diurno [dB(A)]	Estado con Norma	L _{RAeq} ⁽¹⁾ Horario Nocturno [dB(A)]	Máximo Permitido Nocturno [dB(A)]	Estado con Norma
RA-1	C	60,7	75	Cumple	60,3	70	Cumple
RA-2	D	66,1	55	No cumple	60,2	45	No cumple
RA-3	D	71,3	55	No cumple	52,7	45	No cumple
RA-4	D	60,8	55	No cumple	64,7	45	No cumple
RA-5	D	68,2	55	No cumple	63,5	45	No cumple
RA-6	D	59,8	55	No cumple	59,0	45	No cumple
RA-7	C	56,3	80	Cumple	53,4	70	Cumple
RA-8	D	69,4	55	No cumple	66,3	45	No cumple
RA-9	C	61,1	80	Cumple	58,6	70	Cumple
RA-10	C	65,6	80	Cumple	70,1	70	No cumple
RA-11	C	62,0	75	Cumple	57,8	70	Cumple
RA-12	D	56,5	55	No cumple	54,1	45	No cumple

Fuente: SIAM Ingeniería, 2022

Tabla 5-170. Comparación de niveles de ruido ambiental día dominical con la normatividad

Punto de medición	Sector	L _{RAeq} ⁽¹⁾ Horario Diurno [dB(A)]	Máximo Permitido Diurno [dB(A)]	Estado con Norma	L _{RAeq} ⁽¹⁾ Horario Nocturno [dB(A)]	Máximo Permitido Nocturno [dB(A)]	Estado con Norma
RA-1	C	62,3	75	Cumple	64,4	70	Cumple
RA-2	D	57,6	55	No cumple	60,9	45	No cumple
RA-3	D	65,6	55	No cumple	64,7	45	No cumple
RA-4	D	59,3	55	No cumple	61,4	45	No cumple
RA-5	D	59,5	55	No cumple	58,6	45	No cumple
RA-6	D	58,2	55	No cumple	59,4	45	No cumple
RA-7	C	57,8	80	Cumple	60,6	70	Cumple
RA-8	D	63,6	55	No cumple	77,4	45	No cumple
RA-9	C	58,4	80	Cumple	58,8	70	Cumple
RA-10	C	55,6	80	Cumple	63,7	70	Cumple
RA-11	C	58,8	75	Cumple	61,6	70	Cumple
RA-12	D	58,3	55	No cumple	57,1	45	No cumple

Fuente: SIAM Ingeniería, 2022

Aforo vehicular

El aforo vehicular describe la cantidad y tipos de vehículos que transitaron en los puntos de medición durante la captura de datos. La Tabla 5-171 muestran los resultados del aforo vehicular llevado a cabo en los puntos de monitoreo del proyecto.

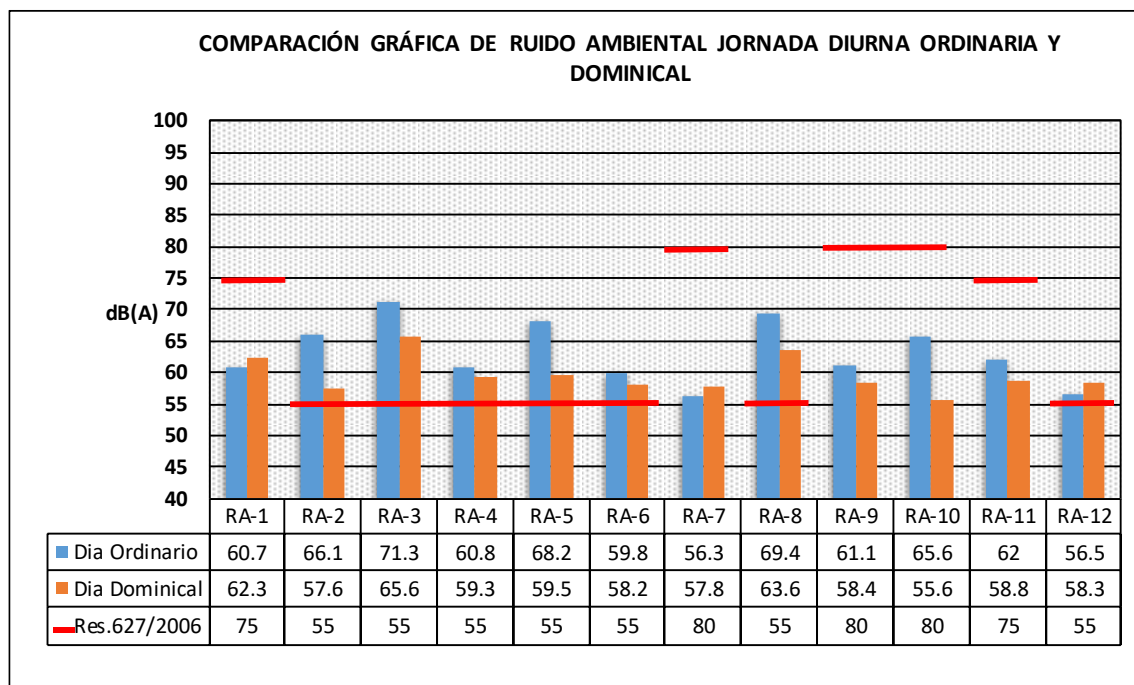
Tabla 5-171. Aforo vehicular según tamaño y utilidad, en el tiempo del registro día ordinario y dominical para los horarios diurno y nocturno.

Código	Nombre de los puntos de medición	Ordinario						Dominical						Total vehículos
		Diurno			Nocturno			Diurno			Nocturno			
		M	L	P	M	L	P	M	L	P	M	L	P	
RA-1	RA-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RA-2	RA-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RA-3	RA-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RA-4	RA-4	17	8	5	14	18	5	21	14	8	10	3	2	125
RA-5	RA-5	34	20	7	8	4	0	35	13	5	14	6	0	146
RA-6	RA-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RA-7	RA-7	12	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16
RA-8	RA-8	99	58	33	32	29	3	50	26	14	60	33	10	447
RA-9	RA-9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RA-10	RA-10	14	8	4	3	1	0	30	9	4	18	6	0	97
RA-11	RA-11	18	9	3	3	1	0	23	17	4	6	4	0	88
RA-12	RA-12	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7

Total vehículos	197	109	54	60	53	8	159	79	35	108	52	12	926
*M: Motos *L: Vehículos livianos (2 ejes) *P: Vehículos pesados (3 ejes o mas)													
Fuente SIAM Ingeniería, 2022													

En la Figura 5-139 se muestran los resultados obtenidos en los doce (12) puntos de medición, clasificados en el sector C y D respectivamente, para la jornada diurna ordinaria y dominical.

Figura 5-139. Resultados de Ruido ambiental jornada diurna día ordinario y dominical.



Fuente SIAM Ingeniería, 2022

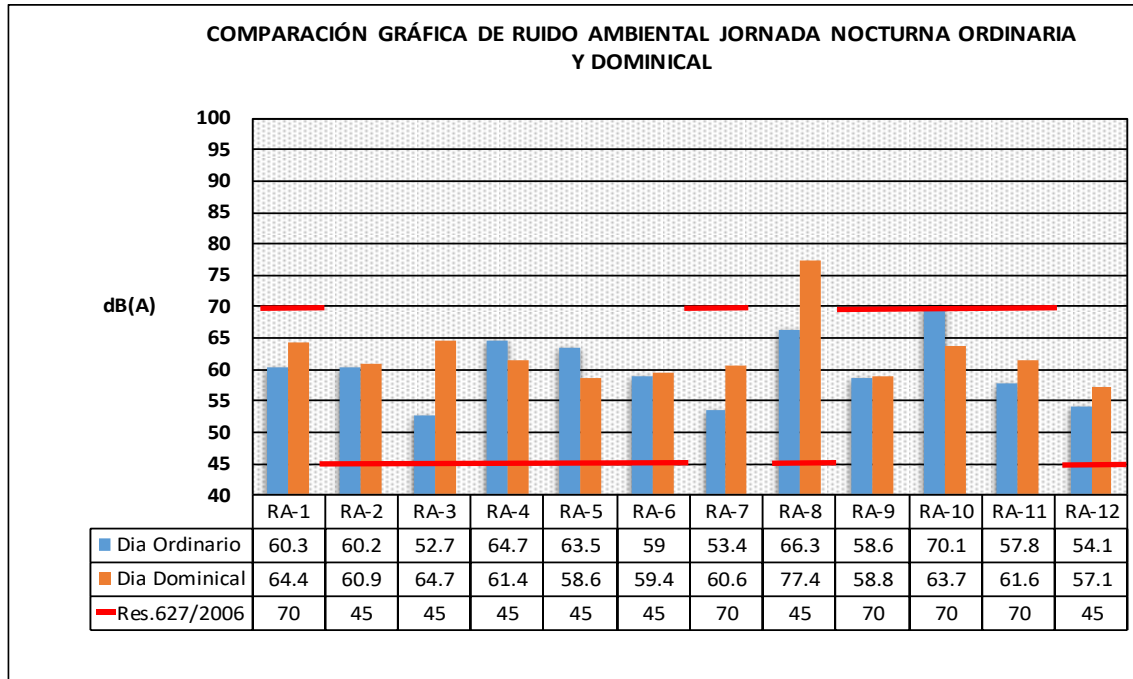
Diurno Ordinario y Dominical: para la medición diurna ordinaria y dominical los puntos clasificados en el sector D presentan niveles de ruido ambiental superiores al límite máximo permisible de 55 dB (A) estipulado por la norma, por su parte, el sector C en específico los puntos RA-1 y RA-11 se encuentran por debajo del límite de 75 dB (A) y así mismo, los puntos RA-7, RA-9 y RA-10 cumplen con el límite de 80 dB (A). Las fuentes de ruido ambiental que posiblemente generaron los principales aportes sobre los puntos mencionados anteriormente son:

- Ruido de la zona habitada (viviendas aledañas a los puntos de medición).
- Señales sonoras y paso de vehículos en las vías aledañas a los puntos (flujo vehicular moderado-alto), principalmente en los puntos RA-4, RA-5, RA-7, RA-8, RA-10 y RA-11.
- Influencia del ruido natural de la zona (sonidos emitidos por la fauna local, compuesta por aves, ganado bovino, insectos (grillos y cigarras) y animales domésticos).

El punto más alto evidenciado corresponde a RA-3 con 71,3 dB(A) en la jornada diurna ordinaria, el cual excede el límite máximo establecido para el sector D, valor que pudo verse afectado por la influencia del ruido proveniente de la zona habitada y el ruido natural.

El nivel de presión sonora más bajo se evidencia en el día diurno dominical en el punto RA-10 con 55,6 dB(A), valor por debajo del límite máximo permisible que establece la normatividad para el sector C.

Figura 5-140. Resultados de Ruido ambiental jornada nocturna día ordinario y dominical.



Fuente: SIAM Ingeniería, 2022

Nocturno Ordinario y Dominical: en el horario nocturno ordinario y dominical todos los puntos clasificados en el sector D exceden el límite máximo permisible de 45 dB(A) que asigna la Resolución 627 de 2006, por su parte, en el sector C todos los puntos son inferiores al límite máximo permisible de 70 dB (A), a excepción del punto RA-10 en la jornada ordinaria, el cual excede ligeramente este límite (A). Entre los factores que pudieron generar aportes de ruido durante las mediciones se destacan:

- Ruido de la zona habitada (viviendas aledañas a los puntos de medición).
- Señales sonoras y paso de vehículos en las vías aledañas a los puntos (flujo vehicular moderado-alto), principalmente en los puntos RA-4, RA-5, RA-7, RA-8, RA-10 y RA-11.
- Influencia del ruido natural de la zona (sonidos emitidos por la fauna local, compuesta por aves, ganado bovino, insectos (grillos y cigarras) y animales domésticos.
- Sobrevuelo de aeronaves en el punto RA-10.

El 75% de las mediciones presenta datos superiores en la jornada nocturna dominical en comparación con la jornada nocturna ordinaria.

El nivel de presión sonora más alto evidenciado corresponde al punto RA-8 con 77,4 dB(A) en la medición dominical, el cual supera el límite máximo permisible de 45 dB(A) para el sector D, cabe resaltar que dentro de las fuentes que pudieron incidir en este aporte se destacan: el flujo vehicular constante por la vía aledaña al punto de medición y las actividades propias de la zona residencial.

El nivel de presión sonora más bajo se evidencia en el punto RA-3 durante el día nocturno ordinario con 52,7 dB(A), valor que supera el límite máximo permisible que establece la normatividad para el sector D.










Los niveles de presión sonora del área de estudio estuvieron por el orden de 52 dB a 77 dB(A).



Con los resultados obtenidos de las mediciones se elaboraron las curvas de ruido que se muestran en el Anexo 5.1.9 Atmósfera. La altura del sonómetro utilizada fue de 4 m sobre el nivel del suelo para ruido ambiental.

5.1.9.4.1.5 Mapas de ruido

Para el caso de los mapas de ruido, expresados como isófonas (Ver Anexo 5.1.8 Atmósfera), se muestran representados con los códigos de colores definidos por la Resolución 627 de 2006 (Tabla 5-172):

Tabla 5-172. Código de colores definidos por la Resolución 627 de 2006.

Rango	Tonalidad	Color
Menor de 35	Verde claro	
35 a 40	Verde	
40 a 45	Verde oscuro	
45 a 50	Amarillo	
50 a 55	Ocre	
55 a 60	Naranja	
60 a 65	Cinabrio	
65 a 70	Carmín	
70 a 75	Rojo lila	

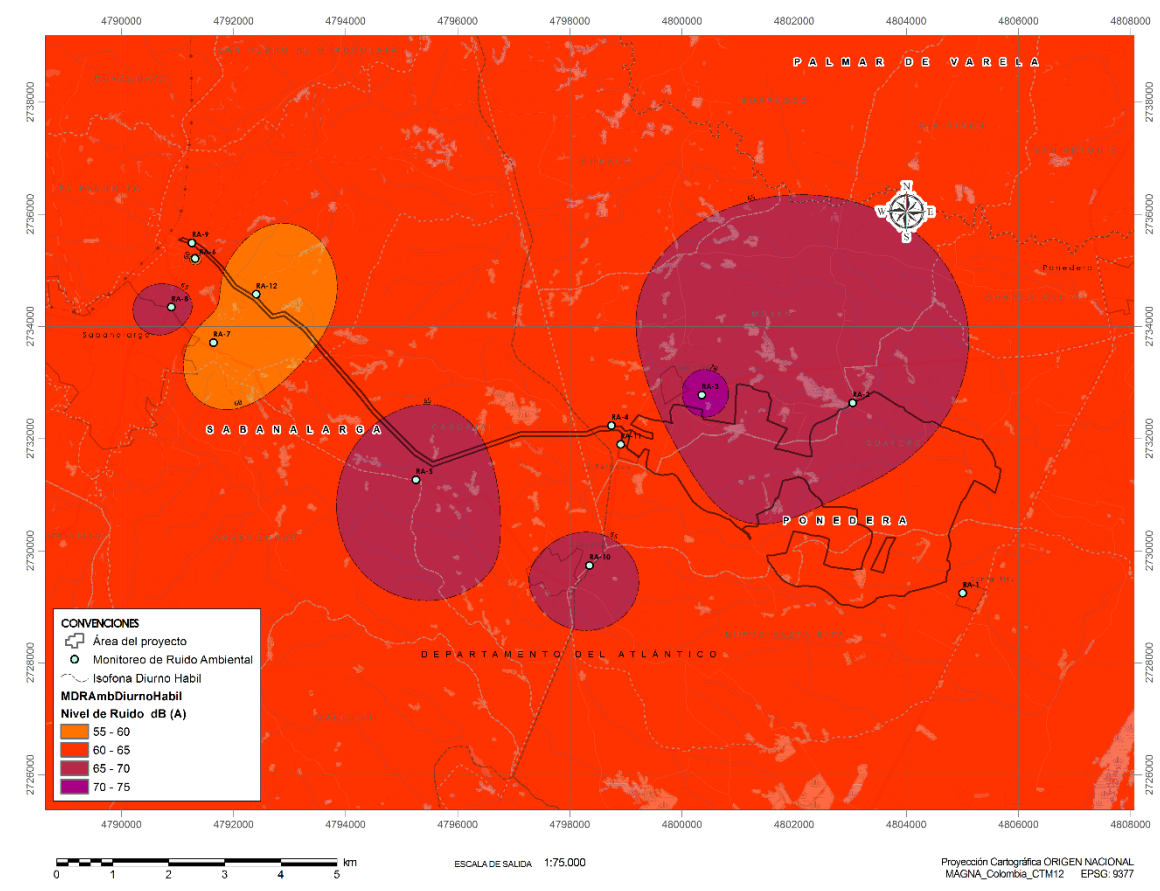
Rango	Tonalidad	Color
75 a 80	Azul	
80 a 85	Azul oscuro	

Fuente: MAVDT, (Ahora MADS). Resolución Número 627 del 7 de abril de 2006

Isófona diurna hábil

Como se puede observar en este mapa las tonalidades naranja, cinabrio, carmín y rojo lila, se encuentran rodeando los puntos de monitoreo, donde esta última corresponde al mayor aporte de presión sonora en un rango entre 70-75 dB asociado con el punto RA-3, así mismo, se puede observar que los puntos con menor nivel de presión sonora se ubican en un rango entre 55-60 dB en la tonalidad naranja del cual hacen parte los puntos RA-6, RA-7 y RA-12.

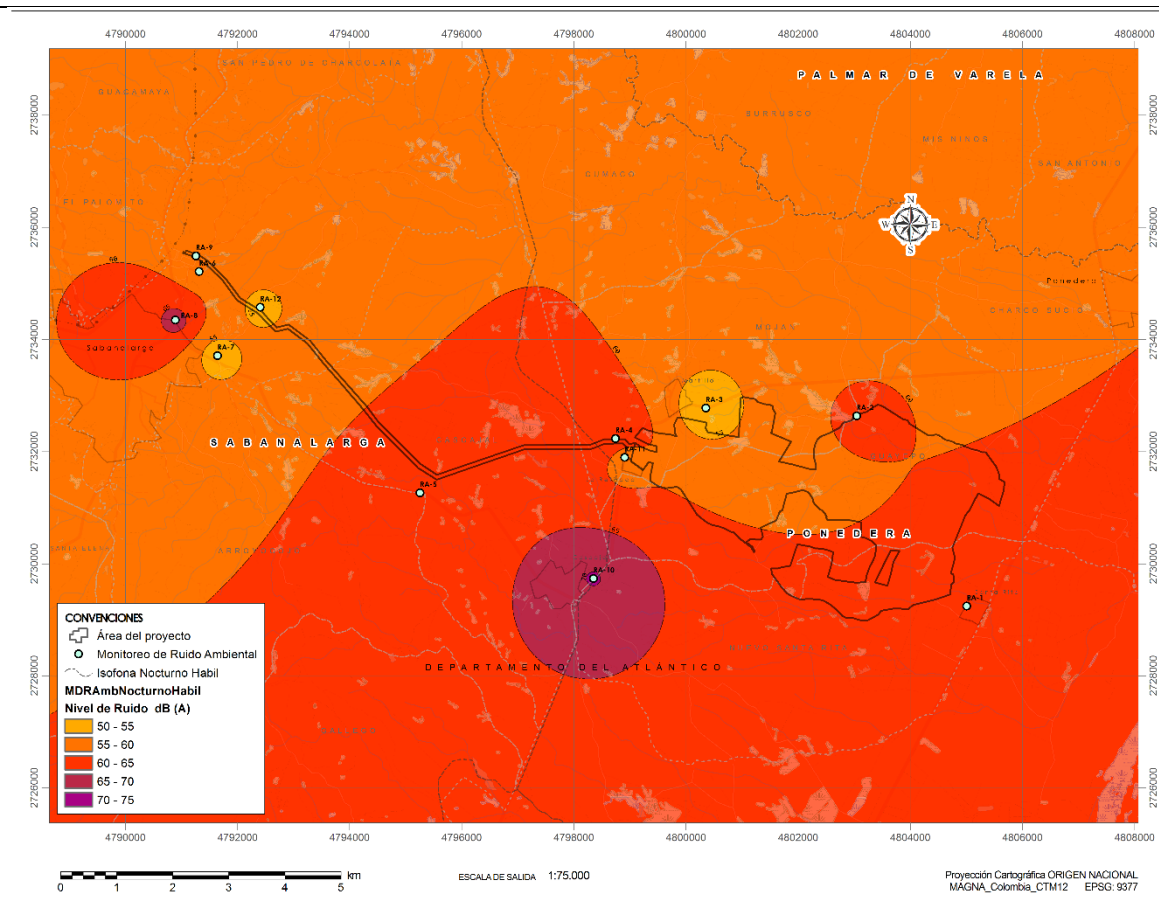
Los demás puntos se encuentran distribuidos en un rango de 60-70 dB.



Isófona nocturno hábil

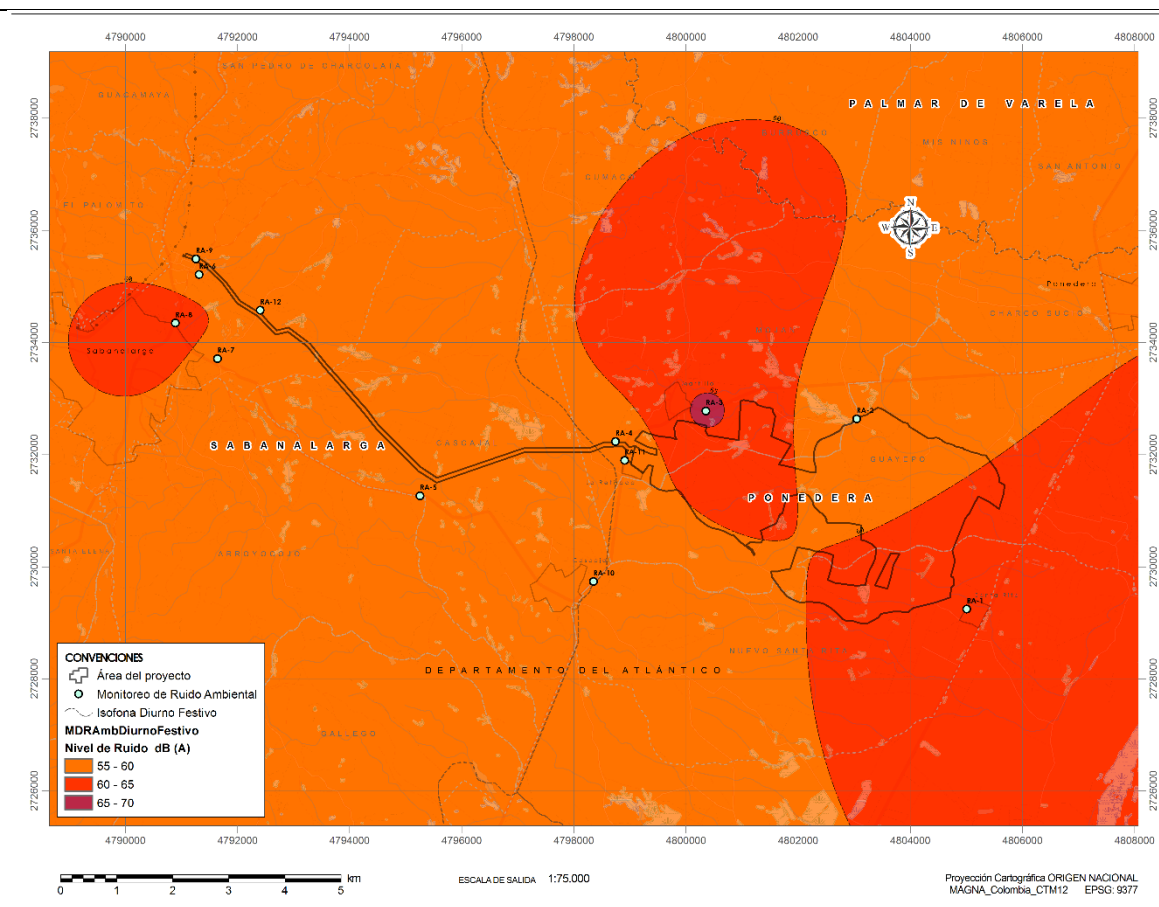
En este mapa isofónico se observa la predominancia de las tonalidades cinabrio (rango 60-65 dB) en los puntos RA-1, RA-2, RA-4 y RA-5 y naranja (rango 55-60 dB) en los puntos RA-6, RA-9 y RA-11, así mismo, se resalta que el punto con mayor nivel de presión sonora para esta jornada corresponde al RA-10 ubicado en la tonalidad rojo lila.

Finalmente, los niveles de ruido de la zona de estudio oscilan entre los 50 a 75 dB(A).



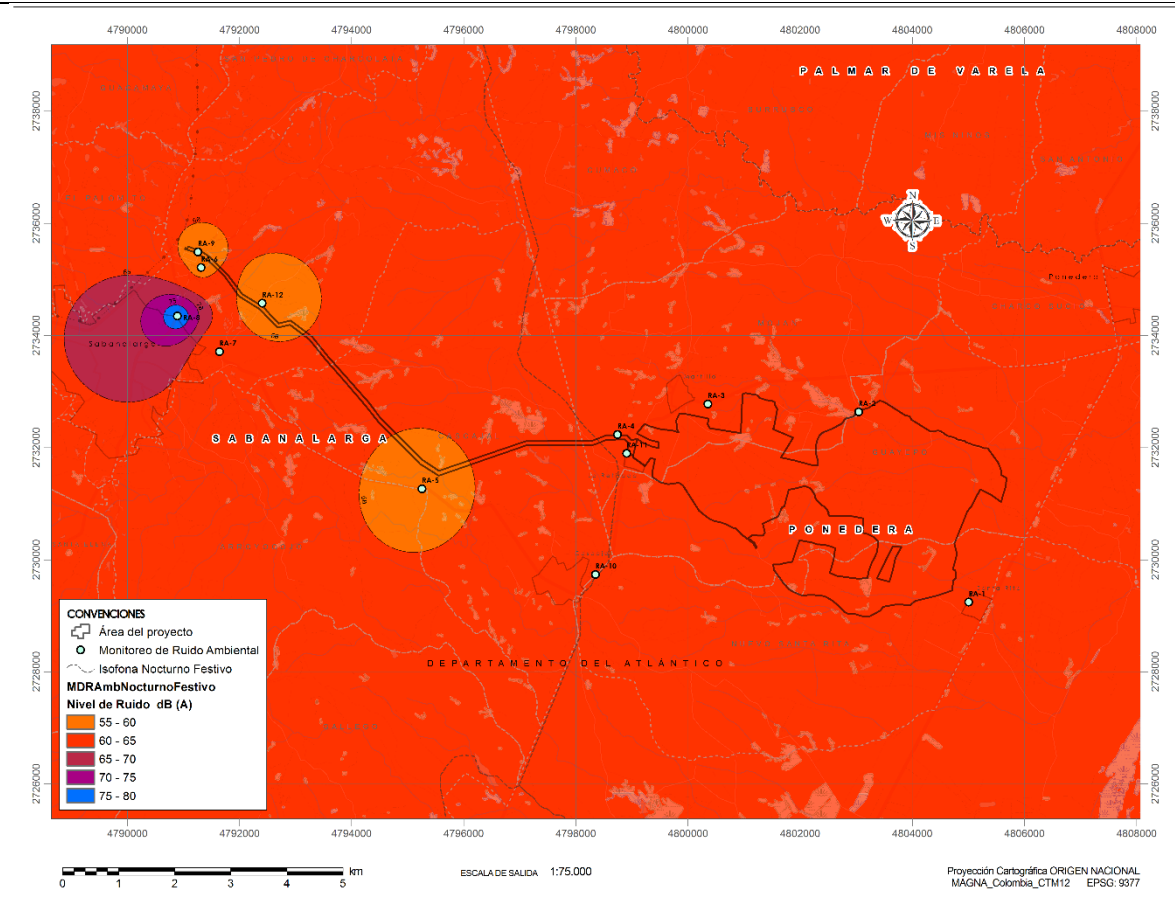
Isófona diurno festivo

En el siguiente mapa se puede observar que el punto RA-3 se ubica en la tonalidad carmín representando el valor máximo de presión sonora durante la jornada, seguido de los puntos RA-1 y RA-8 ubicados en la tonalidad cinabrio (rango 60-65 dB) y finalmente, se visualiza una predominancia de la tonalidad naranja donde se ubican los puntos restantes, representando el 75% de los datos, los cuales son considerados de menor nivel de presión sonora (rango entre 55-60 dB) y a su vez demuestra una baja variabilidad.



Isófona nocturna festivo

En este mapa isofónico se destaca que los puntos con menor nivel de presión sonora corresponden a RA-5, RA-6, RA-9 y RA-12, ubicados en la tonalidad naranja (rango 55-60), por otra parte, la tonalidad azul hace referencia al punto RA-8, el cual tiene el mayor nivel de presión sonora de la jornada y finalmente, los puntos restantes representan la tonalidad cinabrio, en síntesis, el 58% de los datos del estudio se ubican en un rango de 60-65 dB (A).



5.1.9.4.1.6 Observaciones y conclusiones

- El presente documento contiene el informe de resultados de las mediciones de ruido ambiental realizado durante época seca en el área de influencia del proyecto: Parque solar fotovoltaico Guayepo con capacidad de generación de 400 MW, su línea de evacuación 500kv y bahía de conexión.
- Mediante el análisis de los resultados se determinó el estado de los niveles de presión sonora respecto a los límites permisibles según la Resolución 627 de 2006. Las mediciones de ruido se realizaron entre los meses de abril y mayo del 2022.
- Todas las mediciones se tomaron en tercios de octavas, con ponderaciones frecuenciales A y ponderaciones temporales S (Slow); en lo que respecta a los ajustes, las mediciones se corrigieron por tono (KT) y por impulso (KI) por lo que se realizaron ajustes de 0 a 6 dB (en su mayoría de 6 dB por tonos) en las diferentes mediciones.
- Para comparar los resultados obtenidos con la norma de la Resolución 627 de 2006 del MAVDT, se consideró como sectores representativos de la zona monitoreada el Sector C. Ruido intermedio restringido y el Sector D. Zona suburbana o rural de tranquilidad y ruido moderado. Junto con el análisis de los resultados se determinó el estado de las mediciones respecto a los límites permisibles según la Resolución 627 de 2006.
- Durante la medición diurna en la jornada ordinaria y dominical los puntos clasificados en el Sector D en su totalidad superan el límite máximo permisible de 55 dB (A), por su parte para el Sector C todos los puntos cumplen con el límite máximo permisible de 75 dB (A) (puntos RA-1 y RA-11) y 80 dB (A) (puntos RA-7, RA-9 y RA-10).
- Respecto a la medición nocturna ordinaria y dominical los puntos clasificados en el sector D se ubican por encima del límite máximo permisible de 45 dB (A), por su parte para el sector C todos los puntos cumplen con el límite máximo de 70 dB (A), a excepción del punto RA-10 que excede este límite en la jornada ordinaria.

- Dentro de los factores que pudieron influir en el aumento de los niveles de presión sonora se destacan:
 - Ruido de la zona habitada (viviendas aledañas a los puntos de medición).
 - Señales sonoras y paso de vehículos sobre las vías aledañas a los puntos de medición (flujo vehicular moderado-alto).
 - Ruido natural de la zona (sonidos emitidos por la fauna local, compuesta por aves, ganado bovino, insectos (grillos y cigarras) y animales domésticos).
- Es importante tener en cuenta que la normativa define los límites máximos permisibles con base a una clasificación de sectores y subsectores que lo componen, los cuales se estructuran dependiendo del uso del suelo predominante en la zona de ejecución de las mediciones, para este caso se definieron según los usos del suelo del área de estudio, consignados en el EIA.
- Con base en estos resultados, y realizando un comparativo entre, el monitoreo del año 2022 y el ejecutado para el EIA 2020, se evidencia una similitud entre los datos obtenidos para jornada Diurna, ya que para el EIA 2020 se reportaron valores promedio de 62 dB(A) para día Hábil y 61 dB(A) para días No Hábil. Los mayores cambios evidenciados para esta jornada se presentan hacia las estaciones RA-3 y RA-10, asociadas a los corregimientos de El Martillo y Cascajalito respectivamente, ambos con variaciones de más de 10 dB(A) entre ambos monitoreos.
- Por otra parte, para los resultados de la jornada Nocturna, se evidencia un aumento en los valores para el monitoreo realizado para la presente modificación, con respecto al ejecutado para el EIA 2020 donde se reportaron valores promedios de 58 dB(A) para día Hábil, y No Hábil. Se presentó un aumento de más de 10 dB(A) en las estaciones RA-2, RA-3, RA-4, RA-8, y una disminución de más de 10 dB(A) en la estación RA-9.

5.1.9.4.2 Modelos de predicción de ruido

La información asociada a los modelos de predicción de ruido aquí presentadas corresponde a aquellas elaboradas durante el EIA presentado en el año 2020, teniendo en cuenta que para la presente modificación las características y condiciones generales del parque se mantienen a las usadas como insumo durante el desarrollo de este primer EIA.

Para dicho estudio se realizaron dos modelos de predicción de ruido, uno basándose en dar cumplimiento a los TdR-15 que enmarca el área del parque solar fotovoltaico, y el otro modelo cumpliendo con los lineamientos establecidos en los TdR-17 para la línea de evacuación y bahía de conexión a la subestación Sabanalarga.

Ambas modelaciones acústicas se ejecutaron bajo el método general de cálculo ISO 9613 – 2 - Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors, Part 2 General method of calculation, basado en la definición de fuentes típicas de la base de datos del software SoundPlan versión 7.3.

La modelación predictiva de ruido se realizará implementando la base de datos de la biblioteca de fuentes de ruido que contiene el software de modelación acústica SoundPlan versión 7.3, basado en los valores publicados por la norma británica (BS 5228-1:2009) “Code of practice for noise and vibration control on construction and open sites – Part 1: Noise”, a fin de obtener las curvas de igual sonoridad (i.e. Isófonas) para un día promedio de operación de la fuente objeto de estudio, bajo la condiciones de funcionamiento más desfavorables (i.e. funcionamiento simultaneo). Dichos resultados podrían permitir a las autoridades la toma informada de decisiones y/o realización de estudios específicos en materia de ruido.

A continuación, se presentan los resultados de la modelación predictiva de niveles de la construcción y operación del parque fotovoltaico para un día promedio de actividades normalizada.

La propagación de ruido hacia puntos receptores en condiciones de propagación homogénea y favorable acorde al estándar ISO 9613 - 2 Atenuación del sonido en

espacio abierto, se calcula de manera separada y tiene en cuenta la suma de las condiciones de atenuación existentes en la trayectoria fuente/receptor.

$$LF = LW - A_{div} - A_{atm} - A_{grd,F} - A_{dif,F}$$

Donde:

LW: Emisión

Adiv: Divergencia geométrica

Aatm: absorción atmosférica

Agrd,F: efecto del terreno

Adif,F: Difracción

A continuación, se enlista las condiciones de atención previstas en el modelo.

Tabla 5-173. Condiciones de atenuación del sonido en el espacio libre ISO 9613-2

PROPAGACIÓN MÉTODO DE CÁLCULO ACORDE A ISO 9613-2	
P1 – Divergencia geométrica	Diferencia máx. GND+Difracción 1,0 dB
P2 – Absorción atmosférica	ISO 9613-1 a 20 °C y 70% humedad; Presión atmosférica 1013,3 mbar
P3 – Perfil del terreno	Plano medio del perfil del terreno
P4 – Efecto del suelo	Función de coeficiente G adimensional del terreno
P5 – Reflexiones	Consideradas en efecto del suelo
P6 – Difracciones	Dependiente de la longitud de onda y la diferencia de trayectorias
P7 – Condición meteorológica	Homogénea, ISO 9613-1 a 20 °C – 50 °C y 40 % y 70% humedad; Presión atmosférica 1013,3 mbar

Fuente: (MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2020)

Las condiciones de atenuación en zonas boscosas se tienen en cuenta de acuerdo con la propiedad de atenuación por volumen. La altura útil es la del área de absorción sobre el terreno. El factor de absorción se introduce en dB(A) por metro.

Los valores entre 0,05 y 0,1 dB/m se encuentran en el material bibliográfico. ISO 9613 ignora el valor de la atenuación por metro y emplea en su lugar un espectro de atenuación dependiente del tipo de absorción.

Para la determinación de la propagación del ruido se identificaron las principales actividades del proyecto y sobre qué receptores sensibles se podrían ver los efectos de estas.

La definición de las actividades por etapa se obtuvo con base en la descripción del proyecto entregado en documento EIA del año 2020, de acuerdo con el consolidado de actividades y equipos utilizados en la construcción y operación, los cuales fueron analizados desde el punto de vista acumulado, considerando todas las fuentes involucradas en simultáneo.

Identificación de fuentes de ruido representativos en el proyecto

A continuación, se describen las principales actividades que influyen en la propagación y generación de niveles de ruido en el entorno del proyecto.

Para el escenario base se identificaron tres (3) fuentes de emisión, dos asociadas al tránsito vehicular de la vía principal que conecta los cascos urbanos de Ponedera y Puerto Giraldo y al tránsito vehicular que conecta al casco urbano de Sabanalarga con Cascajal. Ambas son vías pavimentadas de aproximadamente 6 metros de ancho. La distribución de vehículos se resume en el numeral 5.1.9.1.3 del presente documento.

La tercera fuente de emisión se trata de la subestación Sabanalarga que opera en la actualidad, por lo que para el presente estudio se tomó en cuenta una planta de energía con el siguiente espectro de emisión.

Para complementar el análisis de ruido en línea base, se tuvieron en cuenta los monitoreos en seis (6) puntos de ruido ambiental en horario hábil, que se realizaron durante la campaña 1, para el año 2020.

Tabla 5-174 Puntos de monitoreo de ruido ambiental EIA 2020

NOMBRE	DIURNO DÍA HÁBIL	NOCTURNO DÍA HÁBIL
RA1	57,6	53,5
RA2	60,4	48,3
RA3	59,5	48,4
RA4	58,1	52,1
RA5	62,2	58,1
RA6	61,0	51,6

Fuente: (MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2020)

Para el escenario de construcción a modelar, se identificaron en total diez fuentes de emisión, principalmente asociadas al movimiento de tierras, descritas en la Tabla 5-175.

Tabla 5-175 Inventario fuentes fijas y homologación

ID	EQUIPO	REFERENCIA HOMOLOGACIÓN	Sum	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 k Hz	2 k Hz	4 k Hz	8 k Hz
F1	Vibro-Compactador	C.2.42 Hydraulic vibratory compactor	78	81	76	72	73	72	72	68	63
F2	Retroexcavadora de ruedas	C.2.8 Wheeled backhoe	68	74	66	64	64	63	60	59	50
F3	Excavadora de Oruga	C.2.3 Tracked excavator	78	80	83	76	73	72	70	69	66
F4	Volquetas	C.2.31 Dump Truck	87	86	79	79	79	79	84	69	60
F5	Camión grúa	C.2.16 Crane mounted auger	79	87	86	77	73	75	72	67	59
F6	Camión carrotanque	C.4.89 Water tanker	79	81	82	67	72	71	74	73	66
F7	Camión	C.4.5.16 Articulated dump truck	81	85	88	77	75	77	74	69	63
F8	Hincadora	C.3.6 Piling	68	80	74	70	65	61	57	49	43
F9	Camión Pluma	C.4.38 Wheeled mobile telescopic crane	78	80	79	73	74	73	73	64	55
F10	Camión Mixer	C.4.20 Concrete mixer truck	80	83	74	66	69	70	78	60	55

Fuente: (MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2020)

En la etapa de operación del parque fotovoltaico, como generador de ruido únicamente se tienen los vehículos que harán parte del mantenimiento del parque, en el que se encuentran una (1) camioneta y una (1) motocicleta para los cuales se estimó un flujo promedio de tres (3) viajes cada hora, únicamente en horario diurno.

Procedimiento de modelación acústica

El presente numeral describe en general las características técnicas y los aspectos propios a la ejecución de la modelación predictiva de ruido, teniendo en cuenta las etapas de generación del modelo geográfico (i.e. Geodabase), ingreso de valores de ruido, cálculo de potencias volumétricas de ruido, homologación de fuentes, las cuales representan información contundente y sensible a los resultados finales, realizado para el el EIA del Proyecto Parque Solar Fotovoltaico Guayepo 400 Mw, su línea de Evacuación

500 kv y Bahía de Conexión, presentado para la licencia ambiental, otorgada mediante Resolución 981 de 2021 (EIA PROYECTO GUAYEPO SOLAR, 2020).

La metodología de modelamiento de propagación sonora se basó en la normativa ISO 9613, la cual utiliza los principios de atenuación divergente, junto a atenuación extra introducida por obstáculos y atenuación atmosférica. Para ello, se empleó el modelo SoundPlan v 7.3, el cual incorpora todas las variables físicas (relieve topográfico, uso de suelo, condiciones meteorológicas) y las características de emisión acústica de los componentes principales, permitiendo estimar la radiación sonora de los elementos hacia el exterior. Las condiciones climáticas se consideran homogéneas (i.e. ISO 1996) para una gama amplia de condiciones de temperatura (20° – 40°) y humedad (50% - 90%), La norma utilizada considera siempre vientos con intensidades entre 3 y 4 m/s a favor de la propagación hacia la población más cercana.

Las características de las emisiones de ruido para cada fuente se basaron en los valores publicados por la norma británica (BS 5228-1:2009) “Code of practice for noise and vibration control on construction and open sites – Part 1: Noise” y las Guías de Predicción de Ruido del Gobierno Australiano (General Noise Prediction Guideline ÖAL 28), considerando la marca de referencia y tipo. Una vez asignados los niveles de potencia de ruido a cada maquinaria según la ubicación y el tipo de actividad, se determinó el nivel de potencia acústica total que representa una fuente de área de emisión de ruido, dada por la ecuación:

Ecuación de fuentes de área de emisión de ruido

$$L_T = 10 \log \left(\sum_i^n 10^{\frac{L_i}{10}} \right)$$

Donde L_T es la suma de todas las fuentes en simultáneo que radian sonido, n es el número de fuentes presentes en un área específica y L_i son los niveles de ruido de cada fuente expresada en dB(A).

Software de modelación SoundPlan

SoundPlan fue uno de los primeros programas de modelado de ruido en el mercado, como uno de los pioneros en mercado de programas informáticos para la caracterización de ruido ambiental. El programa emplea el cálculo de niveles de ruido provenientes de tráfico viario (calles y carreteras), ferrocarriles, industria (interior y exterior), aeropuertos.

El núcleo del Software es la predicción de ruido en el medio ambiente. Producto de varias fuentes las cuales se propagan y se dispersan sobre un terreno dado, de conformidad con las leyes de la física.

A nivel mundial, muchos gobiernos y asociaciones de ingenieros sintieron la necesidad de desarrollar algoritmos que contengan las principales normativas y estándares de acústica propios de la región con el fin de que diferentes ingenieros evalúan el mismo escenario obteniendo respuestas razonablemente cercanas a una situación en particular.

SoundPlan tiene la capacidad de analizar cualquier situación o elemento de la realidad, lo cual es determinado por la cantidad de información de entrada suministrada al núcleo de cálculo. Viaductos, túneles, pantallas con deflector o con diferentes materiales, acústica interior, edificaciones acústicas, aeropuertos, sistemas de control de ruido.

El método implementado por SoundPlan es basado en la norma ISO 9613, este método es general en el sentido de que se puede aplicar a una amplia variedad de fuentes de ruido, y cubre la mayor parte de los principales mecanismos de atenuación. Hay, sin embargo, las limitaciones en su uso, que surgen principalmente de la descripción del ruido ambiental en la serie de normas ISO 1996 y que se mencionan en las limitaciones del presente documento.

Ingreso de operaciones al modelo

Las potencias acústicas asignadas a las principales fuentes de ruido para cada uno de los tipos de zonas consideradas para el desarrollo de actividades se basaron en la guía ambiental internacional como la Norma Británica (BS 5228-1:2009) “Code of practice for noise and vibration control on construction and open sites – Part 1: Noise”. Asimismo, se revisaron las fichas técnicas disponibles de cada equipo a fin de extraer información relacionada con potencias acústicas

Base de datos geográfica y generación modelo digital de terreno DGM

El primer paso para el desarrollo de una modelación acústica consistió en realizar una breve descripción del área objeto de estudio, en este caso la línea de evacuación que enmarca el proyecto solar fotovoltaico y el entorno asociado a la misma (i.e, tipo de suelos, geometría, edificaciones, elevación del terreno, edificaciones receptores, áreas de bosques, fuentes,. etc.).

Teniendo en cuenta que el mecanismo de importación de datos del software SoundPlan, se realizó mediante datos geoespaciales estructurados en shapefiles, en los cuales los datos de atributos se guardan en tablas DBF, para cada una de las entidades del modelo, la entidad relación se definió por medio de una tabla incluyendo las columnas correspondientes a los atributos Ld y Ln. (i.e. Nivel promedio, día, noche)

Estos datos se ingresaron a la base de datos geográfica del modelo y se estructuro el entorno de modelación, cabe resaltar que entre mayor detalle en cuanto a la distribución espacial del modelo y las características de dispersión de las fuentes de ruido mayor será el valor relacionado al porcentaje de acierto en el modelo, presentado tolerancias que no superan 1 dB de error entre la situación futura y situación real, sin tener en cuenta el aporte de fuentes ajenas al funcionamiento de la fuente objeto de estudio.

Código de colores: La selección del tamaño de la grilla de cálculo se definió a partir de un análisis a las zonas que se consideran vulnerables por el funcionamiento del predio objeto de estudio (i.e. aquellas zonas sobre las que existe viviendas residenciales), el código de colores o la escala hace referencia a los rangos de valores establecidos en el cálculo, los cuales se representan para niveles bajos hasta el límite de 45 con tonos verdes medios, para niveles medios se utilizaron tonos rojos y para valores altos o superiores a 80 dB los tonos azul oscuro.

Teniendo en cuenta que se buscó establecer el nivel de afectación sobre el área de influencia, se seleccionó una grilla cuya área de cobertura permitiera un análisis completo de la zona, en este caso se utilizó una grilla de cálculo no recursiva, cuyos puntos se encuentran espaciados cada diez (10) metros, para un total de puntos calculados de

197.891. El cálculo de dispersión y la tolerancia del modelo fue de 0.001 dB, el radio de búsqueda de sonido directo y refractivo fue de 5.000 m. La distancia de cálculo para la reflexión al receptor fue de 200 m y al foco de 50 m. Por otra parte, se establece un rango de valores de niveles de ruido suficiente como para cumplir las expectativas de la resolución 627 del MAVDT y los resultados bajo ponderación dB(A).

Es preciso mencionar que los niveles por debajo de la franja de 45 dB(A) no se consideraron en su totalidad parte de la operación, esto quiere decir que el software aplica dicha tonalidad para el resto de los valores presentes en el mapa con el fin cubrir la totalidad de los niveles de ruido en el área de cálculo.

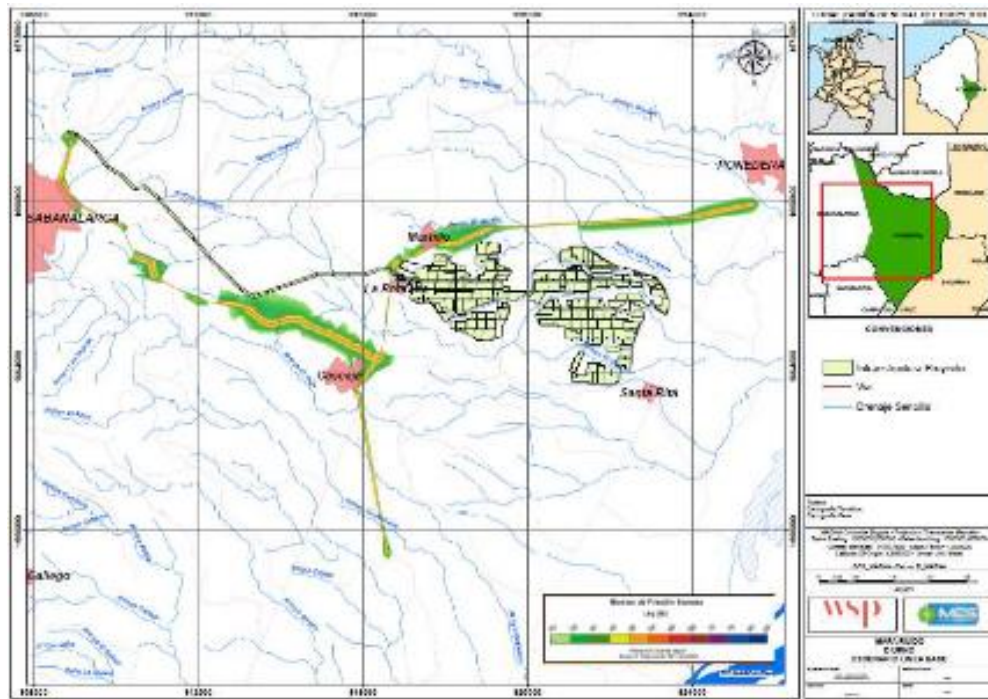
Resultados

El análisis de los mapas de ruido es uno de los principales y más interesantes métodos de evaluación de áreas de afectación por ruido, usualmente utilizado para determinar la servidumbre real de afectación de un complejo industrial, teniendo en cuenta la necesidad de presentar resultados que puedan ser analizados objetivamente para determinar las zonas afectadas por la construcción y operación del proyecto.

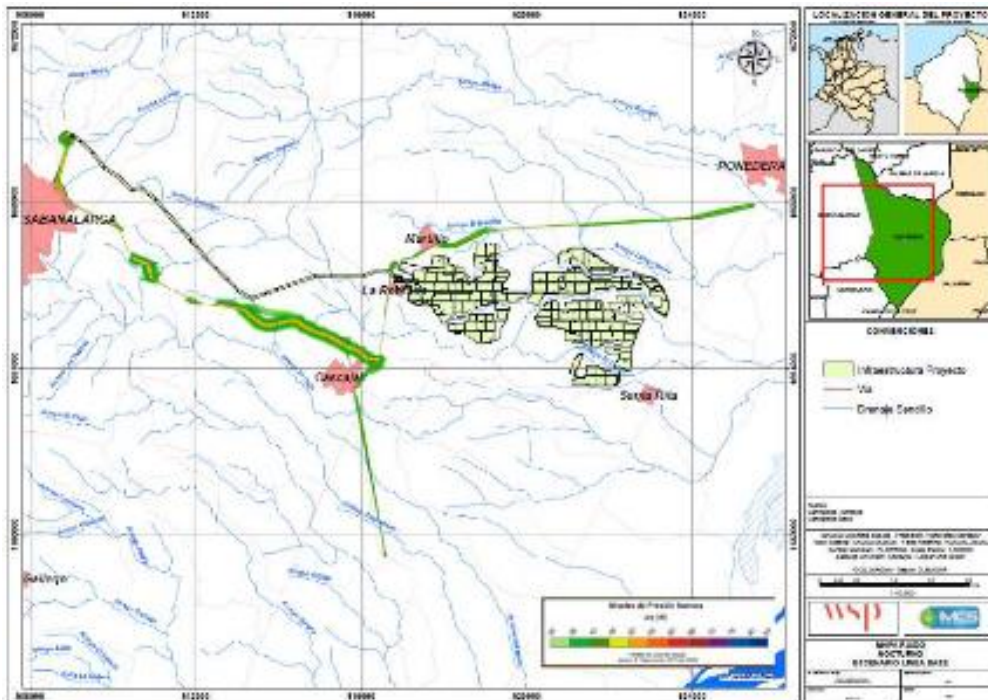
Se presentan a continuación los resultados obtenidos para la situación promedio LD y LN en etapa constructiva y el indicador LD para etapa en operación (En horario Nocturno NO hay emisión de ruido debido a la operación del parque fotovoltaico).

Figura 5-141 Indicador Acumulativo - Línea Base

Diurno



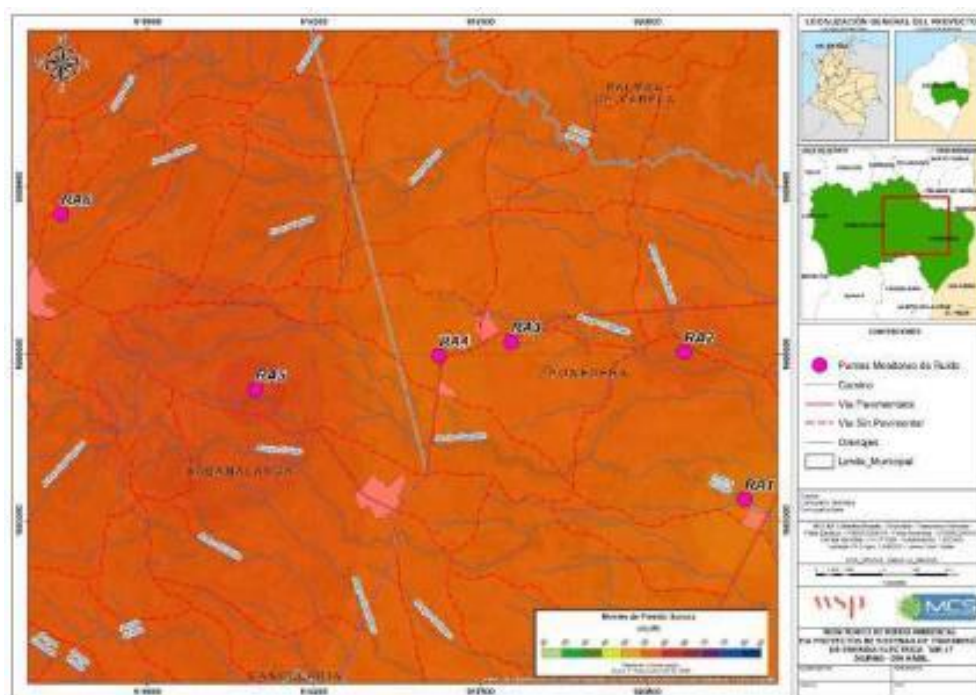
Nocturno



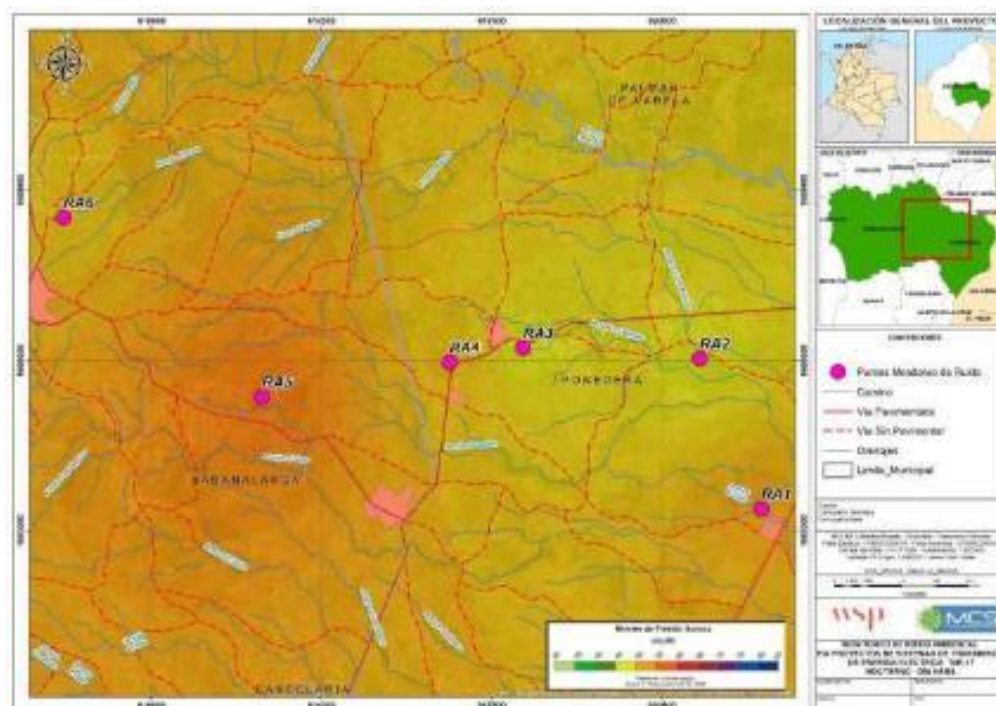
Fuente: (MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2020)

Figura 5-142 Indicador Acumulativo– Línea Base – Monitoreo Ruido EIA 2020

LD – Línea base



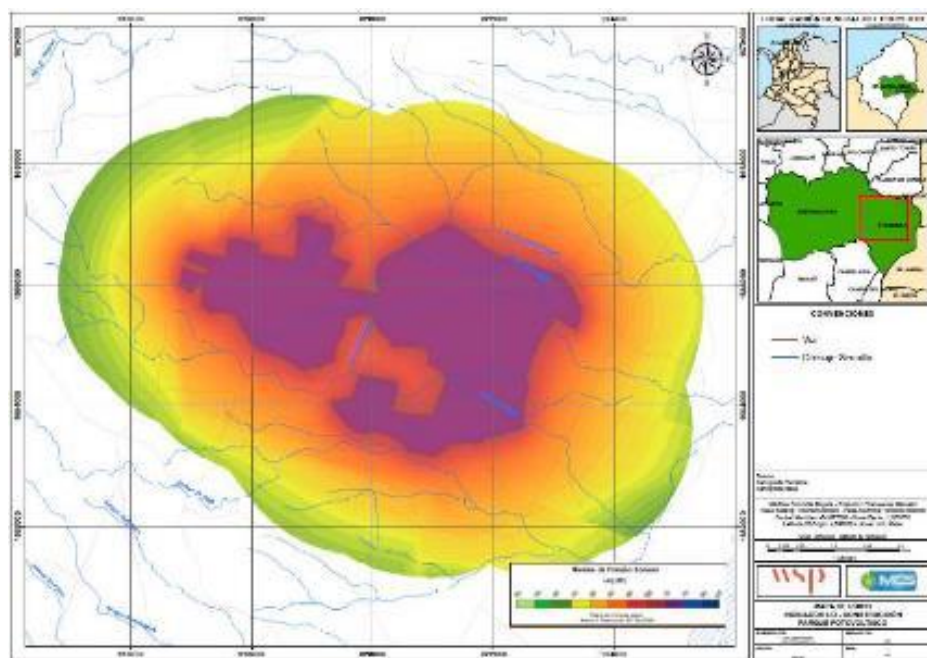
LN- Línea base



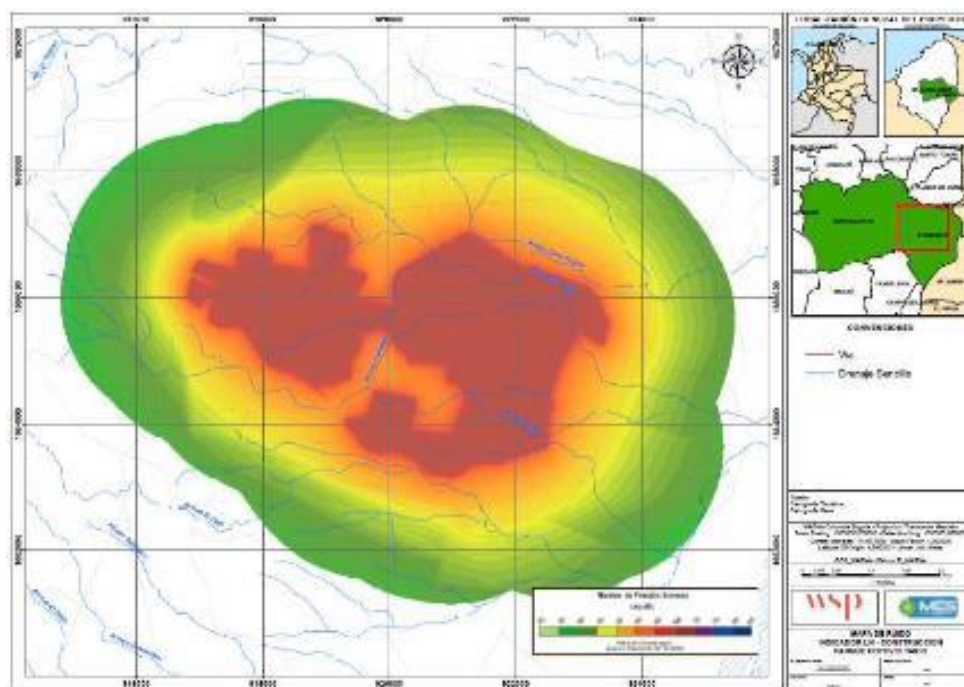
Fuente: (MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2020)

Figura 5-143 Indicador Acumulativo – Construcción Parque Fotovoltaico

LD – Construcción Parque



LN - Construcción Parque



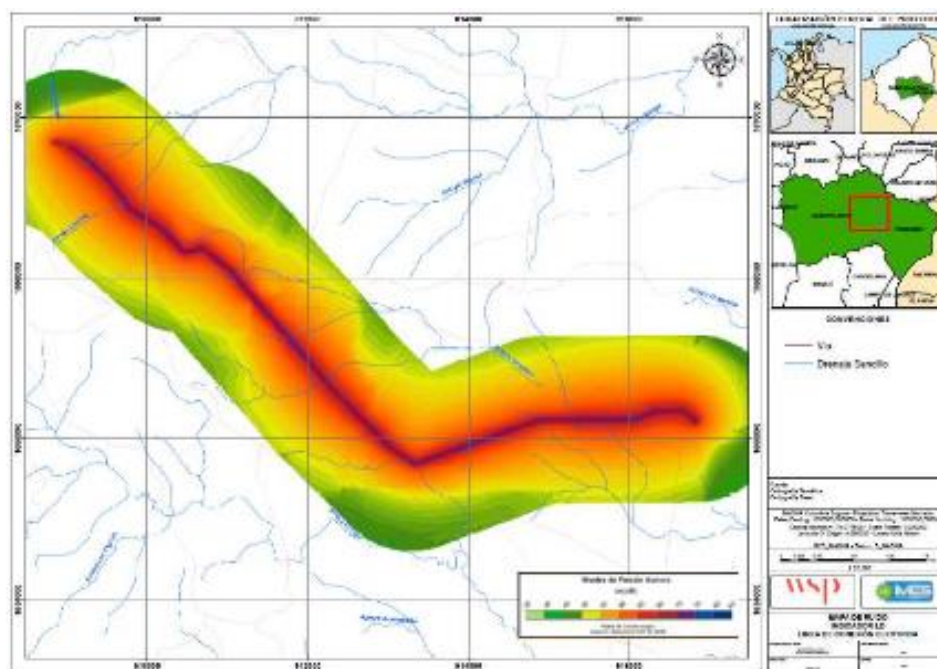
Fuente: (MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2020)

Mapa de ruido de operación para la Línea de Troncal de la Ruta 100 en el municipio de Olaya, Boyacá. El mapa muestra la red vial principal y secundaria, con una zona de estudio sombreada en verde. Se incluyen coordenadas UTM, una escala gráfica, una leyenda de niveles de ruido (Ld) y una ubicación regional en Colombia. El mapa fue elaborado por WSP y MMS.

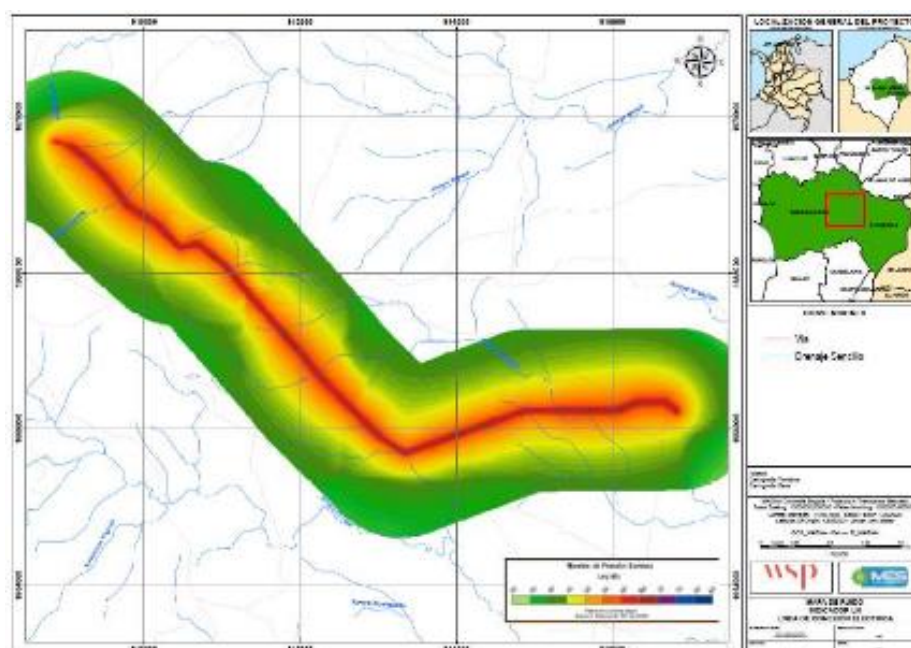
Guayepo Solar
El sol que genera energía

Figura 5-145 Indicador Acumulativo–Construcción – Línea de Evacuación

LD – Construcción Evacuación



LN- Construcción Evacuación



Fuente: (MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental, 2020)

Analizando el escenario Línea Base, se observa que el impacto de la vía tipificada NO es significativo, en horario diurno el valor más elevado es de 55 dB y ocurre en el eje vial, sin embargo, la dispersión de la onda es tal que a menos de 50 metros los niveles de ruido estarían por debajo de los 45 dB.

Lo anterior contrastado con las isófonas elaboradas a partir de los monitoreos de ruido, se concluye que la vía tipificada NO es la principal fuente de emisión en la zona, lo anterior sustentado en los niveles monitoreados a lo largo de la futura línea de evacuación que sobrepasan los 55 dB.

Como se puede evidenciar, la etapa más crítica es la construcción del parque solar fotovoltaico debido a la maquinaria que converge en una misma área, sin embargo, los niveles de ruido en las inmediaciones de la obra cumplen con los límites expuestos en la Resolución 627 de 2006 en cuanto a sectores industriales.

En el área del parque solar fotovoltaico, durante el horario diurno, los niveles de ruido ambiental (4 metros de altura) no superan los 75 dB(A) y la atenuación de la onda hace que a aproximadamente a 1 kilómetro se alcancen valores de 45 dB(A). En la noche los niveles no superan los 60 dB(A) y la distancia para que el nivel llegue a los 45 dB(A) es de 700 metros.

En la etapa de operación del parque solar fotovoltaico, debido al bajo flujo de vehículos, los niveles no superan los 55 dB(A), evidenciando así que NO existe afectación a las comunidades aledañas.

Al comparar los resultados de las tres etapas en las modelaciones del área del parque solar fotovoltaico, se evidencia que los niveles de ruido en operación y construcción NO suponen una afectación, debido a que en línea Base ya se encuentran niveles por encima de los 55 dB.

Respecto a la construcción de la línea de evacuación, presenta estimaciones por debajo de los límites expuestos en la Resolución 627 de 2006 para zonas de tranquilidad, cuando se analiza los niveles por fuera de los límites espaciales de la servidumbre de la

construcción, esto supone una NO afectación a las comunidades aledañas, ya que los mayores valores se encuentran en los interiores de los frentes de obra.

Como se puede observar los niveles de ruido ambiental (4 metros de altura) no superan los 75 dB(A) y la atenuación de la onda hace que a aproximadamente 700 metros se alcancen valores de 45 dB(A).

Comparando los escenarios de Línea Base y construcción, se evidencia que el impacto sonoro asociado a la construcción de la línea de evacuación NO ES SIGNIFICATIVO, debido a que los resultados de los monitoreos en Línea Base son mayores a los resultados de la modelación en etapa constructiva.

Conclusiones

A continuación, se presentan las principales conclusiones obtenidas en el EIA desarrollado en el año 2020, a partir de los resultados de la modelación predictiva para un día promedio en los escenarios más críticos en cuanto a emisiones sonoras basado en las condiciones constructivas y de operación.

Se realizó el modelo de ruido asociado a dos fuentes lineales y una fuente de área en la etapa de línea base, siendo estas la vía que conecta al centro poblado de Ponedera con Puerto Giraldo y de Sabanalarga a Cascajal, además de la subestación eléctrica de Sabanalarga evidenciando que el flujo vehicular es bajo, dando como resultado niveles de ruido bajos, siendo el valor más grande de 51 dB en horario diurno y de 48 dB en horario nocturno, los cuales se encuentran en el eje vial.

Para complementar el escenario de Línea Base se presenta el análisis espacial de los monitoreos de ruido realizados y expuestos dentro del EIA previo (EIA PROYECTO GUAYEPO SOLAR, 2020), evidenciando que en la zona se encuentran niveles de ruido por encima de los 55 dB.

Para el desarrollo del modelamiento en etapa constructiva se consideró la operación en simultáneo de 10 fuentes de emisión sobre la futura zona del parque fotovoltaico y línea de evacuación, generadoras de 107 Lw en dB(A).

Los niveles de ruido generados a partir de las bases de datos del modelo no tienen en cuenta la contribución de fuentes ajenas a la operación tales como industrias cercanas, pasos de avión, fuegos artificiales entre otras.

Adicionalmente la modelación acústica tuvo en cuenta la operación de las principales fuentes de ruido, de las cuales se obtuvo información por homologación o sustitución de fuentes a partir de bases de datos o de la biblioteca de emisiones del software; sin embargo, el modelo tiene limitaciones en cuanto al tipo de fuentes que puede considerarse. Parafraseando, el modelo no considera los aportes de fuentes de ruido que aun cuando hacen parte del funcionamiento de la operación, no corresponden directamente al ruido producido por las actividades de construcción.

En etapa operativa se tuvo en cuenta el flujo vehicular de una (1) camioneta y una (1) motocicleta, haciendo tres (3) viajes cada hora, únicamente en horario diurno, lo anterior debido a que NO existen más fuentes de generación de ruido durante la operación del parque fotovoltaico.

En relación con los resultados tanto en área del parque solar fotovoltaico como en el área de la línea de evacuación, se puede evidenciar que NO existe afectación a las comunidades aledañas por las etapas constructivas y operativas, observando que los niveles de ruido NO sobrepasan los límites de Resolución 627 de 2006 encontrando valores por debajo de los niveles encontrados en los monitoreos de ruido ambiental en Línea Base.