ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) DEL PARQUE SOLAR FOTOVOLTAICO GUAYEPO III 200 MW Y SU LÍNEA DE EVACUACIÓN 500KV

CAPÍTULO 5. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO

MUNICIPIOS DE SABANALARGA Y PONEDERA

(VERSIÓN 5.0)

10/08/2022

INGENOSTRUM COLOMBIA

CARRERA 12 N. 79 - 50

BOGOTÁ D.C.

TEL: +57-3229914

2021



REVISIÓN	PRIMER BORRADOR	REVISIÓN 1	REVISIÓN 2	REVISIÓN 3
Preparado por	Carlos Rivera, Fernando Ortiz, Lorena Vargas, Daniela Prado, Laboratorio SIAM Ingeniería, Laboratorio ECOSAM, David Beltrán/ Argemonia S.A.S, Randy Forero	EQUAL INGENERÍA S.A.S DIC – ENERO 2022	ENELCOLOMBIA S.A.S FEBRERO – MARZO 2022	Carlos Rivera, Randy Forero, Mariana Ardila, Jaison Fresneda
Revisado por	Jaison Fresneda	Jaison Fresneda	Jaison Fresneda	EQUAL INGENERÍA S.A.S ENELCOLOMBIA S.A.S
Aprobado por	INGENOSTRUM COLOMBIA SAS	INGENOSTRUM COLOMBIA SAS	INGENOSTRUM COLOMBIA SAS	Jaison Fresneda
Archivo	CAPÍTULO 5. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA			

ÍNDICE GENERAL

5 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA 32

5.1 MEDIO ABIÓTICO 32

5.1.1 Geología 33

5.1.1.1 Estratigrafía 34

5.1.1.2 Geología estructural y Tectónica 51

5.1.1.3 Sismicidad 58

5.1.2 Geomorfología 62

5.1.2.1 Geomorfología Regional 62

5.1.2.2 Análisis Multitemporal 65

5.1.2.3 Geomorfología Local 70

5.1.2.4 Pendientes 88

5.1.3 Suelos y usos del suelo 93

5.1.3.1 Clasificación agrológica 95

5.1.3.2 Unidades de suelos 98

5.1.3.3 Uso potencial 103

5.1.3.4 Uso actual del suelo 108

5.1.3.5 Conflicto de uso del suelo 114

5.1.3.6 Servicios ecosistémicos del suelo 118

5.1.3.7 Estado actual del suelo 120

5.1.3.8 Degradación del suelo 122

5.1.4 Hidrología 126

5.1.4.1 Localización del proyecto en zonificación nacional 126

5.1.4.2 Identificación de sistemas lénticos y lóticos 127

5.1.4.3 Características morfométricas de las subcuencas analizadas 139
5.1.4.4 Caracterización meteorológica 145
5.1.4.5 Caracterización hidrológica de los sistemas lóticos 174
5.1.4.6 Dinámica fluvial 181
5.1.5 Calidad del agua 199
5.1.5.1 Selección de los puntos de monitoreo 199
5.1.5.2 Metodología de análisis 202
5.1.5.3 Parámetros de caracterización 204
5.1.5.4 Resultados de monitoreos 205
5.1.6 Usos del agua 280
5.1.6.1 Información secundaria de usos y usuarios 281
5.1.6.2 Identificación primaria de usos y usuarios 293
5.1.6.3 Demanda del recurso hídrico en el departamento del Atlántico 313
5.1.6.4 Demanda del recurso hídrico en el área de influencia del proyecto 314
5.1.6.5 Conflictos actuales y potenciales 316
5.1.7 Hidrogeología 319
5.1.7.1 Análisis de información secundaria 320
5.1.7.2 Unidades hidrogeológicas 328
5.1.7.3 Caracterización hidrogeológica del área de influencia del proyecto ... 331
5.1.7.4 Inventario de aguas subterráneas 334
5.1.7.5 Dirección de Flujo 338
5.1.7.6 Recarga y descarga 340
5.1.7.7 Evaluación y clasificación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación 345
5.1.7.8 Hidrogeología Local 349

5.1.8 Geotecnia 350
5.1.8.1 Levantamiento de información base 351
5.1.8.2 Evaluación de cartografía temática 351
5.1.8.3 Generación de mapas índice 352
5.1.8.4 Análisis de Variables 352
5.1.8.5 Cruce de la susceptibilidad geotécnica 352
5.1.8.6 Valoración de las unidades cartográficas 353
5.1.8.7 Susceptibilidad a procesos de remoción en masa 362
5.1.8.8 Estabilidad en los sitios de cimentación de torres 363
5.1.9 Atmosfera 367
5.1.9.1 Identificación de fuentes de emisiones atmosféricas 367
5.1.9.2 Información meteorológica 378
5.1.9.3 Monitoreo de calidad del aire 386
5.1.9.4 Monitoreo de Ruido 411
5.1.9.5 Modelación matemática de Calidad del Aire 449
5.1.9.6 Modelación matemática de Ruido 519

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5.1-1 Distribución estratigráfica de las unidades en el área de estudio 35
Tabla 5.1-2 Puntos de control línea de evacuación y parque solar 42
Tabla 5.1-3. Unidades Geológicas en el área de influencia Preliminar geosférica y definitiva física 51
Tabla 5.1-4 Lista de eventos sísmicos ocurridos próximos al área de estudio 60
Tabla 5.1-5 Efectos de sismos según su magnitud 61
Tabla 5.1-6 Unidades Geomorfológicas del área de influencia 77
Tabla 5.1-9 Erosionabilidad del Suelo 82
Tabla 5.1-10 Índice de Cobertura Vegetal - Factor C 84
Tabla 5.1-7 Parámetros de procesos morfodinámicos 85
Tabla 5.1-8 Sitios de torre que presentaron erosión laminar 85
Tabla 5.1-11 Tabla de clasificación de pendientes 90
Tabla 5.1-12 Clasificación de pendientes encontradas en el área de influencia preliminar Geosférica 92
Tabla 5.1-13 Ubicación de los perfiles modales de suelos 94
Tabla 5.1-14 Ubicación de las observaciones (Cajuelas) realizadas en campo 94
Tabla 5.1-15 Leyenda de suelos para el área de influencia del proyecto 97
Tabla 5.1-16 Descripción del perfil modal de la Consociación RWG 99
Tabla 5.1-17 Descripción del perfil modal de la Consociación RWI 100
Tabla 5.1-18 Descripción del perfil modal de la Consociación RWE 102
Tabla 5.1-19 Grupos de manejo y uso potencial del suelo en el área de influencia preliminar geosférica 106
Tabla 5.1-20 Uso Actual del suelo en el área de influencia 109
Tabla 5.1-21 Uso actual del suelo en el área de influencia preliminar geosférica 113
Tabla 5.1-22 Matriz de determinación de conflicto de uso del suelo 117
Tabla 5.1-23 Conflicto de uso del suelo en el área de influencia 117
Tabla 5.1-24 Agua aprovechable en los suelos del área de influencia 120

Tabla 5.1-25 Rangos de fertilidad 121
Tabla 5.1-26 Fertilidad de los suelos del área de influencia..... 122
Tabla 5.1-27 Salinidad en el área de influencia..... 123
Tabla 5.1-28 Erosión en el área de influencia 124
Tabla 5.1-29 Bordas identificadas en el área de influencia del proyecto..... 132
Tabla 5.1-30 Jerarquización de la red de drenaje 138
Tabla 5.1-31 Clasificación del coeficiente de compacidad 141
Tabla 5.1-32 Clasificación Índice de Sinuosidad 144
Tabla 5.1-33 Características morfométricas de las cuencas en estudio 145
Tabla 5.1-34 Resumen de características climatológicas empleadas 146
Tabla 5.1-35 Evapotranspiración potencial método de Thornthwaite..... 161
Tabla 5.1-36 Evapotranspiración potencial método de Tanque Evaporímetro.... 162
Tabla 5.1-37 Estaciones de precipitación empleadas 163
Tabla 5.1-38 Precipitación total mensual multianual en mm en las estaciones cercanas al sitio de estudio (en mm). Periodo 1990-2020 167
Tabla 5.1-39 Estaciones de precipitación empleadas 171
Tabla 5.1-40 Calificación de rangos de índice de aridez..... 173
Tabla 5.1-41 Caudal medio mensual multianual en m³/s en los cuerpos de agua identificados 176
Tabla 5.1-42 Coeficiente de escorrentía 177
Tabla 5.1-43 Caudal medio mensual multianual en m³/s en los cuerpos de agua identificados. Periodo 1990-2020..... 178
Tabla 5.1-44 Caudales esperados en los arroyos analizados para diferentes confiabilidades en m³/s..... 180
Tabla 5.1-45. División de tramos para análisis dinámica fluvial 192
Tabla 5.1-46. Análisis Dinámica Fluvial Tramo 1 Línea de Evacuación..... 192
Tabla 5.1-47 Análisis Dinámica Fluvial Tramo 2 Línea de Evacuación..... 195
Tabla 5.1-48 Análisis Dinámica Fluvial Tramo 3 Línea de Evacuación..... 196
Tabla 5.1-49 Temporalidad y sitios de monitoreo línea y parque solar 200
Tabla 5.1-50 Parámetros analizados..... 204

Tabla 5.1-51 Temporalidad y sitios de monitoreo línea y parque solar fotovoltaico 206
Tabla 5.1-52 Ubicación puntos de monitoreo 207
Tabla 5.1-53 Descripción puntos de monitoreo 207
Tabla 5.1-54 Resultados análisis de calidad del agua 225
Tabla 5.1-55 Fórmulas de índices de contaminación mineral 226
Tabla 5.1-56 Fórmula de índices de contaminación por materia orgánica 227
Tabla 5.1-57 Rangos de contaminación de los ICOS 228
Tabla 5.1-58 Resultados ICOS 229
Tabla 5.1-59 Ponderación o peso relativo aplicado a cada uno de los parámetros 231
Tabla 5.1-60 Resultados ICA 232
Tabla 5.1-61 Sitios de monitoreo línea y parque solar fotovoltaico época seca 237
Tabla 5.1-62 Ubicación puntos de monitoreo 238
Tabla 5.1-63 Descripción de los puntos de monitoreo 239
Tabla 5.1-64 Aforo de caudal OC LN3 249
Tabla 5.1-65 Resultados índices de contaminación -ICOS 256
Tabla 5.1-66 Resultados índice de calidad del agua – ICA 257
Tabla 5.1-67 Ubicación de los puntos de monitoreo, campaña mes de octubre 261
Tabla 5.1-68 Descripción puntos monitoreo segunda campaña 261
Tabla 5.1-69 Parámetros monitoreados 265
Tabla 5.1-70 Resultados índices de contaminación -ICOS- 276
Tabla 5.1-71 Resultados índice de calidad del agua -ICA- 277
Tabla 5.1-72 Servicio de acueducto en los municipios de Ponedera y Sabanalarga 283
Tabla 5.1-73 Cobertura de servicios de acueducto y alcantarillado en los municipios de Sabanalarga y Ponedera 284
Tabla 5.1-74 Inventario de usos concedidos por la CRA en los Municipios de Ponedera y Sabanalarga 286

Tabla 5.1-75 Inventario de permisos de vertimiento por la CRA en los Municipios de Ponedera y Sabanalarga 288
Tabla 5.1-76 Inventario de usos y usuarios 293
Tabla 5.1-77 Usos y usuarios identificados en el área de estudio durante recorridos en campo 294
Tabla 5.1-78 Conflictos de uso existentes en el municipio de Ponedera 317
Tabla 5.1-79 Unidades Hidrogeológicas presentes en el área de influencia hidrogeológica preliminar 333
Tabla 5.1-80 Inventario de puntos de agua subterránea identificados 334
Tabla 5.1-81 Valoración de la Altitud 341
Tabla 5.1-82 Valoración de la pendiente 341
Tabla 5.1-83 Valoración Unidades Geológicas 342
Tabla 5.1-84 Valoración de la Infiltración-Absorción 342
Tabla 5.1-85 Valoración de Suelos (S) 342
Tabla 5.1-86 Valores para la clasificación de la variable recarga 343
Tabla 5.1-87 Ocurrencia del Agua Subterránea “G” 346
Tabla 5.1-88 Litología predominante sobre el acuífero “O” 346
Tabla 5.1-89 Profundidad del Agua “D” 347
Tabla 5.1-90 Grado de Vulnerabilidad a La Contaminación “GOD” 347
Tabla 5.1-91 Valores asignados parámetro “G” 347
Tabla 5.1-92 Valores asignados parámetro “O” 347
Tabla 5.1-93 Valores asignados parámetro “D” 347
Tabla 5.1-94 Vulnerabilidad a la contaminación de sistemas acuíferos en el área de influencia del proyecto 348
Tabla 5.1-95 Ponderación de cuerpos hídricos según su tipo 353
Tabla 5.1-96 Intervalos para categorizar la densidad de drenajes sobre el área de influencia 353
Tabla 5.1-97 Valores de susceptibilidad a la inestabilidad por litología 355
Tabla 5.1-98 Valores de susceptibilidad a la inestabilidad por hidrogeología 356

Tabla 5.1-99 Valores de susceptibilidad a la inestabilidad por cobertura vegetal del suelo 358
Tabla 5.1-100 Valores de susceptibilidad a la inestabilidad por geomorfología .. 359
Tabla 5.1-101 Valores de susceptibilidad a la inestabilidad por pendientes 361
Tabla 5.1-102 Intervalos para categorizar la susceptibilidad general del terreno a procesos de remoción en masa 362
Tabla 5.1-103 Intervalos para categorizar la zonificación geotécnica 364
Tabla 5.1-104 Valores asignados al parámetro de sismicidad para el proyecto. 365
Tabla 5.1-105 Valores de susceptibilidad a la inestabilidad por precipitación 365
Tabla 5.1-106 Permisos de emisiones atmosféricas – CRA 368
Tabla 5.1-107 Vías principales aforadas 375
Tabla 5.1-108 Resumen aforos vehiculares 376
- Tabla 5.1-109 Resumen variables meteorológicas promedio diario 379
Tabla 5.1-110 Escala de Beaufort 381
Tabla 5.1-111 Coordenadas puntos de monitoreo de calidad del aire 386
Tabla 5.1-112 Contaminantes monitoreados 388
Tabla 5.1-113 Límites máximos permitidos para parámetros de calidad de aire. 390
Tabla 5.1-114 Índice de calidad del aire, ICA 390
Tabla 5.1-115 Puntos de corte del ICA 391
Tabla 5.1-116 Resultados de concentraciones y estadísticas de PM10 Estación 1: A1- Las Marías 394
Tabla 5.1-117 Resultados de concentraciones y estadísticas de PM10 Estación 2: A2- La Antonisa 394
Tabla 5.1-118 Resultados de concentraciones y estadísticas de PM10 Estación 3: A3-Divino Niño 395
Tabla 5.1-119 Resultados de concentraciones y estadísticas de $PM_{2.5}$ Estación 1: A1- Las Marías 397
Tabla 5.1-120 Resultados de concentraciones y estadísticas de $PM_{2.5}$ Estación 2: A2- La Antonisa 398

Tabla 5.1-121 Resultados de concentraciones y estadísticas de $PM_{2.5}$ Estación 3: A3- Divino Niño 398
Tabla 5.1-122 Resultados de concentraciones y estadísticas de NO_2 en la estación 1. A1- Las Marías 400
Tabla 5.1-123 Resultados de concentraciones y estadísticas de NO_2 en la Estación 2: A2- La Antonisa 401
Tabla 5.1-124 Resultados de concentraciones y estadísticas de NO_2 en la Estación 3: A3- Divino Niño 401
Tabla 5.1-125 Resultados de concentraciones y estadísticas de SO2 Estación 1: A1-Las Marías 404
Tabla 5.1-126 Resultado de concentraciones y estadísticas de SO2 Estación 2: A2-La Antonisa 404
Tabla 5.1-127 Resultado de concentraciones y estadísticas de SO2 Estación 3: A3-Divino niño 404
Tabla 5.1-128 Comparación de resultados concentración parámetros evaluados respecto al límite máximo permisible según tiempos de exposición 405
Tabla 5.1-129 Comparación de resultados concentración parámetros evaluados respecto al límite máximo permisible según tiempos de exposición 406
Tabla 5.1-130 Índices de Calidad del Aire en Estación 1: A1-Las Marías 406
Tabla 5.1-131 Índices de Calidad del Aire en Estación 2: A2-La Antonisa 407
Tabla 5.1-132 Índices de Calidad del Aire en Estación 2: A3-Divino niño 407
Tabla 5.1-133 Ubicación geográfica de los puntos de medición 413
Tabla 5.1-134 Información general de los puntos de medición, día ordinario, jornada diurna y nocturna 413
Tabla 5.1-135 Información general de los puntos de medición, día dominical jornada diurna y nocturna 413
Tabla 5.1-136 Descripción punto de medición RA-1 415
Tabla 5.1-137 Descripción punto de medición RA-2 416
Tabla 5.1-138 Descripción punto de medición RA-3 416
Tabla 5.1-139 Descripción punto de medición RA-4 417

Tabla 5.1-140 Descripción punto de medición RA-5 418
Tabla 5.1-141 Descripción punto de medición RA-6 419
Tabla 5.1-142 Fuentes generadoras de ruido punto de medición RA-1 420
Tabla 5.1-143 Fuentes generadoras de ruido punto de medición RA-2 421
Tabla 5.1-144 Fuentes generadoras de ruido punto de medición RA-3 422
Tabla 5.1-145 Fuentes generadoras de ruido punto de medición RA-4 423
Tabla 5.1-146 Fuentes generadoras de ruido punto de medición RA-5 424
Tabla 5.1-147 Fuentes generadoras de ruido punto de medición RA-6 424
Tabla 5.1-148 Información técnica de los equipos de campo..... 425
Tabla 5.1-149 Especificaciones de campo 427
Tabla 5.1-150 Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental expresados en decibeles ponderados A db(A) 435
Tabla 5.1-151 Puntos de medición clasificados como sectores, subsectores inmersos y límites máximos permisibles. 435
Tabla 5.1-152 Datos meteorológicos tomados en el área de estudio para las mediciones del día ordinario..... 437
Tabla 5.1-153 Datos meteorológicos tomados en el área de estudio para las mediciones del día dominical 437
Tabla 5.1-154 Resultados y ajustes K mediciones día ordinario en horario diurno 438
Tabla 5.1-155 Resultados y Ajustes K mediciones del día ordinario en horario nocturno 438
Tabla 5.1-156 Resultados y Ajustes K mediciones del día dominical en horario diurno 438
Tabla 5.1-157 Resultados y Ajustes K mediciones del día dominical en horario nocturno 438
Tabla 5.1-158 Incertidumbre de ruido ambiental día ordinario y dominical en jornada diurna y nocturna..... 439
Tabla 5.1-159 Comparación niveles de ruido ambiental día ordinario diurno y nocturno con la normatividad 439

Tabla 5.1-160 Comparación de niveles de ruido ambiental día dominical con la normatividad 440
Tabla 5.1-161 Aforo vehicular según tamaño y utilidad, en el tiempo del registro día ordinario y dominical para los horarios diurno y nocturno. 440
Tabla 5.1-162 Factores de emisión por combustión (en g contaminante/kg combustible) 455
Tabla 5.1-163 Consumo nominal de combustibles en vehículos 456
Tabla 5.1-164 Coordenadas de Aforos Vehiculares 457
Tabla 5.1-165 Tasa de emisión por combustión en punto de aforo AF Santa Rita 459
Tabla 5.1-166 Tasa de emisión por combustión en punto de aforo AF Retirada 459
Tabla 5.1-167 Carga de finos (sL) de acuerdo con tipología de flujo vehicular – AP-42 461
Tabla 5.1-168 Carga de finos (sL) de acuerdo con tipología vial – CARB 461
Tabla 5.1-169 Tasas de emisión por resuspensión de polvo en vía pavimentada 462
Tabla 5.1-170 Emisiones totales por fuentes móviles en vía pavimentada 462
Tabla 5.1-171 Emisiones totales en vías pavimentadas 462
Tabla 5.1-172 Determinación de α_{zo} y HR para las vías aforadas pavimentadas 463
Tabla 5.1-173 Fracción de actividad relativa horario para fuentes móviles 463
Tabla 5.1-174 Ubicación fuentes de emisión escenario de construcción – Coordenada inicial AERMOD 464
Tabla 5.1-175 Factor de emisión para obras civiles 466
Tabla 5.1-176 Categoría climática en función con el índice PE 467
Tabla 5.1-177 Características de precipitación y temperatura 467
Tabla 5.1-178 Tasas de emisión en obras civiles 467
Tabla 5.1-179 Emisiones por erosión eólica en zonas de acopio 469
Tabla 5.1-180 Maquinaria y equipo a utilizar durante actividades constructivas del proyecto 470
Tabla 5.1-181 Consumo nominal de combustible 471

Tabla 5.1-182 Tasas de emisión combustión para maquinaria pesada 471
Tabla 5.1-183 Tasas de emisión combustión para camiones 471
Tabla 5.1-184 Emisiones totales por obras civiles 472
Tabla 5.1-185 Ubicación de estaciones de calidad del aire 473
Tabla 5.1-186 Concentraciones PM_{10} diarias a nivel del suelo en época seca ... 473
Tabla 5.1-187 Concentraciones PM_{10} diarias a nivel del suelo en época húmeda 474
Tabla 5.1-188 Concentraciones $PM_{2.5}$ diarias a nivel del suelo en época seca... 474
Tabla 5.1-189 Concentraciones $PM_{2.5}$ diarias a nivel del suelo en época de lluvia 474
Tabla 5.1-190 Concentraciones NO2 media horaria a nivel del suelo en época seca 475
Tabla 5.1-191 Concentraciones NO2 media horaria a nivel del suelo en época de lluvia 475
Tabla 5.1-192 Condiciones de uso del suelo..... 498
Tabla 5.1-193 Niveles máximos permisibles para los contaminantes criterio evaluados 505
Tabla 5.1-194 Niveles máximos de inmisión (percentil 98) – Línea base..... 510
Tabla 5.1-195 Niveles máximos de inmisión (percentil 98) – Etapa de construcción con medidas de control 510
Tabla 5.1-196 Niveles máximos de inmisión (percentil 98) – Etapa de construcción sin medidas de control 510
Tabla 5.1-197 Resultados gráficos del comportamiento global de la dispersión de los contaminantes criterio evaluados escenario Línea base 512
Tabla 5.1-198 Resultados gráficos del comportamiento global de la dispersión de los contaminantes criterio evaluados escenario Línea base 513
Tabla 5.1-199 Resultados gráficos del comportamiento global de la dispersión de los contaminantes criterio evaluados escenario Obras civiles con control 514
Tabla 5.1-200 Resultados gráficos del comportamiento global de la dispersión de los contaminantes criterio evaluados escenario Obras civiles con control 515

Tabla 5.1-201 Resultados gráficos del comportamiento global de la dispersión de los contaminantes criterio evaluados escenario Obras civiles sin control 516
Tabla 5.1-202 Resultados gráficos del comportamiento global de la dispersión de los contaminantes criterio evaluados escenario Obras civiles sin control 517
Tabla 5.1-203 Valores R(j) de acuerdo con estándar EN 1793-3..... 525
Tabla 5.1-204 Valores Ψ de acuerdo con estándar NMPB-Routes..... 525
Tabla 5.1-205 Datos de emisión de ruido asociados al componente L_{roll} 526
Tabla 5.1-206 Datos de emisión de ruido asociados al componente L_{engine} 526
Tabla 5.1-207 Localización puntos de monitoreo de ruido 529
Tabla 5.1-208 Niveles de presión sonora según resultados de monitoreo ruido ambiental..... 529
Tabla 5.1-209 Caracterización punto aforo 1 534
Tabla 5.1-210 Caracterización punto aforo 2 534
Tabla 5.1-211 Características de potencia sonora en vía intermunicipal 535
Tabla 5.1-212 Maquinaria y equipo utilizados durante actividades constructivas del proyecto 535
Tabla 5.1-213 Potencia sonora de operaciones industriales de ruido 536
Tabla 5.1-214 Potencia sonora conjunta de operaciones industriales de ruido .. 537
Tabla 5.1-215 Características de absorción atmosférica 537
Tabla 5.1-216 Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental, en dB(A) 540
Tabla 5.1-217 Resultados gráficos del aporte de ruido por fuentes emisoras en fase de línea base, construcción con medidas de control y sin medidas de control ... 541

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 5.1-1 Áreas de influencia Geosférica preliminar y definitiva física 34
Figura 5.1-2 Columna Estratigráfica de la Formación Hibácharo, Sección Hibácharo-Torre de Telecom. Segmento 1, 2, 3 y 4. 37
Figura 5.1-3 Columna Estratigráfica de la Formación Tubará, Sección Arroyo Gallinazo. Segmento 1, 2 y 3 40
Figura 5.1-4 Columna Estratigráfica generalizada de la zona de estudio 41
Figura 5.1-5 Perfil geológico generalizado del área de estudio..... 42
Figura 5.1-6 Estaciones y/o puntos de control tomados en el área de influencia del proyecto 44
Figura 5.1-7 Unidades geológicas locales en el área del proyecto 50
Figura 5.1-8 Localización de la zona de estudio con relación al componente tectónico estructural 52
Figura 5.1-9 Mapa estructural con fallas y pliegue 58
Figura 5.1-10 Localización sismos 25 Km alrededor del área de estudio 60
Figura 5.1-11 Intensidad Observada Grados de intensidad 62
Figura 5.1-12 Esquema de Jerarquización Geomorfológica..... 63
Figura 5.1-13 Zonificación de imagen C985-38 mostrando coberturas de suelo y procesos denudativos 67
Figura 5.1-14 Imagen Lidar zona correspondiente al Parque Solar Fotovoltaico 200MV y línea de evacuación de 500 kV 69
Figura 5.1-15 Perfil típico de un plano de inundación determinado en sector de la línea de evacuación 76
Figura 5.1-16 Unidades geomorfológicas locales..... 78
Figura 5.1-17. Procesos Morfodinámicos en sitios de torre 86
Figura 5.1-18 Susceptibilidad de Procesos Erosivos 88
Figura 5.1-19 Mosaico de Imágenes del mapa de pendientes para el proyecto ... 89
Figura 5.1-20 Mapa de pendientes del área de estudio 91
Figura 5.1-21 Puntos de muestreo realizados en el área de influencia geosférica preliminar 95

Figura 5.1-22 Unidades cartográficas de suelos en el área de influencia preliminar geosférica y definitiva física 96
Figura 5.1-23 Uso potencial del suelo en el área de influencia preliminar geosférica 107
Figura 5.1-24 Uso actual del suelo en el área de influencia preliminar geosférica 113
Figura 5.1-25 Conflicto de uso del suelo en el Área de Influencia preliminar geosférica 118
Figura 5.1-26 Salinidad de los suelos en el área de influencia preliminar geosférica 123
Figura 5.1-27 Grados de erosión en el área de influencia preliminar geosférica 125
Figura 5.1-28 Localización del proyecto en la zonificación hidrográfica IDEAM . 127
Figura 5.1-29 Red de drenaje para el proyecto 128
Figura 5.1-30 Diques o Tapes en los arroyos presentes que cruzan el proyecto 130
Figura 5.1-31 Localización general de bordas identificadas en el área del proyecto 134
Figura 5.1-32 Subcuencas analizadas para el proyecto 139
Figura 5.1-33 Delimitación subcuencas analizadas 140
Figura 5.1-34 Localización de estaciones climatológicas 146
Figura 5.1-35 Distribución multianual de la temperatura – Apto. Ernesto Cortissoz 147
Figura 5.1-36 Distribución media, máxima y mínima de la temperatura - Apto. Ernesto Cortissoz 148
Figura 5.1-37 Distribución multianual de la temperatura – Juan de Acosta 149
Figura 5.1-38 Distribución media, máxima y mínima de la temperatura – Juan de Acosta 149
Figura 5.1-39 Distribución multianual de la temperatura – Normal Manatí 150
Figura 5.1-40 Distribución media, máxima y mínima de la temperatura – Normal Manatí 151

Figura 5.1-41 Distribución temporal de la humedad relativa – Apto. Ernesto Cortissoz 152
Figura 5.1-42 Distribución temporal de la humedad relativa – Normal Manatí 153
Figura 5.1-43 Promedio mensual de la velocidad del viento – Apto Ernesto Cortissoz 154
Figura 5.1-44 Promedio mensual de la dirección del viento – Apto Ernesto Cortissoz 155
Figura 5.1-45 Rosa de vientos – Apto Ernesto Cortissoz 156
Figura 5.1-46 Distribución temporal de la radiación solar - Apto Ernesto Cortissoz 157
Figura 5.1-47 Distribución mensual multianual de la nubosidad - Apto Ernesto Cortissoz 158
Figura 5.1-48 Distribución mensual multianual de la nubosidad – Normal Manatí 159
Figura 5.1-49 Comparación comportamiento de la nubosidad - Apto Ernesto Cortissoz y Normal Manatí 160
Figura 5.1-50 Variación mensual de la evaporación - Apto Ernesto Cortissoz 161
Figura 5.1-51 Localización de estaciones de precipitación 164
Figura 5.1-52 Curva de doble masa en estaciones de precipitación 165
Figura 5.1-53 Distribución temporal de la precipitación total mensual en las estaciones analizadas 169
Figura 5.1-54 Variación anual de la precipitación en la estación Sabanalarga ... 171
Figura 5.1-55 Distribución espacial de la precipitación total anual. 172
Figura 5.1-56 Isorrendimientos medios multianuales 176
Figura 5.1-57 Distribución temporal de caudales medios mensuales en el arroyo Guayepo. Periodo 1990-2020 178
Figura 5.1-58 Variación de caudales medios anuales en el arroyo Guayepo 179
Figura 5.1-59 Curva de duración de caudales mensuales en los arroyos 180
Figura 5.1-60 Dinámica espacial y temporal de los cuerpos en la zona del proyecto en diciembre de 1969 181

Figura 5.1-61 Dinámica espacial y temporal de los cuerpos en la zona del proyecto en diciembre de 1985 182
Figura 5.1-62 Dinámica espacial y temporal de los cuerpos en la zona del proyecto en diciembre de 2003 182
Figura 5.1-63 Dinámica espacial y temporal de los cuerpos en la zona del proyecto en enero de 2004 183
Figura 5.1-64 Dinámica espacial y temporal de los cuerpos en la zona del proyecto en febrero de 2007 183
Figura 5.1-65 Dinámica espacial y temporal de los cuerpos en la zona del proyecto en enero de 2008 184
Figura 5.1-66 Dinámica espacial y temporal de los cuerpos en la zona del proyecto en agosto de 2011 184
Figura 5.1-67 Dinámica espacial y temporal de los cuerpos en la zona del proyecto en enero de 2012 185
Figura 5.1-68 Dinámica espacial y temporal de los cuerpos en la zona del proyecto en marzo de 2012 185
Figura 5.1-69 Dinámica espacial y temporal de los cuerpos en la zona del proyecto en febrero de 2013 186
Figura 5.1-70 Dinámica espacial y temporal de los cuerpos en la zona del proyecto en enero de 2014 186
Figura 5.1-71 Dinámica espacial y temporal de los cuerpos en la zona del proyecto en diciembre de 2015 187
Figura 5.1-72 Dinámica espacial y temporal de los cuerpos en la zona del proyecto en diciembre de 2016 187
Figura 5.1-73 Dinámica espacial y temporal de los cuerpos en la zona del proyecto en abril de 2017 188
Figura 5.1-74 Dinámica espacial y temporal de los cuerpos en la zona del proyecto en febrero de 2018 189
Figura 5.1-75 Dinámica espacial y temporal de los cuerpos en la zona del proyecto en diciembre de 2019 189

Figura 5.1-76 Dinámica espacial y temporal de los cuerpos en la zona del proyecto en diciembre de 2020 190
Figura 5.1-77 Dinámica espacial y temporal de los cuerpos en la zona del proyecto en abril de 2021 190
Figura 5.1-78 Ajuste Cartográfico Drenaje Sencillo 191
Figura 5.1-79 Análisis Dinámica Fluvial Tramo 1 Línea de Evacuación 194
Figura 5.1-80 Análisis Dinámica Fluvial Tramo 2 Línea de Evacuación 196
Figura 5.1-81 Análisis Dinámica Fluvial Tramo 3 Línea de Evacuación 198
Figura 5.1-82 Localización puntos de monitoreo 202
Figura 5.1-83 Metodología de caracterización de puntos de monitoreo 204
Figura 5.1-84 Temperatura registrada en los puntos monitoreados 211
Figura 5.1-85 Oxígeno disuelto registrado en los puntos monitoreados 212
Figura 5.1-86 Conductividad registrado en los puntos monitoreados 213
Figura 5.1-87 Caudal registrado en el punto OC LN3. 214
Figura 5.1-88 Sólidos sedimentables registrados en los puntos monitoreados ... 215
Figura 5.1-89 Sólidos disueltos totales registrados en los puntos monitoreados 216
Figura 5.1-90 Sólidos suspendidos totales registrados en los puntos monitoreados 217
Figura 5.1-91 Turbiedad registrada en los puntos monitoreados 218
Figura 5.1-92 pH registrado en los puntos monitoreados 219
Figura 5.1-93 Hidrocarburos, Grasas y aceites registrados en los puntos monitoreados 220
Figura 5.1-94 Demanda bioquímica de oxígeno registrados en los puntos monitoreados 221
Figura 5.1-95 Compuestos de fósforo registrados en los puntos monitoreados .. 222
Figura 5.1-96 Compuestos de Nitrógeno registrados en los puntos monitoreados 223
Figura 5.1-97 Coliformes fecales registrados en los puntos monitoreados 224
Figura 5.1-98 Coliformes totales registrados en los puntos monitoreados 224

Figura 5.1-99 Índice de alteración potencial de la calidad de agua en condiciones hidrológicas de año medio. Subzonas hidrográficas. 233
Figura 5.1-100 Subzonas hidrográficas según Categoría de IACAL año seco proyectado – Bajo Magdalena..... 234
Figura 5.1-101 Temperatura registrada en los puntos monitoreados..... 246
Figura 5.1-102 Oxígeno disuelto registrado en los puntos de monitoreo 247
Figura 5.1-103 Conductividad eléctrica registrada en los puntos de monitoreo .. 248
Figura 5.1-104 Caudal registrado en el punto OC LN3 248
Figura 5.1-105 Sólidos disueltos totales y sólidos suspendidos totales registrados en los puntos monitoreados 250
Figura 5.1-106 Sólidos sedimentables registrados en los puntos monitoreados. 250
Figura 5.1-107 Valores de turbiedad registrados en los puntos monitoreados ... 251
Figura 5.1-108 pH registrado en los puntos monitoreados..... 252
Figura 5.1-109 Hidrocarburos, grasas y aceites registrados en los puntos monitoreados..... 252
Figura 5.1-110 DBO5 y DQO registrados en los puntos monitoreados..... 253
Figura 5.1-111 Fósforo total registrado en los puntos monitoreados 254
Figura 5.1-112 Nitrógeno total Kjeldahl registrado en los puntos monitoreados . 254
Figura 5.1-113 Coliformes fecales y coliformes totales registrados en los puntos monitoreados..... 255
Figura 5.1-114 Temperatura registrada en los puntos monitoreados..... 266
Figura 5.1-115 Contenido de oxígeno disuelto registrado en los puntos monitoreados..... 266
Figura 5.1-116 Conductividad registrada en los puntos monitoreados..... 267
Figura 5.1-117 Sólidos disueltos totales y sólidos suspendidos totales registrados en los puntos monitoreados 268
Figura 5.1-118 Sólidos sedimentable registrados en los puntos monitoreados... 269
Figura 5.1-119 Valores de turbiedad registrado en los puntos monitoreados 270
Figura 5.1-120 pH registrado en los puntos monitoreados..... 271

Figura 5.1-121 Grasas y aceites e hidrocarburos registrados en los puntos monitoreados..... 272
Figura 5.1-122 DBO5 y DQO registrados en los puntos monitoreados..... 273
Figura 5.1-123 Fósforo total registrado en los puntos monitoreados 273
Figura 5.1-124 Nitrógeno total Kjeldahl registrados en los puntos monitoreados 274
Figura 5.1-125 Coliformes fecales y coliformes totales registrados en los puntos monitoreados..... 275
Figura 5.1-126 Subzonas hidrográficas departamento del Atlántico 282
Figura 5.1-127 Trazado Tubería de Conducción..... 283
Figura 5.1-128 Inventario de usos concedidos por la CRA 289
Figura 5.1-129 Inventario de permisos de vertimiento por la CRA 290
Figura 5.1-130 Conjunto de humedales El Uvero..... 292
Figura 5.1-131 Localización inventario usos y usuarios 294
Figura 5.1-132 Usos del agua en el área de influencia del proyecto..... 298
Figura 5.1-133 Fuentes de abastecimiento para consumo humano..... 299
Figura 5.1-134 Índice de escasez municipal del Atlántico (IGAC-2014)..... 314
Figura 5.1-135 Columna estratigráfica pozo 24 II C-1..... 322
Figura 5.1-136 Análisis de agua de pozo Cascajal municipio de Sabanalarga ... 323
Figura 5.1-137 Corte Hidrogeológico generalizado con las Unidades Hidrogeológicas determinadas en el área de estudio..... 330
Figura 5.1-138 Mapa de Unidades Hidrogeológicas Generales..... 333
Figura 5.1-139 Mapa de localización de puntos de agua 335
Figura 5.1-140 Mapa de Isopiezas y direcciones de flujo en el área de influencia del proyecto 339
Figura 5.1-141 Dirección de flujo y unidad Hidrogeológica Local en el área de Influencia preliminar y definitiva 340
Figura 5.1-142 Imagen correspondiente a la recarga potencial 344
Figura 5.1-143 Modelo que muestra zonas de recarga y descarga hídrica mediante la interpretación de líneas de flujo..... 345

Figura 5.1-144 Zonificación de la Vulnerabilidad a la contaminación de sistemas acuíferos en el área de influencia del proyecto 349
Figura 5.1-145 Mapa Unidades hidrogeológicas locales 350
Figura 5.1-146 Elementos a recopilar dentro del levantamiento de información base 351
Figura 5.1-147 Construcción de la zonificación geotécnica 352
Figura 5.1-148 Hidrología Ponderada 354
Figura 5.1-149 Litologías Ponderadas 356
Figura 5.1-150 Hidrogeología Ponderada 357
Figura 5.1-151 Coberturas Ponderadas 358
Figura 5.1-152 Geomorfología Ponderada 360
Figura 5.1-153 Pendientes Ponderadas 361
Figura 5.1-154 Mapa de Susceptibilidad a procesos de remoción en masa proyecto Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV. 363
Figura 5.1-155 Mapa de Zonificación Geotécnica 366
Figura 5.1-156 Vías y accesos al proyecto 373
Figura 5.1-157 Franjas de tiempo de flujo vehicular 377
Figura 5.1-158 Comportamiento de la velocidad del viento durante la campaña de monitoreo 380
Figura 5.1-159 Rosa de viento diurna 381
Figura 5.1-160 Rosa de viento nocturna 382
Figura 5.1-161 Rosa de viento total 382
Figura 5.1-162 Temperatura ambiente en ºC durante el tiempo de muestreo 383
Figura 5.1-163 Temperatura promedio multihorario ºC 384
Figura 5.1-164 Temperatura promedio diaria ºC 384
Figura 5.1-165 Precipitación acumulada diaria (mmH_2O) 385
Figura 5.1-166 Distribución de lluvias por categoría 386
Figura 5.1-167 Localización de los puntos de monitoreo de calidad del aire 387
Figura 5.1-168 Datos de calidad del aire para PM_{10} 396

Figura 5.1-169 Diagrama de caja para PM_{10} 397
Figura 5.1-170 Datos de calidad del aire para $PM_{2.5}$ 399
Figura 5.1-171 Diagrama de caja para $PM_{2.5}$ 400
Figura 5.1-172 Datos de calidad del aire para NO_2 402
Figura 5.1-173 Diagrama de cajas para NO_2 403
Figura 5.1-174 Índices de Calidad del aire en el área de influencia 409
Figura 5.1-175 Localización puntos de monitoreo ruido ambiental 414
Figura 5.1-176 Resultados de Ruido Ambiental jornada diurna día dominical y ordinario 441
Figura 5.1-177 Resultados de Ruido Ambiental jornada Nocturna día Dominical y Ordinario 442
- Figura 5.1-178 Isófonas ruido ambiental horario diurno ordinario 444

Figura 5.1-179 Isófonas ruido ambiental horario diurno dominical 445
Figura 5.1-180 Isófonas ruido ambiental horario nocturno ordinario 446
Figura 5.1-181 Isófonas ruido ambiental horario nocturno dominical 447
Figura 5.1-182 Proceso de estimación en la zona de estudio 452
Figura 5.1-183 Aforo vehicular zona de estudio 457
Figura 5.1-184 Categoría de vehículos según clasificación nacional 458
Figura 5.1-185 Localización estaciones de calidad del aire 477
Figura 5.1-186 Estadísticos de concentración de PM10 medidas en la zona de estudio en época de sequía 478
Figura 5.1-187 Estadísticos de concentración de PM10 medidas en la zona de estudio en época de lluvia 478
Figura 5.1-188 Estadísticos de concentración de PM2.5 medidas en la zona de estudio 479
Figura 5.1-189 Estadísticos de concentración de PM 2.5 medidas en la zona de estudio en época de lluvia 479
Figura 5.1-190 Estadísticos de concentración de NO2 medidas en la zona de estudio 480

Figura 5.1-191 Estadísticos de concentración de NO2 medidas en la zona de estudio en época de lluvia 480
Figura 5.1-192 Estructura de cobertura de suelo año 2010-2020 482
Figura 5.1-193 Altura de terreno características en la zona de influencia 482
Figura 5.1-194 Malla de receptores discretos hipotéticos de cálculo 484
Figura 5.1-195 Precipitaciones – Frecuencia acumulada 485
Figura 5.1-196 Precipitaciones – Comportamiento típico mensual 486
Figura 5.1-197 Precipitaciones – Comportamiento histórico 486
Figura 5.1-198 Temperatura atmosférica histórica 487
Figura 5.1-199 Temperatura – Frecuencia acumulada 487
Figura 5.1-200 Temperatura – Comportamiento mensual 487
Figura 5.1-201 Temperatura – Comportamiento horario 488
Figura 5.1-202 Humedad relativa histórica 488
Figura 5.1-203 Humedad relativa – Frecuencia acumulada 489
Figura 5.1-204 Humedad relativa – Comportamiento mensual 489
Figura 5.1-205 Humedad relativa – Comportamiento horario 489
Figura 5.1-206 Presión atmosférica histórica 490
Figura 5.1-207 Presión atmosférica – Frecuencia acumulada 490
Figura 5.1-208 Presión atmosférica – Comportamiento mensual 491
Figura 5.1-209 Presión atmosférica – Comportamiento horario 491
Figura 5.1-210 Rosa de vientos general 492
Figura 5.1-211 Rosa de vientos diurna - nocturna 492
Figura 5.1-212 Rosa de vientos mensual 493
Figura 5.1-213 Rosa de vientos mensual 493
Figura 5.1-214 Velocidad del viento histórica 494
Figura 5.1-215 Velocidad del viento – Comportamiento mensual 494
Figura 5.1-216 Velocidad del viento – Comportamiento horario 494
Figura 5.1-217 Velocidad del viento – Comportamiento horario 495
- Figura 5.1-218 Altura de capa de mezcla global típica horaria 495
- Figura 5.1-219 Altura de capa de mezcla mensual típica 496

- Figura 5.1-220 Distribución horaria de la estabilidad atmosférica anual promedio 497

Figura 5.1-221 Distribución horaria de la estabilidad atmosférica anual promedio 498

Figura 5.1-222 Determinación de sectores de modelación meteorológica 499

Figura 5.1-223 Determinación de sectores de modelación meteorológica 500

Figura 5.1-224 Diagrama de proceso de modelación de propagación y atenuación sonora 523

Figura 5.1-225 Nomograma para la determinación de los valores E_{lv} y E_{hv} 527

Figura 5.1-226 Localización puntos de monitoreo de ruido ambiental 529

Figura 5.1-227 Ruido de fondo – Periodo Diurno día hábil 531

Figura 5.1-228 Ruido de fondo – Periodo Nocturno día hábil 531

Figura 5.1-229 Ruido de fondo – Periodo Diurno día no hábil 532

Figura 5.1-230 Ruido de fondo – Periodo Nocturno día no hábil..... 532

Figura 5.1-231 Categorías de vehículos según clasificación nacional 533

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 5.1-1Terrazas Aluviales 45
Fotografía 5.1-2 Terrazas Aluviales 46
Fotografía 5.1-3 Topografía característica en los depósitos coluvio-aluviales 47
Fotografía 5.1-4 Unidad de Depósitos de Cauce. 48
Fotografía 5.1-5 Reservorios de agua artificiales 49
Fotografía 5.1-6 Relleno antrópico, estructura que da origen a los depósitos Antrópicos. 49
Fotografía 5.1-7 Terraza de acumulación antigua Parque Solar 71
Fotografía 5.1-8 Terreno ligeramente inclinado dentro del parque solar 71
Fotografía 5.1-9 Unidad antropogénica de excavación 72
Fotografía 5.1-10 Formas cóncavas unidad antropogénica de excavación 73
Fotografía 5.1-11 Acondicionamiento de excavaciones para actividades pecuarias 74
Fotografía 5.1-12 Estructuras que forman estanques para almacenamiento de agua lluvia 74
Fotografía 5.1-13 Depósitos con pequeños montículos y crestas 75
Fotografía 5.1-14 Vista en planta unidad de planicie de inundación 76
Fotografía 5.1-15 Topografía típica unidad de planicie de inundación 77
Fotografía 5.1-16 Leve cambio de pendiente en el terreno 92
Fotografía 5.1-17 Uso de ganadería en el área de influencia..... 110
Fotografía 5.1-18 Uso de conservación en el área de influencia 111
Fotografía 5.1-19 Uso infraestructura en el área de influencia 112
Fotografía 5.1-20 Registro fotográfico visita de campo 131
Fotografía 5.1-21 Registro fotográfico visita de campo 135
Fotografía 5.1-22 Finca Divino niño 300
Fotografía 5.1-23 Jagüey Finca Divino niño 301
Fotografía 5.1-24 Finca Villa Mary 301
Fotografía 5.1-25 Jagüey Finca Villa Mary 302
Fotografía 5.1-26 Finca La Bendición 302

Fotografía 5.1-27 Jagüey 1 Finca Don Santi 302
Fotografía 5.1-28 Jagüey 2 Finca Don Santi 303
Fotografía 5.1-29 Corral para ganado en la Finca Don Santi 303
Fotografía 5.1-30 Finca Guayepo 303
Fotografía 5.1-31 Finca María Isidora 304
Fotografía 5.1-32 Jagüey 1 Finca María Isidora 304
Fotografía 5.1-33 Jagüey 2 Finca María Isidora 305
Fotografía 5.1-34 Hacienda La María 305
Fotografía 5.1-35 Jagüey Hacienda La María 306
Fotografía 5.1-36 Pozo séptico Hacienda La María 306
Fotografía 5.1-37 Tanque almacenamiento aguas lluvias Hacienda La María 307
Fotografía 5.1-38 Pozo Finca California 307
Fotografía 5.1-39 Jagüey Finca San Miguel 308
Fotografía 5.1-40 Pozo agua subterránea Finca San Miguel 308
Fotografía 5.1-41 Jagüey 1 primer sector Finca Buena Vista 309
Fotografía 5.1-42 Jagüey 2 primer sector Finca Buena Vista 309
Fotografía 5.1-43 Jagüey seco Finca Buena vista 310
Fotografía 5.1-44 Caprino en la finca Buena Vista 310
Fotografía 5.1-45 Jagüey Finca La Antonisa 311
Fotografía 5.1-46 Piscina Finca La Antonisa 311
Fotografía 5.1-47 Pozo Finca La Antonisa 312
Fotografía 5.1-48 Jagüey Finca Villa Mary 312
Fotografía 5.1-49 Actividad de ganadería 370
Fotografía 5.1-50 Quema de residuos y cocina a base de leña corregimiento de Santa Rita 370
Fotografía 5.1-51 Quema de residuos y cocina a base de leña corregimiento de Puerto Giraldo 370
Fotografía 5.1-52 Acopio de materiales pétreos 371
Fotografía 5.1-53 Aforos Vehiculares 377

GLOSARIO

CONCEPTO	DEFINICIÓN
Alcance del proyecto, obra o actividad	• Un proyecto, obra o actividad incluye la planeación, emplazamiento, instalación, construcción, montaje, operación, mantenimiento, desmantelamiento, abandono y/o terminación de todas las acciones, usos del espacio, actividades e infraestructura relacionada y asociada con las etapas de desarrollo
Área de proyecto y/o licenciamiento	• Corresponde al área donde se desarrollará el proyecto y será objeto de viabilidad ambiental. Está compuesta por los predios contratados para las actividades correspondientes al funcionamiento del parque solar 653,48 ha y la servidumbre de la línea de evacuación correspondiente a 35, 59 ha. En la geodatabase se define como AreaProyecto • El área de proyecto y/o licenciamiento total corresponde a **689,07 ha**.
Área de intervención / Infraproyecto	• Son las áreas específicas DENTRO del área de licenciamiento donde se ejecutarán las actividades propias del proyecto y están condicionadas a la correspondiente zonificación de manejo ambiental. En la Geodatabase se define como Infraproyecto PG/LN/PT
Área de influencia	• Área en la que se manifiestan de manera objetiva y en lo posible cuantificable, los impactos ambientales significativos ocasionados por la ejecución de un proyecto, obra o actividad, sobre los medios abiótico, biótico y socioeconómico, en cada uno de los componentes de dichos medios. Debido a que las áreas en las que se manifiestan los impactos pueden variar dependiendo del componente que se analice, el área de influencia podrá corresponder a varios polígonos que se entrecrucen entre sí.
Área de influencia preliminar	• Área donde se manifestarían los Impactos POTENCIALES de los componentes, grupo de componentes o medios analizados según el diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y desmantelamiento del proyecto. Estas áreas se proponen de manera inicial previo a los recorridos de campo.
Área de influencia definitiva	• Área donde se manifestarían los Impactos SIGNIFICATIVOS de los componentes, grupo de componentes o medios analizados según el diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y

	desmantelamiento del proyecto. Estas áreas se definen luego del correspondiente recorrido de campo y evaluación ambiental, para el caso del proyecto solar fotovoltaico Guayepo Solar III 200MW y su línea de evacuación de 500MW, se ha integrado el análisis de zonificación de impactos además de criterios adicionales de espacialización cartográfica.
Centros poblados	• Concentraciones de edificaciones conformadas por veinte (20) o más viviendas contiguas o adosadas entre sí. Corresponde a los caseríos, inspecciones de policía y corregimientos pertenecientes al área rural del municipio.
Componentes	• Aspectos ambientales que constituyen un medio (abiótico, biótico o socioeconómico) como, por ejemplo, componente atmosférico, hidrológico, faunístico, demográfico, entre otros.
Ecosistema	• Unidad estructural, funcional y de organización, constituida por organismos (incluido el hombre) y variables ambientales (bióticas y abióticas) en un área determinada.
Especie	• Desde el punto de vista biótico, grupo de organismos que pueden reproducirse libremente entre sí, pero no con miembros de otras especies
Impacto ambiental	• Cualquier alteración sobre el medio ambiente (medios abiótico, biótico y socioeconómico), que sea adverso o beneficioso, total o parcial, que pueda ser atribuido al desarrollo de un proyecto, obra o actividad.
Impacto residual	• Impactos cuyos efectos persistirán en el ambiente, luego de aplicadas las medidas de prevención, minimización y mitigación, razón por la cual se deben definir y aplicar medidas de compensación.
Impacto sinérgico	• Son el resultado de las relaciones complejas entre impactos de un mismo proyecto o de varios proyectos. Un impacto sinérgico puede evidenciarse cuando el efecto combinado de dos impactos sea mayor que su suma o cuando estos facilitan la aparición de un tercer impacto.

Medio	• División general que se realiza del ambiente para facilitar el análisis y • entendimiento del mismo. En el contexto de los estudios ambientales corresponde al abiótico, biótico y socioeconómico.
Paisaje fisiográfico	• Porción homogénea del espacio geográfico definida en términos del relieve y de su relación con otros factores físicos como el clima, los suelos y la geología. El paisaje fisiográfico se establece dentro de un gran paisaje, con base en su morfología específica, a la cual se le adicionan como atributos la litología y la edad (muy antiguo, subreciente, reciente, actual)
Unidad territorial	• Delimitación del territorio que constituye una unidad de análisis • seleccionada dependiendo del nivel de detalle con el que se requiera la información. Esta unidad se aplica para la definición del área de influencia de los componentes del medio socioeconómico, y puede coincidir con la división político-administrativa de los entes territoriales reconocidos legalmente, o responder a una adopción social reconocida por la misma comunidad

5 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

5.1 MEDIO ABIÓTICO

El proyecto Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV, tal como se explicó en el capítulo 4. (Definición y delimitación del área de influencia del proyecto), cuenta con un área de proyecto o licenciamiento ambiental en donde se desarrollarán las actividades propias del proyecto, la cual se compone del área de parque solar y la servidumbre de la línea de evacuación con un total de 689,07 ha, (ver Figura 5.1-1) en consecuencia, el medio abiótico cuenta con un área de influencia preliminar Geosférica de 2690,25 Ha, un área de influencia definitiva física determinada por los impactos significativos de 632,93 ha .

Es importante señalar que la caracterización se realizó tanto para el área de influencia preliminar del grupo de componentes geosféricos, así como para el área de influencia definitiva física, tal como se explicó en el capítulo 4. Por tal razón las gráficas y reportes a continuación mostradas, muestran la relación con ambas áreas preliminar geosférica y definitiva física.

Para la elaboración de este capítulo se recurrió a diferentes fuentes y entidades que han realizado estudios acerca del componente abiótico en la costa atlántica colombiana, además de lo anterior se revisaron diferentes sitios web donde se pudieron obtener modelos digitales de terreno de la zona de estudio y se revisaron diferentes metodologías que ayudaron a dar un correcto enfoque al desarrollo de este proyecto.

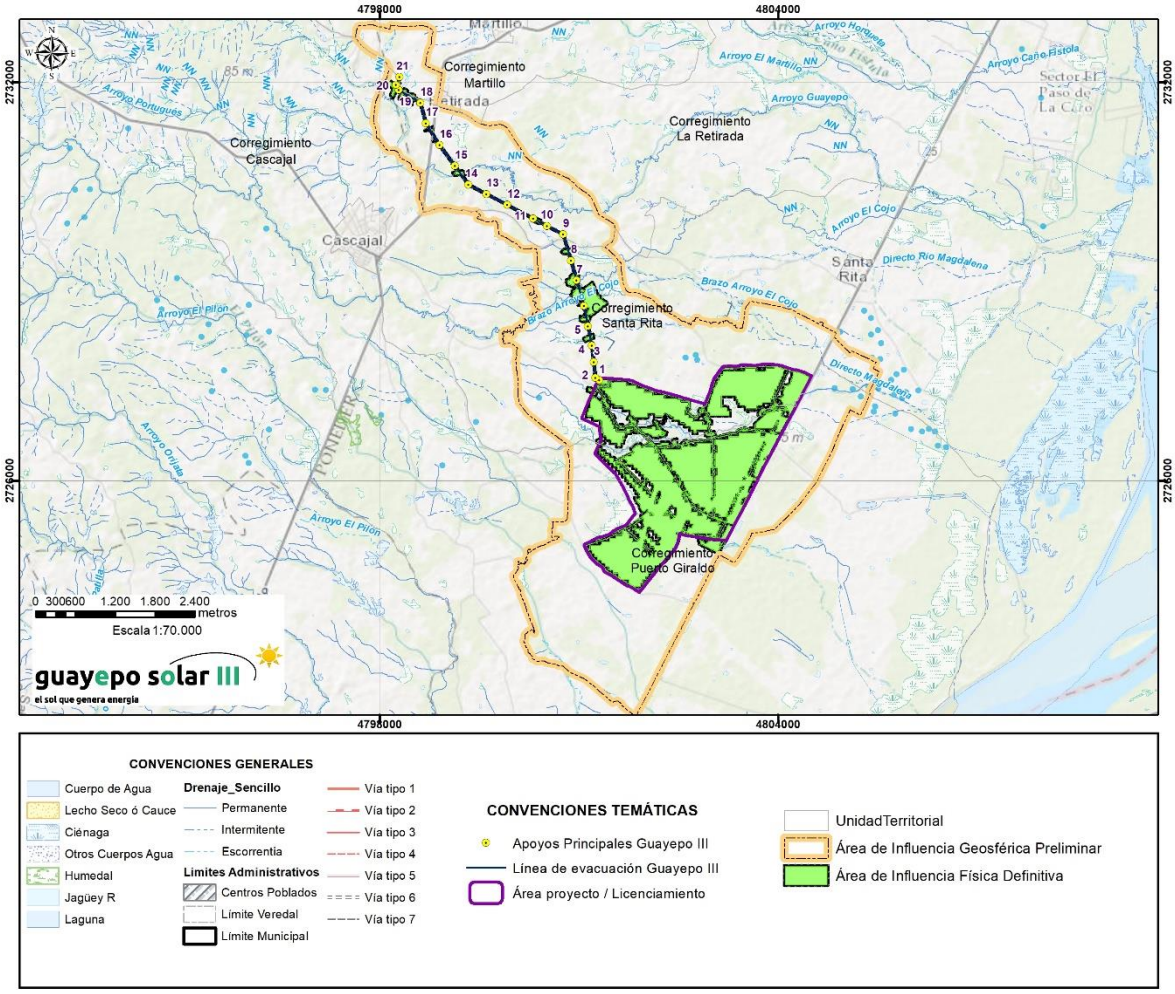
Toda la información obtenida y procesada fue validada en campo mediante una visita técnica al área que comprende el proyecto Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV, para posteriormente realizar una serie de productos que dan un enfoque más claro a las condiciones abióticas de la zona los principales aspectos que proporcionan vulnerabilidad y las posibles formas de abordar el impacto sobre el territorio.

5.1.1 Geología

Geográficamente el Proyecto Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV se encuentra en el municipio de Ponedera y Sabanalarga departamento de Atlántico, geológicamente la zona de influencia del proyecto se encuentra en el sector norte del Cinturón de San Jacinto dentro de la provincia tectónica conocida como Anticlinal de Luruaco, 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.

Durante el proceso de caracterización geológica del proyecto Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV se tomaron como referencia estudios y cartografía elaborada por entidades el Servicio Geológico Colombiano, INVEMAR y la Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA) e Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, logrando identificar información geológica, geomorfológica e hidrogeológica importante para la definición de las principales características abióticas del proyecto.

Figura 5.1-1 Áreas de influencia Geosférica preliminar y definitiva física



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

A continuación, se presenta una reseña acerca de la geología regional del área donde se desarrollará el proyecto Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV, sumado a los aspectos más importantes asociados con el contexto tectónico y morfológico de la zona.

5.1.1.1 Estratigrafía

En general el Proyecto Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV, se encuentra sobre depósitos Cuaternarios clasificados

como, Depósitos Coluvio–Aluviales (Qcal) y Depósitos de Llanura Aluvial (Qlal), estos a su vez se depositan sobre rocas sedimentarias del Neógeno.

Tabla 5.1-1 Distribución estratigráfica de las unidades en el área de estudio

EÓN	ERA	PERIOD	ÉPOCA	SÍMBOLO	NOMBRE	Área de influencia preliminar Geosférica (HA)	%	Área de influencia Definitiva Física (HA)	Área de influencia Definitiva Física %)	DESCRIPCIÓN
Fanerozoico	Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Qcal	Depósitos Coluvio - Aluviales	647,449	24,07	13,87	2,62	Cantos-bloques-arenas y arcillas mezclados a gradados cubren unidades rocosas y depósitos cuaternarios más antiguos.
			Cenozoica	Qal	Depósitos de Llanura Aluvial	476,75	17,72	52,1	9,85	Arenas, arcillas y en menor proporción gravas
		Neógeno	Plioceno	Ngt	Formación Tubará	--	--			Areniscas de grano fino a grueso, cuarzosas algunas calcáreas y niveles bioclásticos. Intercalaciones de lodolitas grises a negras.
			Mioceno	Ngh	Formación Hibácharo	--	--			Limolitas negras carbonosas, lodolitas grises y amarillas, areniscas de grano fino y costras de oxidación estratiformes. Esporádicos niveles bioclásticos.

Fuente: (INGEOMINAS, 2001) adaptado por (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

A continuación, se describen las principales unidades geológicas de tipo regional que ejercen influencia en el área de estudio, además de su contexto tectónico y geomorfológico.

5.1.1.1.1 Neógeno – Mioceno Medio

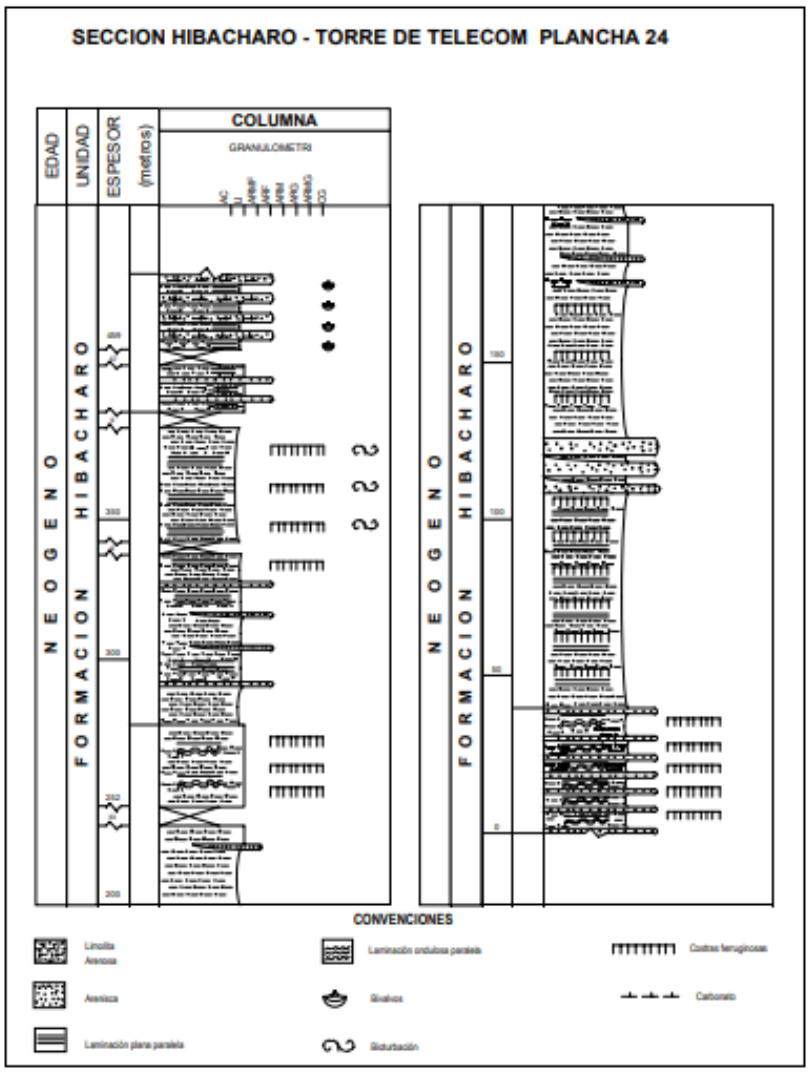
5.1.1.1.1.1 Formación Hibácharo (Ngh)

Definida inicialmente por (RAASVELDT, 1953)Z, el nombre de esta formación proviene del caserío de Hibácharo al norte del Municipio de Luruaco donde aflora en donde su sección tipo corresponde a la sección Hibácharo-Torre de Telecom, la

cual cuenta con 4 segmentos. Segmento 1, conformado por lodolitas grises y amarillas (por alteración), con laminación plana - paralela, físiles, en capas delgadas y medias; segmento 2, conformado por limolitas negras carbonosas, cuyo color de alteración es amarillo claro; físiles, macizas y con esporádica laminación plana a levemente ondulosa; segmento 3, consta de lodolitas grises y amarillas claras, físiles, en láminas planas – paralelas, y capas delgadas y medias continuas; limolitas negras, físiles, en capas delgadas a gruesas muy fracturadas e intercalaciones de arenisca de cuarzo, de grano fino, cemento silíceo, moderada selección, en capas delgadas planas y cuneiformes; se encuentra capas gruesas, bioclásticas, con conchas gruesas especialmente de bivalvos, y costras de oxidación interestratificadas; por último el segmento 4 está conformado por areniscas cuarzosas, de grano fino, con cemento calcáreo, bien seleccionadas, masivas, en capas medias; intercalaciones de lodolitas negras, físiles, en capas delgadas, y calizas de color amarillo claro, con conchas de bivalvos, en capas delgada, y medias. El techo de este segmento está cubierto por derrubios provenientes de los cerros en donde está la torre de Telecom, con material de areniscas de la Formación Tubará.

La Formación Hibácharo subrayase la Formación Las Perdices e infrayase la Formación Gallinazo y presenta un espesor promedio de 800 m y se ha determinado que sus sedimentos originales de rocas pertenecen a depósitos de abanico submarino, parte media a próximal.

Figura 5.1-2 Columna Estratigráfica de la Formación Hibácharo, Sección Hibácharo-Torre de Telecom. Segmento 1, 2, 3 y 4.



Fuente: (INGEOMINAS, 2001)

5.1.1.1.1.2 Formación Tubará (Ngt)

Unidad definida por (ANDERSON, 1929) como Tuberá Group, posteriormente (RAASVELDT, 1953) la define como formación. 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; se considera para esta formación un depósito en un ambiente de abanico submarino en su parte próximal.

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. Las mejores exposiciones de esta unidad se localizan a lo largo de la carretera de La Cordialidad, en el arroyo Gallinazo y al occidente de Usiacurí. A continuación, se describen las secciones tipo:

5.1.1.1.1.2.1 Sección Arroyo Gallinazo

Esta sección se localiza al oriente de Hibácharo y es representativa de la parte inferior de la Formación Tubará, cuenta con el segmento 1, conformado por areniscas cuarzosas de grano fino, blancas, con cemento calcáreo a la base y silíceo al techo, con buena selección, en capas medias a muy gruesas, planas, ocasionalmente cuneiformes macizas y, en ocasiones, con laminación ondulosa; hacia el techo se intercalan lodolitas grises a amarillas muy alteradas, en capas delgadas. Segmento 2, por areniscas de cuarzo de grano fino, blancas y amarillas por alteración, con cementos silíceos, en capas medias y gruesas ondulosas con laminación interna también ondulosa; se intercalan lodolitas negras carbonosas y grises, físiles, en capas delgadas y segmento 3, formado por areniscas de cuarzo en la base, con algún contenido de fragmentos líticos y conchas de bivalvos; su granulometría es de grano grueso a conglomeráticas, coloraciones blancas a amarillas, con moderada selección, en capas gruesas; hacia el techo se presentan areniscas de cuarzo, de grano fino, ocasionalmente grueso, blancas, de moderada selección, con cemento silíceo, en capas gruesas con estratificación cruzada y algunas con laminación plana.

5.1.1.1.1.2.2 Sección carretera de La Cordialidad.

Localizada en el cerro La Azucena, donde es cortado por la carretera de La Cordialidad, cerca de la desviación hacia el Municipio de Usiacurí. Cuenta con tres segmentos los cuales se describen a continuación:

- Segmento 1

Formado por arcósicas de grano medio a grueso, cuya composición es de 35% de cuarzo, 35% de feldespato y 30% de líticos (chert, limolita y bioclastos); los granos son angulares a subredondeados; hacia la base se alternan areniscas conglomeráticas y conglomerados con clastos de cuarzo lechoso, limolitas silíceas, chert negro y rocas ígneas porfiríticas, en matriz arenosa, en capas planas, estratificación cruzada y con costras ferruginosas lenticulares.

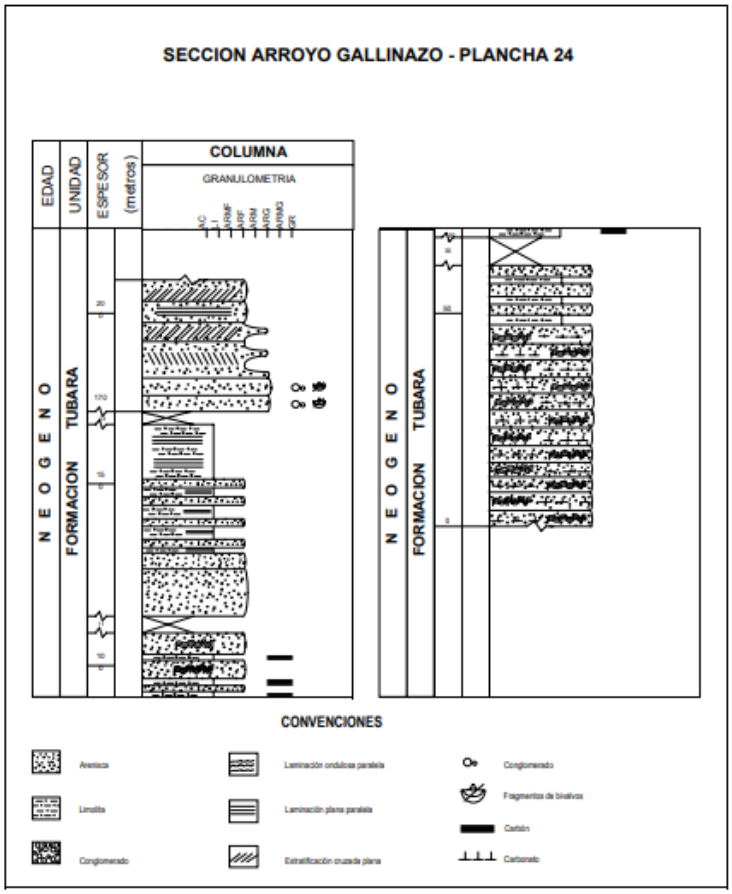
- Segmento 2

Constituido por areniscas arcósicas de grano medio a muy grueso, de color gris a amarillo blancuzco, en capas planas paralelas, con intercalaciones de arcillolitas yesíferas gris oscura y lodolitas calcáreas fosilíferas.

- Segmento 3

Formado por litoarenitas de grano medio, de color gris verdoso, en capas gruesas e intercalaciones de lodolitas silíceas grises y lentes de conglomerados. Hacia el techo, las areniscas son conglomeráticas mal seleccionadas; los granos son redondeados, en una matriz de areniscas de grano medio.

Figura 5.1-3 Columna Estratigráfica de la Formación Tubará, Sección Arroyo Gallinazo. Segmento 1, 2 y 3



Fuente: (INGEOMINAS, 2001)

5.1.1.1.2 Cuaternario

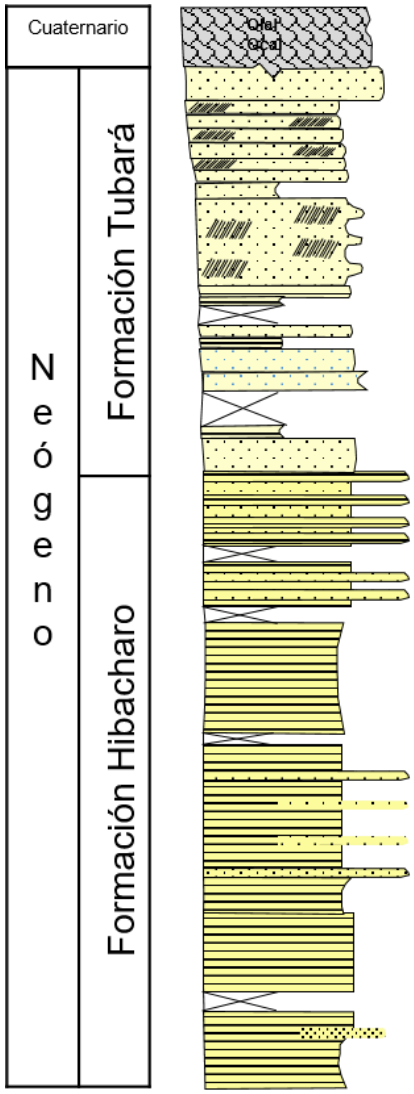
5.1.1.1.2.1 Depósitos de Llanura Aluvial (Qlal)

Depósitos de origen aluvial desarrollando formas planas, como terrazas, ligeramente inclinados hacia la dirección de la escorrentía. Los depósitos de llanura aluvial están localizados al suroriente de la plancha 24, al occidente del río Magdalena y en los alrededores del Municipio de Repelón; son de poco espesor, cubiertos por suelo y vegetación, conformados por arenas, arcillas y, en menor proporción, gravas.

5.1.1.1.2.2 Depósitos Coluvio–Aluviales (Qcal)

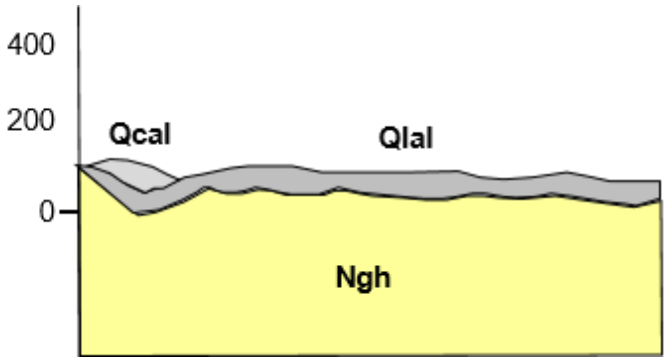
Estos depósitos agrupan la sedimentación fluvial reciente y actual y la generada por coluviones igualmente recientes, relacionados con arroyos y con los piedemontes. Están constituidos por cantos, bloques, arenas y arcillas, mezclados a gradados, cubriendo a las unidades rocosas y a los depósitos cuaternarios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

Figura 5.1-4 Columna Estratigráfica generalizada de la zona de estudio



Fuente: (INGEOMINAS, 2001) modificado (Ingenostrum S.A.S, 2021)

Figura 5.1-5 Perfil geológico generalizado del área de estudio



Fuente: (INGEOMINAS, 2001)

5.1.1.1.3 Geología local

La geología local del área del proyecto Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV lo componen cuatro unidades cuaternarias y un depósito de tipo antrópico. Lo anterior se pudo verificar mediante rectificación de unidades por medio de visita técnica al área de estudio (Del 5 al 16 de abril de 2021) y utilización de sensores remotos (Ver Anexo 5. / 5.1. Abiótico / 5.1.1. Geología Geomorfología*)* en donde se pudo delimitar de forma más exacta las unidades geológicas y determinar texturas que dieron como resultado el establecimiento de las unidades geológicas locales.

Tabla 5.1-2 Puntos de control línea de evacuación y parque solar

PUNTOS DE CONTROL	COORDENADAS ORIGEN ÚNICO NACIONAL CTM12	
	COORDENADA X	COORDENADA Y
PCT01	4801253	2727535
PCT02	4801225	2727785
PCT03	4801199	2728035
PCT04	4801141	2728327
PCT05	4801080	2728635
PCT06	4800970	2729019
PCT07	4800884	2729317
PCT08	4800764	2729713
PCT09	4800526	2729838
PCT10	4800316	2729948
PCT11	4799924	2730154
PCT12	4799609	2730319
PCT13	4799340	2730459
PCT14	4799134	2730741
PCT15	4798906	2731055
PCT16	4798696	2731385
PCT17	4798616	2731691
PCT18	4798291	2731890

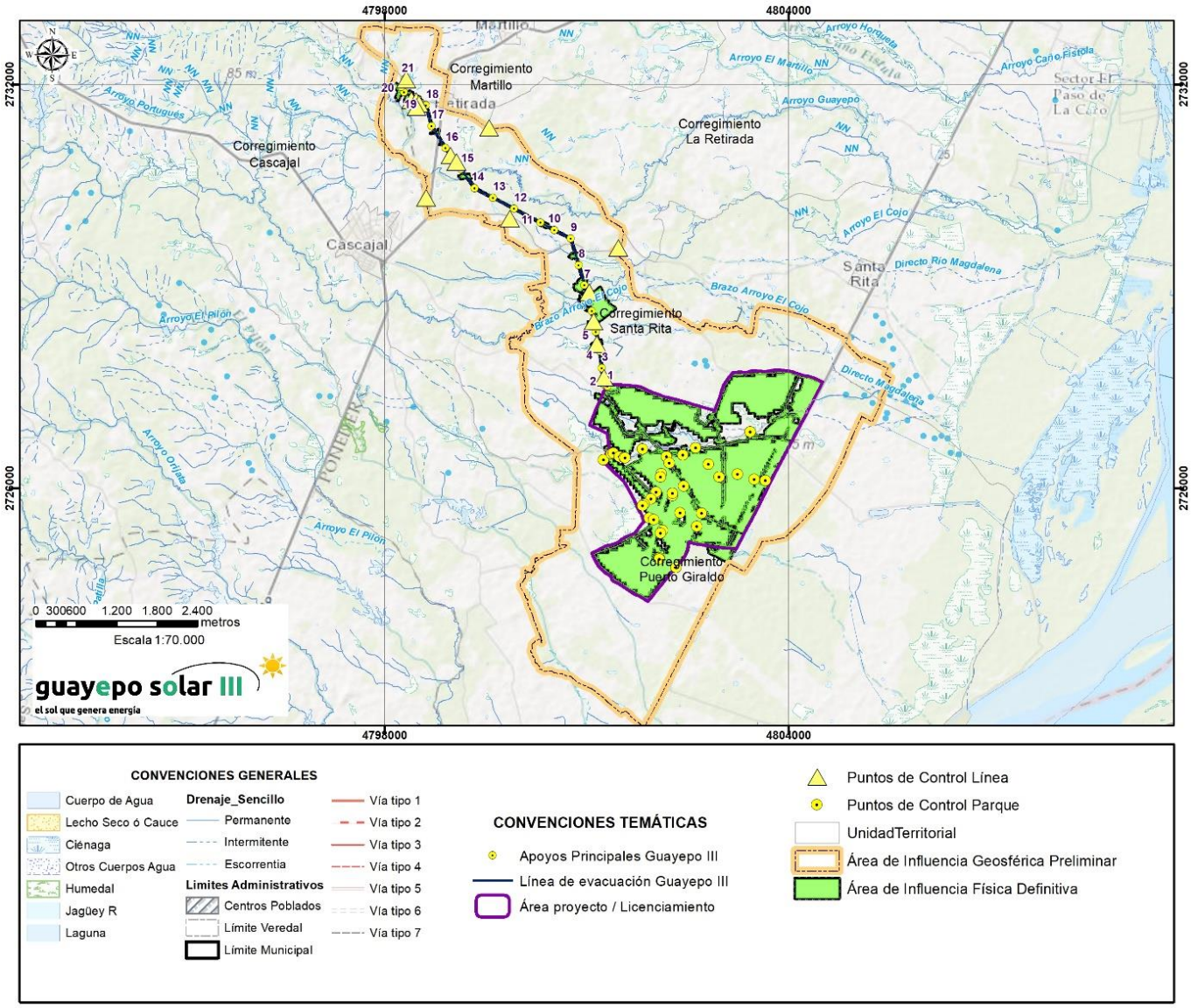
PUNTOS DE CONTROL	COORDENADAS ORIGEN ÚNICO NACIONAL CTM12	
	COORDENADA X	COORDENADA Y
PCT19	4798256	2731995
PCP01	4802429	2726494
PCT02	4801253	2726422
PCP03	4801369	2726510
PCP04	4801400	2726525
PCP05	4801486	2726472
PCP06	4801563	2726456
PCP07	4801573	2726451
PCP08	4801832	2726582
PCP09	4802187	2726469
PCP10	4802228	2726377
PCP11	4802112	2726213
PCP12	4802100	2726168
PCP13	4802035	2725946
PCP14	4801957	2725844
PCP15	4801858	2725763
PCP16	4801833	2725739
PCP17	4801936	2725559
PCP18	4801997	2725532
PCP19	4802277	2725891
PCP20	4802278	2725924
PCP21	4802445	2726034
PCP22	4802389	2725637
PCP23	4802127	2725372
PCP24	4802097	2725333
PCP25	4802081	2724968
PCP26	4802081	2724946
PCP27	4802329	2724824
PCP28	4802641	2725431
PCP29	4802712	2725631
PCP30	4803435	2726836
PCP31	4802620	2726603
PCP32	4802811	2726357
PCP33	4802970	2726171
PCP34	4803243	2726210
PCP35	4803490	2726131
PCP36	4803658	2726114

*Origen de Proyección Cartográfica CTM-12

Fuente: (Ingenostrum S.A.S, 2021)

La anterior tabla muestra las coordenadas de los puntos de control tomados en campo en donde se pudieron verificar las condiciones geológicas y geomorfológicas en el área del proyecto Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV, de igual forma se pudieron determinar la existencia de depósitos de cauce y rellenos antrópicos los cuales influencian en buena manera los terrenos sobre los cuales se construirá la línea de evacuación y el parque solar.

Figura 5.1-6 Estaciones y/o puntos de control tomados en el área de influencia del proyecto [1]



Fuente: (Ingenostrum S.A.S, 2021)

A continuación, se definen las unidades geológicas locales identificadas en el área del proyecto Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV, el Anexo MP-EIA-GUYII-06-GEOL muestra las unidades del proyecto:

[1] *Para ver información más a detalle ver anexo cartográfico (Anexo 11)*

5.1.1.1.3.1 Terrazas Aluviales Erosiónales (Qte)

Los depósitos de esta unidad afloran en el sector del parque solar, las terrazas Aluviales Erosiónales corresponden a antiguos depósitos del rio Magdalena. En general, son depósitos no consolidados constituidos por gravas, arenas y limos presentan una leve inclinación en la pendiente del terreno y es un área muy intervenida con fines de ganadería de expansión por tal razón hay gran cantidad de sistemas de conducción y almacenamiento de agua y esto en algunos sectores ha ocasionado la creación de ecosistemas. En la Fotografía 5.1-1 se puede observar la leve inclinación del terreno, es una zona utilizada para la ganadería; la Fotografía 5.1-2 muestra un terreno con poca consolidación que permite encharcamientos.

Fotografía 5.1-1Terrazas Aluviales



Terraza de acumulación
Estación de control PCP-34 Corregimiento El Uvero
Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12):
E 4803243 – N 2726210

Fuente: (Ingenostrum S.A.S, 2021)

Fotografía 5.1-2 Terrazas Aluviales



Terrazas Aluviales
Estación de control PCP-05 Corregimiento El Uvero
Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12):
E 4801486 – N 2726472

Fuente: (Ingenostrum S.A.S, 2021)

5.1.1.1.3.2 Depósitos de Llanura Aluvial (Qal)

Depósitos localizados en el sector más sur del área de estudio abarca un pequeño sector del parque solar y son depósitos de baja pendiente o planos. Esta unidad está conformada por materiales como limo, arenas de grano fino en menor proporción gravas y hace parte de la llanura de inundación del rio Magdalena.

Por lo general los predios que componen esta unidad son utilizados para la ganadería y agricultura.

5.1.1.1.3.3 Depósitos Coluvio-Aluviales (Qcal)

Unidad caracterizada por la presencia de limos, arenas y gravas de variada composición. Son los depósitos con la mayor pendiente de la zona de estudio sin superar los 10°, forman valles y vegas de corta extensión, las cuales son aprovechadas para cultivos y pastos para ganadería, (ver Fotografía 5.1-3)

Dentro de esta unidad se encuentra ubicada la línea de evacuación y hace parte de extremo noroeste de la zona de estudio.

Fotografía 5.1-3 Topografía característica en los depósitos coluvio-aluviales



Depósitos coluvio-aluviales
Estación de control PCT-08 Corregimiento Guayepo
Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12):
E 4800764 – N 2729713

Fuente: (Ingenostrum S.A.S, 2021)

5.1.1.1.3.4 Depósitos de Cauce (Qc)

Estos depósitos están relacionados con la dinámica de los arroyos presentes en el área, los cuales por su naturaleza torrencial intermitente generan amplios depósitos durante su desborde, su mayor productividad se da en época de lluvias fuertes cuando las corrientes de aguas continentales presentan su mayor actividad.

Esta unidad está formada por suelos con tamaño de grano arena fina-arcilla y color café-amarillento su carácter es inconsolidado a semiconsolidado, (ver Fotografía 5.1-4). La principal influencia sobre el área de estudio se da en la línea de evacuación en donde se pudieron ubicar unos pocos sitios de torre.

Fotografía 5.1-4 Unidad de Depósitos de Cauce.



Depósitos de Cauce
Estación de control PCT-06 Corregimiento Nuevo-Santa Rita
Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12):
E 4800970 – N 2729019

Fuente: (Ingenostrum S.A.S, 2021)

5.1.1.1.3.5 Depósitos Antrópicos (Qar)

Unidad de origen antrópico generada en procesos de ganadería expansiva con formas cóncavas a irregulares que dan lugar a cuerpos de agua artificial y bordas (ver Fotografía 5.1-5), los principales materiales de esta unidad están relacionados a la formación donde se encuentren así que pueden ir desde gravas hasta arenas, limos y arcillas. Los materiales en esta unidad son inconsolidados y sus fondos en el caso de los a cuerpos de agua están compuestos por limos.

Se evidencia que los depósitos antrópicos son terrenos construidos con maquinaria y utilizados para el almacenamiento de agua lluvia para el abastecimiento de las actividades pecuarias, se localizan a lo largo de la línea de evacuación y en el área del parque solar, pero en su mayor parte en el parque solar. (Ver Fotografía 5.1-6).

Fotografía 5.1-5 Reservorios de agua artificiales



Depósitos Antrópicos
Estación de control PCP-18 Corregimiento El Uvero
Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12):
E 4801997 – N 2725532

Fuente: (Ingenostrum S.A.S, 2021)

Fotografía 5.1-6 Relleno antrópico, estructura que da origen a los depósitos Antrópicos.

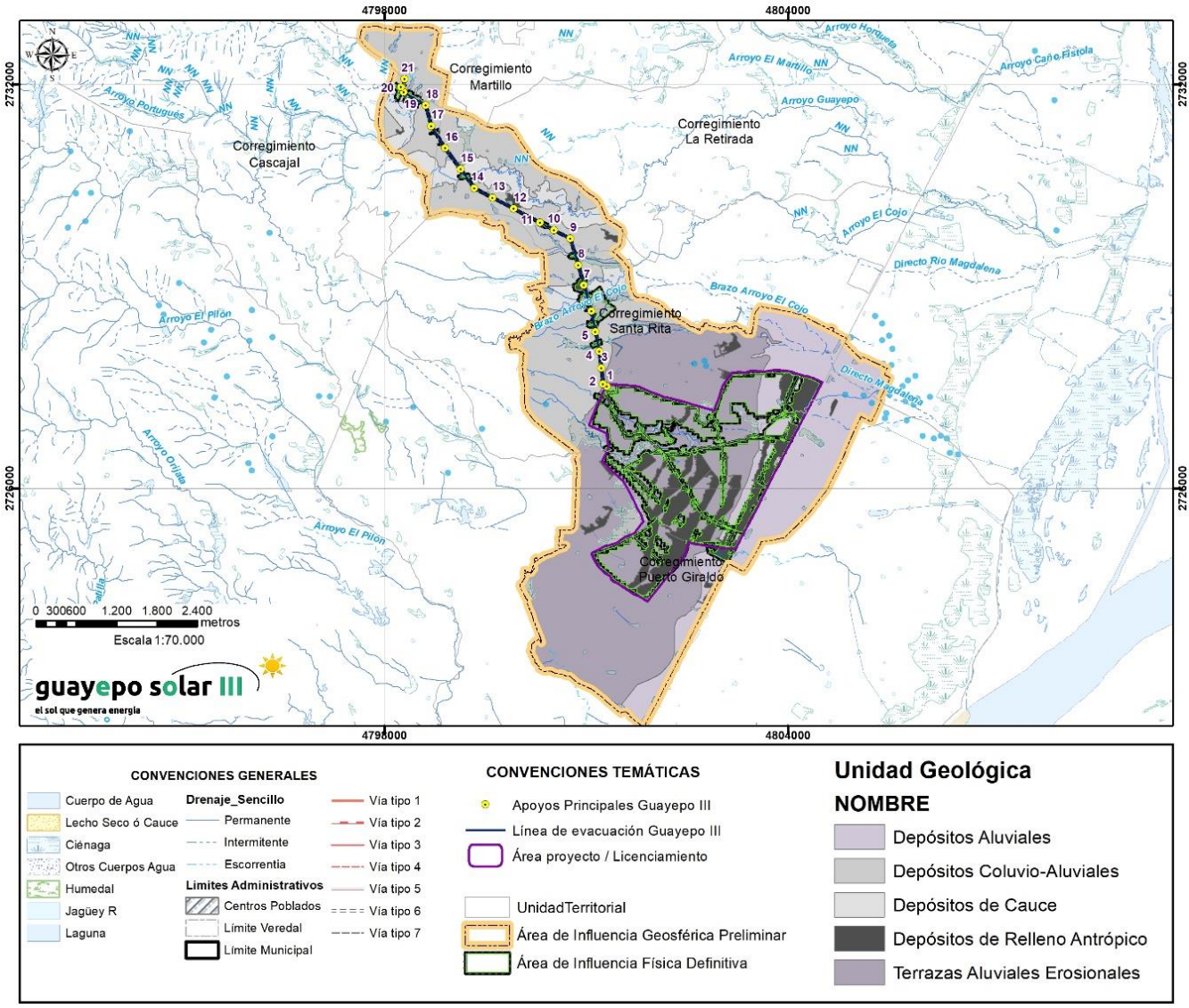


Relleno Antrópico
Estación de control PCT-11 Corregimiento Santa Rita
Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12):
E 4799764 – N 2730157

Fuente: (Ingenostrum S.A.S, 2021)

A continuación, en la Figura 5.1-7 y Tabla 5.1-3 se describen las unidades geológicas analizadas en el área de proyecto.

Figura 5.1-7 Unidades geológicas locales en el área del proyecto



Fuente: (Ingenostrum Colombia S.A.S, 2021)

Tabla 5.1-3. Unidades Geológicas en el área de influencia Preliminar geosférica y definitiva física

UNIDAD GEOLÓGICA	NOMENCLATURA	AI Geosférica Preliminar ha	%	AI Física Definitiva	%	Área proyecto o licenciamiento	%
Depósitos Aluviales	Qal	476.75	17.72	59.61	9.42	72.00	10.46
Depósitos Coluvio-Aluviales	Qcal	647.45	24.07	13.71	2.17	197.32	28.67
Depósitos de Cauce	Qc	165.36	6.15	2.46	0.39	3.21	0.47
Depósitos de Relleno Antrópico	QAr	322.98	12.01	247.93	39.17	30.01	4.36
Terrazas Aluviales Erosionales	Qte	1077.72	40.06	309.21	48.85	385.75	56.04
ÁREA TOTAL		2690.26	100	632.93	100.00	688.30	100.00

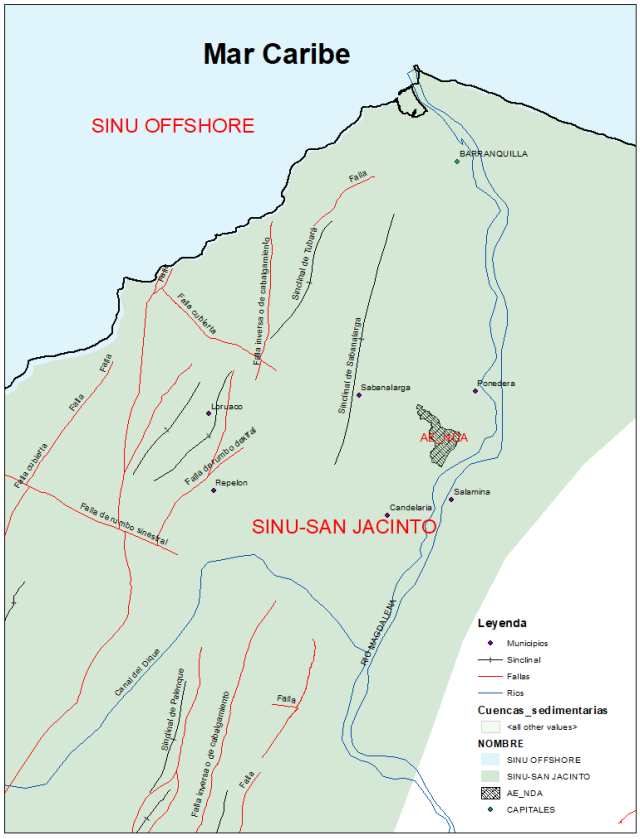
(Ingenostrum Colombia S.A.S, 2021)

5.1.1.2 Geología estructural y Tectónica

El área de estudio se encuentra localizada en la cuenca Sinú-San Jacinto la cual ha sido afectada por la interacción entre las placas Caribe, Nazca, Suramericana y Panamá, específicamente debido a la subducción de la Placa Caribe debajo de la Placa Suramericana, desde el Cretácico Tardío hasta el Holoceno (DUQUE-CARO, 1980), la cual ha formado una cuña de acreción en el margen noroccidental de Colombia, esta acreción tuvo lugar a lo largo del área que hoy corresponde al Magdalena y al Bajo Sinú desde el Paleógeno hasta hoy.

En general, para la zona de estudio las unidades estructurales mayores están representadas por el Anticlinal de Luruaco caracterizado por anticlinales estrechos, pendientes y alargados, comúnmente fallados a lo largo del rumbo, separados por sinclinales amplios y suaves. El eje de los anticlinales está expresado por una topografía rugosa, debido a que sus núcleos se encuentran compuestos por cherts y lodolitas silíceas intensamente deformados y con buzamientos mayores a los 45º. Hacia los flancos las características axiales se suavizan y el ángulo de buzamiento de las capas disminuye, de tal manera que los anticlinales se hacen más amplios con núcleos más jóvenes (DUQUE-CARO, 1980). Ver Figura 5.1-8 la cual relaciona la zona de estudio con el componente tectónico estructural.

Figura 5.1-8 Localización de la zona de estudio con relación al componente tectónico estructural



Fuente: (Ingenostrum S.A.S, 2021)

5.1.1.2.1 Fallas y Pliegues

5.1.1.2.1.1 Falla Luruaco

Está localizada al occidente de Sabanalarga, cerca del Municipio de Luruaco. Tiene un rumbo general de N25°E e inclinación hacia al oriente entre 40° y 60°, y una longitud de 16 km dentro del área; al sur se interna hacia el sector de Cartagena y al norte termina en la Falla de Hibácharo. Es una falla inversa que repite parte de la secuencia de la Formación San Cayetano, produciendo cizallamientos y plegamiento muy pronunciado.

5.1.1.2.1.2 Falla de Laguna

La Falla Laguna está localizada al occidente de Sabanalarga, al noroccidente del Municipio de Repelón. Tiene rumbo general N60°E e inclinación al noroccidente y una longitud de 11 km; continúa hacia el suroccidente en la misma dirección, y al nororiente termina contra la Falla Juan de Acosta – María la Baja. Las evidencias observadas en campo por el servicio geológico colombiano y la relación entre las unidades que separa, indican un movimiento principal inverso, aunque por posición espacial regional podría tener una componente lateral derecha. Esta falla coloca en contacto las formaciones San Cayetano, Maco y Las Perdices con la Formación Hibácharo. La inclinación es contraria a la mayor parte de las fallas y se considera como una antitética.

5.1.1.2.1.3 Falla de Henequén

La Falla Henequén está localizada al occidente de Sabanalarga, al oriente de Luruaco. Tiene un rumbo N20°E en el sector sur y N10°E en el sector norte y una inclinación al occidente; su longitud total es de 18 km comprendido entre la Falla Laguna al sur y la Falla Hibácharo al norte. Al igual que la Falla Laguna, presenta inclinación contraria al sistema de fallamiento general y facilita el cabalgamiento de la Formación San Cayetano sobre las formaciones Maco y Arroyo de Piedra, siendo una de las fallas más importantes dado el salto y la limitación de la Formación San Cayetano al oriente.

5.1.1.2.1.4 Falla de Juan de Acosta – María la Baja

La Falla Juan de Acosta - María la Baja está localizada al occidente del embalse del Guájaro. Tiene un rumbo general de N15°E e inclinación al oriente; una longitud de 42 km. Las evidencias de campo que describe el servicio geológico colombiano muestran en el sector norte, un choque de estratos de las formaciones Hibácharo y Tubará; además, en este mismo sector termina el eje del Sinclinal de Tubará contra

la falla; hacia el sur está cubierta por depósitos cuaternarios hasta encontrar rocas del Paleógeno. Es esencialmente una falla inversa conforme al sistema regional.

5.1.1.2.1.5 Falla de Hibácharo

La Falla Hibácharo está localizada en el sector noroccidente de Sabanalarga, en inmediaciones del Municipio de Hibácharo. Tiene un rumbo N70°W y su inclinación es cercana a la vertical; presenta una longitud de 12 km en el área; al occidente está fosilizada por depósitos cuaternarios; al oriente termina en la Falla Juan de Acosta-María la Baja. Es una falla principalmente de rumbo en sentido sinistral, generando plegamiento por arrastre de los estratos de la Formación Hibácharo y coloca en contacto esta unidad con la Formación Tubará.

5.1.1.2.1.6 Falla de Pendales

Falla localizada al nororiente de la Plancha 23, en inmediaciones de la localidad de Pendales. Tiene un rumbo N30° - 40° E y su inclinación es cercana a los 60°, hacia el oriente; se reconoce por una longitud de 20 km; hacia el suroccidente termina en la Falla Villanueva – El Totumo y la norte se interna en la Plancha 24. Es una falla inversa con vergencia al occidente, sobre la cual cabalga la Formación San Cayetano sobre la Formación Pendales.

5.1.1.2.1.7 Falla de El Dique

(REYES G. & CAMARGO, 1995) se refieren a la Falla Dique como Lineamiento del Dique; (REYES, 1996), por evidencias de campo, le llaman Falla del Dique. Está localizada hacia la parte centro-sur de la Plancha 23, y pasa por las localidades de Villanueva y Punta Canoa. En el área tiene una longitud de 40 km, un rumbo de N60°W y plano vertical, con un movimiento lateral izquierdo que limita las unidades litoestratigraficas de San Cayetano, Arjona e Hibácharo. Sobre las unidades Tubará, Bayunca y depósitos cuaternarios se presenta como un lineamiento fotogeológico, sin evidencias de campo; sin embargo, al occidente en la localidad de Punta Canoa

hay niveles de playa levantados (3m) sobre el nivel actual, por movimientos verticales de esta falla.

5.1.1.2.1.8 Falla Bonga

La Falla Bonga fue reconocida inicialmente en la Plancha 38 Carmen de Bolívar; se extiende a lo largo de la cuchilla de Mandinga al suroccidente del área; por tener una orientación N15°E y buzamientos variables de 50° a 70° al occidente, se ha interpretado como una falla inversa, inclinada al occidente, que hace parte o está asociada al cabalgamiento principal (Backthrust); por efecto del arrastre de esta falla, al occidente se presenta un anticlinal tumbado hacia el oriente con el flanco oriental invertido, observado en el extremo norte de la cuchilla y en la carretera San Cayetano Carreto (Puente Cangrejo). Al oriente de la falla afloran estratos del conjunto superior de la Formación San Cayetano.

5.1.1.2.1.9 Falla de Huamanga

La Falla Huamanga está localizada al oriente del cerro del Toro, tiene un rumbo aproximado N20°E y se considera asociada a la Falla Mandinga (Backthrust); buza hacia el oriente entre 45° y 70°. Algunas evidencias de la presencia de esta falla en el área son zonas de intenso brechamiento apreciables en el arroyo Toro, en San Cayetano y en cuchilla Las Tinas.

5.1.1.2.1.10 Falla Mamonal

Esta falla se extiende por 60 km por el área de Mamonal y Arroz Barato al noroeste de la Plancha 29-30 y se prolonga a la Plancha 23; presenta un rumbo N50°E y buzamiento al este de alrededor de 50° a 60°; al suroccidente se interna en la bahía de Cartagena y probablemente pasa entre las islas de Barú y Tierra Bomba. La traza establece un cambio topográfico y controla la extensión de la Formación La Popa de Albornoz hacia el este y genera fracturamiento y plegamiento en las rocas

lodolíticas y areniscas de la Formación Bayunca; su comportamiento es principalmente inverso.

5.1.1.2.1.11 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.

5.1.1.2.1.12 Sinclinal de tubará

El Sinclinal de Tubará está localizado al norte de la localidad de Molinero. Su eje presenta un rumbo N40°E, con cabeceo al sur, chocando con la Falla Juan de Acosta-María la Baja; muy claro es el cierre que, da a la Formación Tubará y, menos visible, la Formación Hibácharo. Esta estructura se continúa al norte, con su núcleo en la Formación Tubará y los flancos en la Formación Hibácharo.

5.1.1.2.1.13 Sinclinal de palenque

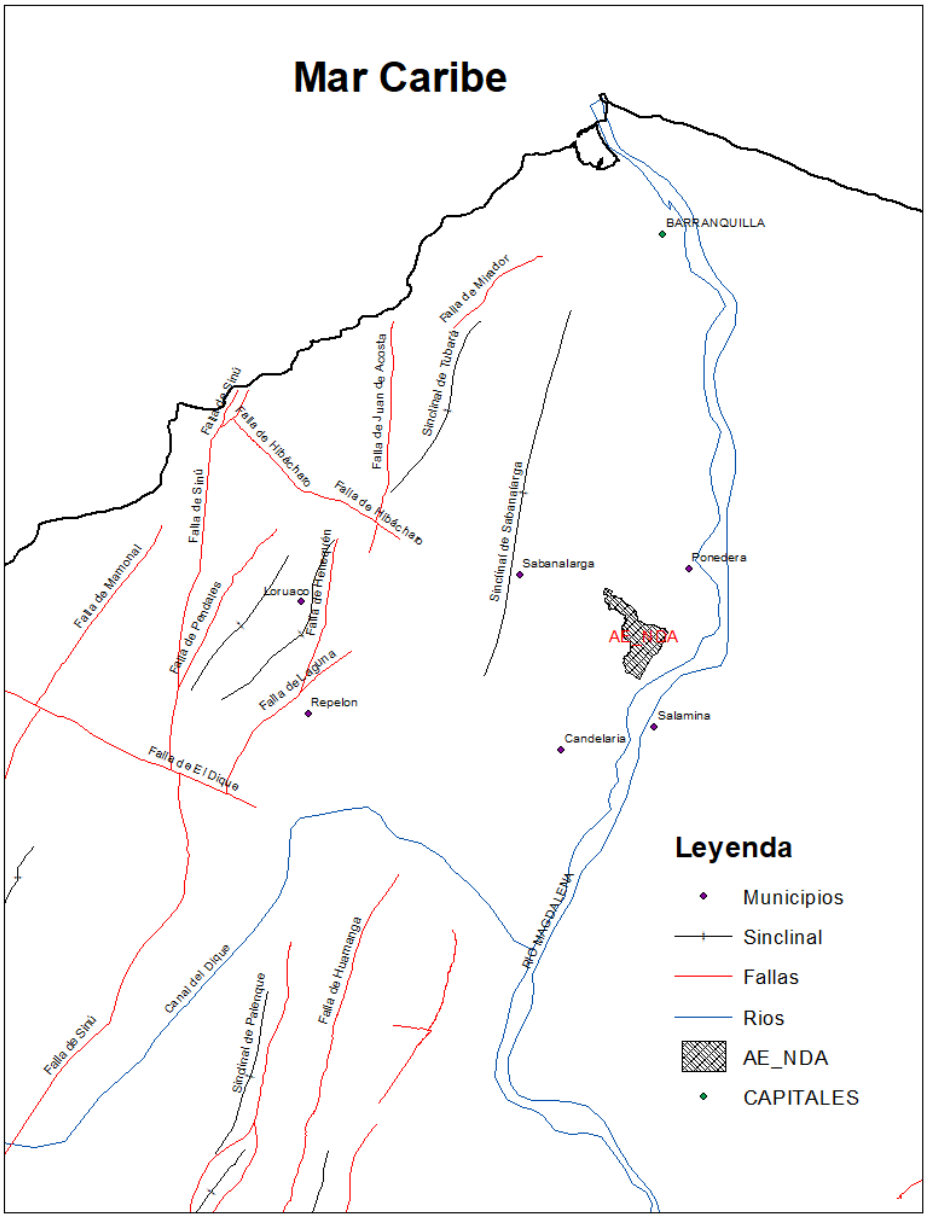
El Sinclinal de Palenque está localizado entre las poblaciones de Palenque y Mahates en la Plancha 29-30 (cuadrículas D-12, E-12, F12, G-12); su rumbo preferencial es N15° -20° E. La amplitud máxima es de 3 km y dentro del área tiene una longitud de 20 km. No obstante estar rodeado por fallas inversas, sus flancos son simétricos y su plano axial es aproximadamente vertical. Se desarrolló en rocas del Eoceno medio, de la Formación Maco. Al sur de Palenque presenta cierre estructural, controlado por las fallas El Limón y María la Baja Juan de Acosta.

5.1.1.2.1.14 Plegamientos de Luruaco

Estos plegamientos están localizados en los alrededores del municipio de Luruaco. Representa la parte terminal norte del núcleo del Anticlinal de Luruaco, que se manifiesta con un cierre estructural 8 km al norte del Municipio de Luruaco en rocas de la Formación San Cayetano. Se reconocen varios pliegues apretados, sinclinales y anticlinales, de longitud máxima de 5 km, a menudo con volcamientos generados por fallas. Al norte, parte de este plegamiento queda cubierto por rocas de la Formación Las Perdices; al sur, continúa en la misma forma.

En la Figura 5.1-9 se observa el mapa estructural con las fallas y pliegues descritas anteriormente.

Figura 5.1-9 Mapa estructural con fallas y pliegue[2]



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.1.3 Sismicidad

La sismicidad la medida de la *sísmica* de un lugar específico, según su frecuencia e intensidad a lo largo del tiempo. Un lugar o región puede tener alta o baja sismicidad dependiendo de la frecuencia con que ocurren los sismos en ese lugar.

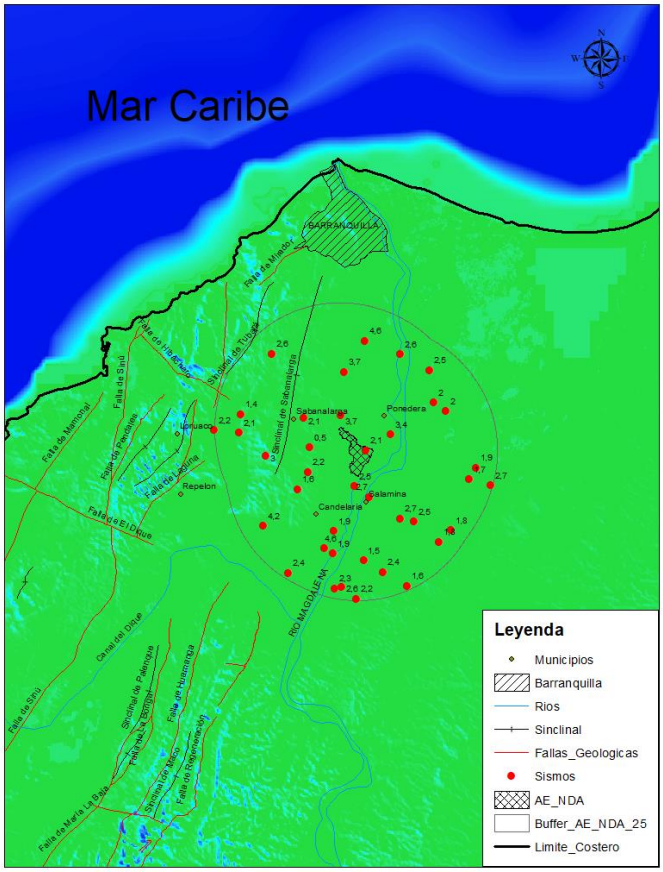
Para el caso específico de la zona de estudio, esta se encuentra en la cuenca Sinú-San Jacinto la cual ha sido afectada por la interacción entre las placas Caribe, Nazca, suramericana y Panamá, específicamente debido a la subducción de la Placa Caribe (corteza oceánica) debajo de la Placa Suramericana (corteza continental), desde el Cretácico Tardío hasta el Holoceno (DUQUE-CARO, 1980) la cual ha formado una cuña de acreción en el margen noroccidental de Colombia.

En la Figura 5.1-10 y en la Tabla 5.1-4 se muestra el registro de eventos sísmicos instrumentales localizados a una distancia de 25 km alrededor del área del proyecto, entre los años 1993 y 2018, de acuerdo con el catálogo sísmico de la Red Sismológica Nacional de Colombia. Este registro de eventos muestra que el mayor sismo tiene una magnitud de 4.6° en la escala de Richter, el cual está clasificado como ligero según el servicio geológico de estados Unidos con efectos perceptibles a menudo, pero rara vez provocan daños (ver Tabla 5.1-4[3]), además de lo anterior los sismos incluidos dentro rango de 25 km no presentan una tendencia que los relacione con las estructuras geológicas regionales existentes en la zona; esta sismicidad puede tener relación con eventos a nivel regional de placas tectónicas: De acuerdo con (Kellogg, 1990), citado (INGEOMINAS y CPIS, Centro de Procesamiento de Información Sismológica de la Universidad Nacional, sede Medellín, 2000).

[2] Revisar Anexo 11 Cartográfico y la plancha 24 del Servicio geológico colombiano

3 Servicio Geológico de los Estados Unidos (18 de febrero de 2009). «FAQ - Measuring Earthquakes» (en inglés). U. S. Geological Survey. Archivado desde el original el 15 de junio de 2006. Consultado el 29 de diciembre de 2015.

Figura 5.1-10 Localización sismos 25 Km alrededor del área de estudio



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Tabla 5.1-4 Lista de eventos sísmicos ocurridos próximos al área de estudio

FECHA	PROFUNDIDAD	MAGNITUD_M	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO
15/10/1993	22,70	4,2	Atlántico	Manatí
24/02/1997	0,00	4,6	Atlántico	Campo de la cruz
30/07/1998	21,20	3,7	Atlántico	Sabanalarga
2/05/2006	32,10	4,6	Atlántico	Sabanagrande
5/11/2006	41,00	3,7	Atlántico	Polonuevo
8/07/2011	15,80	2,6	Atlántico	Usiacurí
28/11/2011	28,90	2,4	Atlántico	Santa lucia
22/04/2012	31,00	2,6	Atlántico	Palmar de Varela
21/08/2013	14,80	2,1	Atlántico	Sabanalarga
22/09/2013	18,00	2,1	Atlántico	Ponedera
15/12/2014	16,10	1,6	Atlántico	Candelaria
4/04/2015	40,00	3,4	Atlántico	Ponedera
9/08/2015	18,00	2,2	Atlántico	Luruaco
7/03/2016	19,00	1,9	Atlántico	Candelaria
28/08/2016	29,60	3,0	Atlántico	Sabanalarga
1/11/2017	23,50	2,2	Atlántico	Candelaria
12/11/2017	28,50	2,1	Atlántico	Sabanalarga

FECHA	PROFUNDIDAD	MAGNITUD_M	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO
25/11/2017	21,80	1,9	Atlántico	Campo de la cruz
2/12/2017	66,70	1,4	Atlántico	Sabanalarga
22/02/2018	7,70	0,5	Atlántico	Sabanalarga
2/05/2010	25,50	2,5	Magdalena	Salamina
8/06/2010	41,00	2,5	Magdalena	Remolino
22/06/2011	22,20	2,6	Magdalena	Cerro de San Antonio
8/06/2012	50,90	2,7	Magdalena	Salamina
9/02/2013	0,00	1,5	Magdalena	El pinon
13/04/2013	22,60	2,3	Magdalena	Cerro de San Antonio
19/08/2013	35,70	2,7	Magdalena	Pivijay
26/12/2013	19,90	1,8	Magdalena	Pivijay
4/10/2014	17,50	2,7	Magdalena	Salamina
26/11/2014	54,00	1,7	Magdalena	Pivijay
15/01/2015	68,90	1,9	Magdalena	Pivijay
24/02/2015	22,50	2,4	Magdalena	El pinon
2/03/2015	19,00	1,8	Magdalena	Pivijay
10/01/2016	18,40	2,5	Magdalena	Pivijay
18/08/2017	25,10	2,2	Magdalena	Concordia
20/09/2017	62,00	2,0	Magdalena	Remolino
28/10/2017	20,90	1,6	Magdalena	El pinon
28/10/2017	58,40	2,0	Magdalena	Remolino

Fuente: Catálogo sísmico de la Red Sismológica Nacional de Colombia

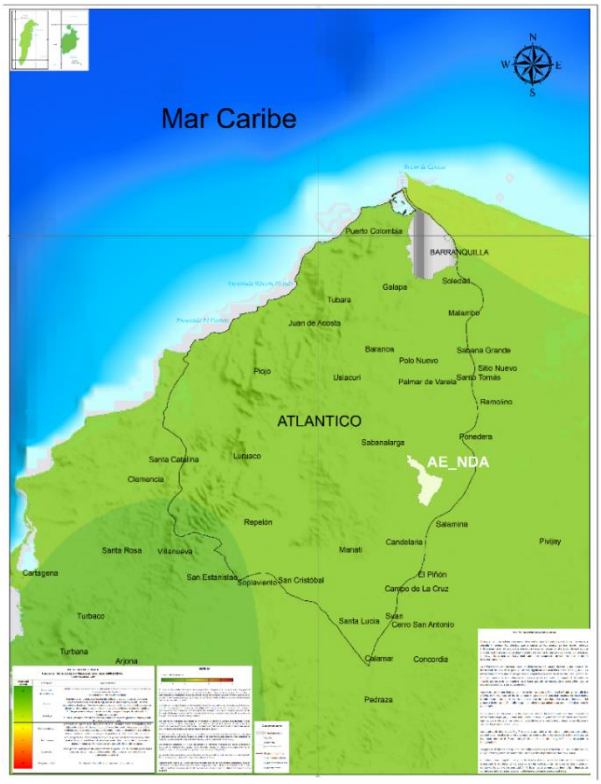
Tabla 5.1-5 Efectos de sismos según su magnitud

MAGNITUD	DESCRIPCIÓN	EFECTOS DE UN SISMO	FRECUENCIA DE OCURRENCIA
Menos de 2,0	Micro	Los microsismos no son perceptibles.	Alrededor de 8.000 por día.
2,0-2,9	Menor	Generalmente no son perceptibles.	Alrededor de 1.000 por día.
3,0-3,9		Perceptibles a menudo, pero rara vez provocan daños.	4.900 por año.
4,0-4,9	Ligero	Movimiento de objetos en las habitaciones que genera ruido. Sismo significativo, pero con daño poco probable.	6.200 por año.
5,0-5,9	Moderado	Puede causar daños mayores en edificaciones débiles o mal construidas. En edificaciones bien diseñadas los daños son leves.	800 por año.
6,0-6,9	Fuerte	Pueden llegar a destruir áreas pobladas, en hasta unos 160 kilómetros a la redonda.	120 por año.
7,0-7,9	Mayor	Puede causar serios daños en extensas zonas.	18 por año.
8,0-8,9	Épico o Cataclismo	Puede causar graves daños en zonas de varios cientos de kilómetros.	1-3 por año.
9,0-9,9		Devastadores en zonas de varios miles de kilómetros.	1-2 en 20 años.
10,0+	Legendario o apocalíptico	Nunca registrado.	En la historia de la humanidad (y desde que se tienen registros históricos de los sismos) nunca ha sucedido un sismo de esta magnitud.

Fuente: Servicio Geológico de Estados Unidos.

Además de lo anterior y teniendo en cuenta el Mapa de Intensidades Máximas Observadas para Colombia la zona de estudio se encuentra bajo una intensidad de 4, definida como “observado ampliamente” y los tipos de efectos que ocasiona son percibidos por muchas personas al interior de edificaciones y por pocos en el exterior, este hecho hace que la sismicidad en el área de estudio no revista importancia significativa.

Figura 5.1-11 Intensidad Observada Grados de intensidad



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

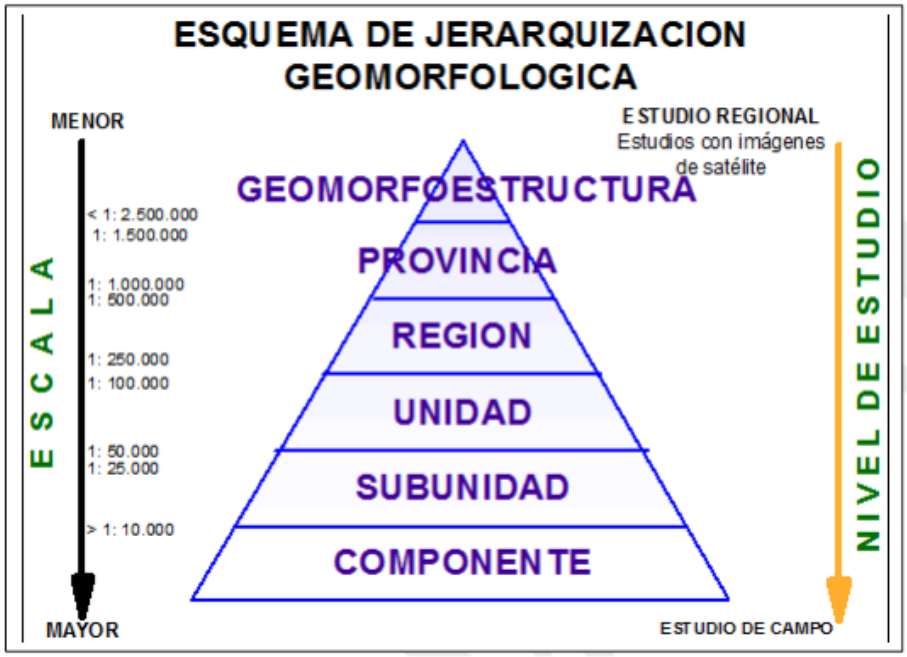
5.1.2 Geomorfología

5.1.2.1 Geomorfología Regional

El punto de partida para la generación del estudio geomorfológico del proyecto Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV fue la Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas

geomorfológicos del Servicio Geológico Colombiano (SGC)[4] y la Memoria explicativa mapa geomorfológico aplicado de la Plancha 24 – Sabanalarga[5]. Estos documentos sugieren una jerarquización geomorfológica que se fundamenta en el análisis de Unidades de Relieve, según el nivel de estudio, escala de la información y la homogeneidad de los materiales en cada una de éstas

Figura 5.1-12 Esquema de Jerarquización Geomorfológica



Fuente: (SGC, 2015)

Teniendo en cuenta el esquema de jerarquización geomorfológica las unidades de relieve se definen como se expresa a continuación:

5.1.2.1.1 Geomorfoestructuras (escala 1:1.000.000)

Se refieren a grandes espacios -sean continentales o intercontinentales- que se caracterizan por estructuras regionales, que incluyen cratones, escudos, plataformas, grandes cuencas, cinturones orogénicos y valles en rift.

[4] *Servicio Geológico Colombiano, SGC. Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa. Escala 1:100.000. 2012. Bogotá D.C:*

[5] *Servicio Geológico Colombiano, SGC. Memoria explicativa mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa ESC 1:100.000. Plancha 24 – Sabanalarga. 2016. Medellín.*

5.1.2.1.1.1 Provincia Geomorfológica (escala 1:1.000.000 a 1:500.000)

Regiones que presentan geoformas parecidas, definidas a nivel regional. Localmente abarcan las regiones naturales y terrenos geológicos de Colombia, los cuales están delimitados por fallas de importancia regional -definidas o inferidas-. Incluyen los cinturones montañosos, llanuras, peniplanicies, cordilleras y serranías.

5.1.2.1.2 Región Geomorfológica (Escala 1:250.000 A 1:500.000)

Involucra a las geoformas relacionadas a la génesis de los paisajes, y definidas por un marco de ambiente morfogenético definido y afectados por procesos dinámicos parecidos. Aquí se pueden agrupar áreas equivalentes a vertientes que estén contenidas dentro de una provincia geomorfológica y que representen un ambiente morfogenético particular con condiciones climáticas homogéneas.

5.1.2.1.3 Unidades geomorfológicas (Escala 1:50.000 a 1:100.000)

Definidas como una geoforma individual genéticamente homogénea, generada por un proceso geomórfico construccional o destruccional de un ambiente geomorfológico particular. Corresponde a los elementos básicos que componen un paisaje o modelo geomorfológico, los cuales están definidos con criterios genéticos, morfológicos y geométricos en función de la escala el proceso natural que lo conformó.

5.1.2.1.4 Subunidad geomorfológica (escala 1:10.000 a 1:25000)

Definida por contrastes morfométricos y morfológicos que relacionan el tipo de material y la disposición estructural de los mismos. Se encuentran asociadas a procesos morfodinámicos actuales de meteorización, erosión, transporte y acumulación bien definidos.

5.1.2.1.5 Componente o elemento geomorfológico (escala 1:2.000 a 1:10.000)

Representa el máximo nivel detalle. Abarca los rasgos del relieve (escarpes naturales o antropogénicos, relieves internos de laderas o flancos crestas, formas de valle, etc.) que se definen en sitios puntuales, determinados por la morfometría detallada del terreno en una subunidad geomorfológica; también puede estar definida por micro relieves asociados a una característica litológica.

Teniendo en cuenta la jerarquización y considerando la escala del presente estudio la mejor opción de clasificación geomorfológica es por medio de componentes o elementos geomorfológicos los cuales corresponden a una escala de 1:2.000 hasta 1:10.000, comprenden un alto nivel de detalle y abarcan rasgos del relieve como escarpes naturales o antrópicos, relieves internos de laderas o flancos crestas y formas de valles definidos en sitios puntuales determinados por la morfometría detallada del terreno en una subunidad geomorfológica y también definida por micro relieves asociados a una característica litológica.

A nivel general El Proyecto Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV se encuentra sobre una Terraza de Acumulación Antigua, pero a su alrededor se encuentran algunas otras unidades que a nivel regional pueden revestir importancia.

5.1.2.2 Análisis Multitemporal

El análisis multitemporal morfodinámico se realizó con base en la interpretación visual del vuelo C985 Fotografía 38, del instituto geográfico Agustín Codazzi (IGAC), año 1980, escala 1:24.000 y de imagen Lidar tomada en el año 2021, con resolución de 10 cm, la cual es un producto propiedad de Guayepo Solar III.

La interpretación visual consistió en la identificación y delimitación sobre las imágenes, de los procesos morfodinámicos, y de esta manera, 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.

5.1.2.2.1 Vuelo C985-38

La imagen muestra principalmente el sector que corresponde al parque solar, a su vez se pueden diferenciar cinco zonas las cuales muestran el grado de intervención que se ha tenido hasta ese año (2021) el área de estudio.

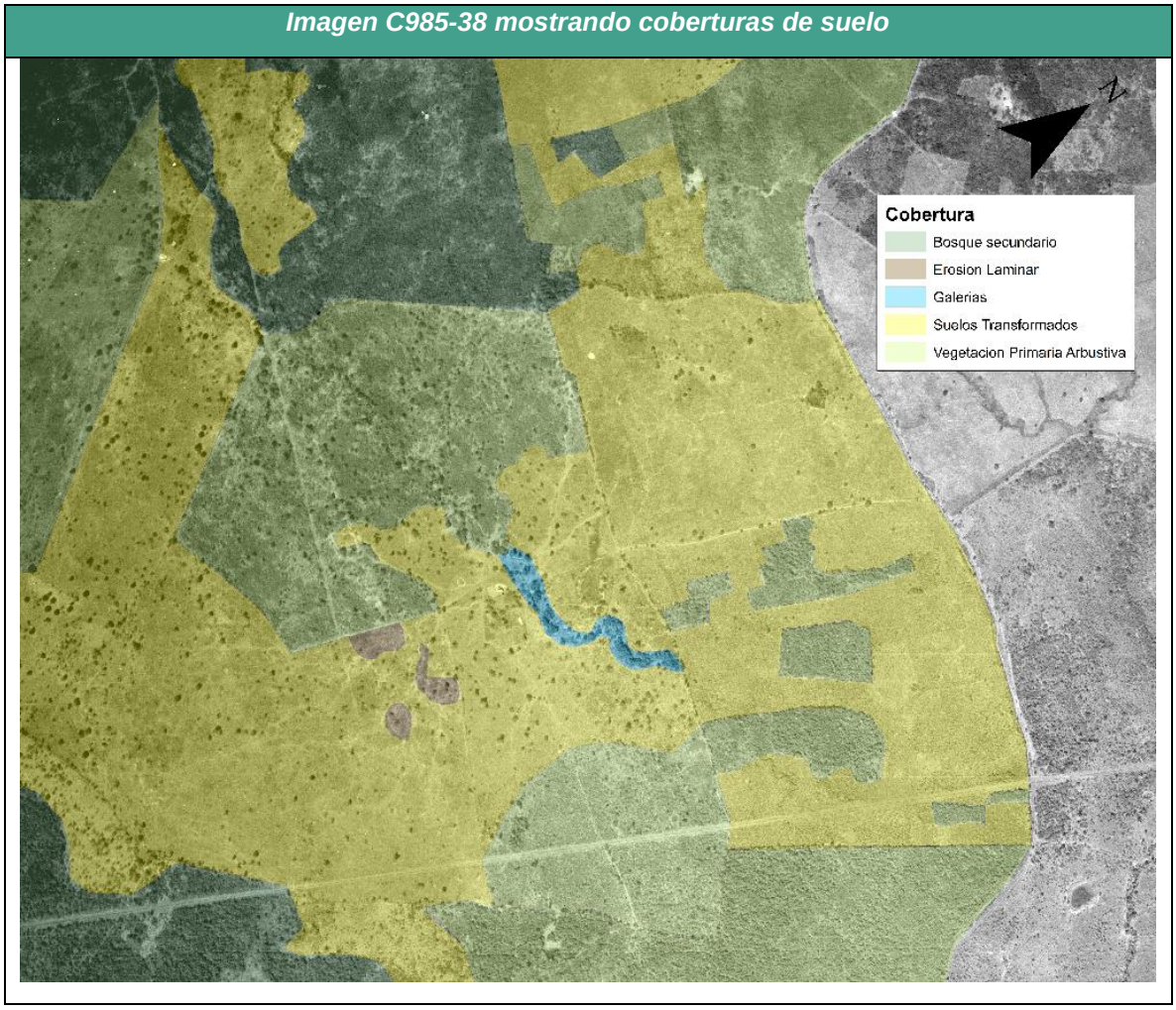
Hacia la parte central de la imagen con amarrillo se observa una zona de suelos transformados en donde se cambió la vegetación original por pastos bajos los cuales sirven para el pastoreo de ganado, a su vez sobre este mismo sector se observan procesos de erosión laminar la cual se extiende a varias zonas, adicional a lo anterior en color azul se puede diferenciar un sector de galería la cual todavía se conserva, pero con menor vegetación.

La parte superior izquierda e inferior izquierda de la imagen muestra bosques secundarios en donde se ha tenido una intervención, pero en menor proporción que en otras zonas, la vegetación característica son árboles y arbustos.

Existen otros sectores los cuales se denominaron vegetación primaria arbustiva, aquí la vegetación es de poca altura compuesta de arbustos y con mayor espaciamiento que los bosques secundarios.

Debido a las condiciones del terreno, superficie plana o con baja inclinación, no se evidencian procesos de remoción en masa de tipo gravitacional. Por último, se distinguen pequeños arroyos que muy posiblemente son de tipo intermitente y solo transportan agua en temporadas invernales.

Figura 5.1-13 Zonificación de imagen C985-38 mostrando coberturas de suelo y procesos denudativos[6]



Fuente: Fotografía C985-38 IGAC, modificada por (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.2.2.2 Imagen Lidar

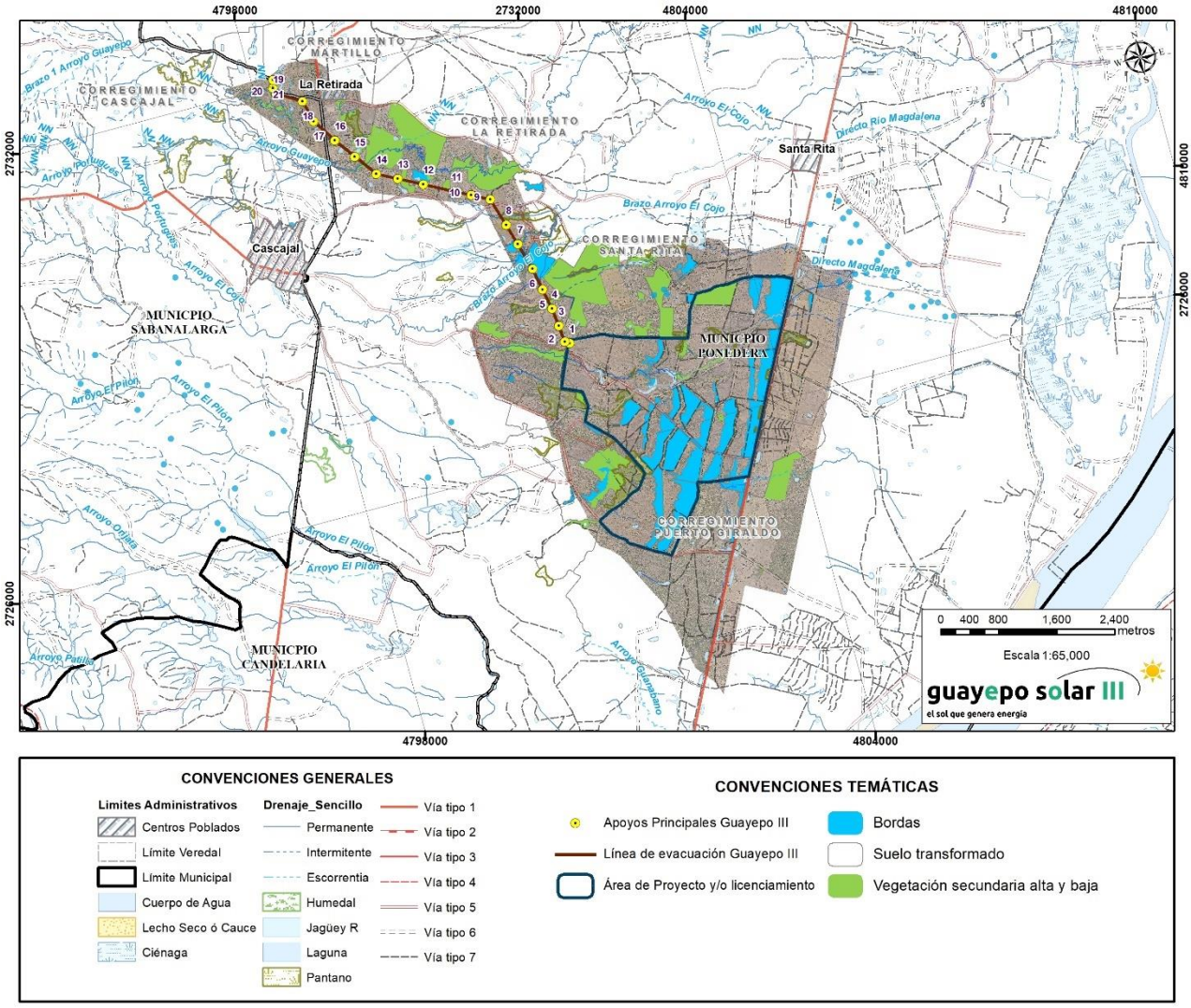
La Imagen Lidar tomada en febrero de 2021 muestra en su totalidad el área de proyecto y/o licenciamiento Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV, en ella se pueden diferenciar tres sectores principales, vegetación secundaria alta y baja la cual se caracterizan por presentar vegetación arbórea con amplio espaciamiento lo que puede indicar que ha sido de cierta forma

[6] *Para ver información más a detalle ver anexo cartográfico (Anexo 11)*

intervenido mediante procesos de tala. Un segundo sector está representado por galerías de pequeños arroyos que muy posiblemente son de tipo intermitente y solo transportan agua en temporadas invernales. El tercer sector corresponde a suelos transformados en los cuales se evidencian procesos de erosión laminar, este sector se caracteriza por la eliminación de la cobertura vegetal original y el reemplazo por pasturas y estructuras de canalización y almacenamiento de agua denominados “Cuerpos de agua artificial-Bordas”. Estos cuerpos de agua artificial - Bordas han dado orígenes a pequeñas zonas pantanosas los cuales son intermitentes y su existencia depende de la existencia de agua.

Finalmente, la parte norte de la imagen que corresponde a la línea de evacuación se tienen presencia de centros poblados (La Retirada, Cascajal, Santa Rita, Martillo y Puerto Giraldo) sin que estos impliquen inconvenientes para el desarrollo del proyecto.

Figura 5.1-14 Imagen Lidar zona correspondiente al Parque Solar Fotovoltaico 200MV y línea de evacuación de 500 kV[7]



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.2.2.3 Conclusiones

El vuelo C985-38 permite identificar polígonos con concentración de procesos erosivos, principalmente hacia el centro de donde se proyecta la construcción del parque solar fotovoltaico, estos mismos procesos no se evidencian en la imagen Lidar tal vez por la dinámica que ha tenido el mismo sector durante el tiempo y los

7

cambios de uso de suelo, a su vez la imagen Lidar presenta más procesos erosivos especialmente en los sectores intervenidos con los Cuerpos de agua artificial-Bordas.

La cobertura de bosque secundario que se observa en el vuelo C985-38, se transforma en vegetación secundaría alta y baja en la imagen Lidar de febrero de 2021, notándose disminución del recurso y mayor espaciamiento entre árboles.

En general se observa la creación de pequeñas zonas pantanosas debidas a las acumulaciones artificiales de agua, este hecho ha causado un impacto positivo en el sector ya que se originó lugares de almacenamiento de agua que actúan intermitentemente y dependen de la dinámica que los dueños del predio quieran dar al movimiento y almacenamiento de agua.

5.1.2.3 Geomorfología Local

A nivel local, mediante la utilización de sensores remotos y evaluación se pudieron diferenciar cuatro unidades geomorfológicas de tipo denudativo, fluvial y antrópica. Ver Anexo 11. Cartografía/ MP-EIA-GUYII-07-GM.

5.1.2.3.1 Parque Solar Fotovoltaico

La zona del parque solar se encuentra dentro de una unidad geomorfológica conocida como Terraza de Acumulación Antigua (ver Fotografía 5.1-7), en el terreno esta unidad se caracteriza por ser ligeramente inclinada a plana, su inclinación se da en dirección sureste y a medida que se va acercando al rio Magdalena se observa una superficie más plana, (ver Fotografía 5.1-8).

Esta unidad geomorfológica se caracterizada por presentar una ladera basculada hacia el cauce del rio magdalena y pendientes menores a 10° limitada por escarpes de disección y compuesto litológicamente por depósitos de llanura aluvial con limos y arenas de grano fino.

Fotografía 5.1-7 Terraza de acumulación antigua Parque Solar



Terraza de acumulación Antigua Parque solar
Estación de control PCP-01 Corregimiento El Uvero
Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12):
E 4802429 – N 2726494

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Fotografía 5.1-8 Terreno ligeramente inclinado dentro del parque solar



Terraza de acumulación Antigua Parque solar
Estación de control PCP-10 Corregimiento El Uvero
Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12):
E 4802228 – N 2726377

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Además de lo anterior la zona del parque solar se encuentra intervenida ampliamente por ganadería expansiva por tal razón se han construido gran cantidad de cuerpos de agua artificial, bordas y sistemas de conducción y depositación de

agua lo que ha dado origen a geoformas típicas de del movimiento de tierras con maquinaria de forma cóncava e irregular, (ver Fotografía 5.1-9 y Fotografía 5.1-10).

Fotografía 5.1-9 Unidad antropogénica de excavación



Unidad Antropogénica de Excavación
Estación de control PCT-11 Corregimiento Santa Rita
Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12):
E 4799764 – N 2730157

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Fotografía 5.1-10 Formas cóncavas unidad antropogénica de excavación



Unidad Antropogénica de Excavación
Estación de control PCP-32 Corregimiento Santa Rita
Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12):
E 4802811 – N 2726357

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.2.3.2 Línea de Evacuación

Se encuentra sobre tres unidades geomorfológicas que son las cuales se nombran a continuación:

5.1.2.3.2.1 Unidad Antropogénica de Excavación (Ase)

Corresponde a sectores adaptados con maquinaria para la construcción de estanques o cuerpos de agua artificial y bordas, en sectores aledaños a la Línea de Evacuación se observan gran cantidad de estas estructuras en las que se acumula agua la cual es utilizada en ganadería, (ver Fotografía 5.1-11 y Fotografía 5.1-12).

Fotografía 5.1-11 Acondicionamiento de excavaciones para actividades pecuarias



Vuelo Drone - Unidad Antropogénica de Excavación
Estación de control PCP-32 Corregimiento Santa Rita
Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12):
E 4802811 – N 2726357

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Fotografía 5.1-12 Estructuras que forman estanques para almacenamiento de agua lluvia



Vuelo Drone - Estanque Piscícolas
Estación de control PCP-32 Corregimiento Santa Rita
Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12):
E 4802711 – N 2726557

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.2.3.2.2 Planicie Ondulada (Dpo)

Incluye geoformas formadas por acción de procesos de meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional dejando remanentes de las unidades preexistentes y creando nuevas por la acumulación de sedimentos.

Geoforma de este tipo identificadas en la zona de estudio se caracterizan por presentar pequeños montículos conformados por sedimentos tamaño arena transportados por el viento y sedimentos de baja competencia como lo son los depósitos coluvio-aluviales, los cuales incrementan la pendiente del terreno, (ver Fotografía 5.1-13).

Fotografía 5.1-13 Depósitos con pequeños montículos y crestas



Planicie Ondulada
Estación de control PCT-19 Corregimiento de cascajal
Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12):
E 4798256 – N 2731995

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

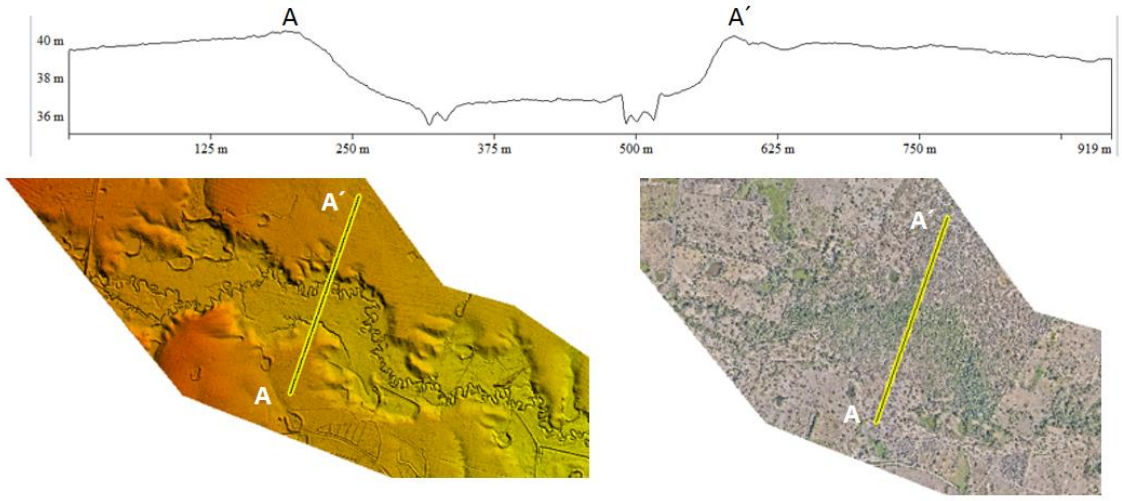
5.1.2.3.2.3 Planos de Inundación (Fpi)

Se incluyen geoformas originadas por procesos de erosión de las corrientes de arroyos en épocas de grandes avenidas e inundaciones, es posible encontrar depósitos transportados y acumulados por la pérdida de los arroyos de la capacidad de arrastre.

En general en este sector se observan superficie de morfología plana y un índice de relieve bajo, que se inunda eventualmente durante períodos de lluvia prolongadas, (ver Fotografía 5.1-14 y Fotografía 5.1-15).

El perfil general de los planos de inundación corresponde a pequeños valles en "U" abiertos, ver Figura 5.1-15.

Figura 5.1-15 Perfil típico de un plano de inundación determinado en sector de la línea de evacuación



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Fotografía 5.1-14 Vista en planta unidad de planicie de inundación



Vuelo Drone – Planicie Inundación
Estación de control PCP-32 Corregimiento Santa Rita
Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12):
E 4799684– N2730617

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Fotografía 5.1-15 Topografía típica unidad de planicie de inundación



Planos de Inundación
Estación de control PCT-14 Corregimiento La retirada
Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12):
E 4799134 – N 2730741

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

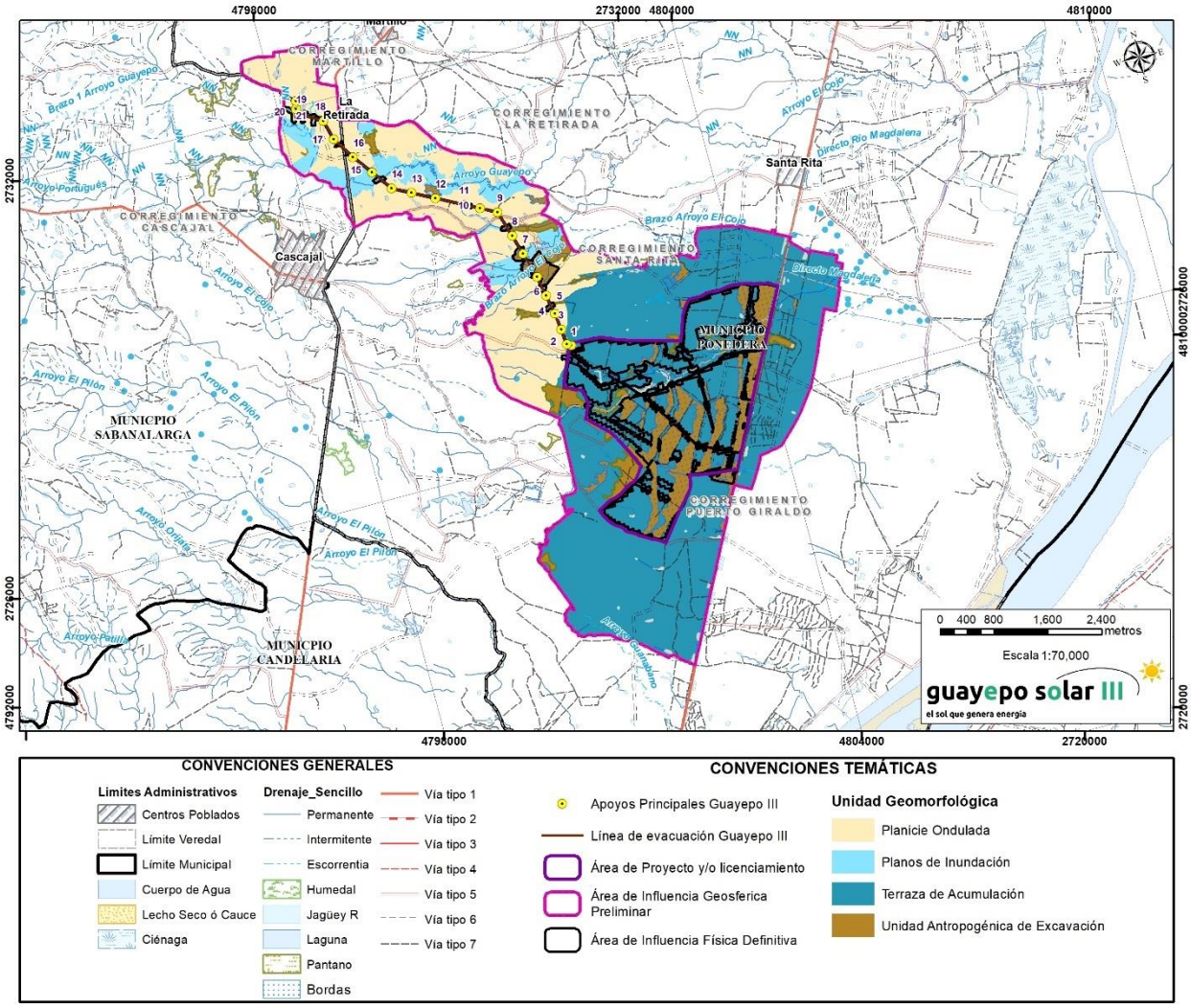
En la Figura 5.1-16 y Tabla 5.1-6 muestra las unidades geomorfológicas locales para el área de influencia preliminar geosférica.

Tabla 5.1-6 Unidades Geomorfológicas del área de influencia

UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	NOMENCLATURA	AI Geosférica Preliminar (ha)	%	AI Física Definitiva	%	Área proyecto o licenciamiento	%
Unidad Antropogénica de Excavación	Ase	322.98	12.01	247.93	39.17	197.32	28.67
Planicie Ondulada	Dpo	647.45	24.07	13.71	2.17	30.01	4.36
Planos de Inundación	Fpi	165.36	6.15	2.46	0.39	3.21	0.47
Terraza de Acumulación Antigua	Ftan	1554.47	57.78	368.83	58.27	457.75	66.50
ÁREA TOTAL		2690.26	100	632.93	100.00	688.30	100.00

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Figura 5.1-16 Unidades geomorfológicas locales



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.2.3.3 Susceptibilidad de procesos erosivos y Susceptibilidad de remisión en masa

En respuesta al requerimiento 6b, el cuál cita **"*Evaluar y cartografiar la susceptibilidad a los procesos erosivos.*"** se incluye el siguiente análisis. Uno de los métodos más utilizados para el cálculo de la susceptibilidad de la erosión y que ha tenido mayor aceptación y difusión ha sido la Ecuación Universal de la

Pérdida de Suelo (USLE). Esta ecuación establece seis factores diferentes como los responsables de las pérdidas anuales de suelo:

$$A= R * K * L * S * C * P$$

Donde:

- R= Erosividad de las lluvias
- K= Erosionabilidad del suelo
- L= Longitud de ladera
- S= Pendiente
- C= Cobertura vegetal
- P= Practicas de manejo

5.1.2.3.3.1 Erosividad de la lluvia (R)

La Erosividad de la lluvia se puede definir como la agresividad que esta ejerce sobre el suelo, representa la energía con que las gotas de lluvia que caen a una determinada intensidad pueden romper los agregados superficiales en partículas de tamaño transportable.

La erosividad es función de la energía cinética (E) y de la intensidad de la precipitación (I). La primera, relaciona el tamaño y la velocidad de caída de las gotas y la segunda relaciona la cantidad con la duración. Por tanto, se trata de un parámetro complejo de calcular pues relaciona cuatro propiedades (cantidad y duración, diámetro y velocidad de las gotas de lluvia).

El índice propuesto por la ecuación universal de la pérdida de suelo (USLE) para cuantificar este efecto erosivo de las lluvias debido a su intensidad presenta la siguiente expresión:

$$R = \sum_{i=1}^{n} EI_{30}$$

Donde:

- R representa el Índice de Erosividad de la lluvia
- n es el número de aguaceros del periodo considerado
- I30 es la intensidad máxima en 30 minutos para cada evento [mm/h]
- E es la energía cinética del aguacero que se estima mediante las siguientes fórmulas [MJ/ha].

Diversos autores han intentado relacionar el factor R con parámetros más fáciles de obtener y calcular. Con este propósito, FOURNIER (1960) estableció el índice de agresividad climática o Índice de Fournier (IF) cuyo cálculo se realiza a partir de los datos pluviométricos de estaciones meteorológicas representativas, según la siguiente ecuación:

$$IF = \frac{P_{máx}^2}{P}$$

Donde:

- IF es el Índice de Fournier
- Pmáx es la precipitación media correspondiente al mes más lluvioso [mm]
- P es la precipitación media anual [mm].

Por último, ARNOLDUS (1978) propuso una corrección del Índice de Fournier para considerar no sólo la precipitación mensual del mes más húmedo, sino también la del resto de los meses. Este Índice de Modificado de Fournier (IMF) caracteriza la agresividad de la precipitación y se calcula de la siguiente forma:

$$IMF = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P_t}$$

Donde:

- pi es la precipitación de cada mes [mm]
- Pt es la precipitación media anual [mm].

5.1.2.3.3.2 Erosionabilidad del suelo

El valor de K de la USLE es un valor cuantitativo determinado experimentalmente obtenido por medición directa en campo durante un año de las pérdidas ocasionadas por las lluvias en las condiciones normalizadas establecidas para las parcelas tipo USLE (22 m de longitud, 9% de pendiente y suelo en barbecho labrado a favor de la pendiente). Se corresponde con las pérdidas anuales medias de suelo por unidad del factor R:

$$A = R \times K \times 1 \times 1 \times 1$$

luego $K = A/R$

En la práctica, para las estimas en oficina su valor se determina a partir de un nomograma desarrollado por Wischmeier y Smith, o aplicando directamente la ecuación de regresión, a partir de los datos experimentales obtenidos con lluvias simuladas.

Los parámetros físicos significativos en la erosionabilidad de los suelos son:

- Textura
- Materia orgánica
- Estructura
- Permeabilidad

En ocasiones no se dispone de información de alguno de estos parámetros pues su obtención exige realizar análisis de laboratorio y/o experiencias de campo en puntos representativos de las condiciones del entorno. Una alternativa es recurrir a la información litológica aprovechando que existe una estrecha relación entre el tipo de suelo de una zona y el material parental subyacente.

Para determinar la Erosionabilidad del suelo se tomaron como referencia valores de la Tabla 5.1-7.

Tabla 5.1-7 Erosionabilidad del Suelo

FACTOR K	LITOLOGÍA
0.2	"SC 1 Conglomerados"
0.2	"SC 1-2 Conglomerados y areniscas"
0.2	"SC 1-2-4 Conglomerados, areniscas y arcillas"
0.2	"SC 1-4 Conglomerados y arcillas"
0.2	"SC 1-10 Conglomerados y margas"
0.3	"SC 2 Areniscas"
0.3	"SC 2-4 Areniscas y arcillas"
0.3	"SC 2-10 Areniscas y margas
0.4	"SC 4 Arcillas"
0.4	"SC 4-2 Arcillas y areniscas"
0.4	"SC 4-10 Arcillas y margas"
0.3	"SC 5 Calcáreas"
0.3	"SC 5-2 Calcáreas y areniscas"
0.3	"SC 5-6 Calcáreas y calcarenitas"
0.3	"SC 5-7 Calcáreas y calcáreas margosas"
0.3	"SC 5-9 Calcáreas y dolomias"
0.3	"SC 5-10 Calcáreas y margas"
0.3	"SC 6 Calcarenitas"
0.3	"SC 6-10 Calcarenitas y margas"
0.3	"SC 7 Calcáreas margosas"
0.3	"SC 7-10 Calcáreas margosas y margas"
0.3	"SC 8 Calcáreas tovacias"
0.3	"SC 9 Dolomías"
0.3	"SC 9-5 Colomías y calcáreas"
0.3	"SC 9-10 Dolomías y margas"
0.5	"SC 10 Margas"
0.5	"SC 10-2 Margas y areniscas"
0.6	"SC 12 Arcillas, margas y yesos"
0.2	"SI 2 Cantos y gravas"
0.2	"SI 2-3 Cantos, gravas y arenas"
0.2	"SI 2-3-4 Cantos, gravas, arenas y limos"
0.2	"SI 2-3-5 Cantos, gravas, arenas y arcillas"
0.2	"SI 2-4 cantos, gravas y limos"
0.2	"SI 2-5 Cantos, gravas y arcillas"
0.2	"SI 3 Arenas"
0.2	"SI 3-2 Arenas, gravas y cantos"
0.2	"SI 3-4 Arenas y limos"
0.2	"SI 3-5 Arenas y arcillas"
0.5	"SI 4 Limos"
0.5	"SI 4-2 Limos, gravas y cantos"
0.5	"SI 4-3 Limos y arenas"
0.5	"SI 4-5 Limos y arcillas"
0.4	"SI 5 Arcillas"
0.4	"M-1 Pizarras y cuarzitas"
0.4	"M-2 Rocas carbonatadas y filitas"
0.4	"M-3 Metabasitas"
0.2	"V-1 Basaltos"
0.2	"V-2 Ofitas"
0.2	"V-3 Brechas y tovas volcánicas"

Fuente. Gisbert e Ibáñez, 2003.

Longitud de ladera (LS)

Los factores topográficos se refieren a la longitud de la ladera (L) y su pendiente (S) y ambos forman el factor conocido como LS. El factor LS se calcula mediante la fórmula de Moore & Burch (1986):

$$LS = (\text{Flow accumulation} * (\text{cell size}) / 22{,}13)^{(0{,}4)} \cdot (\text{sinslope} / 0{,}0896)^{1{,}3}$$

Donde:

- Flow Accumulation es el número de celdas que contribuyen al flujo en una celda dada
- cell size es la longitud del tamaño de un lado de las celdas
- sinslope es el seno de la pendiente en radianes.

Pendiente (factor S)

Se Calcula determinando la pendiente en grados para después transformarla a radianes. Mediante la utilización del modelo digital de terreno de la zona de estudio se determinan las pendientes y grados.

Longitud de ladera (factor L)

El cálculo de la longitud de ladera se realiza en base al raster de acumulación de flujo. Este mapa de acumulación de flujo representa las celdas en las que se acumula el agua al fluir desde las celdas con mayor valor de altitud.

Índice de Cobertura Vegetal (C)

El factor C representa la efectividad de las plantas como cubierta protectora del suelo frente a la energía de impacto de las gotas de lluvia y a la fuerza del flujo superficial.

Para el presente estudio se utilizaron los mapas de vectores de suelos y se les dio una valoración mediante la utilización de la Tabla 5.1-8

Tabla 5.1-8 Índice de Cobertura Vegetal - Factor C

Clase	Factor C	Descripción
1	0,1	Bosque y Selva Nublada
2	0,2	Bosque, Cultivos y Pastizales
3	0,3	Matorrales y Pastizales
4	0,4	Cultivos y Pastoreo
5	0,5	Cultivos y Arbustales
6	0,6	Vegetación Escasa
7	0,9	Vegetación Semiárida y Terrenos y Cultivos
8	1	Suelo desnudo

Fuente. r Dumas (2012) Almorox, et al. (2010)

Prácticas de manejo (P)

No se pudieron determinar prácticas de manejo en la zona de estudio por lo que se asumirá el factor P como 1.

Por otro lado, en respuesta al requerimiento 6a, el cuál cita **" *Identificar, describir y georreferenciar los procesos morfodinámicos en los sitios de torre y zonas de mayor pendiente.*"** se especifica que en su totalidad, los sitios de torre se caracterizan por estar localizados en zonas planas, con poca influencia de factores externos que puedan afectar de manera significativa el terreno, sin embargo, se lograron identificar procesos de erosión laminar en algunos sitios de torre (Ver Tabla 5.1-10). Lo anterior no implica problemas de estabilidad, pero si se pueden tomar algunas acciones correctivas como empradización, con el fin de proteger la capa de suelo y evitar su denudación.

Así mismo dentro del análisis se tuvieron en cuenta parámetros como el área, volumen, pendiente, material afectado y descripción de material afectado para definir los procesos morfodinámicos. Lo anterior se puede evidenciar en la siguiente tabla.

Tabla 5.1-9 Parámetros de procesos morfodinámicos

Parámetro	Descripción
Área	Erosión muy localizada y por su naturaleza laminar no es posible cuantificar su área, ya que son parches en el suelo de diferente extensión no superior a 2 metros cuadrados
Volumen	Por su naturaleza la erosión laminar no es posible determinar el volumen ya que este tipo de erosión se presenta en costras de poca extensión areal.
Pendiente	Se presentaron dos puntos, Torre 12 con cambio de pendiente por borda altura mínima de 40.33 metros altura máxima de 41 metros y Torre 17 con cambio de pendiente con altura mínima de 51 metros altura máxima de 52 metros
Material afectado	Suelos Areno limosos
Descripción del material afectado	Suelos de composición arenosa de grano fino a medio.

Fuente: INGENOSTRUM Colombia, 2021

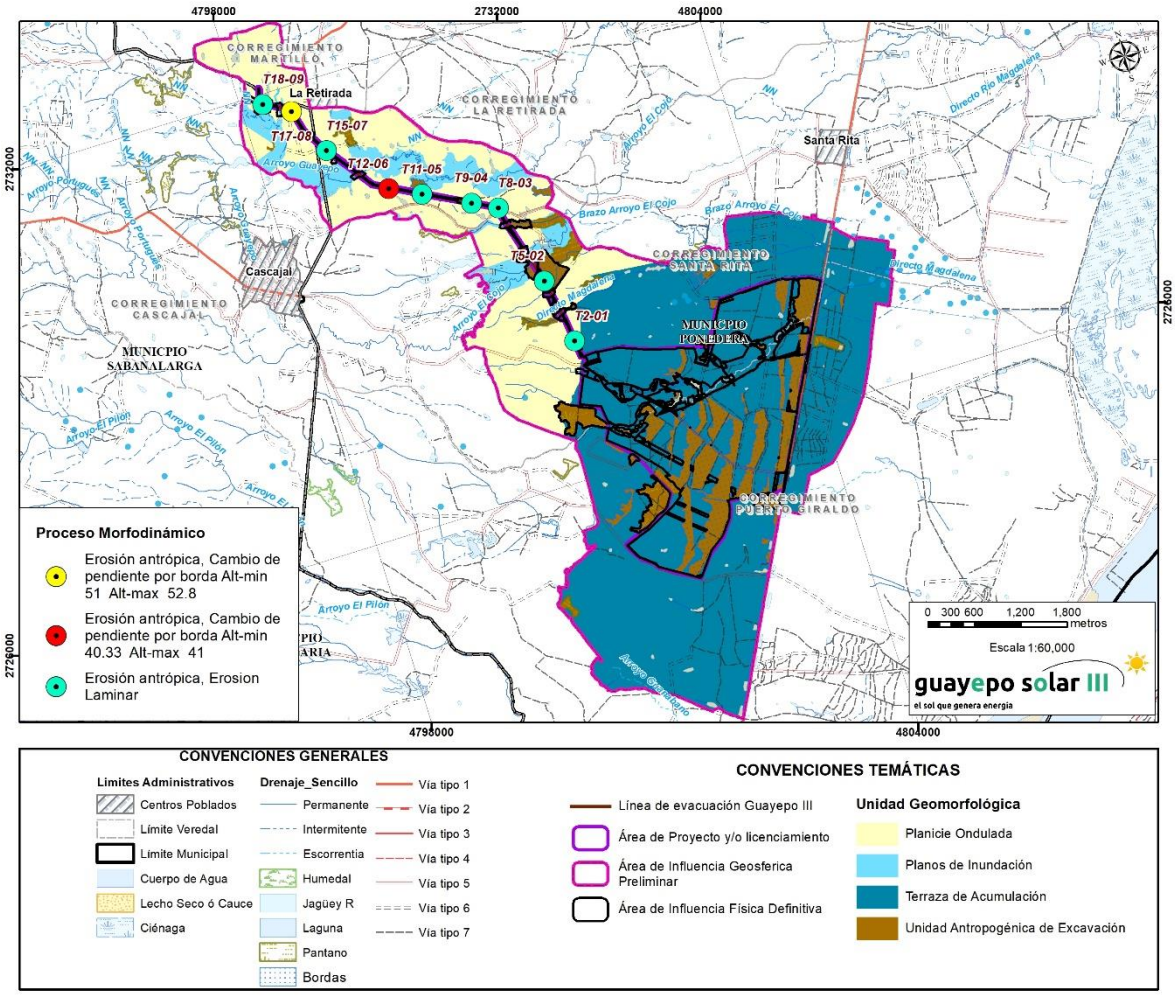
En la Tabla 5.1-10 y Figura 5.1-17, se presenta el listado de sitios que presentaron erosión laminar:

Tabla 5.1-10 Sitios de torre que presentaron erosión laminar

Sitio de Torre	Tipo Erosión	Coordenadas Origen Único Nacional CTM-12		Descripción
		X	Y	
Torre 2	Erosión Antrópica	4801226,42	2727767,73	Erosión Laminar
Torre 5	Erosión Antrópica	4801081,95	2728624,16	Erosión Laminar
Torre 8	Erosión Antrópica	4800794,18	2729700,71	Erosión Laminar
Torre 9	Erosión Antrópica	4800482,34	2729863,34	Erosión Laminar
Torre 11	Erosión Antrópica	4799905,66	2730161,38	Erosión Laminar
Torre 12	Erosión Antrópica	4799517	2730357,4	Cambio de pendiente por borda Alt-Min 40.33 Alt-Max 41
Torre 15	Erosión Antrópica	4798896,75	2731066,17	Erosión Laminar
Torre 17	Erosión Antrópica	4798614,71	2731682,98	Cambio de pendiente por borda Alt-Min 51 Alt-Max 52.8
Torre 18	Erosión Antrópica	4798290,26	2731881,33	Erosión Laminar

Fuente: INGENOSTRUM Colombia, 2021

Figura 5.1-17. Procesos Morfodinámicos en sitios de torre



Fuente: INGENOSTRUM Colombia, 2021

5.1.2.3.3.3 Susceptibilidad de Erosión

A continuación, se presenta la categorización de la susceptibilidad a la erosión que se logró determinar en la zona de estudio en donde influyen factores como textura de los suelos, tipo de material parental. Y las implicaciones ambientales frente a cada una de las categorías se analiza de la siguiente manera.

Susceptibilidad de Erosión Alta

Se pueden presentar suelos bien desarrollados y profundos, donde la erosión laminar es importante, por la escasa vegetación y situaciones de suelos poco profundos, en zonas de suelos muy compactos, que se ven protegidos por una vegetación natural de escaso desarrollo. Los suelos con susceptibilidad alta se encuentran en un equilibrio inestable de muy fácil ruptura hacia la degradación por erosión.

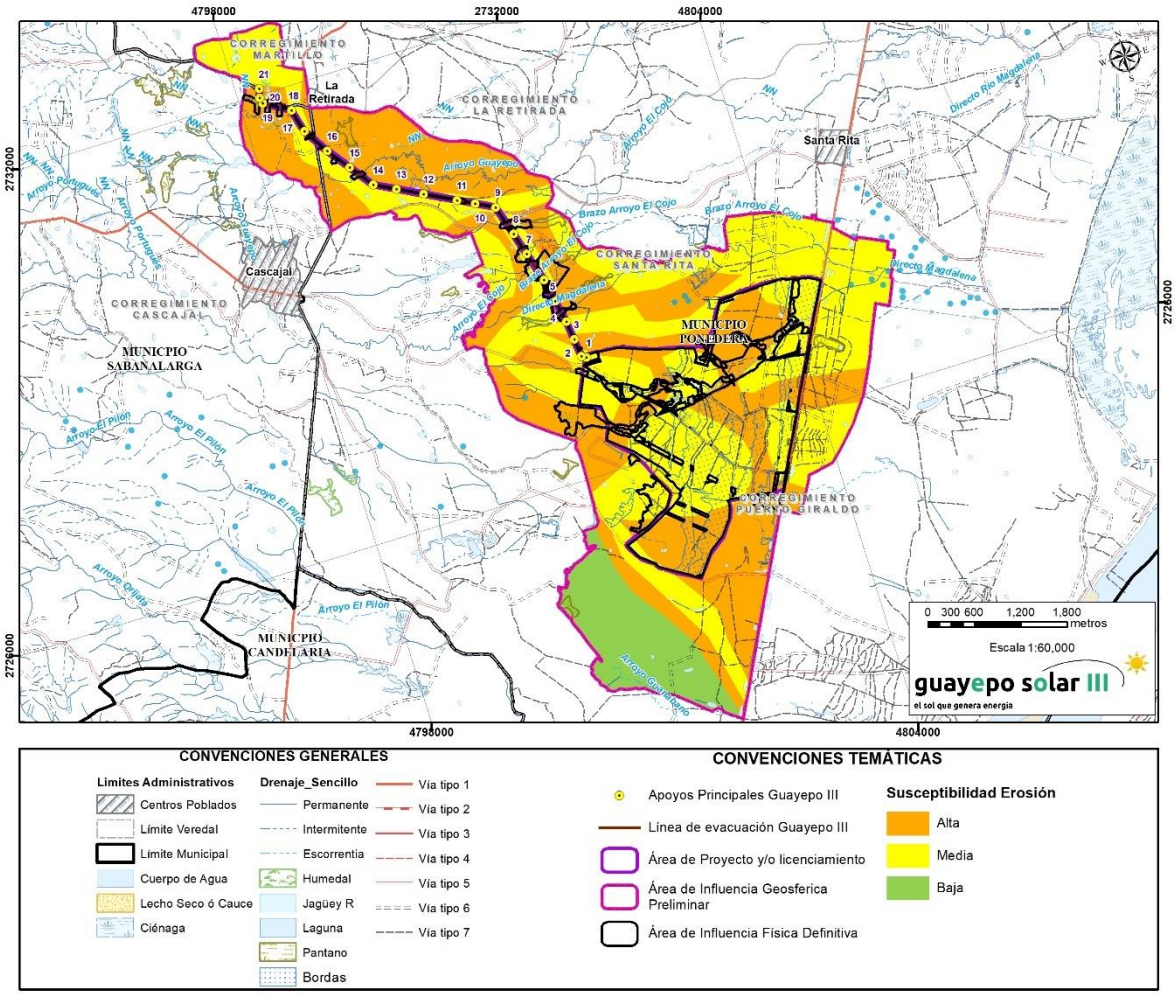
Susceptibilidad de Erosión Media

Son suelos con alta intervención antrópica provistas de rastrojos bajos o con una cobertura de vegetación natural de mediana altura. La erosión laminar actúa con cierta importancia. La susceptibilidad media se encuentra presente en sectores del parque solar y la línea de evacuación en donde es normal encontrar parches de suelo expuesto fuertemente degradado.

Susceptibilidad de Erosión Baja

Suelos con abundante vegetación muy intensa o zonas donde fenómenos especiales pueden impedir la actuación de factores externos causantes de posible degradación. La agresividad de la lluvia y el viento no actúa con mucha intensidad debido a la cobertura vegetal existente, pero determinados usos humanos pueden favorecer la actuación de la erosión laminar de forma moderada.

Figura 5.1-18 Susceptibilidad de Procesos Erosivos



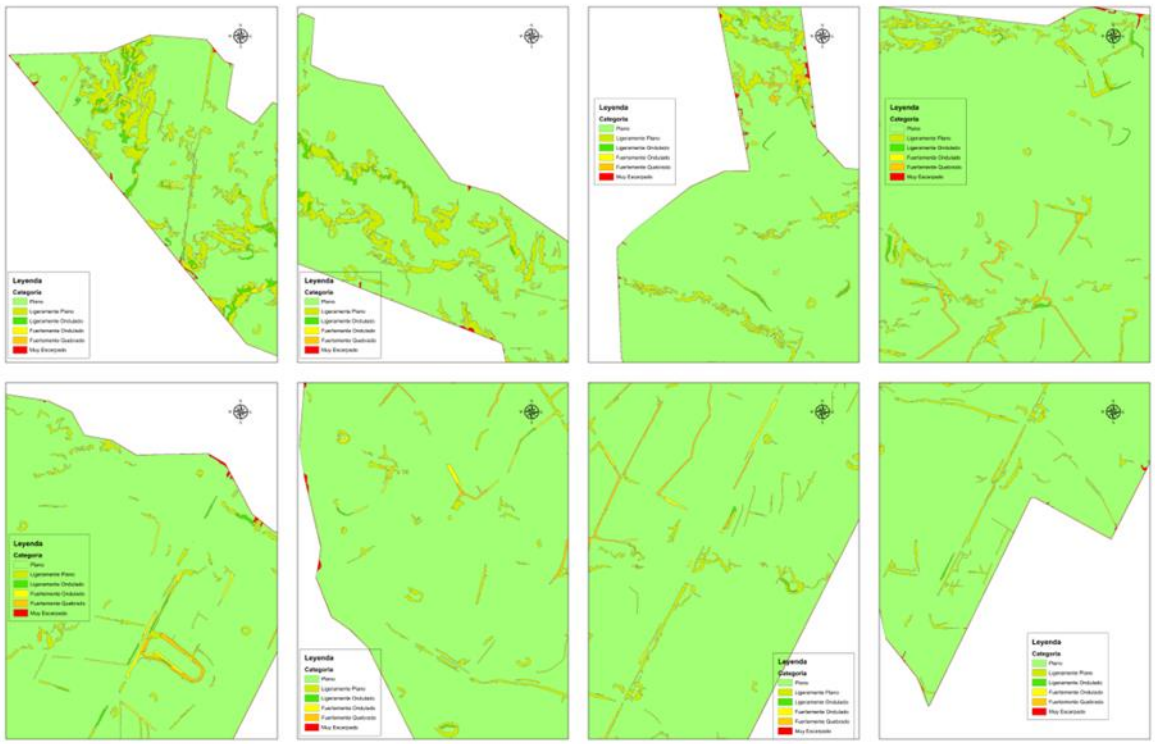
Fuente: INGENOSTRUM Colombia, 2021

5.1.2.4 Pendientes

Para la realización del Mapa de pendientes (Ver anexo 11. Cartografía) del proyecto Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV se tomó como base el modelo digital de terreno generado con sistema Lidar con precisión de 10 cm y teniendo en cuenta escala de clasificación de pendientes del IGAC se realizó una clasificación de pendientes que va desde plano a muy escarpado.

El resultado final es un mapa que muestra que casi la totalidad del área de estudio presenta una pendiente plana hay pequeños sectores con pendiente ligeramente plana y las mayores pendientes corresponden a las paredes de los rellenos antrópicos los cuales no revisten gran importancia para el proyecto, (ver Figura 5.1-19).

Figura 5.1-19 Mosaico de Imágenes del mapa de pendientes para el proyecto



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Se realizó una sectorización del área de estudio según sistema simple de clasificación del IGAC (Ver Tabla 5.1-11) en donde se expresa el grado de inclinación de la pendiente representada en porcentaje. El factor pendiente interviene en la escorrentía, el drenaje natural, la infiltración, la clase y grado de erosión y en el uso y el manejo de los suelos. En este sistema de clasificación únicamente se tiene en cuenta el gradiente, expresado en porcentaje (%).

Se considera que el valor 12% del gradiente de la pendiente es el punto crítico para la mecanización, con implementos de tracción de fuerza motriz, ya que a partir de ese valor se incrementa la susceptibilidad de los suelos a la erosión y se reduce la diversidad de cultivos, principalmente los limpios. En las clases de pendientes complejas, como las quebradas y escarpadas, el gradiente es factor decisivo para el uso y el manejo del suelo, como también para el desarrollo de procesos erosivos, si no se utilizan prácticas intensivas de conservación[8].

Tabla 5.1-11 Tabla de clasificación de pendientes

RANGO (%)	CATEGORÍA	COLOR
0-3	Plano	
3-7	Ligeramente Plano	
7-12	Ligeramente Inclinado	
12-25	Fuertemente Inclinado	
12-50	Fuertemente Quebrado	
50-75	Escarpado	
> 75	Muy Escarpado	

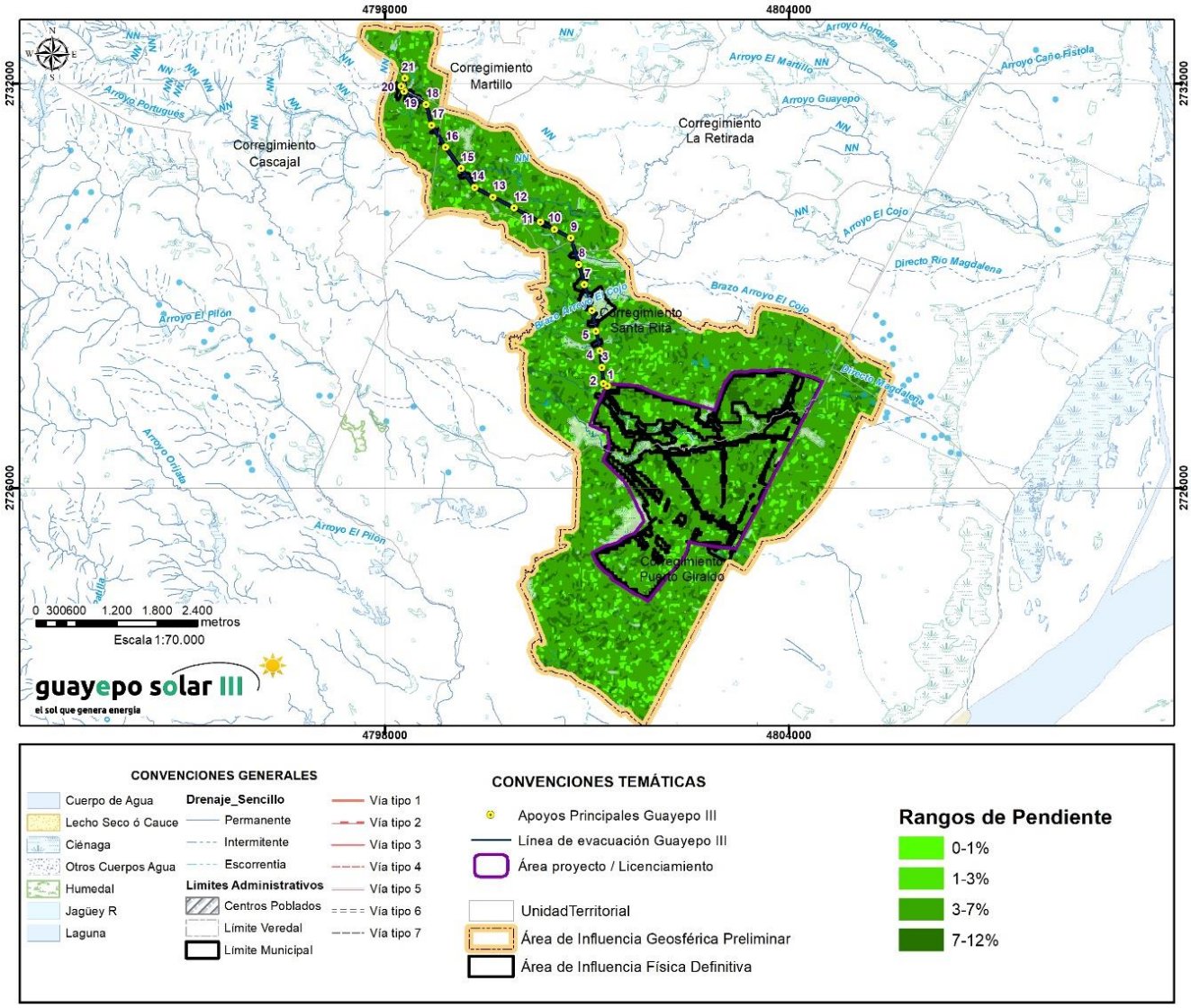
Fuente: (IGAC, 2014)

Teniendo en cuenta lo anterior y utilizando como principal insumo el modelo digital de terreno generado con Lidar con una resolución de 10 cm se logró clasificar las pendientes de la zona correspondiente al Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV tal como lo muestra la Figura 5.1-20 y la

Tabla 5.1-12.

[8] *IGAC. Metodología para la Clasificación de las Tierras por su Capacidad de Uso. Bogotá. 2014*

Figura 5.1-20 Mapa de pendientes del área de estudio[9]



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

[9] *Revisar Anexo 11. Cartografía para ver con mayor detalle la Figura*

Tabla 5.1-12 Clasificación de pendientes encontradas en el área de influencia preliminar Geosférica

PENDIENTE	AI Geosférica Preliminar (ha)	%	AI Física Definitiva	%	Área proyecto o licenciamiento	%
A nivel, 0-1% (a)	306.04	11.38	69.50	10.98	75.29	10.94
Ligeramente plana, 1-3% (a)	4.99	0.19	1.23	0.19	1.47	0.21
Ligeramente inclinada, 3-7% (b)	2055.01	76.39	474.34	74.94	515.19	74.85
Moderadamente inclinada, 7-12% (c)	324.21	12.05	87.86	13.88	96.35	14.00
ÁREA TOTAL	2690.26	100	632.93	100.00	688.30	100.00

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

De la figura y tabla anteriores se puede concluir que la clase de pendiente predominantes es la uno (1) la cual corresponde a pendientes entre 0 y 3% pertenecientes a una categoría plana, en segundo lugar, predomina la clase dos (2) con pendientes entre 3 y 7% las cuales se pudieron ver en los diferentes recorridos realizados en campo y caracterizados por un leve cambio de pendiente en el terreno, (ver Fotografía 5.1-16).

Fotografía 5.1-16 Leve cambio de pendiente en el terreno



Depósitos coluvio-aluviales
Estación de control PCT-17 Corregimiento Cascajal
Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12):
E 4798616 – N 2731691

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Las clases 3, 4, 5 y 7 corresponden a sectores con mayor intervención antrópica en donde se han construido bordas, canales y embalses, desde el punto de vista de

zonificación de riesgo estos sectores no revisten mayor importancia ya que cuentan con poca altura y son de fácil tratamiento además cubren una mínima parte de la zona de estudio. Es importante aclarar que en el área del proyecto no se presentan procesos morfodinámicos.

5.1.3 Suelos y usos del suelo

El conocimiento del patrón de distribución de los suelos en el área de influencia, así como de sus características intrínsecas y extrínsecas y sus interacciones, se constituye en un elemento fundamental para comprender las características del medio físico en su interface geoformas-suelos. A partir de una clara comprensión de sus características se pueden establecer las restricciones, problemáticas y potencial que ofrece el medio natural para su ocupación y uso.

Es así, que la caracterización de este componente se desarrolló a partir del Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras: Departamento del Atlántico realizado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), en el 2007.

A partir de dicho estudio, se identificaron las relaciones entre geoforma y suelo las cuales están estrechamente relacionadas, ya que son componentes esenciales de la epidermis de la tierra (Tricart, 1972). Dicha relación se refleja en los estudios de suelos del IGAC, en donde la geomorfología es el marco para realizar la caracterización de los suelos (Zinck, 2012). La caracterización del componente suelos comprende los siguientes aspectos:

- Descripción de las unidades cartográficas de suelos
- Uso potencial de los suelos
- Uso actual de los suelos
- Conflictos de Uso del Suelo
- Estado actual del suelo

En la parte interpretativa del componente suelos se presenta el uso actual del suelo y conflictos de uso del suelo teniendo como marco de referencia información

primaria presentada en el componente de flora, así como la información descrita en el ítem uso potencial.

Definidas las unidades preliminares de suelos del área de influencia preliminar geosférica del proyecto, se procedió con la delineación de transectos teniendo cuidado de representar todas las unidades preliminares de suelo del área de estudio y que el seguimiento de estos tuviera facilidad de acceso y transitabilidad. Como resultado de este proceso se seleccionaron tres (3) sitios para descripción y muestreo de suelos (mínimo una calicata por cada unidad cartográfica de suelo) las cuales se presentan en la Tabla 5.1-13 adicionalmente con el fin de corroborar los contactos de las unidades de suelos, se realizaron cajuelas de comprobación (ver Tabla 5.1-14). En la Figura 5.1-21 se muestra la localización de los puntos de muestreo con respecto al área de influencia preliminar geosférica.

Tabla 5.1-13 Ubicación de los perfiles modales de suelos

PERFIL MODAL CON MUESTREO	UNIDAD CARTOGRÁFICA DE SUELOS	COORDENADAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL CTM12	
		Este	Norte
GYP-01	RWI	4801918.99	2724434.67
GYP-02	RWG	4801141.11	2728342,58
GYP-03	RWE	4799322.19	2730475.59

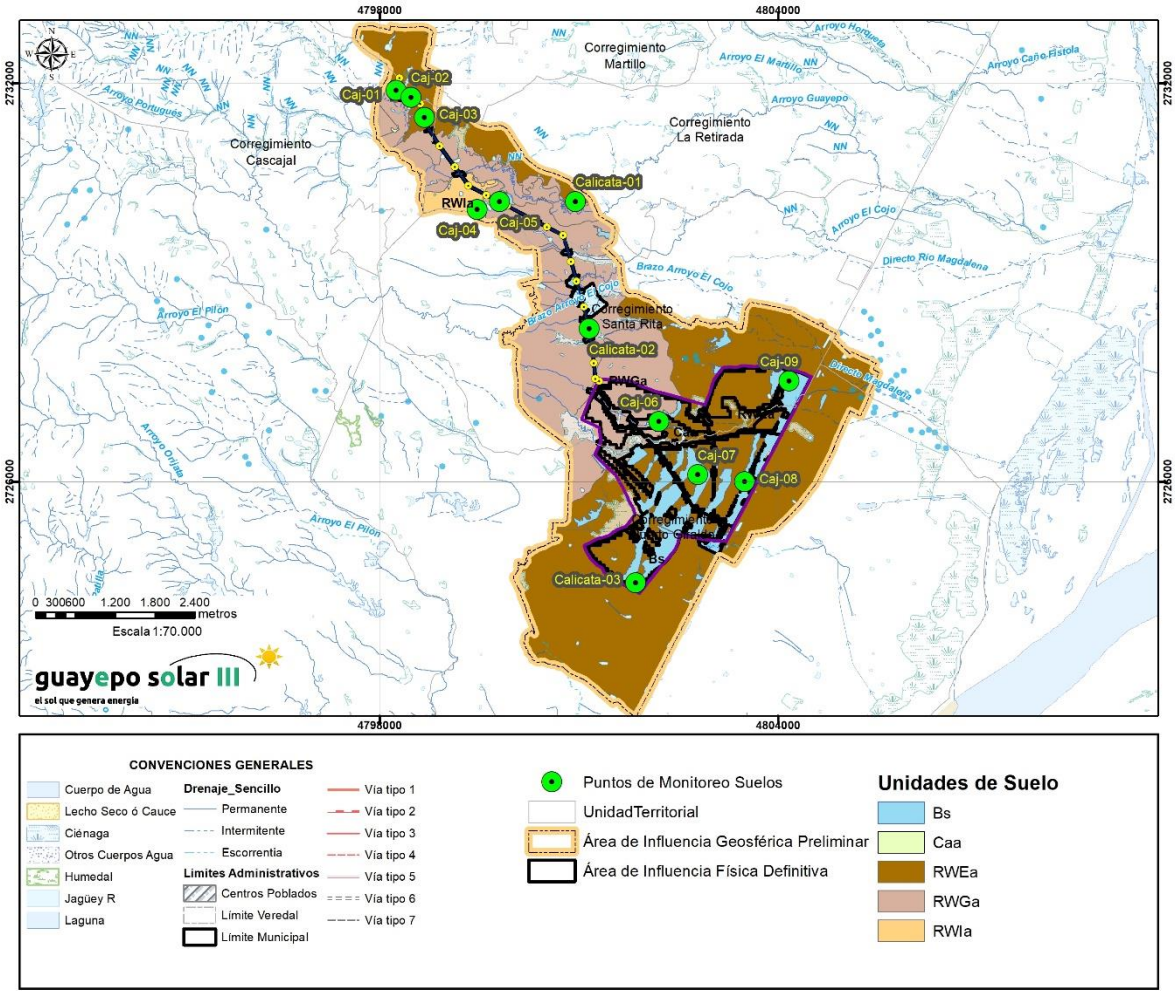
Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Tabla 5.1-14 Ubicación de las observaciones (Cajuelas) realizadas en campo

OBSERVACIONES			MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL	
Nomenclatura	UCS	Tipo de observación	Este	Norte
Caj-01	RWE	Cajuela	4798255,3	2731985,68
Caj-02	RWE	Cajuela	4798461,67	2731776,66
Caj-03	RWE	Cajuela	4798683,92	2731414,18
Caj-04	RWI	Cajuela	4799439,31	2730153,66
Caj-05	RWG	Cajuela	4800201,31	2730007,61
Caj-06	RWG	Cajuela	4802106,84	2726807,99
Caj-07	RWE	Cajuela	4802458,2	2725934,87
Caj-08	RWE	Cajuela	4803495,91	2725961,33
Caj-09	RWE	Cajuela	4804249,97	2727495,91

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Figura 5.1-21 Puntos de muestreo realizados en el área de influencia geosférica preliminar



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.3.1 Clasificación agrológica

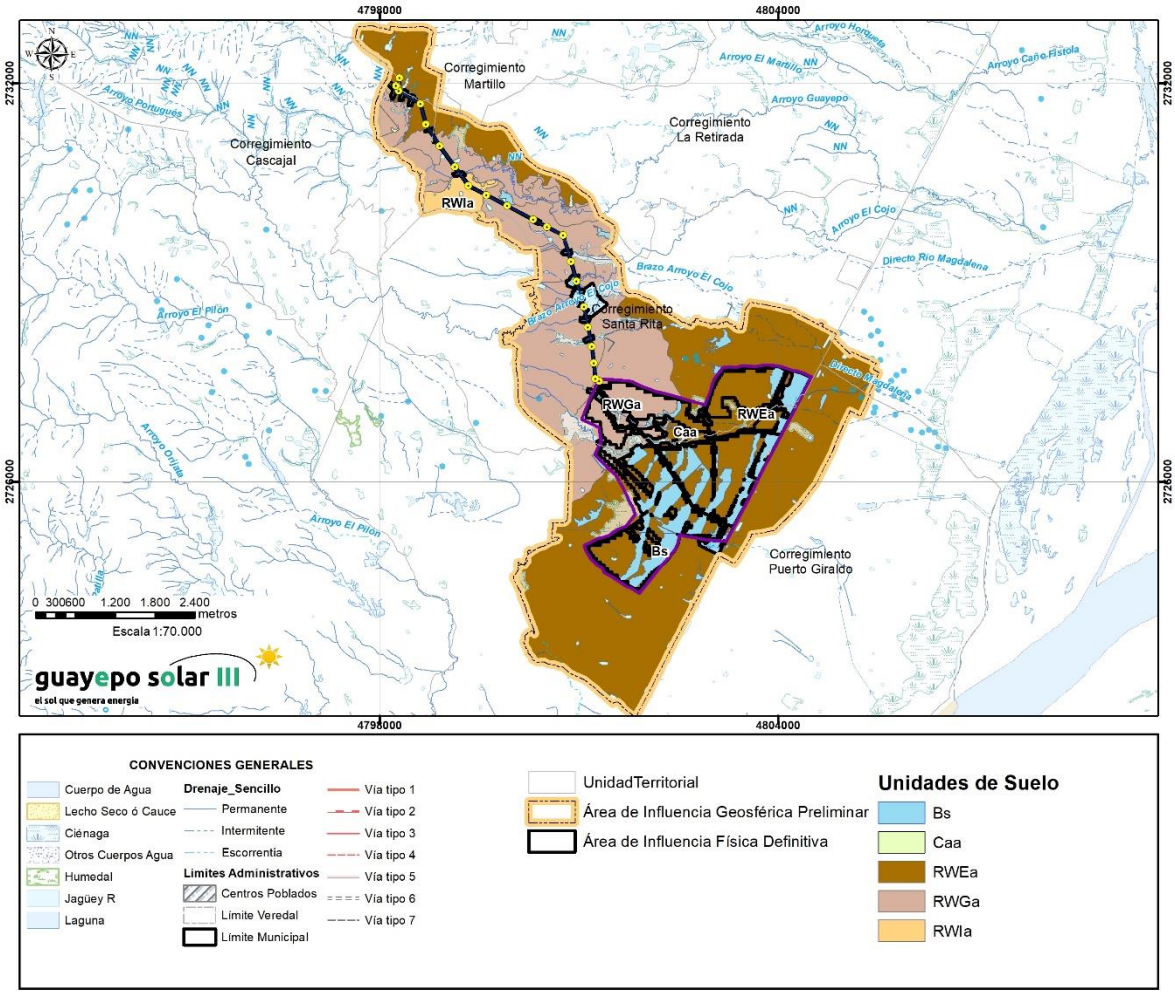
Una unidad cartográfica es el conjunto de todas las delineaciones que están identificadas por un símbolo único, un color, un nombre. Todas las delineaciones de suelos que tienen la misma identificación constituyen una unidad cartográfica.

Es importante señalar que la caracterización se realizó tanto para el área de influencia preliminar del grupo de componentes geosféricos, así como para el área de influencia definitiva física, tal como se explicó en el capítulo 4. Por tal razón las

gráficas y reportes a continuación mostradas, muestran la relación con ambas áreas preliminar geosférica y definitiva física.

En la Figura 5.1-22 y en la Tabla 5.1-15 se muestran las unidades cartográficas de suelos presentes en el área de influencia del Proyecto, la cual fue ajustada con base al estudio general de suelos del departamento del Atlántico y las observaciones realizadas en campo, en donde se evidencia el paisaje fisiográfico de Planicie aluvial, cuyos suelos son derivados de sedimentos finos aluviales.

Figura 5.1-22 Unidades cartográficas de suelos en el área de influencia preliminar geosférica y definitiva física



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Tabla 5.1-15 Leyenda de suelos para el área de influencia del proyecto

Paisaje	Clima	Tipo de relieve	Forma terreno	Unidad cartográfica	Símbolo UCS	UCS fase	AI Geosférica Preliminar (ha)	%	AI Definitiva Física (ha)	%	Área proyecto o licenciamiento	%
Planicie aluvial	Cálido seco	Terrazas erosionales nivel superior	Plano de terraza	Consociación	RWG	RWGa	850.29	31.61	121.66	19.22	140.79	20.46
		Terrazas erosionales nivel superior	Terraza nivel 1		RWI	RWIa	41.29	1.53	0.70	0.11	2.64	0.38
		Terrazas erosionales nivel inferior	Complejo de planos de terraza y cubetas		RWE	RWEa	1548.86	57.57	305.00	48.19	359.56	52.24
Cuerpos de agua					CA	CA	29.61	1.1	6.64	1.05	5.68	0.82
Bordas					Bs	Bs	220.22	8.19	198.93	31.43	179.63	26.10
ÁREA TOTAL							2690.26	100	632.93	100.00	688.30	100.00

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.3.2 Unidades de suelos

A continuación, se describen las unidades cartográficas de suelos presentes en el área de influencia del Parque Solar Fotovoltaico Guayepo Solar III 200MW y su línea de evacuación de 500kV.

5.1.3.2.1 Suelos del paisaje de Planicie aluvial

Esta planicie es una superficie amplia y plana no confinada, de pendientes entre 0 y 3 %. Está conformada por sedimentos de naturaleza fluvial, que han dado origen a diversas formaciones, tales, diques naturales, terrazas y vallecitos estrechos.

Para el área de influencia preliminar geosférica del proyecto, se identificaron las unidades cartográficas de suelos RWE, RWG y RWI descritas a continuación:

- **Consociación Vertic Haplustepts – Fluventic Haplustepts – Typic Haplustepts (RWG)**

Esta unidad se encuentra en sectores de municipio de Ponedera, en clima cálido seco, con temperaturas promedio de 28°C, precipitación media anual de 1000 mm y altitud entre 40 y 50 m. Geomorfológicamente está ubicada en el tipo de relieve de terrazas de nivel superior de la planicie aluvial del río Magdalena, en un relieve plano con pendientes no mayores al 3%. Son suelos desarrollados a partir de materiales depositados por el río Magdalena y de materiales coluvio-aluviales transportados desde las lomas y colinas adyacentes. Dentro de sus características están que son suelos moderadamente profundos, de moderadamente a bien drenados, con texturas finas, moderadamente finas y medias, su reacción es ácida a neutra y saturación de bases muy alta.

Esta asociación está compuesta por suelos Vertic haplustepts en un 80%, Fluventic Haplustepts en un 15% y Typic Haplustepts en un 5%. Para el área de influencia se identificó la siguiente fase:

RWGa: Fase plana

Tabla 5.1-16 Descripción del perfil modal de la Consociación RWG

IMAGEN		DESCRIPCIÓN
 Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12): E 4801141,11 – N 2728342,58	Ap (0 – 40 cm)	Color en húmedo pardo claro (7.5YR 6/4); textura franco-limosa en campo y franca en laboratorio; con estructura blocosa subangular, fina con desarrollo fuerte; consistencia en húmedo muy firme, en mojado pegajoso y plástico; pocos poros, muy finos; sin presencia de material rocoso, grietas; presencia frecuente raíces, medias (vivas); Limite difuso y plano.
	Bw (40 - 100 cm)	Color en húmedo pardo rojizo oscuro (2.5YR 5/4); textura franco-limosa en campo y franca en laboratorio; con estructura blocosa, media con desarrollo débil; consistencia en húmedo firme, en mojado pegajoso y plástico; pocos poros, finos; sin presencia de material rocoso, grietas; presencia frecuente raíces, finas (vivas); sin actividad de macroorganismos

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

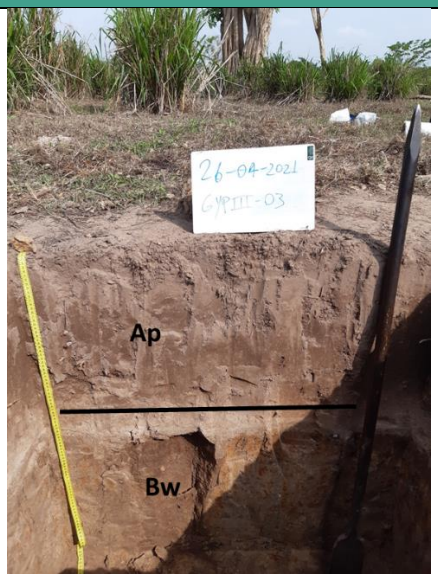
Los análisis fisicoquímicos del suelo presentados en el Perfil modal de la Consociación RWG - CALICATA GYP-02 (Anexo 5.1.2 Suelos); muestran que son suelos con pH fuertemente acido (5,5; 6,97), con capacidad de intercambio catiónico media (14; 13 meq/100g); contenido de materia orgánica de media en superficie a bajo (1,88; 0,29 %); contenidos de nitrógeno total bajos (0,13; 0,02 %) y porcentajes de sodio intercambiable (0,49% y 3,24%), lo que evidencia suelos normales sin salinidad, con contenidos de sales bajos y contenidos de sodio bajos, sin limitantes para los cultivos y coberturas naturales susceptibles a la salinidad; con saturación de bases alta (67,64 y 161,23 %), fósforo bajo en superficie y medio a profundidad (10 y 20 ppm), potasio medio en superficie y bajo a profundidad (0,38 y 0,14 meq/100g); la densidad aparente (1,33 y 1,13 g/cc), evidencia suelos con una alta compactación en todos los horizontes, ya que en relación con la textura (F), se encuentran por debajo de los valores reportados por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). En general presenta una fertilidad baja.

- **Consociación Vertic Haplustepts – Fluventic Haplustepts – Typic Haplustepts (RWI)**

Esta unidad se localiza en algunos sectores del municipio de Ponedera, en clima cálido seco, temperatura promedio de 28°C, precipitación media anual de 1000 mm y altitud de 40 m. Geomorfológicamente son suelos ubicados en las terrazas de nivel superior de la planicie aluvial del río Magdalena, en un relieve plano con pendientes no superiores al 3%. Son suelos que han sido originados a partir 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.

Dentro de los suelos que constituyen esta consociación están Typic Haplustalfs en un 90% y como inclusión Typic Utipsamments en un 10%. Para el área de influencia se identificó la siguiente fase: RWIa: Fase plana

Tabla 5.1-17 Descripción del perfil modal de la Consociación RWI

IMAGEN	DESCRIPCIÓN	
 Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12): E 4800963,31 – N 2730206,57	Ap (0 – 50 cm)	Color en húmedo pardo claro (7.5YR 6/3); textura franco-limosa en campo y franco. arcillo. arenosa en laboratorio; con estructura blocosa subangular, fina con desarrollo medio; consistencia en húmedo muy firme, en mojado ligeramente pegajoso y plástico; pocos poros, muy finos; sin presencia de material rocoso, grietas; presencia frecuente raíces, medias (vivas); Limite difuso y plano.
	Bw (50 - 100 cm)	Color en húmedo pardo amarillento claro (10YR 6/8); textura franco-arcillosa en campo y franco arcillo arenosa en laboratorio; con estructura blocosa, media con desarrollo débil; consistencia en húmedo firme, en mojado ligeramente pegajoso y plástico; pocos poros, finos; sin presencia de material rocoso, grietas; presencia frecuente raíces, finas (vivas); sin actividad de macroorganismos

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Los análisis fisicoquímicos del suelo presentados en el Perfil modal de la Consociación RWI - CALICATA GYP-03 (Anexo 5.1.2 Suelos); muestran que son suelos con pH muy fuertemente acido (4,92; 4,97), con capacidad de intercambio catiónico bajo (4; 6 meq/100g); contenido de materia orgánica de media en superficie a bajo (1,55; 2,21 %); contenidos de nitrógeno total bajos (0,11; 0,14 %) y porcentajes de sodio intercambiable (1,37% y 0,9%), lo que evidencia suelos normales sin salinidad, con contenidos de sales bajos y contenidos de sodio bajos, sin limitantes para los cultivos y coberturas naturales susceptibles a la salinidad; con saturación de bases alta (121,75 y 67,5 %), fósforo bajo en superficie y medio a profundidad (9 y 6 ppm), potasio medio en superficie y bajo a profundidad (0,28 y 0,25 meq/100g); la densidad aparente (1,44 y 1,36 g/cc), evidencia suelos con una alta compactación en todos los horizontes, ya que en relación con la textura (F-A-Ar), se encuentran por debajo de los valores reportados por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) . En general presenta una fertilidad baja.

- **Consociación Vertic Haplustepts – Fluventic Haplustepts – Typic Haplustepts (RWE)**

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.

Dentro de los suelos que constituyen esta consociación están Udic Haplusterts en un 90%. Para el área de influencia se identificó la siguiente fase:

RWEa: Fase plana

Tabla 5.1-18 Descripción del perfil modal de la Consociación RWE

IMAGEN	DESCRIPCIÓN	
 Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12): E 4801868,72 – N 2724506,11	**Ap (0 – 30 cm)**	Color en húmedo Pardo amarillento claro (7.5YR 7/6); textura franco-arcillosa en campo y franco limosa en laboratorio; con estructura blocosa subangular, fina con desarrollo fuerte; consistencia en húmedo muy firme, en mojado pegajoso y plástico; pocos poros, muy finos; sin presencia de material rocoso, grietas; presencia frecuente raíces, medias (vivas); Limite difuso y plano.
	Bw (30 - 100 cm)	Color en húmedo pardo rojizo oscuro (2.5YR 5/4); textura arcillosa en campo y franca en laboratorio; con estructura blocosa, media con desarrollo débil; consistencia en húmedo firme, en mojado pegajoso y plástico; pocos poros, finos; sin presencia de material rocoso, grietas; presencia frecuente raíces, finas (vivas); sin actividad de macroorganismos

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Los análisis fisicoquímicos del suelo presentados en el Perfil modal de la Consociación RWE - CALICATA GYP-01 (Anexo 5.1.2 Suelos); muestran que son suelos con pH muy fuertemente acido (5,77; 6,76), con capacidad de intercambio catiónico alta (39; 35 meq/100g); contenido de materia orgánica de media en superficie a alto (6,67; ,0,86 %); contenidos de nitrógeno total bajos (0,45; 0,08 %) y porcentajes de sodio intercambiable (0,41% y 8,58%), lo que evidencia suelos normales sin salinidad, con contenidos de sales bajos y contenidos de sodio bajos, sin limitantes para los cultivos y coberturas naturales susceptibles a la salinidad; con saturación de bases alta (73,51 y 67,5 %), fósforo alto en superficie y medio a profundidad (239 y 26 ppm), potasio alto en superficie y medio a profundidad (3,67 y 2,44 meq/100g); la densidad aparente (1,01 y 0,95 g/cc), evidencia suelos con una alta compactación en todos los horizontes, ya que en relación con la textura (F-L), se encuentran por debajo de los valores reportados por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) . En general presenta una fertilidad baja.

5.1.3.3 Uso potencial

La clasificación por capacidad de uso de la tierra se hizo de acuerdo con la metodología utilizada por la USDA, (1964), la cual fue adoptada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2010)[10]. Esta metodología permite agrupar las unidades cartográficas de suelos en grupos que tienen las mismas limitaciones y por tanto la misma capacidad para hacer uso agrícola, pecuario, forestal o áreas de conservación protección y/o manejo especial, que garantice el desarrollo sostenible del recurso suelo. Esta metodología permite agrupar las unidades cartográficas de suelos en grupos que tienen las mismas limitaciones y por tanto la misma capacidad para hacer uso agrícola, pecuario, forestal o áreas de conservación protección y/o manejo especial, que garantice el desarrollo sostenible del recurso suelo.

La Clasificación Agrológica es la asignación de clases, subclases y unidades de capacidad o grupos de manejo que se da a las diferentes unidades cartográficas definidas en un estudio de suelos para un uso práctico inmediato o futuro, con base en la capacidad para producir de los suelos que las integran.

Se fundamenta en la adaptación realizada para Colombia de la Clasificación de Tierras por Capacidad de Uso del Departamento de Agricultura de Estados Unidos, según el manual 210 del Servicio de Conservación de Suelos.

La clasificación agrológica es de tipo interpretativa y se basa en los efectos de las combinaciones de clima y características permanentes de los suelos sobre los riesgos de deteriorarlos, las limitaciones para el uso, la capacidad de producir cosechas y los requerimientos de manejo de los suelos.

Las características permanentes de los suelos hacen referencia a la pendiente, textura, profundidad efectiva, permeabilidad, capacidad de retención de humedad y condición de drenaje natural.

10 Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAC. Metodología para la clasificación de las Tierras por su Capacidad de Uso. Grupo Interno de Trabajo Levantamiento de Suelos. Pág. 1 de 41, Cód. M40100-02/10, Versión 1, 2010.

La capacidad es el potencial que tiene la tierra para ser utilizada bajo cierto tipo general de uso o con prácticas específicas de manejo.

Los suelos que están agrupados dentro de una clase por capacidad son similares solamente con respecto al grado de limitaciones para propósitos de uso o respecto al riesgo de degradarse. Cada clase de capacidad incluye muchas clases de suelos. Muchos de los suelos dentro de cualquiera de las clases requieren distintas prácticas de manejo. Se muestra a continuación, las clases que integran la clasificación o sistema:

- Las clases I y II corresponden a tierras arables, con capacidad para cualquier tipo de cultivo, con prácticas ligeras a moderadas de conservación de suelos y manejo de aguas.
- Las clases III y IV corresponden a tierras arables, con restricciones en la selección de cultivos, con prácticas intensivas de conservación de suelos y manejo de aguas.
- La clase V y VI corresponde a las tierras para ganadería con praderas mejoradas, cultivos permanentes, sistemas agroforestales y/o reforestación, con la incorporación selectica de prácticas de conservación de suelos y manejo de aguas.
- La clase VII corresponde a tierras forestales con posibilidades de uso mixto del bosque.
- La clase VIII corresponde a las tierras destinadas a la conservación y la protección de la naturaleza. Generalmente constituyen ecosistemas estratégicos para el abastecimiento de agua, la prestación de servicios ambientales, siendo considerados como muy vulnerables.

Las subclases agrológicas corresponden a una categoría del sistema de clasificación por capacidad de uso, que específica para las clases, uno o más factores limitantes generales y específicos, lo que determina que la subclase agrupa tierras que poseen el mismo número de factores y grados de limitación. Se presenta

a continuación, las principales características de las limitaciones establecidas para el área:

- (c) Limitación por clima: la subclase de clima, indica déficit de humedad en el suelo en la mayor parte del año, lo que genera dificultades para desarrollar sistemas productivos sin el apoyo de riego.
- (e) erosión actual y/o peligro de susceptibilidad a la erosión: La subclase por erosión la conforman los suelos que se encuentran afectados, bien sea, por pérdida acelerada de suelo o susceptibilidad a la misma, causada por la mala utilización de los terrenos, prácticas de manejo inadecuadas o por fenómenos de remoción o movimientos en masa.
- (h) humedad en exceso, drenaje: La subclase por exceso de humedad, está formada por los suelos sobresaturados con agua, ya sea por exceso de precipitación, encharcamientos debidos al escurrimiento de las aguas superficiales desde las áreas más altas o por condiciones o características ácuicas (suelos que actualmente presenten una saturación y reducción continua y periódica).
- (p) Limitaciones por pendiente: La subclase de limitaciones por pendiente está determinada por aquellos suelos que presentan pendientes ligeramente escarpadas en adelante y limitan la implementación u desarrollo de sistemas productivos.
- (s) limitaciones en la zona radical: La subclase por suelo se califica de acuerdo con las limitaciones físicas y/o químicas, que dificultan e impiden el normal desarrollo de las raíces de las plantas y las prácticas de labranza del suelo.
- Las categorías de Uso Potencial corresponden a lo establecido en la metodología de Zonificación de los Conflictos de Uso de las Tierras (IGAC Y CORPOICA, 2002), constituye la clase mayor de uso que una unidad de tierra está en capacidad natural de soportar con características de sostenibilidad, evaluadas sobre una base biofísica, sin tener en cuenta circunstancias económicas actuales, propias de cada clase de manejo, (ver Tabla 5.1-19).

Tabla 5.1-19 Grupos de manejo y uso potencial del suelo en el área de influencia preliminar geosférica

Clase agrológica	Grupo de manejo	UCS	Uso principal	Tipo de uso	Símbolo	AI Geosférica Preliminar (ha)	%	AI Definitiva Física ha	%	Área proyecto o licenciamiento	%
3	3s-3	RWG	Agrícola	Cultivos transitorios seminten sivos	CTS	2440.43	90.71	121.66	19.22	140.79	20.46
	3s-1	RWI						0.70	0.11	2.64	0.38
4	4s-1	RWE						305.00	48.19	359.56	52.24
Cuerpos de Agua Naturales - Bordas						249.83	9.29	205.57	32.48	185.30	26.92
ÁREA TOTAL						2690.26	100	632.93	100.00	688.30	100.00

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

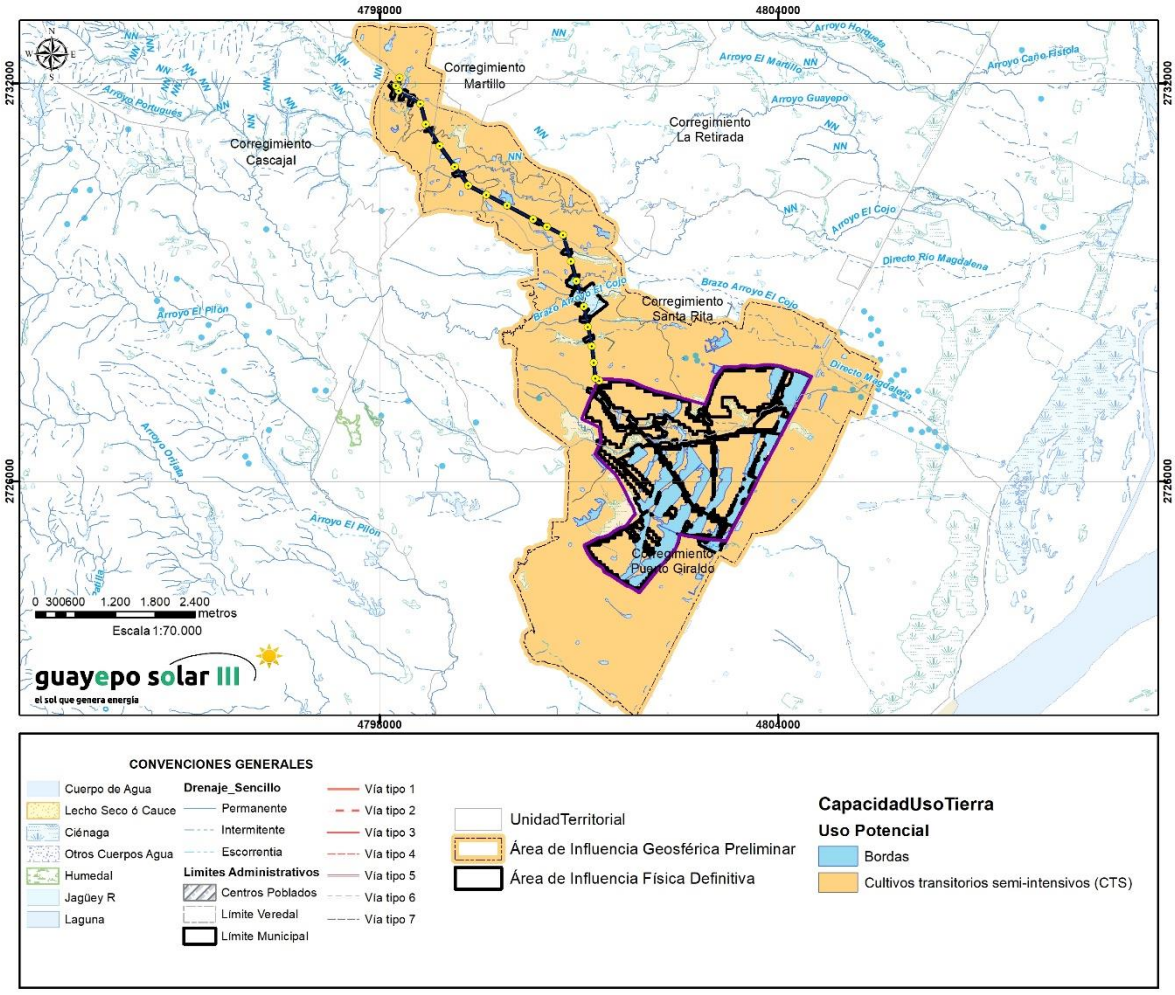
3s-1: Son suelos limitados por tener una profundidad efectiva moderada debido a la presencia de horizontes endurecidos, además de presentar sales a profundidades mayores a los 70 cm. Adicionalmente presentan encharcamientos cortos durante la época de lluvias. Son suelos aptos para agricultura y pastoreo semi-intensivo con pastos mejorados. Para su explotación se deben aplicar prácticas de manejo como fertilización, riego en época de sequía y labranza bajo condiciones óptimas de humedad.

- 3s-3: Dentro de las limitantes de estos suelos están la presencia de texturas finas permeables y encharcamientos cortos durante la época de lluvias. Son aptos para el establecimiento de cultivos transitorios y ganadería semi-intensivo. Se deben tener en cuenta prácticas de manejo como subsolado, fertilización adecuada, incorporación de desechos vegetales para mejorar la aireación y riego en época de verano.
- 4s-1: Son suelos limitados principalmente por presentar de texturas finas a muy finas (arcillosas y arcillo limosas), además de presentar sales y sodio después de los 70 cm de profundidad, drenaje natural imperfecto y encharcamientos cortos durante la época de lluvias. Son suelos aptos para el establecimiento de cultivos propios de la región, además de sistemas pastoriles semi-intensivo con pasturas mejorados. Deben ser manejados

procurando evitar la compactación y los encharcamientos, además de implementar prácticas como subsolado, rotación de cultivos y praderas, fertilización, riego en época de sequía, así como labranza en condiciones óptimas de humedad de los suelos. De haber disponibilidad de agua, realizar lavado de sales.

En síntesis, debido a la fertilidad del suelo, a sus condiciones químicas y de drenaje, los suelos del área de influencia presentan una aptitud para el establecimiento de cultivos transitorios semiintensivos, (ver Figura 5.1-23).

Figura 5.1-23 Uso potencial del suelo en el área de influencia preliminar geosférica



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.3.4 Uso actual del suelo

Se define como el empleo que le da el hombre a la cobertura del suelo, ya sea con fines productivos, (explotaciones agrícolas y pecuarias), de comunicación y vivienda (tejido urbano continuo y discontinuo, ríos y vías) o de protección y conservación (bosques de galería o ripario y vegetación secundaria alta).

Siendo el suelo el recurso principal de estas actividades, es necesario realizar prácticas que disminuyan su deterioro, adoptar y adaptar tecnologías que contribuyan a su conservación e incentiven el manejo sostenible de los recursos naturales que interactúan en la dinámica Suelo-planta-hombre. El cambio de uso del suelo en Colombia es dinámico y constante, estos cambios no siempre se acoplan a las características físicas, químicas y biológicas y a la fragilidad implícita de los suelos.

De acuerdo con lo anterior se establece que esta dinámica está en función del tiempo y el espacio, ya que los usos actuales determinados pueden crecer, decrecer o mantenerse constantes, en relación con las necesidades económicas, sociales y/o culturales de la población; que se encuentran en estrecha relación con los aspectos que integran y orientan las tendencias de consumo, los mercados locales, regionales y nacionales, así como también las políticas sectoriales.

El desarrollo del uso actual del suelo para el área de estudio se realizó mediante la agrupación de las diferentes coberturas identificadas por el componente flora. Esta unificación se hace en relación con la funcionalidad, lo cual se convierte en sectores que manifiestan los mismos patrones de producción y uso de los recursos naturales, asociados en especial a los suelos.

De acuerdo con los criterios de la geodatabase emitida por la autoridad nacional de licencias ambientales (ANLA), se identificó el uso y el tipo de uso del suelo para el proyecto del Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200 Mw y su línea de evacuación 500kV los cuales se muestran en la Tabla 5.1-20.

Tabla 5.1-20 Uso Actual del suelo en el área de influencia

COBERTURAS	CATEGORÍAS DE USO DE LOS SUELOS DEFINIDAS EN LA GEODATABASE. RESOLUCIÓN 2182 DEL 23 DE DICIEMBRE DE 2016.		SÍMBOLO
	DOM_GRUPOUSO - GDB	DOM_USOACT - GDB	
Cuerpo de agua artificial	Cuerpos de Agua Naturales	Pastoreo extensivo	PEX
Cuerpos de agua artificiales - Bordas	Cuerpos de Agua Naturales	Pastoreo extensivo	PEX
Cultivos transitorios	Agricultura	Cultivos transitorios semi - intensivos	CTS
Explotación de hidrocarburos	Infraestructura	Minerales energéticos	IND
Pastos arbolados	Ganadería	Pastoreo extensivo	PEX
Pastos Enmalezados	Ganadería	Pastoreo extensivo	PEX
Pastos limpios	Ganadería	Pastoreo extensivo	PEX
Red Vial	Infraestructura	Transporte	INF
Tejido Urbano Continuo	Asentamiento	Residencial	INF
Tejido Urbano Discontinuo	Asentamiento	Residencial	INF
Vegetación secundaria alta	Forestal	Protección	FPR
Vegetación secundaria baja	Forestal	Protección	FPR
Zonas pantanosas artificiales	Cuerpos de Agua Naturales	Pastoreo extensivo	PEX

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.3.4.1 Uso de ganadería

Son suelos en los cuales se han establecido sistemas de pastoreo tanto de tipo semi-intensivo como de tipo extensivo, en donde se encuentran coberturas como pastos limpios, arbolados y enmalezados como se muestra en la Fotografía 5.1-17. En este uso además se incluyen los cuerpos de agua artificiales como jagüeyes y bordas usados con fines de ganadería en la época de lluvia, que es el único momento del año en el que son funcionales para el almacenamiento de agua.

Fotografía 5.1-17 Uso de ganadería en el área de influencia



Nombre: Uso ganadería
Unidad territorial: Puerto Giraldo
Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12):
E: 4803150,53 – N 2727733,30

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.3.4.2 Uso de conservación

El uso de conservación está representado por coberturas relacionadas a vegetación secundaria alta y baja, las cuales representan una importancia ecosistémica al ser corredores biológicos de múltiples especies faunísticas, además de contribuir a la conservación de drenajes naturales como se muestra en la Fotografía 5.1-18.

Fotografía 5.1-18 Uso de conservación en el área de influencia



Nombre: Uso conservación
Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12):
E: 4799143,16 – N: 2728336,92

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.3.4.3 Uso de infraestructura

Este uso está relacionados a diferentes tipos de construcciones en donde se involucra infraestructura de tipo vía y áreas residenciales con coberturas como tejido urbano continuo y discontinuo, así como la red vial. Con relación a esto se presenta la Fotografía 5.1-19.

Fotografía 5.1-19 Uso infraestructura en el área de influencia



Nombre: Uso infraestructura
Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12):
E: 4798850.70 – N: 2731637.68

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Dentro del área de influencia el uso actual del suelo de mayor representatividad es el de pastoreo extensivo con el 74% del área de influencia preliminar geosférica; en representatividad le sigue el uso de protección (bordas) con el 13% del área preliminar geosférica y 37,5% del área de influencia definitiva física; las zonas antropizadas con el uso de transporte representa el 0,37% del área de influencia preliminar geosférica y el 0,03% del área de intervención, esta distribución se presenta en la Figura 5.1-24 se muestra la distribución espacial del uso actual del suelo en el área de influencia.

5.1.3.4.4 Uso agrícola

Corresponde a las tierras utilizadas para cultivos y que están relacionadas a coberturas de cultivos transitorios y ocupa el 0,14% del área de influencia preliminar, sin embargo, no está presente en el área de intervención.

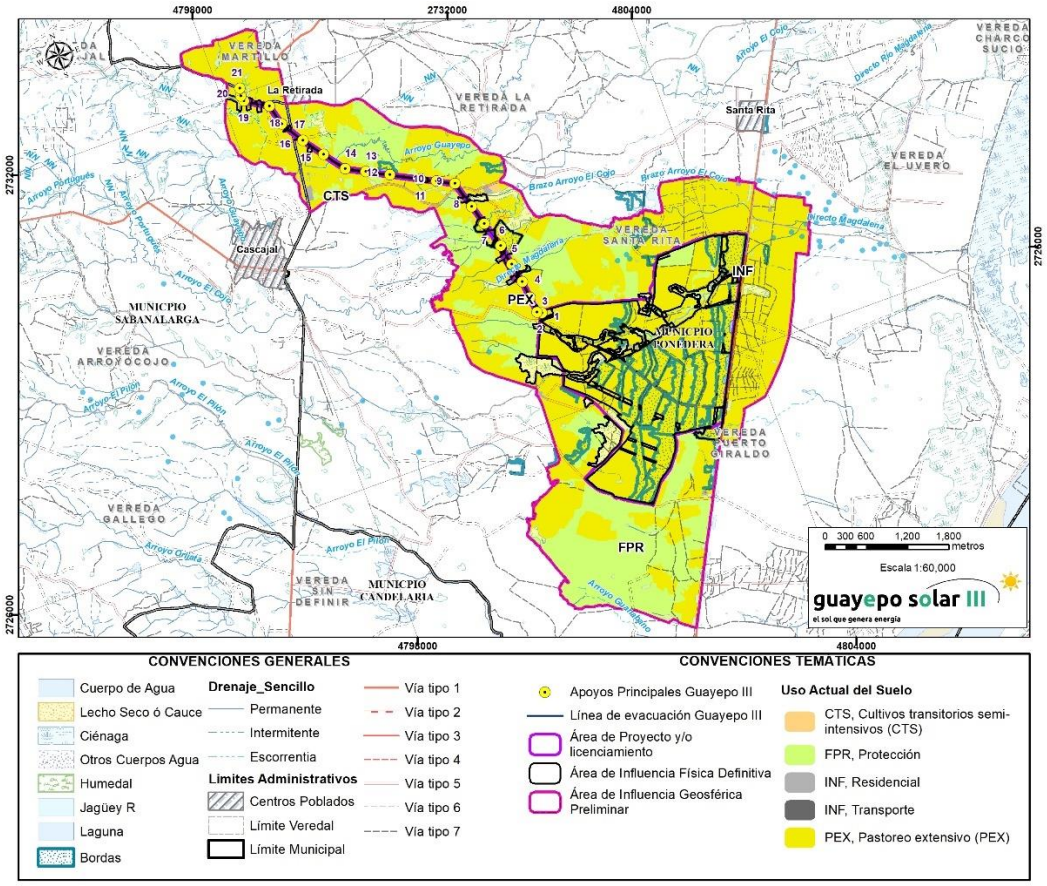
En la Tabla 5.1-21 se muestra la distribución porcentual del suelo en el área de influencia.

Tabla 5.1-21 Uso actual del suelo en el área de influencia preliminar geosférica

Coberturas	Grupo de Uso	Uso Actual	Símbolo	AI Geosférica Preliminar (ha)	%	AI Definitiva Física (ha)	%	Área proyecto o licenciamiento	%
Cuerpo de agua artificial	Cuerpos de Agua Naturales	Pastoreo extensivo	PEX	29.73	1.11	6.64	1.05	5.68	0.82
Cuerpos de agua artificiales - Bordas	Cuerpos de Agua Naturales	Pastoreo extensivo	PEX	220.23	8.19	198.93	31.43	179.63	26.10
Cultivos transitorios	Agricultura	Cultivos transitorios seminten sivos	CTS	3.75	0.14	-		-	
Pastos arbolados	Ganadería	Pastoreo extensivo	PEX	1102.35	40.98	193.82	30.62	252.42	36.67
Pastos Enmalezados	Ganadería	Pastoreo extensivo	PEX	143.17	5.32	2.92	0.46	4.59	0.67
Pastos limpios	Ganadería	Pastoreo extensivo	PEX	428.55	15.93	167.65	26.49	198.94	28.90
Red Vial	Infraestructura	Transporte	INF	8.78	0.33	0.23	0.04	0.32	0.05
Tejido Urbano Discontinuo	Asentamiento	Residencial	INF	5.68	0.21	-		-	
Vegetación secundaria alta	Forestal	Protección	FPR	88.41	3.29	14.73	2.33	20.95	3.04
Vegetación secundaria baja	Forestal	Protección	FPR	586.49	21.80	5.64	0.89	13.77	2.00
Zonas pantanosas artificiales	Cuerpos de Agua Naturales	Pastoreo extensivo	PEX	73.13	2.72	42.37	6.69	12.02	1.75
ÁREA TOTAL				2690.26	100.00	632.93	100.00	688.30	100

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Figura 5.1-24 Uso actual del suelo en el área de influencia preliminar geosférica



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.3.5 Conflicto de uso del suelo

La dinámica normal del medio natural influenciado por el desarrollo económico y social ha ocasionado un nuevo estado de desarrollo, en el cual se determinan un conjunto de conflictos de uso del suelo y por consiguiente de los recursos naturales. La identificación de los diferentes niveles de conflicto permite establecer el real aprovechamiento y deterioro del recurso suelo respecto de su explotación actual, representada tanto por los usos como por las coberturas.

El establecimiento de las diferentes categorías de conflictos de uso del suelo se sustenta en un proceso de confrontación simultánea de las temáticas definidas como uso actual asociado a la cobertura vegetal y el uso reglamentado por los instrumentos de ordenamiento territorial versus la capacidad de uso de las tierras. Esto permite determinar la discrepancia entre el aprovechamiento actual de las

tierras, lo establecido dentro de la norma y la oferta edáfica estimada, por medio de la clasificación de las tierras. En desarrollo de este análisis se adoptaron las categorías de conflicto que se definen a continuación.

La metodología empleada se sustenta en la metodología IGAC Y CORPOICA para la determinación de conflicto de uso del suelo (IGAC Y CORPOICA, 2002).

5.1.3.5.1 Tierras sin conflictos de uso o uso adecuado. Símbolo A:

Bajo este título se califica a las tierras donde el agroecosistema dominante guarda correspondencia con la vocación de uso principal o con un uso compatible. El uso actual no causa deterioro ambiental, lo cual permite mantener actividades adecuadas y concordantes con la capacidad productiva natural de las tierras.

5.1.3.5.2 Conflictos por subutilización. Símbolo S:

Calificación dada a las tierras donde el agroecosistema dominante corresponde a un nivel inferior de intensidad de uso, si se compara con la vocación de uso principal o la de los usos compatibles.

En estas áreas el uso actual es menos intenso en comparación con la mayor capacidad productiva de las tierras, razón por la cual no cumplen con la función social y económica establecida por la Constitución Nacional, cuyo fin es el de proveer de alimentos a la población y satisfacer sus necesidades básicas. En esta clase se diferenciaron tres (3) grados de intensidad, así:

- Subutilización ligera. Símbolo S1: Tierras cuyo uso actual es muy cercano al uso principal, por ende, a los usos compatibles, pero que se ha evaluado como de menor intensidad al recomendado.
- Subutilización moderada. Símbolo S2: Tierras cuyo uso actual está por debajo, en dos niveles de la clase de vocación de uso principal recomendada, según la capacidad de producción de las tierras.
- Subutilización severa. Símbolo S3: Tierras cuyo uso actual está muy por debajo, en tres o más niveles de la clase de vocación de uso principal recomendada.

5.1.3.5.3 Conflictos por sobreutilización. Símbolo O:

Calificación dada a las tierras donde el uso actual dominante es más intenso en comparación con la vocación de uso principal natural asignado a las tierras, de acuerdo con sus características agroecológicas.

En estas tierras los usos actuales predominantes hacen un aprovechamiento intenso de la base natural de recursos, sobrepasando su capacidad natural productiva, siendo incompatibles con la vocación de uso principal y los usos compatibles recomendados para la zona, con graves riesgos de tipo ecológico y social. Los conflictos por sobreutilización se subdividieron en los siguientes grados de intensidad:

- Sobreutilización ligera. Símbolo O1: Tierras cuyo uso actual está cercano al uso principal, pero que se ha evaluado con un nivel de intensidad mayor al recomendado y por ende al de los usos compatibles.
- Sobreutilización moderada. Símbolo O2: Tierras en las cuales el uso actual se encuentra por encima, en dos niveles, de la clase de vocación de uso principal recomendada, según la capacidad de producción de las tierras. Es frecuente encontrar en estos, rasgos visibles de deterioro de los recursos, en especial la presencia de procesos erosivos activos.
- Sobreutilización severa. Símbolo O3: Tierras en las cuales el uso actual supera en tres o más niveles, la clase de vocación de uso principal recomendado, presentándose evidencias de degradación avanzada de los recursos, tales como procesos erosivos severos, disminución marcada de la productividad de las tierras, procesos de salinización, entre otros.

En la Tabla 5.1-22 se presenta la matriz para la determinación del conflicto de uso de acuerdo con los usos definidos, especificando las posibles combinaciones que se pueden presentar. La matriz hace confrontación de tres (3) tipos de usos actuales y un (1) tipo de usos potenciales, lo cual implica tres (3) combinaciones posibles de conflicto de usos del suelo dentro del área de influencia.

Tabla 5.1-22 Matriz de determinación de conflicto de uso del suelo

VOCACIÓN DE USO		USO ACTUAL						
		USO	AGRÍCOLA	GANADERÍA	CONSERVACIÓN			
		TIPO DE USO	CULTIVOS TRANSITORIOS SEMI-INTENSIVOS	PASTOREO EXTENSIVO	FORESTAL PROTECTOR	INDUSTRIA DE HIDROCARBUROS	RESIDENCIAL, COMERCIAL Y SERVICIOS	TRANSPORTE Y COMUNICACIÓN
Agrícola	Cultivos transitorios semiintensivos	CTS	A	S3	S3	N/A	N/A	N/A

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

En la Tabla 5.1-23 se presenta la distribución del conflicto de uso del suelo dentro del área de influencia preliminar geosférica y área de influencia definitiva física, dentro de la cual se identificaron dos (2) categorías de conflicto en donde la más representativa es el conflicto por subutilización severa que ocupa el 90% del área de influencia y el 99,98% del área de intervención; este conflicto de uso se da por el establecimiento de sistemas de ganadería extensiva y sistemas forestales protectores sobre suelos con vocación para sistemas agrícolas de tipo semi-ntensivo. En segundo lugar, están los suelos con uso adecuado o tierras sin conflicto de uso presente en un 1% del área de influencia y 0,02% en el área de intervención; este conflicto se da por el establecimiento de cultivos transitorios semi-intensivo sobre suelos con aptitud para el establecimiento de sistemas agrícolas de este tipo. Para el área restante no aplica el análisis de conflicto de uso del suelo, ya que no corresponde a material edáfico sino a cuerpos de agua y a infraestructura. En la Figura 5.1-25 se presenta la distribución espacial del conflicto de uso del suelo en el área de influencia.

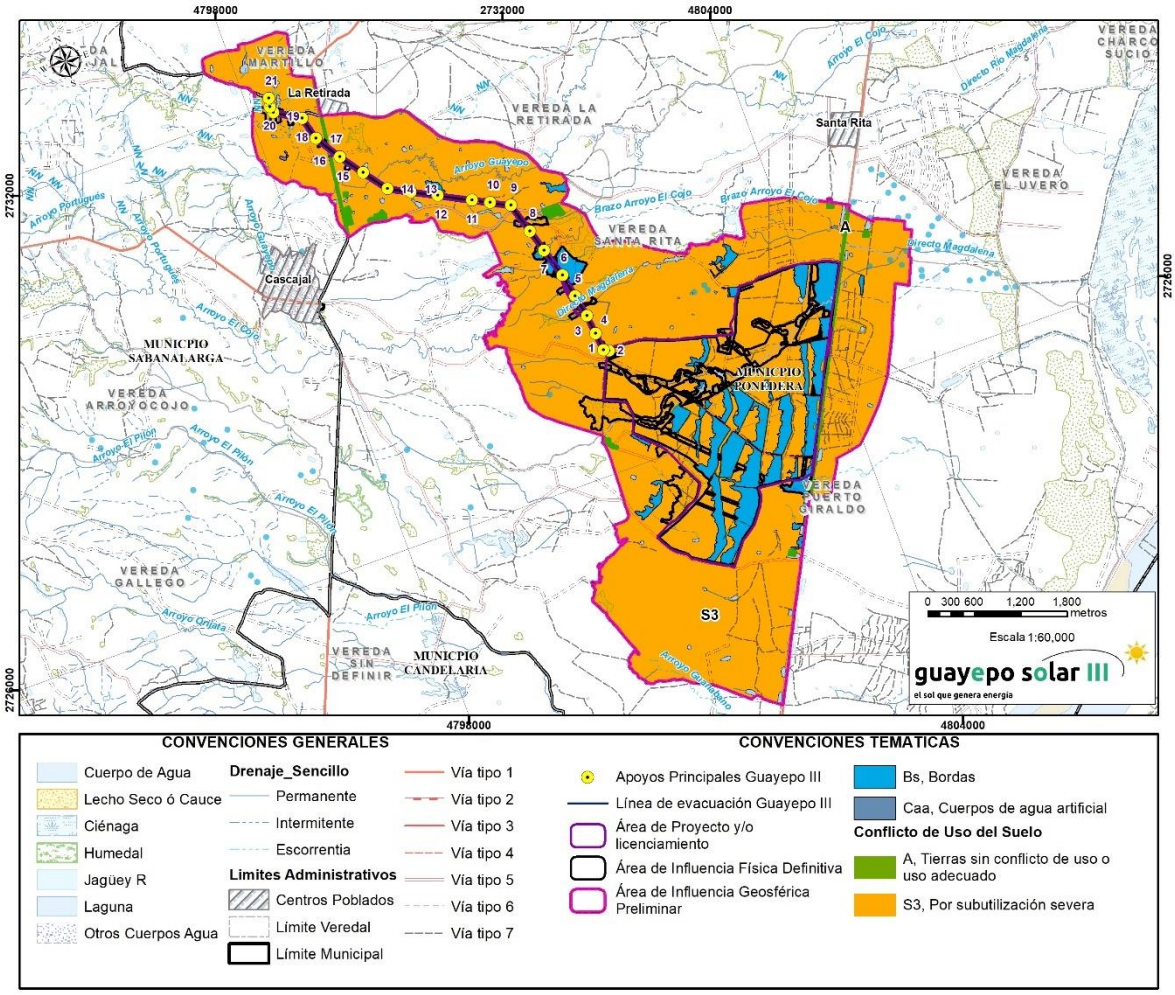
Tabla 5.1-23 Conflicto de uso del suelo en el área de influencia

Símbolo	Conflicto	AI Geosférica Preliminar (ha)	%	AI Definitiva Física (ha)	%	Área proyecto o licenciamiento	%

A	Tierras sin conflicto o uso adecuado	18.42	0.68	0.23	0.04	0.32	0.05
S3	Subutilización severa	2421.89	90.02	427.13	67.48	502.68	73.03
Cuerpos de Agua Naturales		249.95	9.29	205.57	32.48	185.30	26.92
ÁREA TOTAL		2690.26	100.00	632.93	100.00	688.30	100.00

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Figura 5.1-25 Conflicto de uso del suelo en el Área de Influencia preliminar geosférica



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.3.6 Servicios ecosistémicos del suelo

Los suelos proveen y regulan una gran variedad de servicios ecosistémicos, desempeñando un rol importante en la sostenibilidad de la humanidad. Dentro de los principales beneficios que recibimos del recurso suelo directa o indirectamente

están la regulación del aire y el agua, así como también la producción de alimentos, entre otros que son elementos claves para la disminución de la pobreza y mitigación del cambio climático. El tipo, la calidad y cantidad de servicios ecosistémicos del suelo dependen específicamente de las características ambientales, las cuales determinan las propiedades y funciones del suelo. La valoración de los servicios ecosistémicos del suelo está en función de las características naturales y del tipo de manejo que se le haya dado a este. Las practicas no sostenibles del suelo conllevan a la degradación y desvalorización del suelo, mientras que un suelo con prácticas sostenibles puede mantener y mejorar su oferta de servicios ecosistémicos (Pereira, 2018).

Las funciones del suelo, sus servicios ecosistémicos y explotación sostenible están estrechamente relacionadas (Keesstra, 2016). Los servicios relacionados con provisión y regulación son de suma importancia para la diminución de la pobreza (Suich, 2015) y para solventar las necesidades básicas de la humanidad como la alimentación, y la filtración del aire y del agua. Por otro lado, la calidad y cantidad de los servicios provistos por el suelo dependen de su material parental, relieve, biota y clima. Estas características determinan las propiedades del suelo y sus funciones, lo que determina la base para su oferta ambiental (Pereira, 2018).

5.1.3.6.1 Servicio de provisión

El servicio de provisión estada dado por la disponibilidad de nutrientes, el cual es un factor importante en la producción de plantas dado que estas necesitan y toman del aire y del suelo para su desarrollo. Si el suministro de nutrientes del suelo es amplio, las plantas presentarán un mejor desarrollo y mejores rendimientos (FAO, 2002).

Este tipo de servicio está relacionado con lo expuesto en el aparte de fertilidad del suelo del presente capítulo, en donde se expone la fertilidad del suelo de cada unidad cartográfica presente en el área de influencia del suelo. Se determinó que en el área de influencia predominan los suelos con fertilidad baja, lo que se da por

la alta saturación de aluminio y los bajos contenidos de bases en el complejo de cambio del suelo que permitan que permitan suplir la demanda de nutrientes de las coberturas vegetales.

El servicio de regulación se da por la capacidad que tiene el suelo de ciclar los diferentes elementos de la naturaleza y los nutrientes, por ejemplo, la capacidad de filtrar el agua y el aire, o su papel en el ciclo del nitrógeno. En el presente capítulo se abordará el aspecto de regulación del agua determinando el agua aprovechable por las plantas como se muestra en la **Tabla 5.1-24**. El agua aprovechable del suelo es la humedad del suelo que se encuentra entre el punto de marchitez permanente y la capacidad de campo (Jaramillo, 2002).

Tabla 5.1-24 Agua aprovechable en los suelos del área de influencia

UNIDAD CARTOGRÁFICA DE SUELO	PUNTO DE MUESTREO	CAPACIDAD DE CAMPO	PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE	% DE AGUA APROVECHABLE
Consociación RWG	GYPIII-02 (0/40)	30,28	16,62	13,66
Consociación RWG	GYPIII-02 (40/100)	23,6	12,08	11,52
Consociación RWI	GYPIII-03 (0/50)	23,3	16,43	6,87
Consociación RWI	GYPIII-03 (50/100)	27,55	19,99	7,56
Consociación RWE	GYPIII-01 (0/30)	35,8	22,19	13,61
Consociación RWE	GYPIII-01 (30/100)	32,7	20,56	12,14

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Con base a los resultados de laboratorio se puede evidenciar que el porcentaje de agua aprovechable en los suelos del área de influencia varía entre el 6,87 y 13,66 %, la cual está en función del contenido de arcillas y de materia orgánica, que para el caso de estos suelos dichos contenidos de materia orgánica es bajo.

5.1.3.7 Estado actual del suelo

El concepto de calidad del suelo se viene utilizando como una forma de medir y monitorear su estado (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2016), según Doran & Parkin, 1994, la calidad del suelo se define como la capacidad que tiene este componente para funcionar dentro de los límites de ecosistemas (naturales y manejados) para mantener la productividad biológica, conservar la calidad ambiental, promover la salud de las plantas y animales, así como para mantener la resiliencia de los sistemas socio-ecológicos.

Con base en recorridos de campo, observación, muestreo de suelos y resultados de análisis de laboratorio se estableció: la fertilidad, resistencia a la penetración y degradación del suelo (erosión y salinidad), factores que determinan el estado actual de suelo del área de influencia.

5.1.3.7.1 Fertilidad

La fertilidad natural del suelo es la capacidad que tiene para aportar los nutrientes requeridos por los seres vivos e integra sus cualidades químicas y físicas en función de los organismos que lo habitan. Hay una relación estrecha entre la fertilidad del suelo, la materia orgánica, los minerales y los servicios que provee el suelo; con base a lo anterior, la manera en que se haga el manejo del suelo en función de los contenidos de materia orgánica y los minerales, puede incrementar la calidad general del suelo, aumentar o mantener los niveles de producción de los cultivos, mejorar la disponibilidad de nutrientes, reducir la pérdida de nutrientes presentes en el suelo por acción del aire o el agua y asegurar una óptima captura de carbono, todo esto a partir de su fertilidad (de Haan, 2021).

Mediante la metodología para el cálculo de fertilidad natural del IGAC, 2014 y los resultados de laboratorio de las muestras de suelos (Anexo 5.1.2 Suelos) se calculó la fertilidad en los primeros 50 cm de suelo del perfil (Anexo 5.1.2 Suelos). Los resultados obtenidos se compararon con base a la Tabla 5.1-25, permitiendo caracterizar la fertilidad natural de los suelos de cada unidad cartográfica como se muestra en la Tabla 5.1-26, en donde se aprecia que la fertilidad natural de los suelos presentes en el área de influencia es moderada en dos de las unidades cartográficas de suelo (RWG y RWI) y muy alta en una de ellas (RWE).

Tabla 5.1-25 Rangos de fertilidad

APRECIACIÓN DE LA FERTILIDAD	
CALIFICACION	VALORES
MUY ALTA	> 8,4
ALTA	6,8-8,3
MODERADA	5,2-6,7
BAJA	3,7-5,1
MUY BAJA	< 3,6

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Tabla 5.1-26 Fertilidad de los suelos del área de influencia

UNIDAD CARTOGRÁFICA	FERTILIDAD
Consociación RWG	Moderada
Consociación RWI	Moderada
Consociación RWE	Muy alta

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.3.8 Degradación del suelo

La Política para la Gestión Sostenible del Suelo retoma el concepto de degradación del suelo de Lal et al., 2012, donde se establece como la disminución de su capacidad de producción o de cumplir con sus funciones ambientales. Para el presente estudio la degradación se caracteriza a partir de las condiciones físicas, como lo es la erosión, y condiciones químicas, como lo es la salinidad, las cuales son criterios que presentan limitaciones para el establecimiento de coberturas vegetales de cualquier tipo de acuerdo con su grado de manifestación.

5.1.3.8.1 Salinización

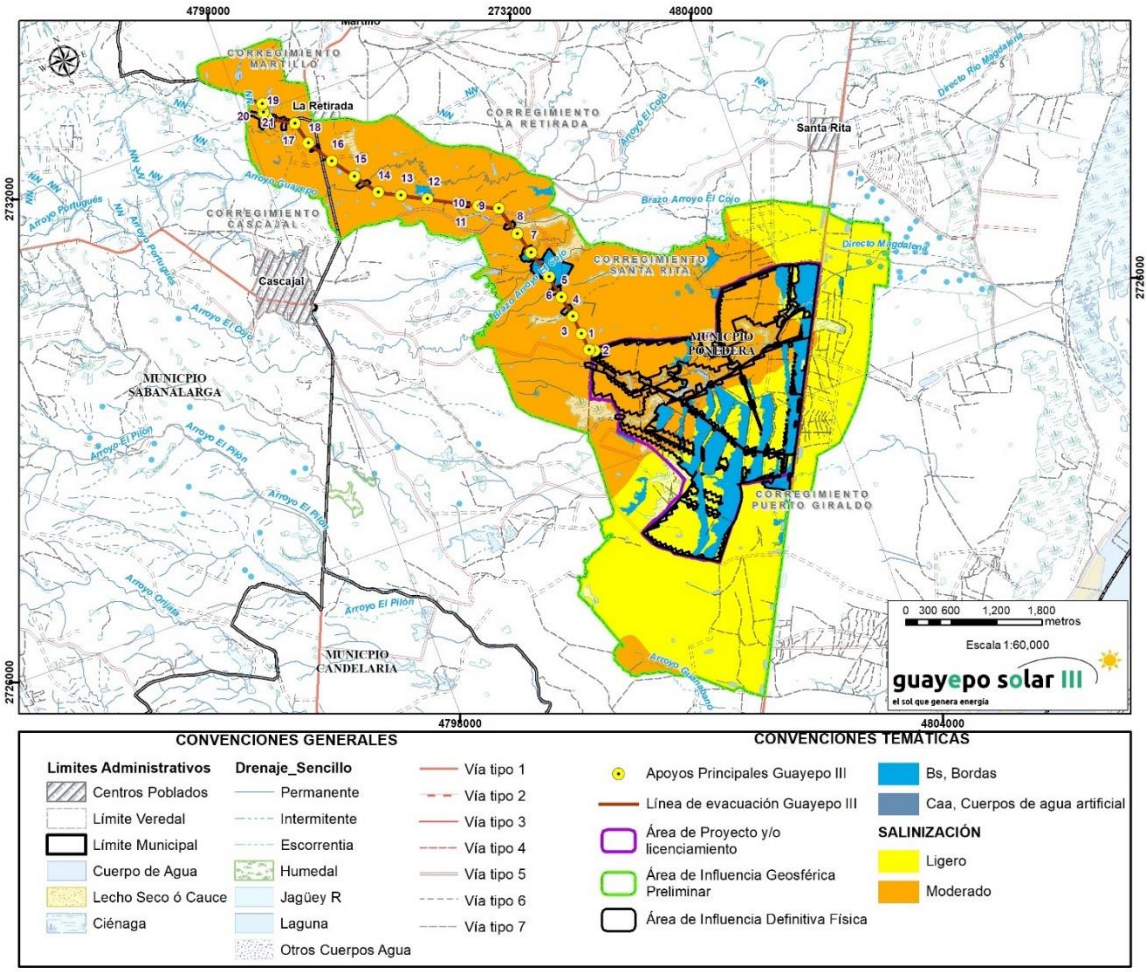
La salinización de los suelos corresponde al proceso de aumento, ganancia o acumulación de sales en el suelo, que presentan afectación de las características fisicoquímicas y biológicas del suelo y sus servicios ecosistémicos, principalmente el establecimiento de plantas (principalmente cultivos) y biota edáfica, lo cual trae como consecuencia un proceso de degradación del suelo. En la Tabla 5.1-27 se evidencian los grados de salinidad del suelo que se presenta en el área de influencia preliminar geosférica y definitiva física. Básicamente se encuentran dos grados de salinidad de los suelos, ligera y moderada, dentro de las cuales, la moderada es la de mayor representatividad con el 57% del área de influencia y el 54% del área de intervención, mientras que los suelos con salinidad ligera se presentan en el 43% del área de influencia y el 46% del área de intervención; esta distribución espacial de los diferentes grados de salinidad se muestra en la Figura 5.1-26.

Tabla 5.1-27 Salinidad en el área de influencia

GRADO DE SALINIDAD	ÁREA DE INFLUENCIA PRELIMINAR GEOESFÉRICA		ÁREA DE INFLUENCIA FÍSICA DEFINITIVA	
	(Ha)	(%)	(Ha)	(%)
Ligera	1161,64	43,18%	310.38	49.04%
Moderada	1528,62	56,82%	322.55	50.96%
Total	**2690,26**	**100,00%**	632.93	100.00%

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021) *adaptado de (IDEAM, CAR Y UDCA, 2017)*

Figura 5.1-26 Salinidad de los suelos en el área de influencia preliminar geosférica



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021) *adaptado de (IDEAM, CAR Y UDCA, 2017)*

5.1.3.8.2 Erosión

Dentro de la degradación física se destaca la erosión que consiste en la perdida físico-mecánica del suelo a causa del agua, el viento y por acción humana. De

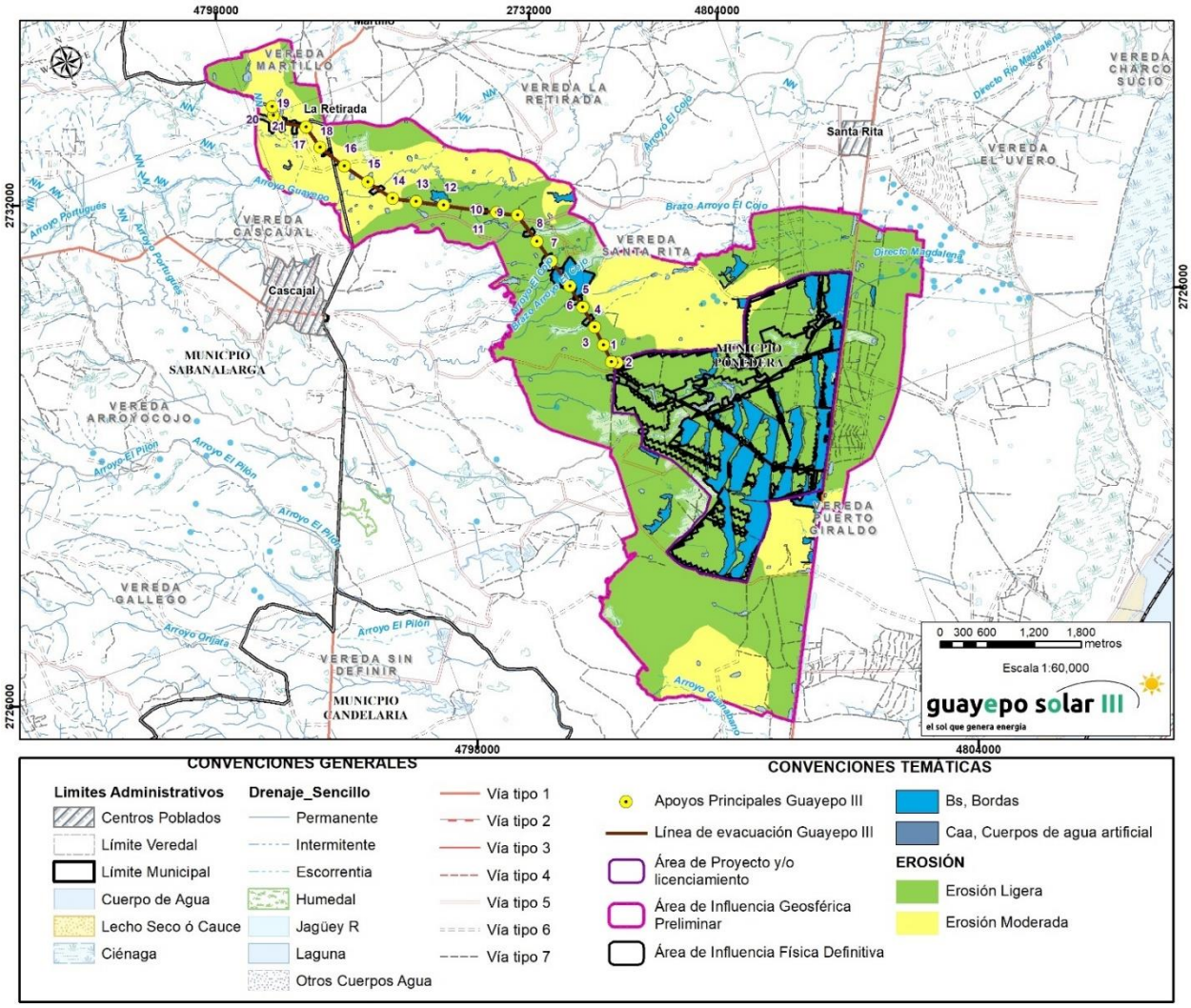
acuerdo con el Estudio Nacional de la Degradación de Suelos por Erosión en Colombia, 2015, el área de estudio presenta erosión de tipo hídrica de clase laminar y terraceo y laminar. Esta erosión se presenta también en diferentes grados, que para el caso del área de influencia va desde ligera a moderada, la representatividad de estas se presenta en la Tabla 5.1-28. Dentro del área de influencia, el grado de erosión predominante es el de erosión ligera con el 73% del área de influencia y el 97% del área de intervención, en extensión le siguen las áreas con erosión moderada, ocupando el 27% del área de influencia y el 3% del área de intervención. La distribución espacial de los diferentes grados de erosión presentes en el área de influencia se muestra en la **Figura 5.1-27**. Esto se debe a la dinámica de los drenajes presentes en el área y a su fluctuación en época seca y en invierno.

Tabla 5.1-28 Erosión en el área de influencia

TIPO DE EROSIÓN	CLASE DE EROSIÓN	GRADO DE EROSIÓN	ÁREA DE INFLUENCIA PRELIMINAR GEOESFÉRICA		ÁREA DE INFLUENCIA FÍSICA DEFINITIVA	
			(Ha)	(%)	(Ha)	(%)
Hídrica	Laminar / Terraceo y Laminar	Ligera	1995,19	74,16%	611,66	96,64%
		Moderada	695,07	25,84%	21.27	3,36%
Total			**2690,26**	**100,00%**	**529,08**	**100,00%**

Fuente; (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021) *adaptado de (MADS, IDEAM, UDCA, 2015).*

Figura 5.1-27 Grados de erosión en el área de influencia preliminar geosférica



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021) *adaptado de (MADS, IDEAM, UDCA, 2015).*[11]

[11] *Las bordas se consideran cuerpos de agua artificial por lo tanto no se califica un grado de erosión*

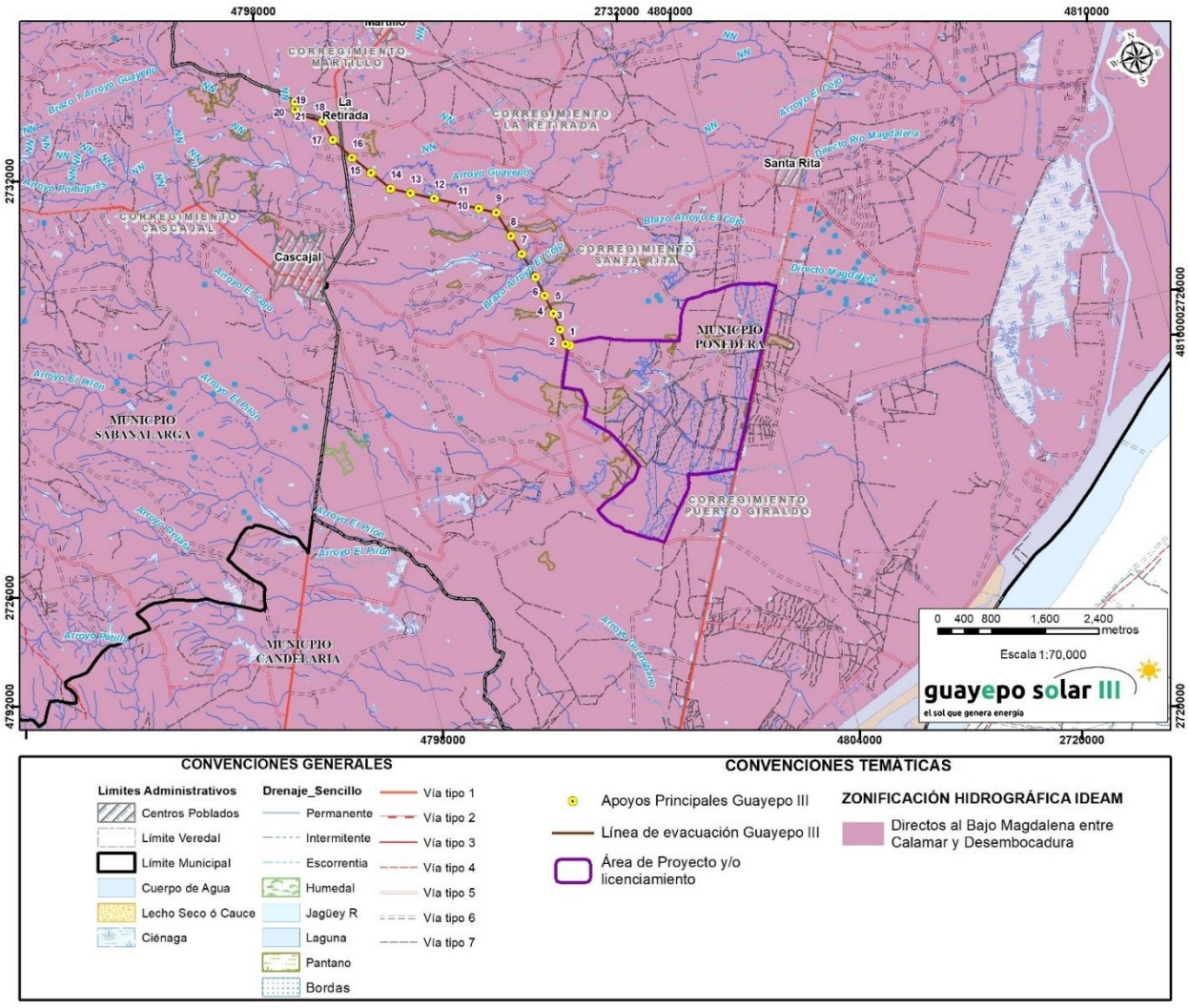
5.1.4 Hidrología

5.1.4.1 Localización del proyecto en zonificación nacional

El área del proyecto se encuentra localizado dentro del sistema hídrico de la cuenca del río Magdalena en el departamento del Atlántico, sobre la cuenca del arroyo Guayepo, el arroyo El Cojo y seis cuerpos de agua sin toponimia.

De acuerdo con la zonificación hidrográfica establecida por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en el informe de “Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia” (IDEAM, 2014), el proyecto se localiza en el área hidrográfica Magdalena Cauca (Código IDEAM 2), Zona hidrográfica Bajo Magdalena (Código IDEAM 29) y la subzona hidrográfica Directos al bajo magdalena entre Calamar y desembocadura (Código IDEAM 2904) como se presenta en la Figura 5.1-28.

Figura 5.1-28 Localización del proyecto en la zonificación hidrográfica IDEAM

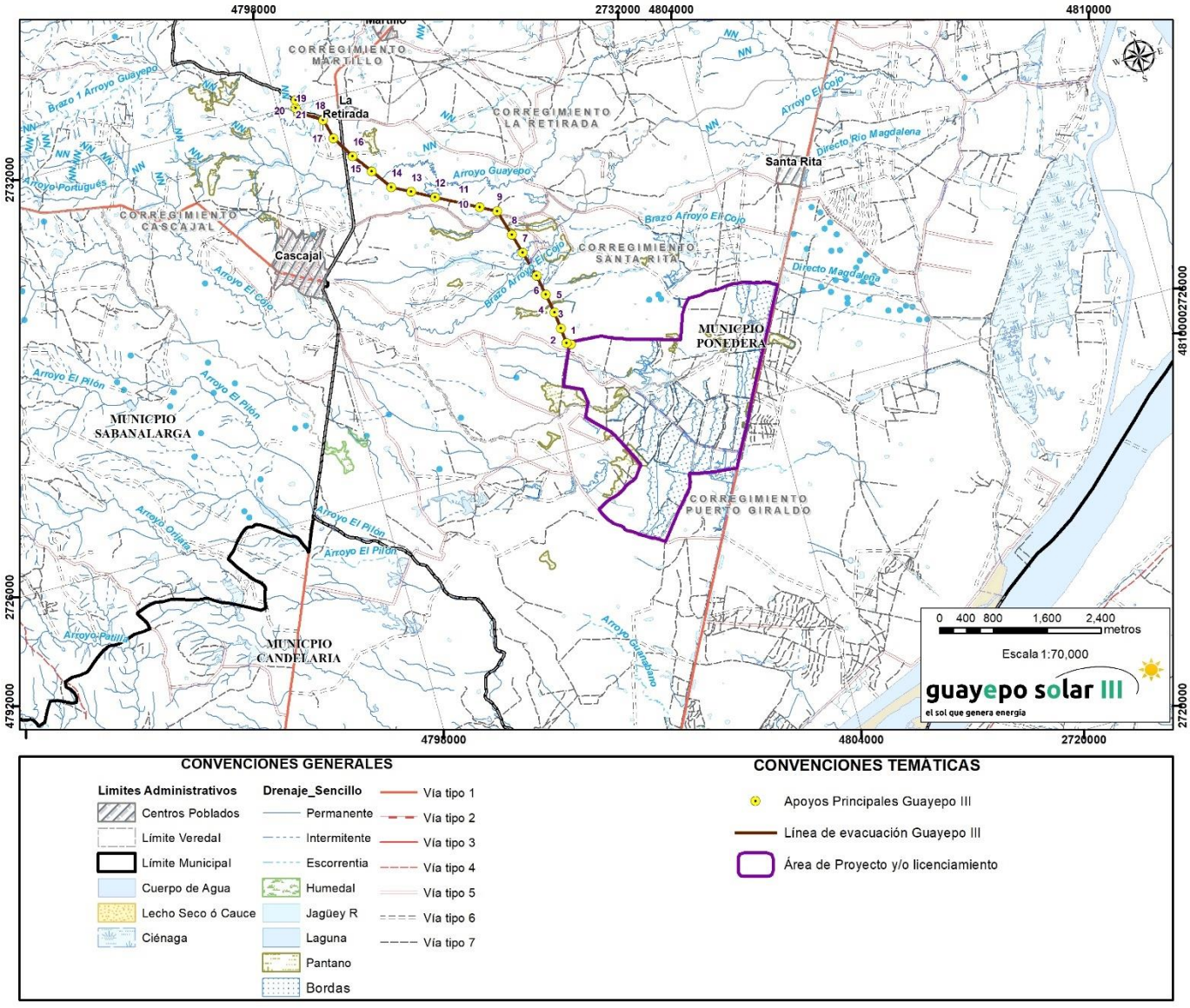


Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.4.2 Identificación de sistemas lénticos y lóticos

A partir de la cartografía IGAC a escala 25000 y 100000, modelo digital de terreno de la zona del proyecto LIDAR y modelo digital de terreno ALOS PALSAR (12,5 m x 12,5 m), se realizó la identificación de los sistemas lénticos y lóticos que se encuentran cerca al área de influencia (ver Figura 5.1-29). Es importante aclarar que la identificación de sistemas lénticos y lóticos se muestra desde la condición actual sin proyecto y teniendo en cuenta los insumos descritos y las condiciones promedio de inundabilidad del área, así como la correspondiente visita de verificación en el área.

Figura 5.1-29 Red de drenaje para el proyecto



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

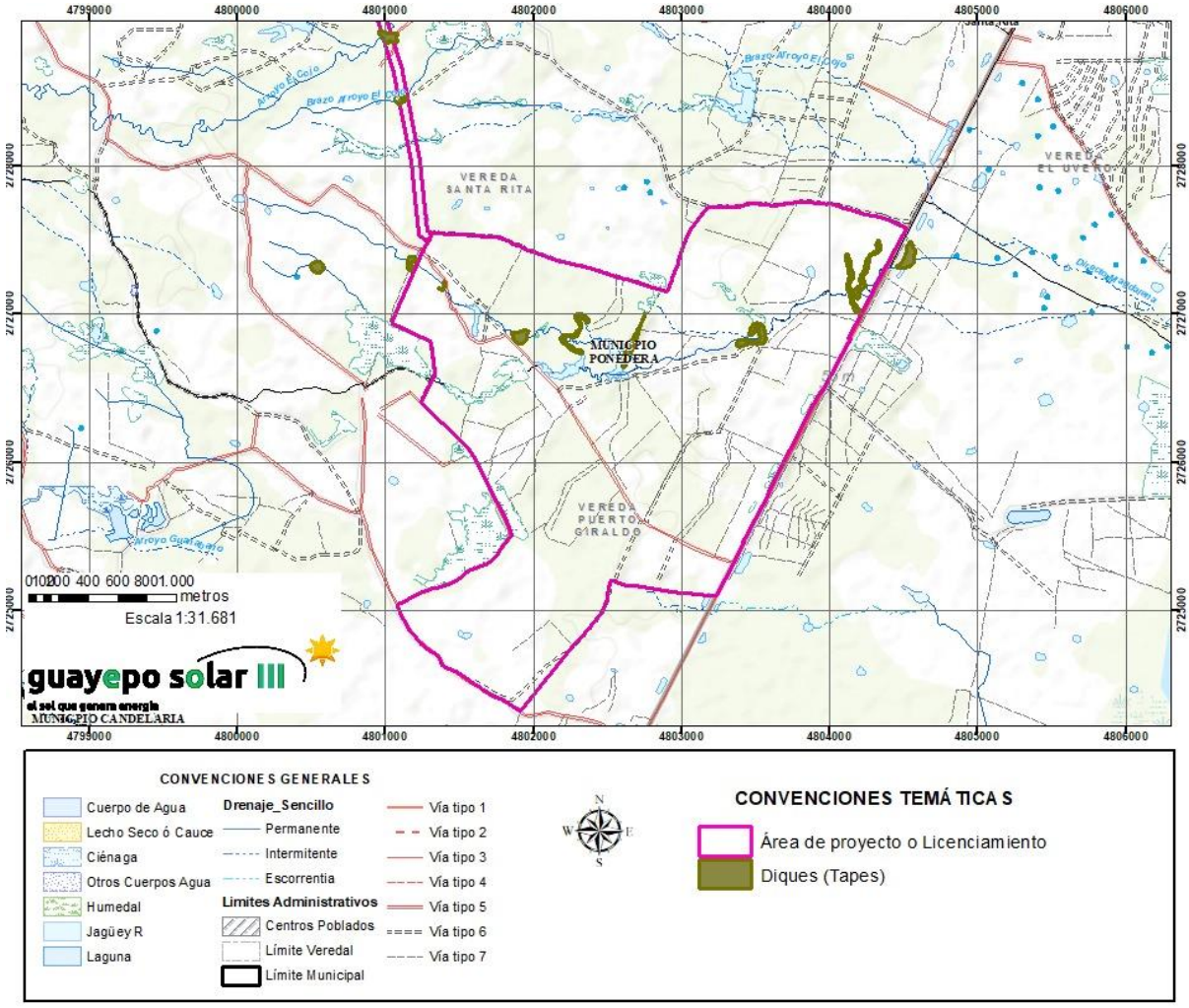
El área del parque solar se encuentra en gran parte controlado por bordas y los arroyos existentes que drenan en sentido occidente-oriente, entregando a un sistema ciénagas adyacentes al río Magdalena. Con respecto a las condiciones agua subterránea-superficial, se han identificado como principales mecanismos 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. Es importante mencionar que en esta región del país existe un marcado uso de la actividad ganadera tradicional. Los terrenos dónde se implantará el parque solar, han sido adecuados de manera tal, que sirven cómo áreas de manejo de pasturas para el ganado, y a su vez, se han creado diques o tapes[12] a lo largo de los arroyos presentes los cuales detienen el agua y el curso normal de los arroyos en los predios tanto del parque solar como la línea de evacuación. Estos diques o tapes detienen el agua de escorrentía en los arroyos y generas algunas veces jagüeyes, zonas pantanosas, pequeños embalses y en algunos casos zonas cenagosas los cuales impiden el normal curso de las aguas por los arroyos presentes. Este fenómeno se presenta en la mayor parte de los predios cercanos y aguas arriba del área del proyecto.

La razón de ser de estos diques o tapes en los arroyos corresponde a que los propietarios de los predios los crearan por la necesidad de tener agua para su actividad ganadera, debido a que a lo largo del tiempo y según la climatología de la zona la mayor parte del año se presenta sequía. Por lo cual, sin estos sitios no se podría sostener la actividad ganadera. Lo anterior se evidenció en los recorridos de campo realizados y en entrevistas hacia los propietarios de los predios. A continuación, en la Figura 5.1-30 se presenta la ubicación de estos diques o tapes en los arroyos presentes que cruzan el proyecto.

[12] *Tape: Un dique, conocido ancestralmente como tape, corresponde a la denominación dada por los comuneros a la acumulación de rocas y sedimentos en ciertas partes del cauce del río para tratar de represar el agua o permitir su acumulación*

Figura 5.1-30 Diques o Tapes en los arroyos presentes que cruzan el proyecto



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Fotografía 5.1-20 Registro fotográfico visita de campo

	
Tape o dique sobre Drenaje NN2 – Zona de parque Solar (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12) E 4.802.640– N 2.726.772	Tape o dique sobre Drenaje NN2 – Zona de parque Solar (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12): E 4.801.941– N 2.726.887
	
Tape o dique sobre brazo afluente del Drenaje NN2 – Zona de parque Solar (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12): E 4.801.092– N 2.728.459	Tape o dique sobre brazo afluente del Drenaje NN2 – Zona de parque Solar (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12): E 4803549 - N2726824

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.4.2.1 Sistemas lénticos

En las subcuencas hidrográficas identificadas para el parque y la línea de transmisión, existen 46 bordas que son estructuras hidráulicas en terreno natural compuesta por una depresión topográfica y dique en tierra para la contención, construida con el fin de almacenar y/o retener el agua lluvia únicamente en época de invierno, exclusivo para uso ganadero, las cuales se identificaron por medio de la cartografía a escala 1:25000 del IGAC e información LIDAR del proyecto a escala 1:1000. De estas bordas, la de mayor extensión cuenta con una superficie de 20,96 ha y se ubica en la en el costado sur del parque solar, en la Tabla 5.1-29 se presenta las bordas identificadas en el área de influencia del proyecto y en la Figura 5.1-31 la localización general.

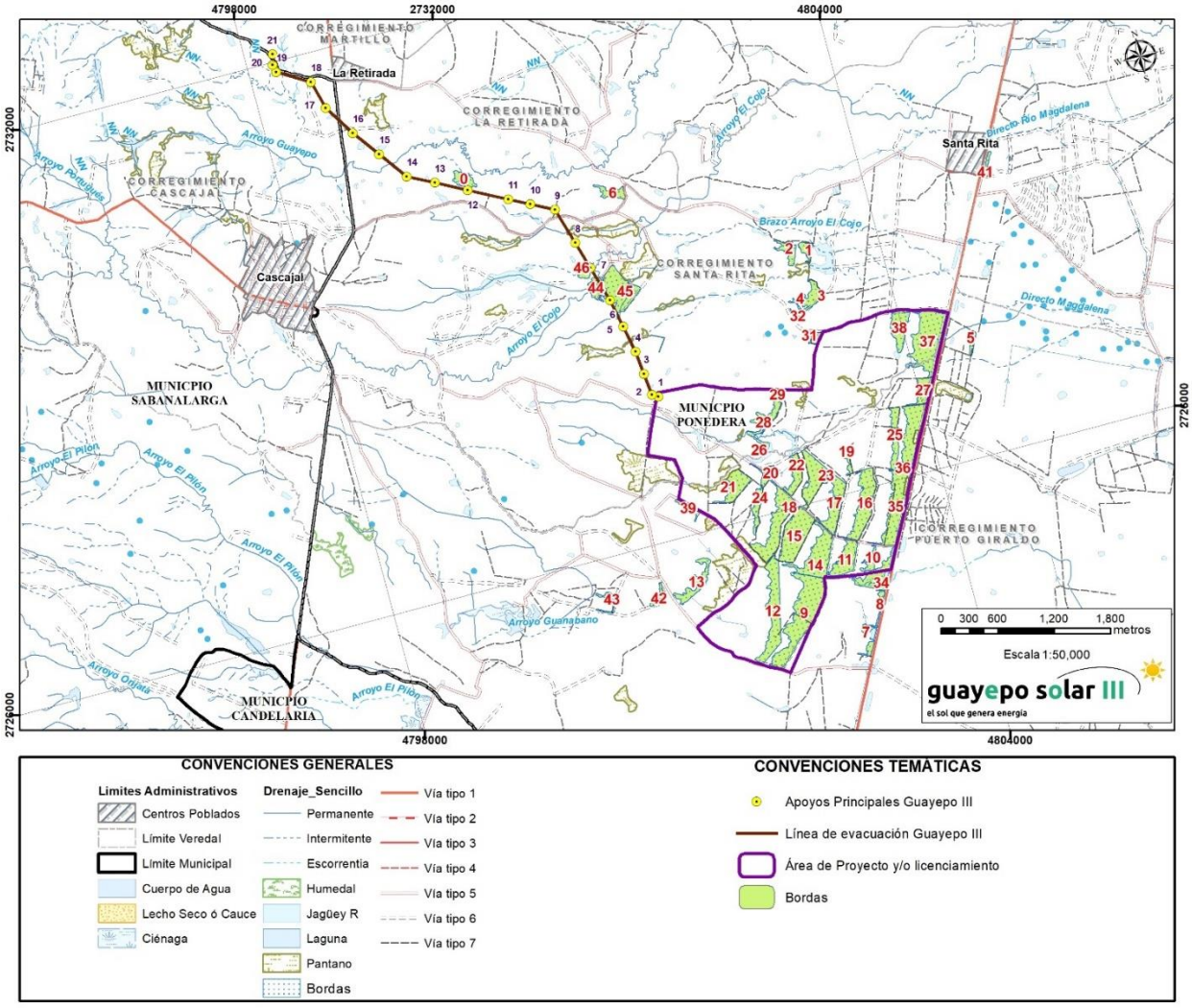
Tabla 5.1-29 Bordas identificadas en el área de influencia del proyecto

ID	N4_COBERT	AREA (HA)	COORDENADAS ORIGEN ÚNICO NACIONAL CTM12	
			ESTE	NORTE
0	Bordas	2,47	4799919,18	2730275,83
1	Bordas	1,82	4803235,96	2728611,73
2	Bordas	2,56	4803045,76	2728651,45
3	Bordas	3,42	4803175,63	2728125,25
4	Bordas	0,53	4803042,01	2728136,64
5	Bordas	1,15	4804680,23	2727218,96
6	Bordas	2,40	4801401,25	2729730,65
7	Bordas	1,85	4802804,64	2724448,69
8	Bordas	1,42	4803011,25	2724772,52
9	Bordas	20,96	4802188,63	2724879,63
10	Bordas	1,49	4803032,61	2725231,96
11	Bordas	6,38	4802783,86	2725326,94
12	Bordas	12,52	4801900,79	2725002,54
13	Bordas	4,88	4801182,94	2725499,40
14	Bordas	10,89	4802507,84	2725437,15
15	Bordas	12,16	4802338,67	2725718,86
16	Bordas	10,60	4803125,66	2725856,09
17	Bordas	7,67	4802825,52	2725940,52
18	Bordas	12,12	4802165,05	2725877,25
19	Bordas	1,08	4803082,76	2726330,41
20	Bordas	0,62	4802277,47	2726435,69
21	Bordas	5,63	4801862,95	2726390,10
22	Bordas	3,96	4802503,43	2726336,08
23	Bordas	8,22	4802677,86	2726264,13
24	Bordas	3,58	4802064,57	2726187,29
25	Bordas	4,38	4803630,78	2726462,18
26	Bordas	1,73	4802237,79	2726798,39
27	Bordas	3,65	4804045,19	2726849,32
28	Bordas	0,52	4802329,25	2726942,49
29	Bordas	3,22	4802426,17	2727075,89
30	Bordas	1,16	4803089,86	2727685,33
31	Bordas	0,26	4803015,82	2727718,10

ID	N4_COBERT	AREA (HA)	COORDENADAS ORIGEN ÚNICO NACIONAL CTM12	
			ESTE	NORTE
32	Bordas	0,57	4802965,66	2728031,56
33	Bordas	0,000013	4804256,79	2727112,58
34	Bordas	6,57	4803062,28	2725075,95
35	Bordas	12,33	4803437,52	2725717,22
36	Bordas	10,55	4803809,90	2726431,01
37	Bordas	16,84	4804229,09	2727347,04
38	Bordas	5,63	4803974,70	2727557,41
39	Bordas	1,19	4801314,27	2726285,81
40	Bordas	0,65	4799128,43	2733708,91
41	Bordas	1,09	4805305,19	2728968,58
42	Bordas	1,13	4800773,88	2725455,24
43	Bordas	1,09	4800237,92	2725560,20
44	Bordas	1,78	4800975,64	2728806,80
45	Bordas	1,78	4801197,89	2728714,77
46	Bordas	1,78	4800899,28	2729000,89

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Figura 5.1-31 Localización general de bordas identificadas en el área del proyecto[13]



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Adicionalmente a la revisión cartográfica se realizó visita de campo el 15 de mayo del 2021, con el fin de conocer el funcionamiento hidráulico de las bordas. Las bordas ubicadas en el área del parque son alimentadas por flujos de escorrentía y por la precipitación, existe una conexión entre ellas por medio de alcantarillas y las

[13] *Para ver información más a detalle ver anexo cartográfico (Anexo 11)*

bordas adyacentes a la carretera nacional cuentan con vertederos de excesos que descargan a las obras de drenaje existente en la vía. De acuerdo por lo manifestado por los dueños del predio, en el mismo no se han presentados inundaciones, sin embargo, en la borda 12 (ver Figura 5.1-31) en épocas de invierno los excesos son orientados a la vía de acceso al predio aguas arriba, debido a que el predio vecino cuenta con una estructura de almacenamiento que conduce sus excesos hacia la borda 12 sin ningún control. En la Fotografía 5.1-21 se presenta un consolidado del registro fotográfico de la visita realizada y en la Tabla 5.1-29 se presenta el listado y característica de las bordas identificadas.

Fotografía 5.1-21 Registro fotográfico visita de campo

<table>
<tr><td>  </td><td> 
</td></tr>
<tr><td>Punto de excesos Borda No.12
Corregimiento de Puerto Giraldo
Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12):
E 4.801.914– N 2.725.012</td><td>Vía de acceso descarga Borda No.12
Corregimiento de Puerto Giraldo
Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12):
E 4.801.914– N 2.725.012</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>Borda No.12
Corregimiento de Puerto Giraldo</td><td>Obra existente descarga Borda 8, 34 y 10
Corregimiento Santa Rita</td></tr>
</table>

Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12): E 4.801.914– N 2.725.012	Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12): E 4804406 - N2727315
	
Vertedero Borda 35 Corregimiento de Santa Rita Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12): E 4803460 – N 2725531	Obra existente descarga borda 35 Corregimiento de Santa Rita Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12): E 4803460 – N 2725531
	
Vertedero Borda 36 costado sur Unidad territorial: Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12): E4804058 - N2726639	Obra existente descarga borda 35 costado sur Corregimiento de Santa Rita Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12): E 4803460 – N 2725531

	
Vertedero Borda 36 costado norte Corregimiento de Santa Rita Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12): E4804058 - N2726639	Obra existente descarga borda 35 costado norte Corregimiento de Santa Rita Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12): E 4803460 – N 2725531
	
Vertedero Borda 37 Corregimiento de Santa Rita Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12): E 4804398– N 2727318	Obra existente descarga borda 37 Corregimiento de Santa Rita Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12): E 4804398– N 2727318

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.4.2.2 Sistemas lóticos

Los sistemas lóticos, que son superpuestos por la línea eléctrica y por el parque solar, corresponden al arroyo Guayepo (línea de evacuación), arroyo EL Cojo (línea de evacuación) y otros cuerpos de agua sin toponimia los cuales identificaremos como Afluente Arroyo El Cojo 1, Afluente Arroyo El Cojo 2, drenajes NN1, NN2, NN3 y NN4 (línea de evacuación), Drenaje Parque NN2 y Drenaje Parque NN3.

El arroyo El Cojo es afluente del arroyo Guayepo el cual posteriormente drena hacia el río Magdalena por su margen izquierda en el municipio de Ponedera, departamento del Atlántico. La jerarquización de la red hídrica se presenta en la Tabla 5.1-30.

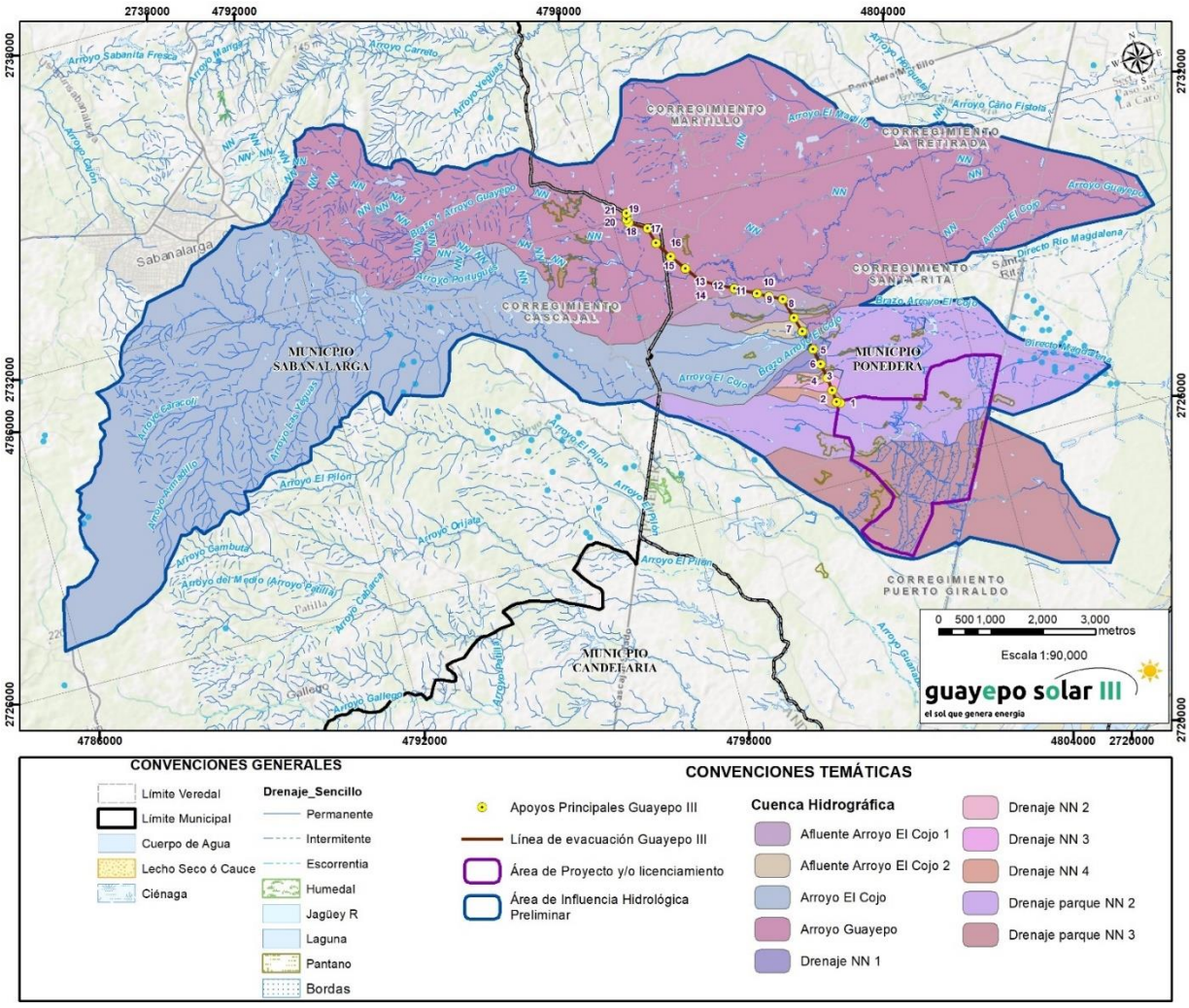
Tabla 5.1-30 Jerarquización de la red de drenaje

ÁREA HIDROGRÁFICA	ZONA HIDROGRÁFICA	SUBZONA HIDROGRÁFICA	U.H NIVEL I	U. H. NIVEL II	U. H. NIVEL III
Magdalena Cauca	Bajo Magdalena	Directos al bajo magdalena entre Calamar y desembocadura	Arroyo Guayepo	-	-
			Arroyo Guayepo	Arroyo El Cojo	Afluentes Arroyo el Cojo 1 y 2
			-	-	Drenajes NN directos al río Magdalena

Fuente: Tomada y adaptada (IDEAM, 2013)

En la Figura 5.1-32 se presenta la red de drenaje sobre la cual se encuentra localizado el proyecto y las subcuencas analizadas.

Figura 5.1-32 Subcuencas analizadas para el proyecto



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

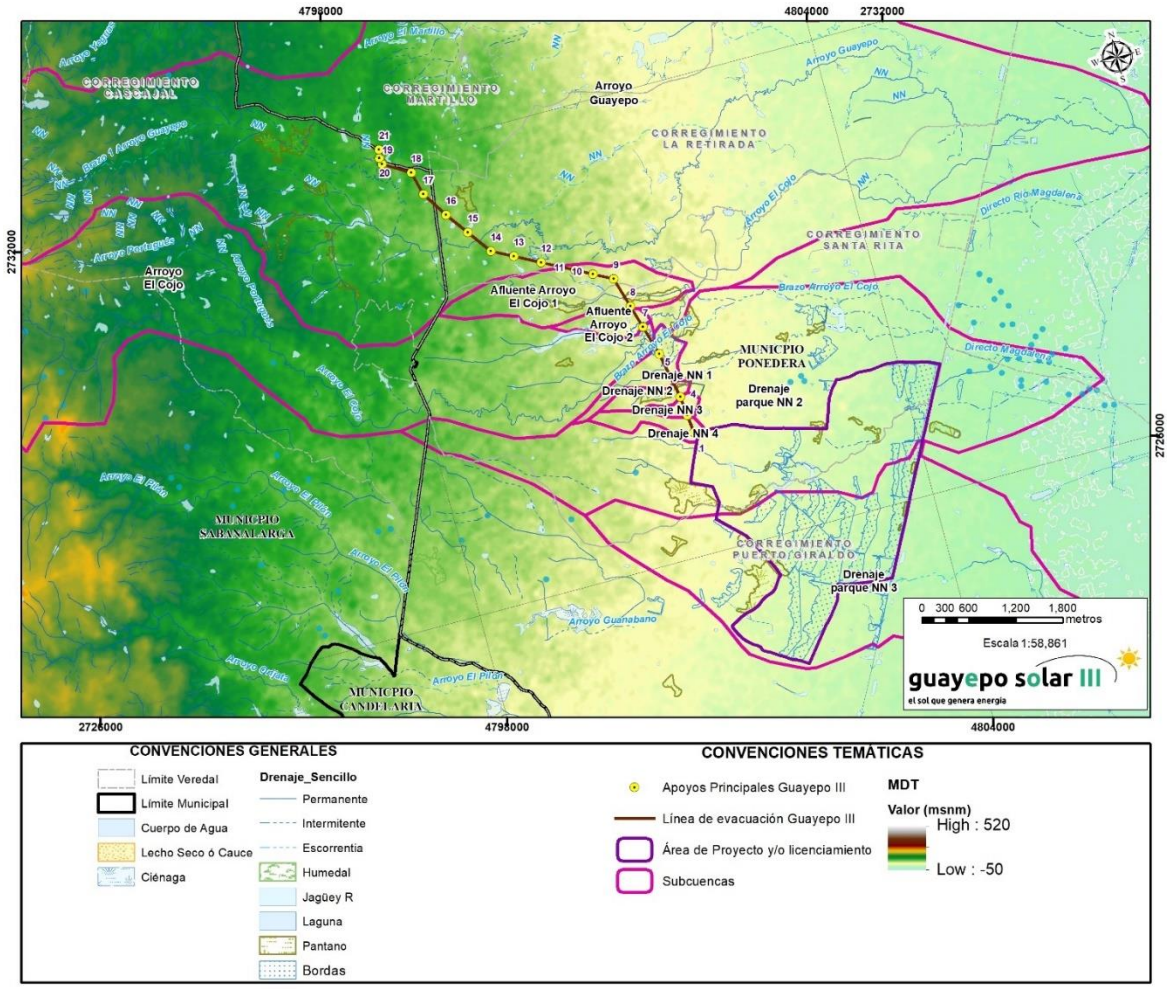
5.1.4.3 Características morfométricas de las subcuencas analizadas

Para la delimitación de las subcuencas asociadas a la red de drenaje que son de interés, se empleó la cartografía IGAC a escala 25000 y 100000, modelo digital de terreno de la zona del proyecto LIDAR y la red de drenaje identificada, y establecer las divisorias de agua asociadas a las subcuencas hidrográficas.

Para la delimitación de las cuencas asociadas a la red de drenaje que es de interés se empleó también un DEM del sistema ALOS PALSAR para complementar la información de relieve en el área de influencia y así definir las divisorias de agua

asociadas a la subcuenca hidrográfica y pendiente topográfica. En la Figura 5.1-33 se presenta el DEM empleado.

Figura 5.1-33 Delimitación subcuencas analizadas



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Para las subcuencas identificadas se determinaron las principales características morfométricas las cuales se describen a continuación:

- **Área de drenaje:** Es la superficie del terreno que contribuye al escurrimiento, hacia el cauce principal y sus tributarios, delimitada por la divisoria de aguas o línea imaginaria que se ubica en los puntos de mayor elevación topográfica.
- **Perímetro:** Corresponde a la longitud de la línea divisoria de la cuenca de drenaje.

- **Longitud del cauce principal:** Es la distancia medida desde el punto más alejado de la cuenca hasta el sitio de cierre de esta.
- **Coeficiente de compacidad**: El coeficiente de compacidad o índice de Gravelius permite determinar la irregularidad de la cuenca. Se define como la relación entre el perímetro y la longitud de la circunferencia correspondiente a un círculo de igual área de la cuenca, según la Ecuación 5.1-1

Ecuación 5.1-1

$$Kc = 0,282 \frac{P}{A^{0,5}}$$

Donde:

- P es el perímetro en kilómetros
- A es el área de la cuenca en km².
- Cuanto más irregular sea la cuenca, mayor será su coeficiente de compacidad. Este coeficiente define la forma de la cuenca, respecto a la similitud con formas redondas, dentro de los rangos que se muestran en la Tabla 5.1-31 determinados por la FAO (1985).

Tabla 5.1-31 Clasificación del coeficiente de compacidad

RANGO	DESCRIPCIÓN
1,00 – 1,25	Redonda a oval redonda
1,25 – 1,50	Oval redonda a oval oblonga
1,50 – 1,75	Oval oblonga a rectangular oblonga
> 1,75	Rectangular oblonga

Fuente: (FAO, 1985)

Factor de forma: Índice que permite establecer la tendencia morfológica general en función de la longitud axial de la cuenca y de su área promedio. Una cuenca tiende a ser alargada si el factor de forma tiende a cero, mientras que su forma es redonda, en la medida que el factor de forma tiende a uno.

Este factor, es un referente para establecer la dinámica esperada de la escorrentía superficial en una cuenca, teniendo en cuenta que aquellas cuencas con formas alargadas tienden a presentar un flujo de agua más veloz, en comparación de las

cuencas redondeadas, logrando una evacuación más rápida, mayor desarrollo de energía cinética en el arrastre de sedimentos hacia el nivel de base principalmente. (Ver Ecuación 5.1-2).

Ecuación 5.1-2

$$K_f = \frac{A}{L^2}$$

Donde:

A es el área de drenaje de la cuenca en km²

L es la longitud axial de la cuenca en km, distancia en línea recta entre la parte más alta de la cuenca y la parte más baja o de desembocadura (FAO, 1985).

Densidad de drenaje: Corresponde a la relación entre la longitud total de los cuerpos de agua dentro de la cuenca en Km y el área total de ésta en Km². Generalmente se expresa en km/km² y toma valores entre 0,5 para cuencas con drenaje pobre y 3,5 para cuencas excepcionalmente bien drenadas (Monsalve, 1999) y es calculado mediante la Ecuación 5.1-3

Ecuación 5.1-3

$$D_d = \frac{\Sigma L}{A}$$

Donde:

D_d es la densidad de drenaje en km/km²

Les la longitud de cauces en km

Aes el área total de la cuenca en km²

Pendiente media del cauce: La pendiente media del cauce principal se determinó mediante la metodología de Taylor - Schwartz, expresada en la Ecuación 5.1-4**.**

Ecuación 5.1-4

$$S = \left\{ \sum \frac{Li}{\left(\frac{1}{\sqrt{Si}} \right)} \right\}^2$$

Donde:

S es la pendiente media del cauce principal en m/m

L es la longitud del cauce principal en m

li es la longitud del tramo (m) entre las curvas de nivel

Si es la pendiente media del tramo (m/m)

Este parámetro fue empleado en la estimación del tiempo de concentración de las subcuencas identificadas.

Tiempo de concentración: El tiempo de concentración es el tiempo que toma el agua superficial en llegar desde el punto más alejado de la cuenca hasta el sitio de interés. El tiempo de concentración se calculó a partir de diferentes metodologías con el fin de aumentar el grado de certeza. En este caso se utilizaron metodologías como, Témez, Williams, Bransby-Williams, Giandotti, entre otras, de las cuales se calculó el promedio aritmético, descartando los valores extremos que sobrepasan el intervalo de confianza definido por promedio menos desviación estándar y promedio más desviación estándar.

Índice de sinuosidad: 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. (Schumm, 1963) (Ecuación 5.1-5).

Ecuación 5.1-5

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

Donde:

L_c es la longitud del cauce

L_v es la longitud del valle

En la **Tabla 5.1-32** se presenta la clasificación del índice de sinuosidad

Tabla 5.1-32 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: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

El patrón de drenaje en las cuencas en estudio se identifica como dendrítico en las zonas alta y media de las cuencas, mientras que en zonas más planas tiende a ser subparalelo.

Densidad de corriente: como el número de corrientes perennes e intermitentes por unidad de área.

En la Tabla 5.1-33 se presenta el resultado de las características generales asociadas a los cuerpos de agua identificados.

Tabla 5.1-33 Características morfométricas de las cuencas en estudio

PARÁMETRO	UNIDAD	ARROYO GUAYEPO	AFLUENTE ARROYO EL COJO 1	AFLUENTE ARROYO EL COJO 2	ARROYO EL COJO	DRENAJE NN 1	DRENAJE NN 2	DRENAJE NN 3	DRENAJE NN 4	DRENAJE PARQUE NN 2	DRENAJE PARQUE NN 3
Área	km^2	19,0	1,6	0,3	38,0	0,5	0,2	0,1	0,3	7,0	6,2
P	km	26,1	7,0	2,8	43,5	4,3	2,7	1,9	3,3	15,7	12,0
L	km	14,3	3,3	1,0	25,5	1,4	1,0	0,7	1,4	9,1	3,6
Z máx	msnm	100	50	32	200	36	34	32	35,5	50	34
Z mín	msnm	30	26	27	27,6	31	29,6	29	29,4	9,2	17
L drenajes	km	89,2	3,4	1,0	192,8	1,9	1,2	0,7	1,4	20,0	3,6
Pendiente cauce	m/m	0,004	0,007	0,005	0,004	0,003	0,005	0,005	0,004	0,004	0,005
Coef. Compacidad		1,69	1,57	1,50	1,99	1,77	1,53	1,47	1,75	1,67	1,35
Densidad de drenaje	km/km^2	4,70	2,14	3,54	5,07	4,10	4,80	5,22	4,76	2,87	0,58
Tc	min	398	116	55	476	76	53	33	59	281	147

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.4.4 Caracterización meteorológica

5.1.4.4.1 Clima

El área de estudio se encuentra instrumentada con estaciones climatológicas operadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), que permiten conocer el comportamiento altitudinal y temporal de variables tales como: temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, radiación solar y nubosidad. De dichas estaciones fueron seleccionadas las que se encuentran activas, con mayor calidad en la información, es decir, contaban con una buena completitud en los datos. Así mismo, son las máscercanas a la zona del proyecto por lo cual, se puede obtener la correspondiente variabilidad climática de la zona de estudio en el periodo más reciente posible.

En la Tabla 5.1-34 se presentan las características de las estaciones empleadas y en la Figura 5.1-34 se presenta su localización espacial. En el Anexo 5.1.3. Hidrología se presenta las memorias de la información base y análisis realizados.

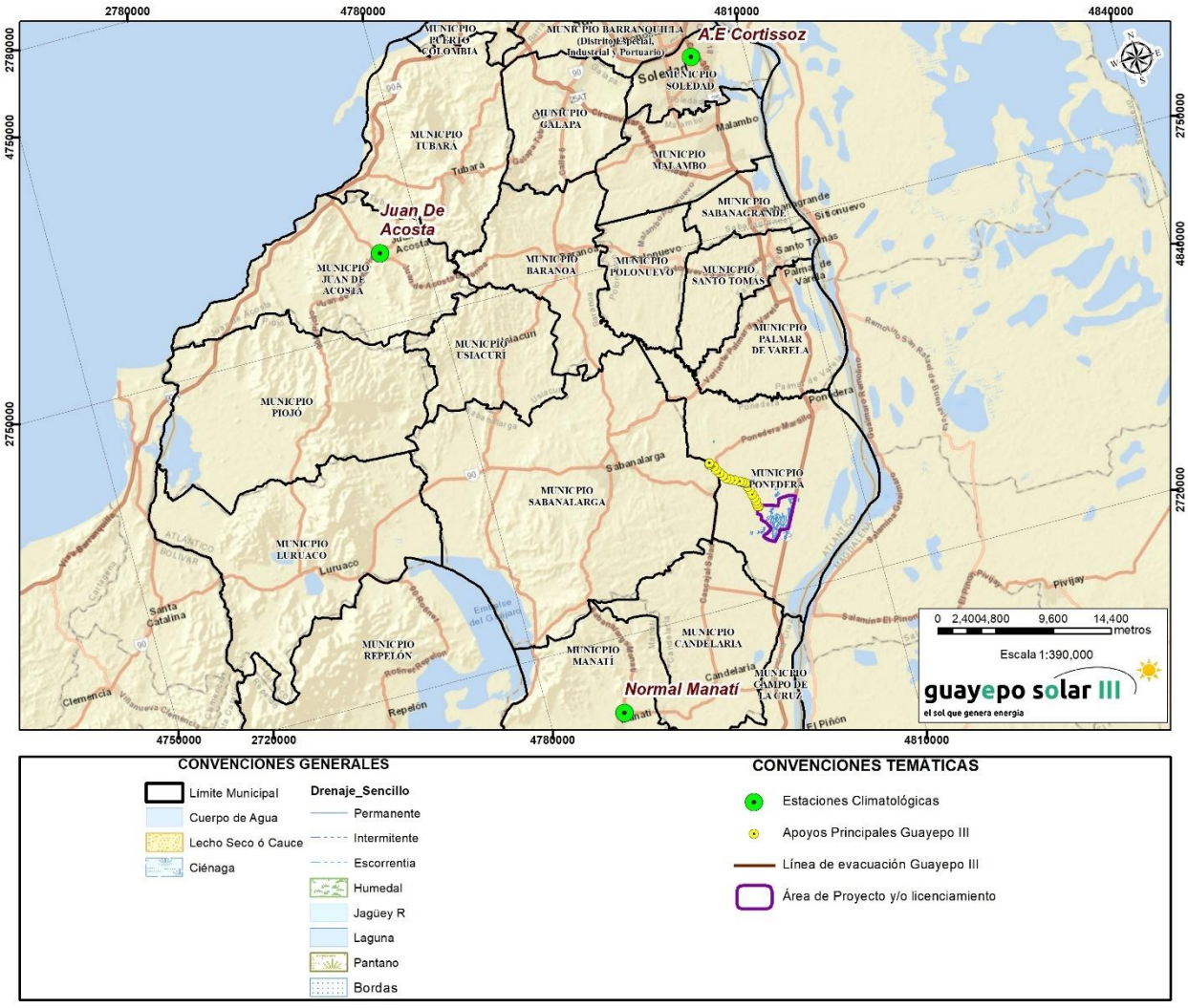
Tabla 5.1-34 Resumen de características climatológicas empleadas

ESTACIÓN	CÓDIGO	CATEGORÍA	MUNICIPIO	ALTITUD	FECHA INSTALACIÓN	ESTE	NORTE
A.E Cortissoz	29045020	AM	Soledad	14	15/05/1940	4805571	2765027
Juan De Acosta	29045110	CO	Juan De Acosta	20	15/01/1964	4776396	2755934
Normal Manatí	29035080	CP	Manatí	10	15/10/1963	4786131	2713812

Nota: CP: Climatológica Principal, CO: Climatológica Ordinaria, AM: Agrometeorológica

Fuente: IDEAM.

Figura 5.1-34 Localización de estaciones climatológicas



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Para la caracterización climática general de la zona de estudio se utilizó el periodo más completo de información registrada en las estaciones climáticas recopiladas para la zona del proyecto.

5.1.4.4.1.1 Variación de la temperatura

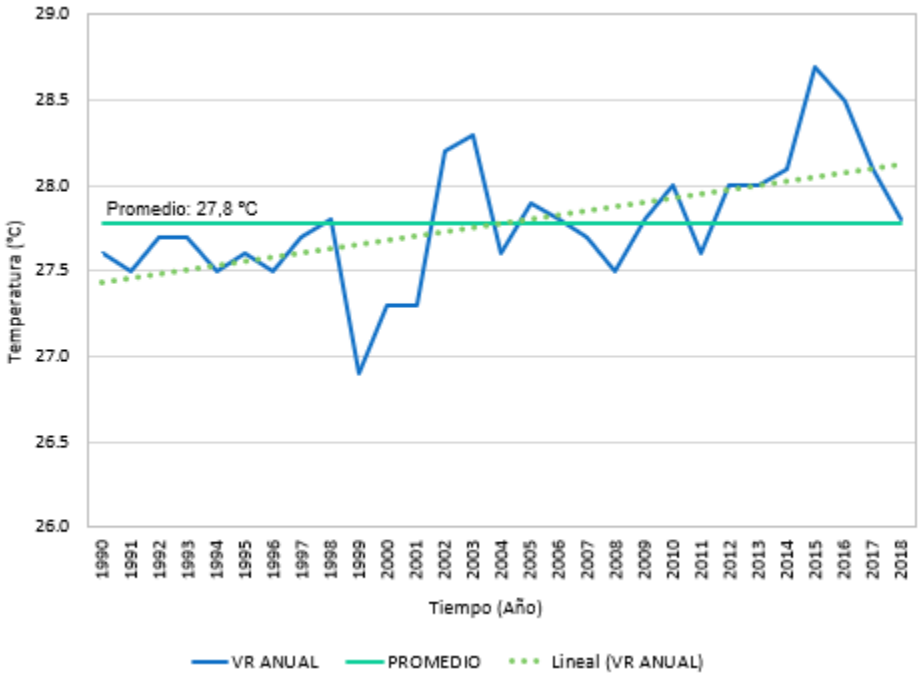
A continuación, se presenta la distribución temporal de la temperatura media, mínima y máxima de las estaciones base para el periodo común 1990 – 2018.

5.1.4.4.1.2 Estación Apto. Ernesto Cortissoz

Para conocer el comportamiento de la temperatura en la estación Apto. E. Cortissoz se revisó la tendencia multianual de los registros y su comportamiento de registros medios, máximos y mínimos.

En la Figura 5.1-35 se presenta el comportamiento multianual de la temperatura y en la Figura 5.1-36 el comportamiento de los valores máximos, medios y mínimos.

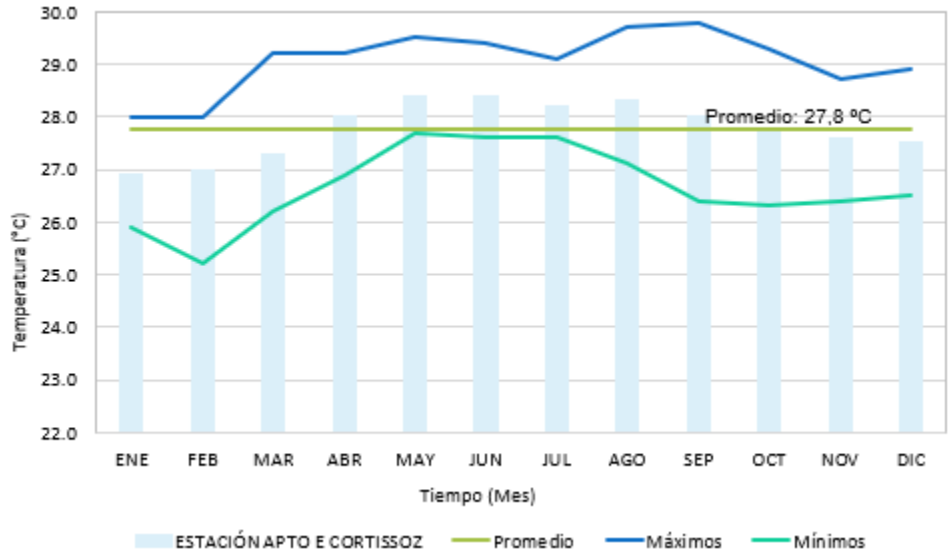
Figura 5.1-35 Distribución multianual de la temperatura – Apto. Ernesto Cortissoz



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Como se observa en la Figura 5.1-35 la temperatura anual promedio es de 27,8 °C y el valor máximo anual es de 28,7 °C.

Figura 5.1-36 Distribución media, máxima y mínima de la temperatura - Apto. Ernesto Cortissoz



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

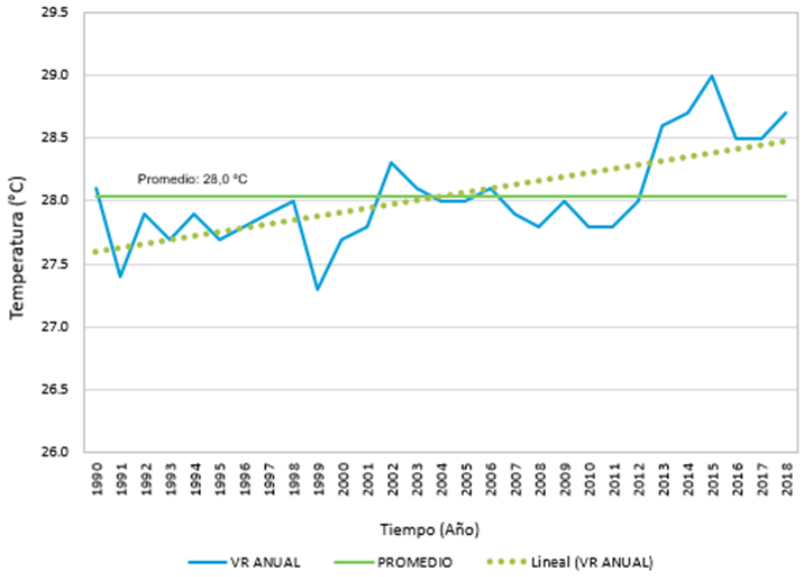
Como se puede observar en la Figura 5.1-36 la temperatura tiene un comportamiento monomodal, con un valor promedio de 27,8 °C. Los valores inferiores al promedio se presentan entre los meses de octubre a marzo y los superiores al promedio entre los meses de abril a septiembre. El valor máximo de temperatura se registra en el mes septiembre con un valor de 29,7 °C, y el valor mínimo se registra en el mes de febrero con un valor de 25,2 °C.

5.1.4.4.1.2.1.1 Estación Juan de Acosta

Para conocer el comportamiento de la temperatura en la Juan de Acosta se revisó la tendencia multianual de los registros y su comportamiento de registros medios, máximos y mínimos.

En la Figura 5.1-37 se presenta el comportamiento multianual de la temperatura y en la Figura 5.1-38 el comportamiento de los valores máximos, medios y mínimos.

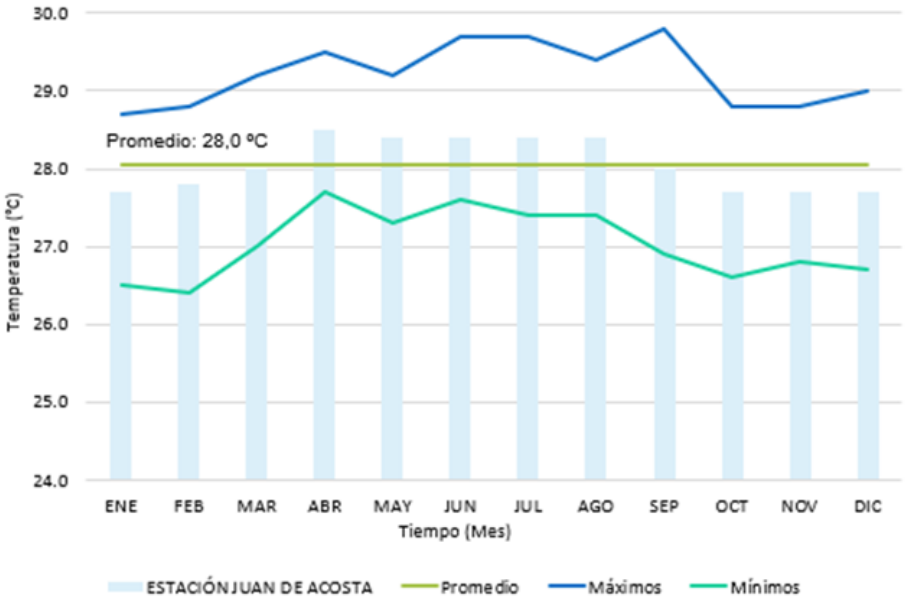
Figura 5.1-37 Distribución multianual de la temperatura – Juan de Acosta



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Como se observa en la Figura 5.1-37 la temperatura anual promedio es de 28,0 °C y el valor máximo anual es de 29,0 °C.

Figura 5.1-38 Distribución media, máxima y mínima de la temperatura – Juan de Acosta



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

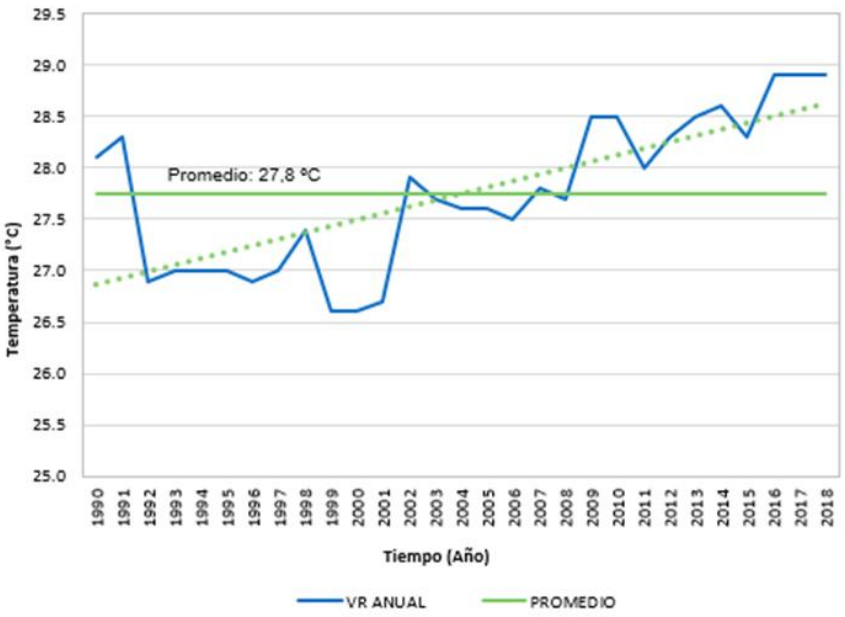
Como se observa en la Figura 5.1-38 la temperatura tiene un comportamiento monomodal, con un valor promedio de 28,0 °C. Los valores inferiores al promedio se presentan entre los meses de septiembre a marzo y los superiores al promedio entre los meses de abril a agosto. El valor máximo de temperatura se registra en el mes de septiembre con un valor de 29,8 °C, y el valor mínimo se registra en el mes de febrero con un valor de 26,4 °C.

5.1.4.4.1.2.1.2 Estación Normal Manatí

Para conocer el comportamiento de la temperatura en la Normal Manatí se revisó la tendencia multianual de los registros y su comportamiento de registros medios, máximos y mínimos.

En la Figura 5.1-39 se presenta el comportamiento multianual de la temperatura y en la Figura 5.1-40 el comportamiento de los valores máximos, medios y mínimos.

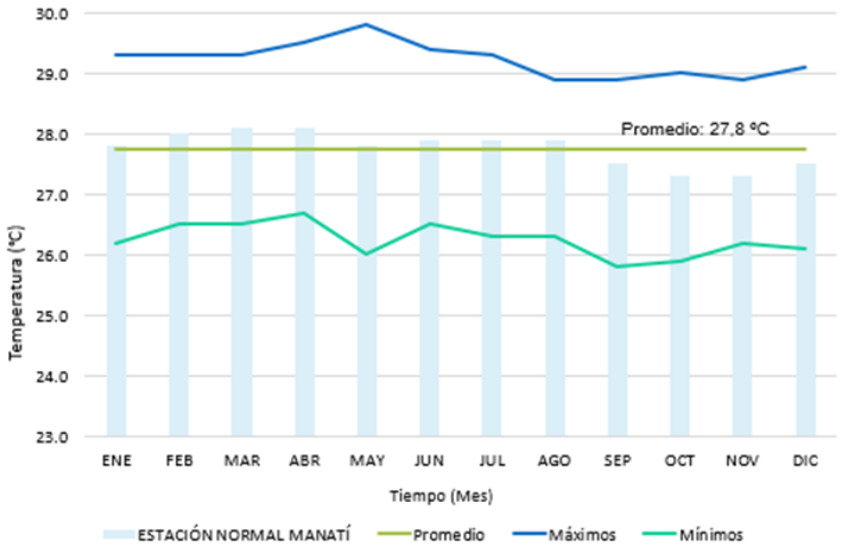
Figura 5.1-39 Distribución multianual de la temperatura – Normal Manatí



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Como se observa en la Figura 5.1-39 la temperatura anual promedio es de 27,8 °C y el valor máximo anual es de 28,9 °C.

Figura 5.1-40 Distribución media, máxima y mínima de la temperatura – Normal Manatí



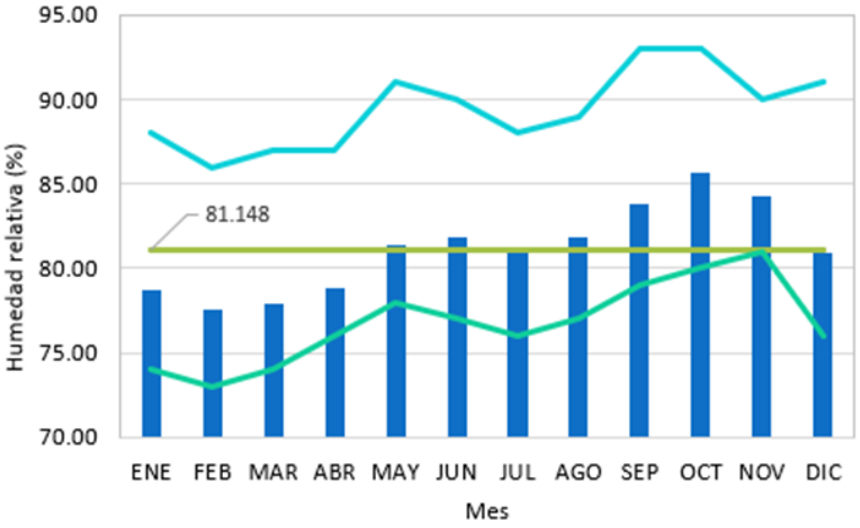
Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Como se observa en la Figura 5.1-40 la temperatura tiene un comportamiento monomodal, con un valor promedio de 27,8 °C. Los valores inferiores al promedio se presentan entre los meses de septiembre a diciembre y los superiores al promedio entre los meses de enero a agosto. El valor máximo de temperatura se registra en el mes de mayo con un valor de 29,8 °C, y el valor mínimo se registra en el mes de septiembre con un valor de 25,8 °C.

5.1.4.4.1.3 Variación de la humedad relativa

La humedad relativa se define como la cantidad de agua que está presente en el aire. Para validar esta variable en la zona de estudio se utilizaron los registros de las estaciones Aeropuerto Ernesto Cortissoz y Normal Manatí, en la Figura 5.1-41 y Figura 5.1-42 se presenta el comportamiento de la humedad relativa en las estaciones, respectivamente. Se descartaron 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.

Figura 5.1-41 Distribución temporal de la humedad relativa – Apto. Ernesto Cortissoz

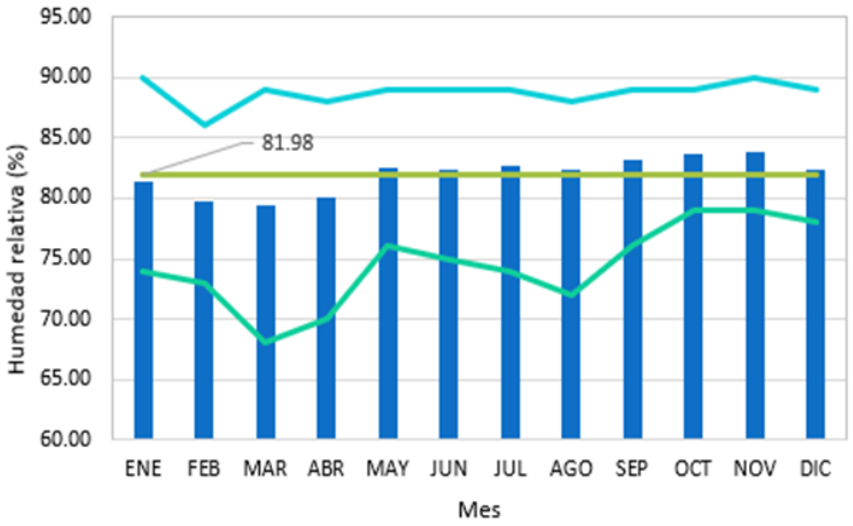


Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Como se observa en la Figura 5.1-41 la estación Apto. Ernesto Cortissoz tiene un comportamiento bimodal, con períodos de humedad relativa mayores al promedio en los meses de mayo – junio y agosto - noviembre, y con períodos inferiores al promedio entre diciembre - abril y junio. La humedad alcanza su máximo valor promedio en octubre (85,71%) y el mínimo valor promedio ocurre en febrero (77,54%).

El máximo valor de humedad relativa multianual en la estación Apto. Ernesto Cortissoz es del 93,0% en el mes de octubre, y el valor mínimo multianual es 73,0% en febrero.

Figura 5.1-42 Distribución temporal de la humedad relativa – Normal Manatí



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Como se observa en la Figura 5.1-42 la estación Normal Manatí tiene un comportamiento monomodal, con un período de humedad relativa mayores al promedio en los meses de mayo –diciembre, y con períodos inferiores al promedio entre enero - abril. La humedad alcanza su máximo valor promedio en noviembre (83,81%) y el mínimo valor promedio ocurre entre febrero, marzo y abril (79,39%).

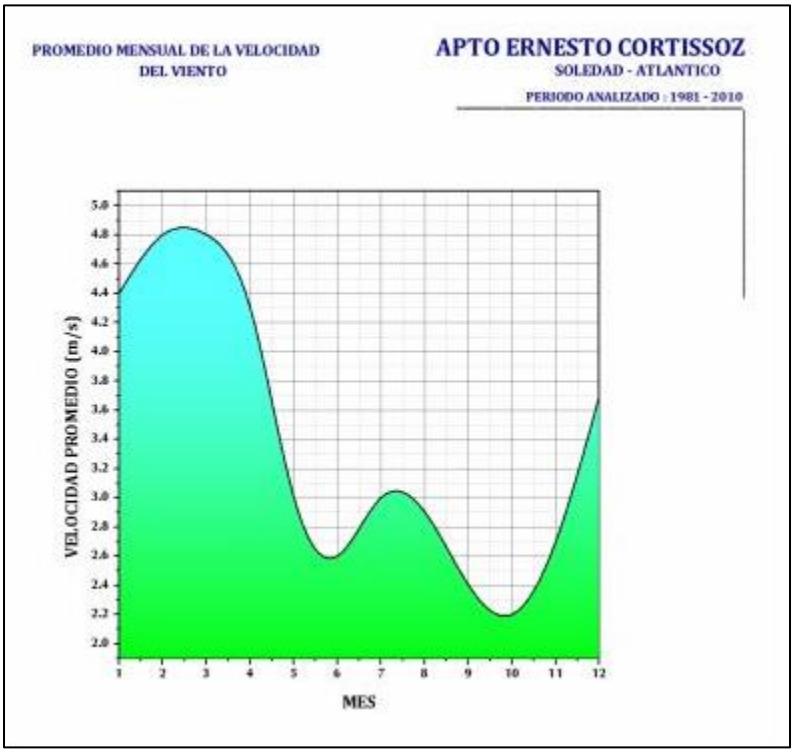
El máximo valor de humedad relativa multianual en la estación Normal Manatí es del 90,0% en el mes de noviembre, y el valor mínimo multianual es 68,0% en marzo.

5.1.4.4.1.4 Variación de la velocidad del viento

Para conocer características de la velocidad del viento se tomaron los registros oficiales reportados por el IDEAM de la estación Aeropuerto E Cortissoz, por ser la estación más cercana al proyecto con registros de esta variable.

En la Figura 5.1-43 se muestra el comportamiento promedio mensual de la velocidad del viento, donde se puede observar que los valores más altos se presentan en el periodo de los meses de febrero a marzo con un máximo valor de velocidad media de 4,8 m/s, y valores de velocidades mínima entre junio y octubre registrando el valor mínimo en el mes de octubre con un valor de 2,2 m/s.

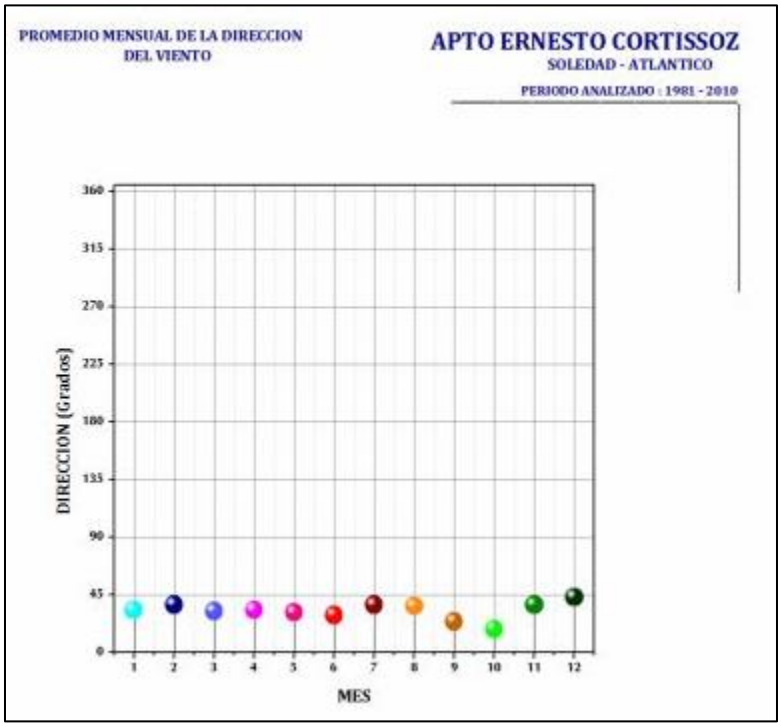
Figura 5.1-43 Promedio mensual de la velocidad del viento – Apto Ernesto Cortissoz



Fuente: (IDEAM, 2021)

En la Figura 5.1-44 se muestra el comportamiento mensual de la dirección del viento. Se observa que los registros tienen un comportamiento en grados en dirección noreste, con valor máximo de 37,6 en el mes de diciembre, valor mínimo en la dirección promedio de 18 grados en el mes de octubre, y promedio de 22,5.

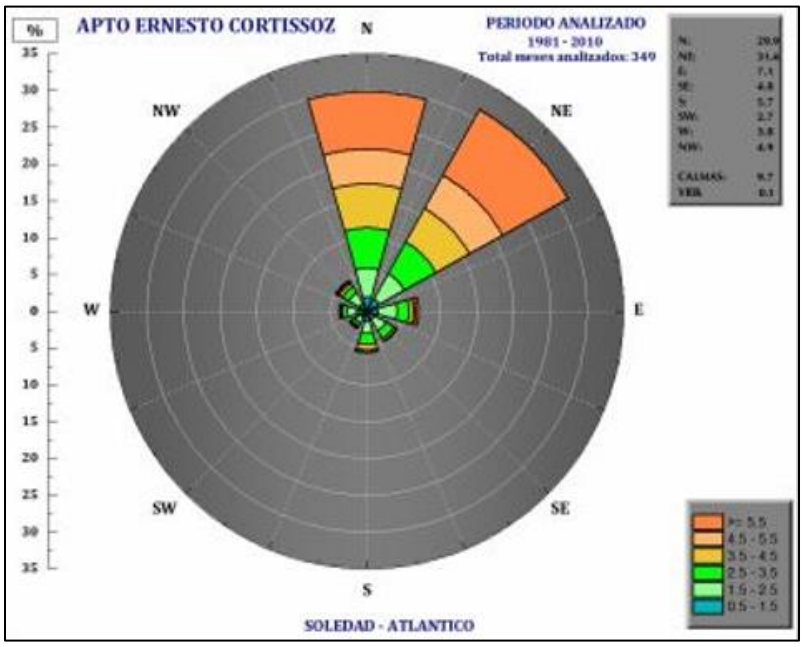
Figura 5.1-44 Promedio mensual de la dirección del viento – Apto Ernesto Cortissoz



Fuente: (IDEAM, 2021)

Con el fin de ver gráficamente el comportamiento de la dirección de los vientos, se construye un gráfico denominado rosa de vientos, que para el caso del proyecto se tomó el reportado por el IDEAM en la estación Apto. Ernesto Cortissoz, (ver Figura 5.1-45).

Figura 5.1-45 Rosa de vientos – Apto Ernesto Cortissoz



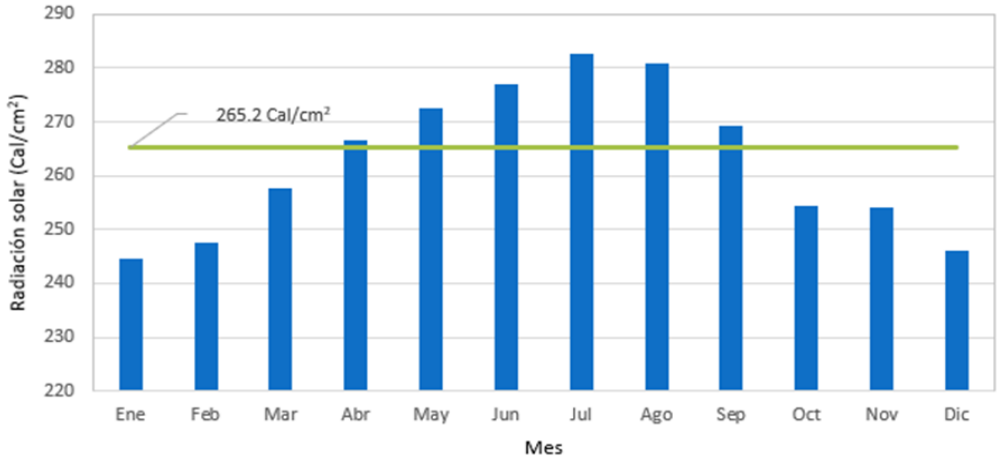
Fuente: (IDEAM, 2021)

De acuerdo con la Figura 5.1-45 la dirección predominante de los vientos es en sentido noreste – norte, con frecuencias máximas de 34% y 28%, y en promedio las velocidades oscilan entre 5 – 8 m/s.

5.1.4.4.1.5 Variación de la radiación solar

Para conocer la variación de la radiación solar en la zona del proyecto se utilizó la información consignada en el Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia del IDEAM. En la Figura 5.1-46 se presenta la distribución mensual multianual de la radiación solar en la estación Apto. Ernesto Cortissoz.

Figura 5.1-46 Distribución temporal de la radiación solar - Apto Ernesto Cortissoz



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Como se puede observar en la Figura 5.1-46 la radiación solar registrada en la estación Apto. E. Cortissoz tiene un comportamiento monomodal, donde el valor promedio multianual es de 265,2 Cal/cm². Entre los meses de octubre a mayo los registros son inferiores al promedio, mientras que, en los meses de abril a septiembre, los registros son superiores al promedio. El mínimo valor registrado corresponde a 244,7 Cal/cm² en enero y el máximo a 282,6 Cal/cm² en el mes de julio.

5.1.4.4.1.6 Variación de la nubosidad

La nubosidad es un indicativo de la presencia de nubes en la atmósfera, en la zona de estudio se cuenta con registros en la estación Apto. Ernesto Cortissoz y Normal Manatí, en la Figura 5.1-47 y Figura 5.1-48 se presenta la variación mensual multianual de la nubosidad de las estaciones en mención, respectivamente. Adicionalmente se presenta la Figura 5.1-49 donde se pueden observar el comportamiento de los registros de las estaciones de una con respecto a la otra.

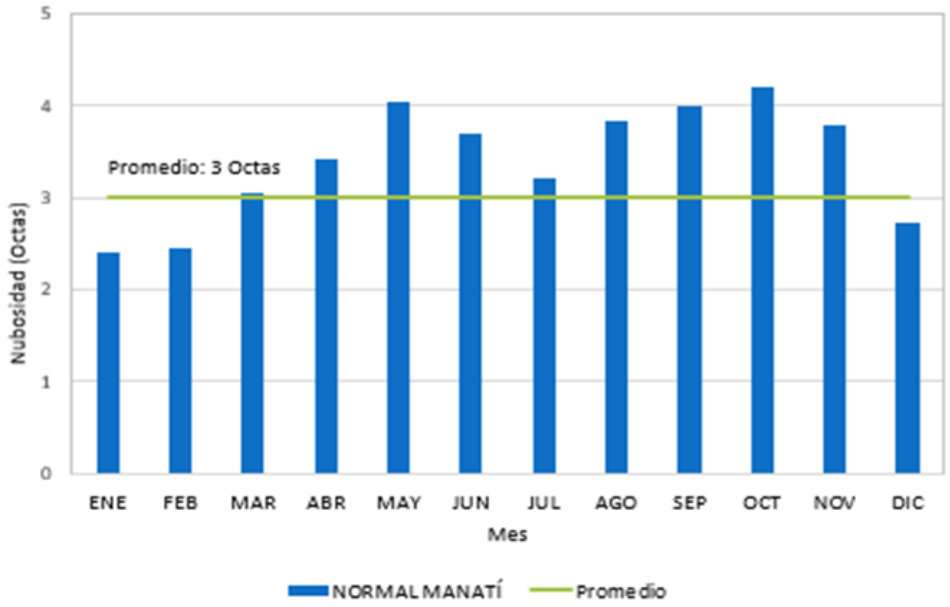
Figura 5.1-47 Distribución mensual multianual de la nubosidad - Apto Ernesto Cortissoz



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Como se observa en la Figura 5.1-47 la nubosidad en la estación Apto. E. Cortissoz tiene un comportamiento monomodal, donde el valor promedio multianual es de 4,0 octas. En los meses de diciembre a abril los registros son inferiores al promedio, mientras que, en los meses de mayo a noviembre, los registros son superiores al valor medio. El mínimo valor registrado corresponde a 2,0 octas y se presentó en el mes de enero; el máximo registro se presentó en los meses de septiembre y octubre con un valor de 6,0 octas.

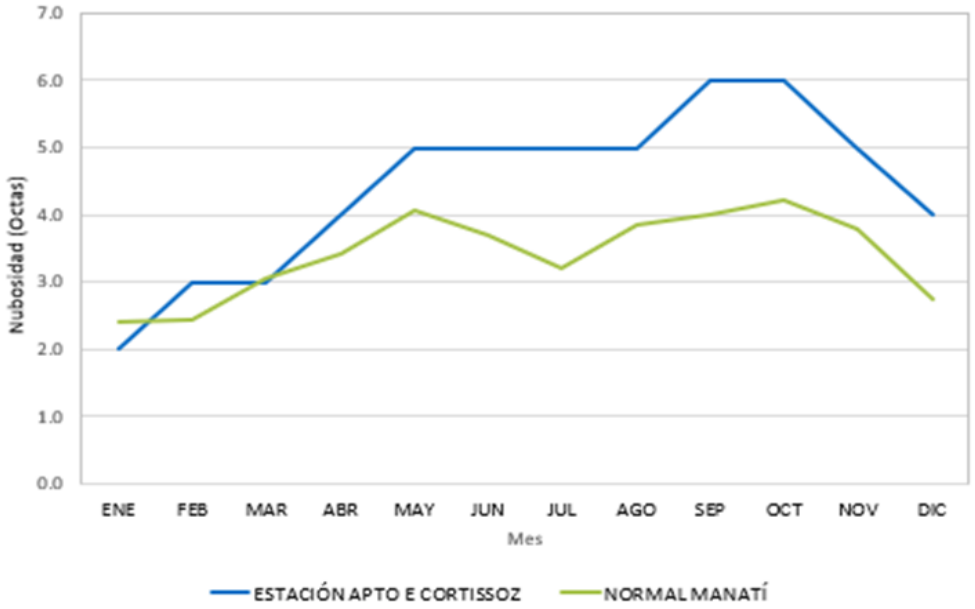
Figura 5.1-48 Distribución mensual multianual de la nubosidad – Normal Manatí



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Como se observa en la Figura 5.1-48 la nubosidad en la estación Apto. E. Cortissoz tiene un comportamiento monomodal, donde el valor promedio multianual es de 3,0 octas. En los meses de diciembre a febrero los registros son inferiores al promedio, mientras que, en los meses de marzo a noviembre, los registros son superiores al valor medio. El mínimo valor registrado corresponde a 2,4 octas y se presentó en el mes de enero; el máximo registro se presentó en el mes de octubre con un valor de 4,2 octas.

Figura 5.1-49 Comparación comportamiento de la nubosidad - Apto Ernesto Cortissoz y Normal Manatí

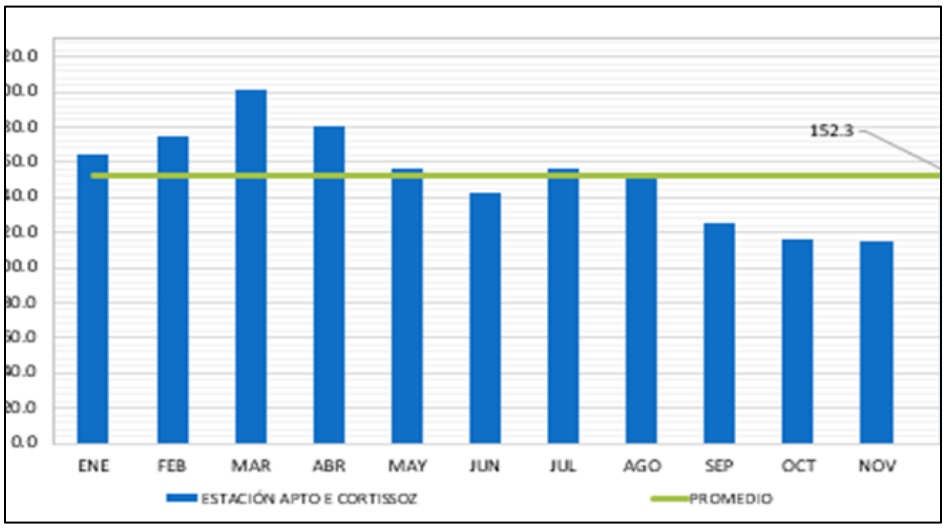


Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.4.4.1.7 Evaporación

De acuerdo con registros de la estación Aeropuerto E. Cortissoz, la evaporación promedio anual en la zona de estudio es de 1827 mm, donde los periodos de menor evaporación se presentan durante los meses de enero a mayo y los de mayor evaporación están en los meses de septiembre a noviembre (Ver Figura 5.1-50).

Figura 5.1-50 Variación mensual de la evaporación - Apto Ernesto Cortissoz



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.4.4.1.8 Evapotranspiración potencial

La evapotranspiración potencial se estimó mediante dos metodologías de acuerdo con la información disponible, estos métodos son Thornthwaite y tanque evaporímetro, como se describen a continuación.

El método de Thornthwaite relaciona la evapotranspiración potencial con la temperatura media mensual multianual, y realiza una corrección en función de la duración astronómica del día dependiendo de la latitud y del número de días de cada mes, los resultados se presentan en la Tabla 5.1-35.

Tabla 5.1-35 Evapotranspiración potencial método de Thornthwaite

PARÁMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Temperatura (°C)	27,5	27,6	27,9	28,4	28,3	28,2	28,2	28,2	27,9	27,6	27,6	27,6	
Índice de calor	13,24	13,31	13,50	13,86	13,79	13,74	13,75	13,75	13,49	13,30	13,29	13,26	
ETP (mm)	152,0	154,0	160,5	172,7	170,2	168,6	169,0	169,0	160,1	153,8	153,5	152,4	1935,8
nº días mes	31	28,3	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
nº horas luz	11,5	11,7	11,9	12,2	12,5	12,6	12,5	12,3	12,1	11,8	11,5	11,4	
ETP corregida (mm)	150,5	141,7	164,4	175,5	183,2	177,0	181,9	179,0	161,5	156,3	147,1	149,6	1967,8

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

El método de Tanque Evaporímetro utiliza la evaporación registrada en el tanque evaporímetro y la afecta por un coeficiente Kp que depende de la velocidad del viento, la distancia al cultivo y la humedad relativa. El coeficiente del tanque evaporímetro se definió bajo las ecuaciones presentadas en la Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos[14] (FAO, 2006).

Para la zona de estudio se tuvieron en cuenta los registros de la estación Aeropuerto E. Cortissoz la cual indica que la humedad relativa es de 81,1% y la velocidad del viento de 3,6 m/s. Se supone que el tanque se localiza a una distancia de barbecho a barlovento de 1 a 10 m, siendo el coeficiente de 0,75. La evaporación mensual registrada en la estación Aeropuerto E. Cortissoz se multiplicó por el coeficiente del tanque evaporímetro para obtener los valores de evapotranspiración potencial mensual. Los resultados se presentan en la Tabla 5.1-36.

Tabla 5.1-36 Evapotranspiración potencial método de Tanque Evaporímetro

PARÁMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
E (mm)	163,9	175,2	201,0	181,0	156,1	142,8	156,6	152,4	125,9	116,6	115,1	140,5	1827,1
ETP (mm)	114,8	122,6	140,7	126,7	109,3	99,95	109,6	106,7	88,15	81,61	80,57	98,33	1278,9

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.4.4.1.9 Evapotranspiración real

La evapotranspiración real se estimó mediante el método de Turc, el cual involucra la precipitación y la temperatura de la zona de estudio, como se observa en la siguiente ecuación:

$$E = \frac{P}{(0.9 + \frac{P^2}{[L(t)]^2})^{0.5}}$$

$$L(t) = 300+25t+0,05t$$

Donde:

[14] *FAO (2006). Evapotranspiración de cultivo, guía 56*

- E: Evapotranspiración real anual (mm)
- P: Precipitación total anual (mm)
- t: Temperatura media anual (°C)

De acuerdo con lo anterior, la evapotranspiración real para la zona de estudio es de 772 mm, calculada con temperatura media de 27,8 °C y precipitación anual promedio de 1100 mm como se describe más adelante en el numeral 5.1.4.4.6.

5.1.4.4.2 Caracterización de la precipitación

Las estaciones de precipitación se encuentran distribuidas espacialmente como se muestra en la Figura 5.1-51, donde las más cercanas a la zona de estudio son Sabanalarga, Ponedera y Puerto Giraldo. Las coordenadas de localización de estas estaciones se encuentran en la Tabla 5.1-37. En el Anexo 5.1.3 se presenta la información base y las estimaciones realizadas.

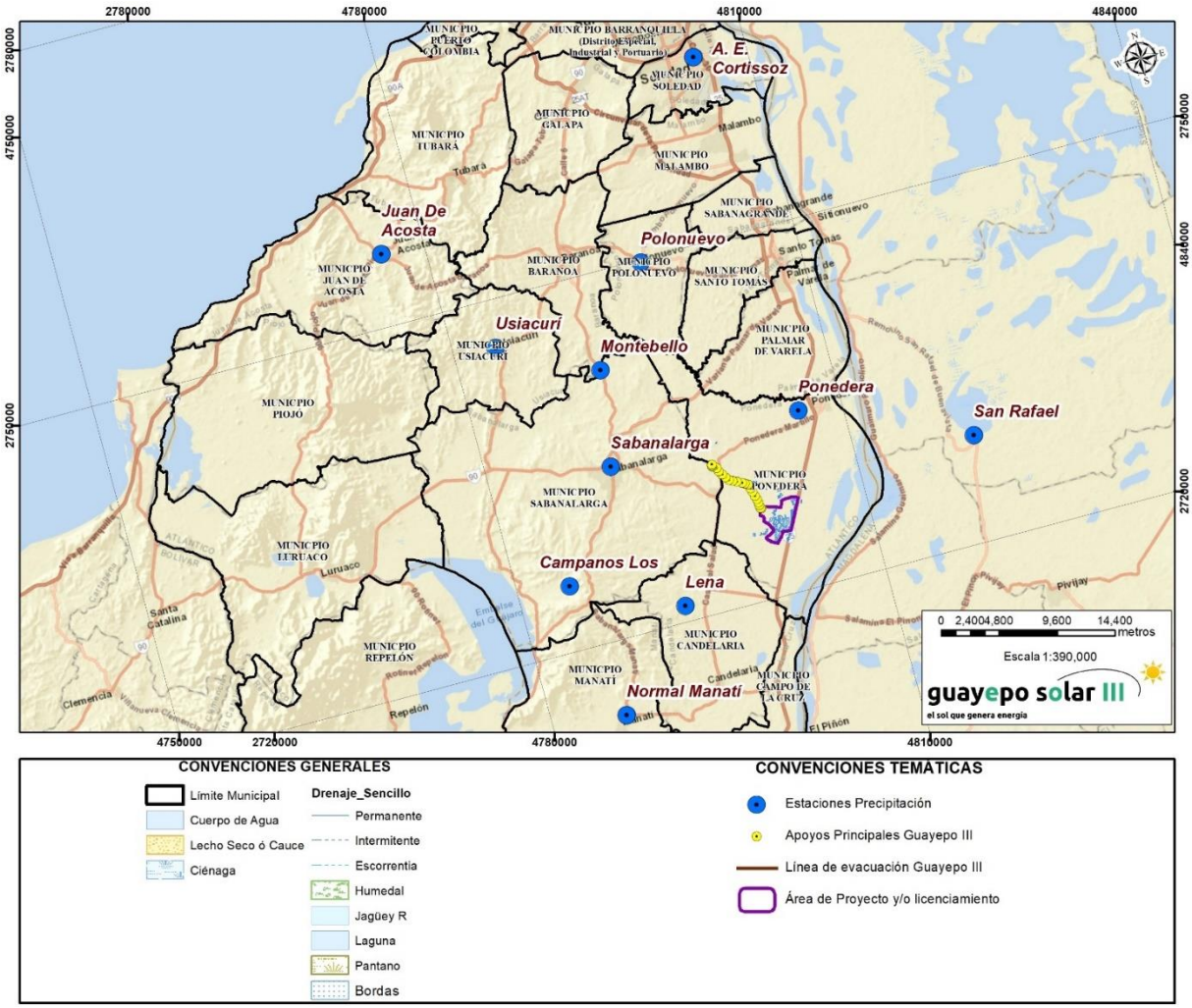
Tabla 5.1-37 Estaciones de precipitación empleadas

ESTACIÓN	CÓDIGO	CATEGORÍA	MUNICIPIO	ALTITUD	FECHA INSTALACIÓN	ESTE	NORTE
Montebello	29040020	PM	Baranoa	100	15/12/1985	4791426	2741970
Ponedera	29040070	PM	Ponedera	8	15/03/1959	4806378	2734503
Polonuevo	29040080	PM	Polonuevo	80	15/03/1959	4796932	2749732
Sabanalarga	29040190	PM	Sabanalarga	100	15/03/1959	4790168	2734040
Lena	29040200	PM	Candelaria	45	15/06/1969	4793166	2721304
Usiacurí	29040240	PG	Usiacurí	100	15/02/1964	4783499	2746026
A.E Cortissoz	29045020	AM	Soledad	14	15/05/1940	4805571	2765027
Juan De Acosta	29045110	CO	Juan De Acosta	20	15/01/1964	4776396	2755934
San Rafael	29060540	PM	Remolino	10	15/07/1982	4819880	2728771
Normal Manatí	29035080	CP	Manatí	10	15/10/1963	4786131	2713812
Puerto. Giraldo	29040300	PM	Ponedera	5	15/09/1978	4800653	2719729

Nota: CP: Climatológica Principal, CO: Climatológica Ordinaria, PM: Pluviométrica, PG: Pluviográfica, AM: Agrometeorológica

Fuente: IDEAM.

Figura 5.1-51 Localización de estaciones de precipitación



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.4.4.3 Análisis de consistencia y homogeneidad

Para analizar la consistencia y la homogeneidad de las series de precipitación se implementó el método de curvas de doble masa.

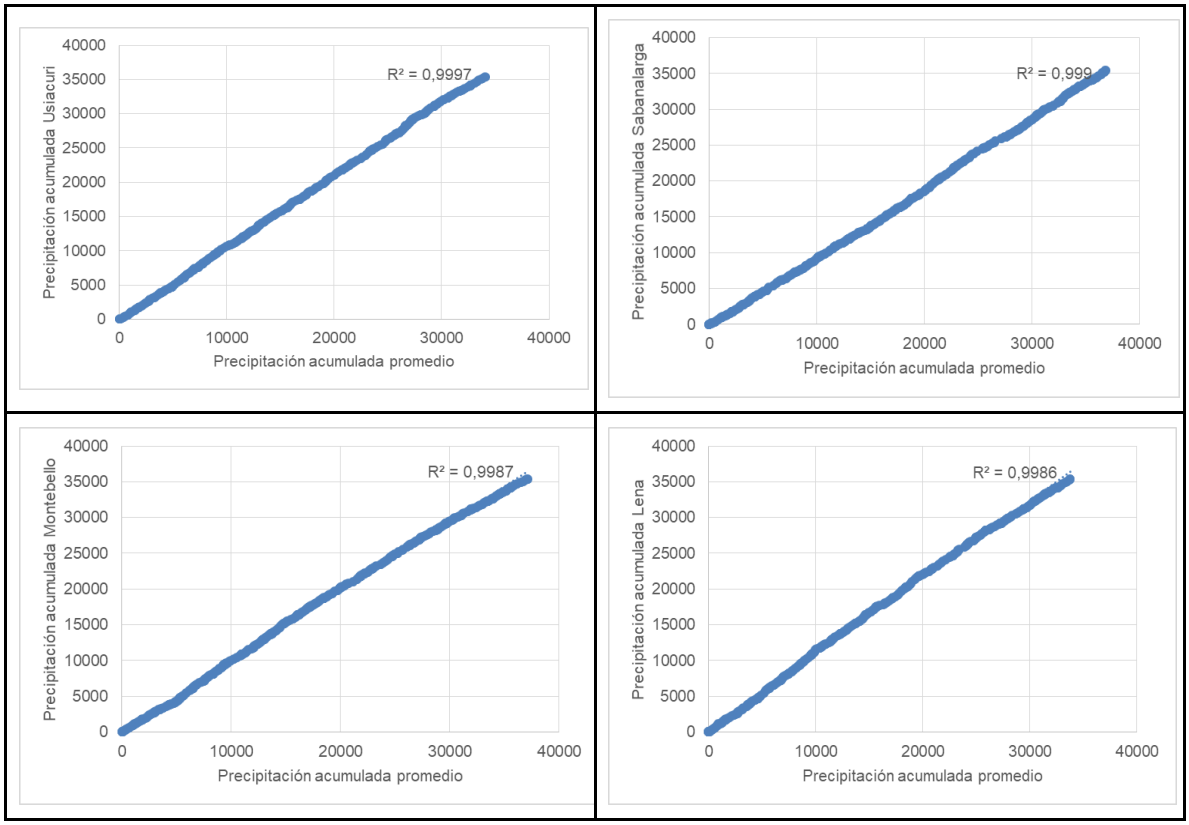
El método de la curva de doble masa se basa en la hipótesis de proporcionalidad en la variación temporal de la acumulación de la variable en consideración y consiste en construir una curva acumulativa en la cual son relacionados los datos totales anuales de precipitación de un determinado lugar y la media acumulada de los totales anuales de todos los puestos de la región. Por lo tanto, la variable

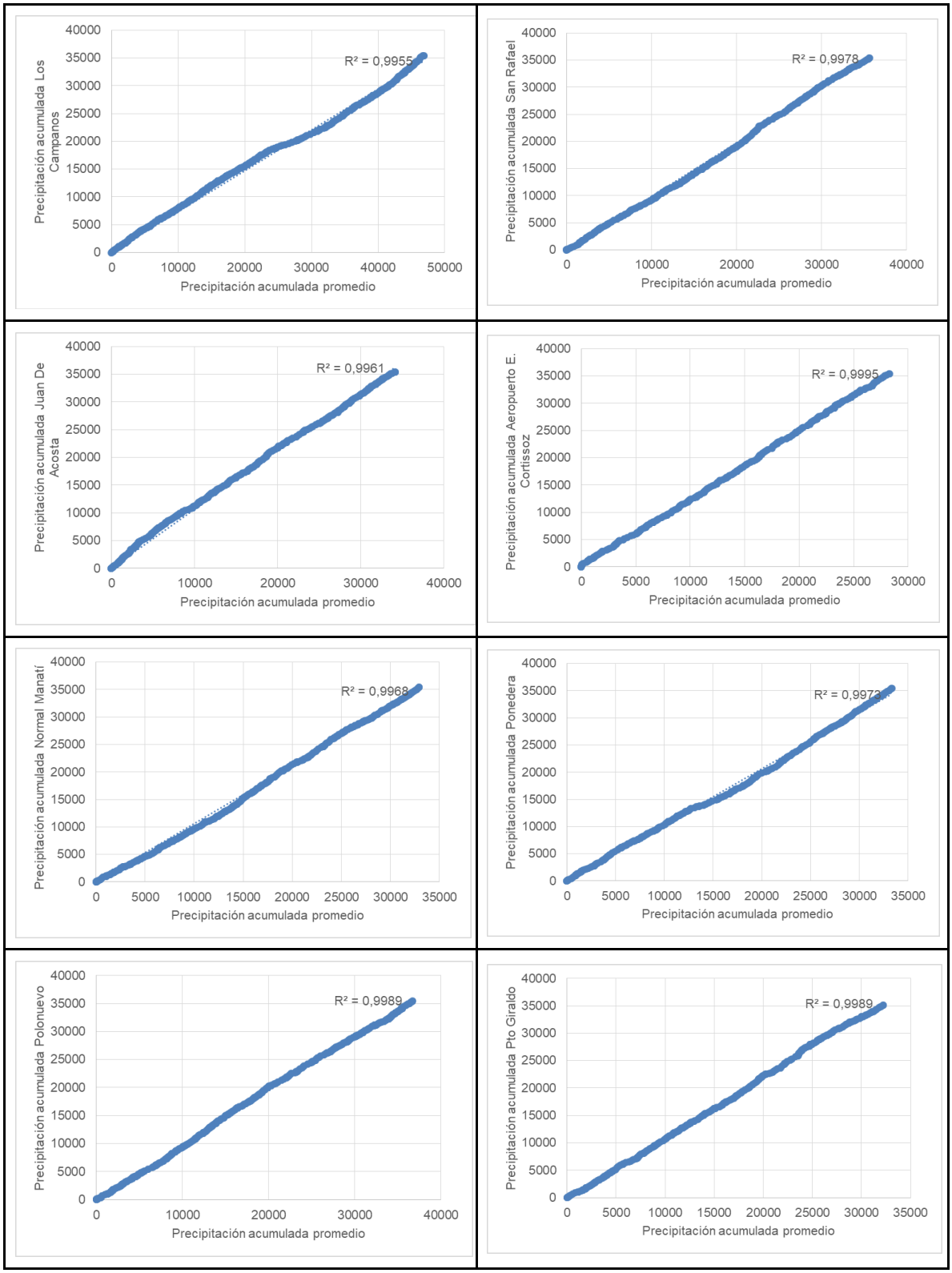
acumulada en tiempos consecutivos en la estación de interés, contra la acumulación de los datos en otra u otras estaciones de referencia, en periodos contemporáneos de las series, debe representarse aproximadamente como una línea recta en un gráfico cartesiano (cada variable acumulada en uno de los ejes).

Un cambio en la pendiente en la curva de doble masa significa que hay un cambio en las magnitudes de la variable registrada en una de las estaciones, que no es detectado en otra estación. Estas anomalías pueden obedecer a cambios naturales y ser coherentes con la realidad u obedecer a cambios en los instrumentos o métodos de medición y no ser coherentes con la realidad.

Como resultado del mencionado análisis y a partir de las curvas presentadas en la Figura 5.1-52, se concluyó que en general las estaciones poseen registros consistentes por lo que no se realizó ajuste a los valores. En el Anexo 5.1.3.2., se presenta la aplicación del método.

Figura 5.1-52 Curva de doble masa en estaciones de precipitación





Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.4.4.4 Complementación de vacíos

De la información disponible a nivel mensual de las estaciones de precipitación identificadas en cercanías al área de influencia, se encontró que las estaciones presentaban vacíos de información en el periodo común de registro seleccionado (1990-2020). Para realizar la complementación de la información se utilizó el promedio mensual de cada estación, en las cuales se tenían pocos meses faltantes, Ver Anexo 5.1.3. 2.

5.1.4.4.5 Variabilidad temporal de la precipitación

Complementados los registros de precipitación de las estaciones analizadas se determinó la precipitación total promedio multianual para el periodo entre 1990 y 2020; con estos datos se construyeron las isoyetas a nivel mensual y anual para la zona de estudio. En la Tabla 5.1-38 se presentan los valores promedio de precipitación mensual multianual.

Tabla 5.1-38 Precipitación total mensual multianual en mm en las estaciones cercanas al sitio de estudio (en mm). Periodo 1990-2020

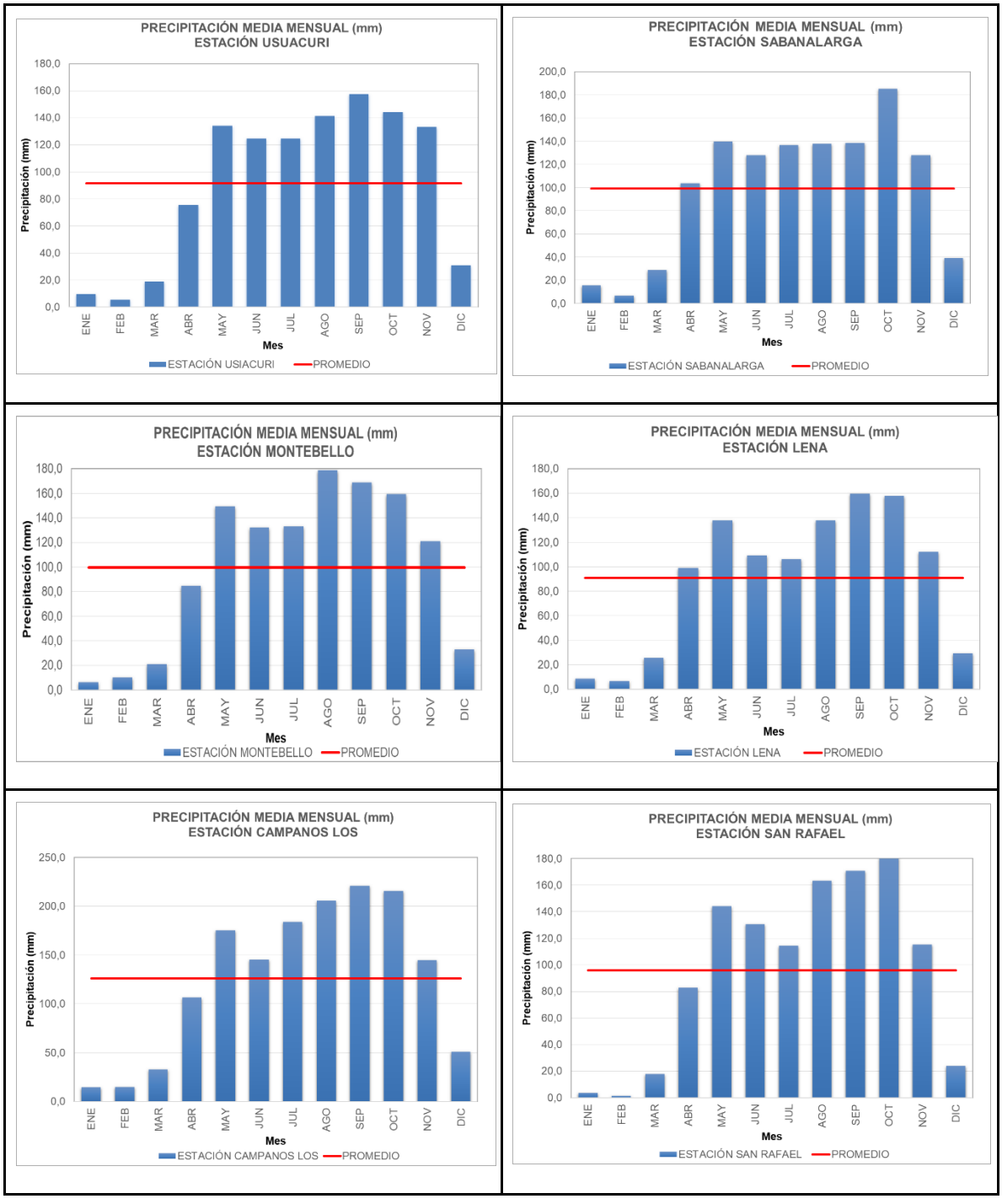
ESTACIÓN USIACURI													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
MEDIOS	9,3	5,3	18,8	75,2	134,2	124,8	124,7	141,4	157,4	144,0	133,0	30,7	1099,0
MAXIMOS	46,0	49,0	77,0	209,1	300,8	292,3	349,9	313,6	276,9	284,4	293,7	137,0	349,9
MINIMOS	0,0	0,0	0,0	11,5	16,2	39,0	9,5	43,5	51,8	18,8	15,0	0,0	0,0
ESTACIÓN SABANALARGA													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
MEDIOS	15,6	6,6	29,0	103,8	139,7	128,2	137,0	137,8	138,5	185,2	128,1	38,9	1188,4
MAXIMOS	72,1	43,0	90,0	175,0	253,0	241,0	398,0	274,0	244,0	531,0	477,0	109,0	531,0
MINIMOS	0,0	0,0	0,0	32,1	31,0	55,0	5,0	41,0	62,0	48,0	15,0	0,0	0,0
ESTACIÓN MONTEBELLO													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
MEDIOS	6,3	10,3	20,9	84,6	149,2	132,0	132,9	178,5	168,9	159,4	120,7	33,2	1196,7
MAXIMOS	56,0	99,7	124,0	244,7	285,0	283,5	479,0	397,0	321,4	338,5	285,0	111,0	479,0
MINIMOS	0,0	0,0	0,0	0,0	27,4	47,5	3,1	47,4	65,0	31,0	27,1	0,0	0,0
ESTACIÓN LENA													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
MEDIOS	8,7	6,8	25,6	98,9	137,7	109,0	106,3	137,7	159,5	157,6	112,2	29,5	1089,5
MAXIMOS	54,0	45,0	159,0	239,0	400,0	316,0	242,0	329,0	294,0	458,0	347,0	129,0	458,0
MINIMOS	0,0	0,0	0,0	11,5	4,0	10,0	9,0	30,0	60,0	50,0	3,0	0,0	0,0
ESTACIÓN CAMPANOS LOS													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
MEDIOS	14,2	14,9	33,1	106,3	175,2	145,3	184,2	205,7	221,1	215,6	144,9	51,1	1511,6
MAXIMOS	65,0	67,0	168,0	315,0	392,0	326,0	450,0	584,0	609,0	571,0	353,0	243,0	609,0
MINIMOS	0,0	0,0	0,0	41,0	34,0	21,0	45,0	69,0	40,0	41,0	28,0	0,0	0,0

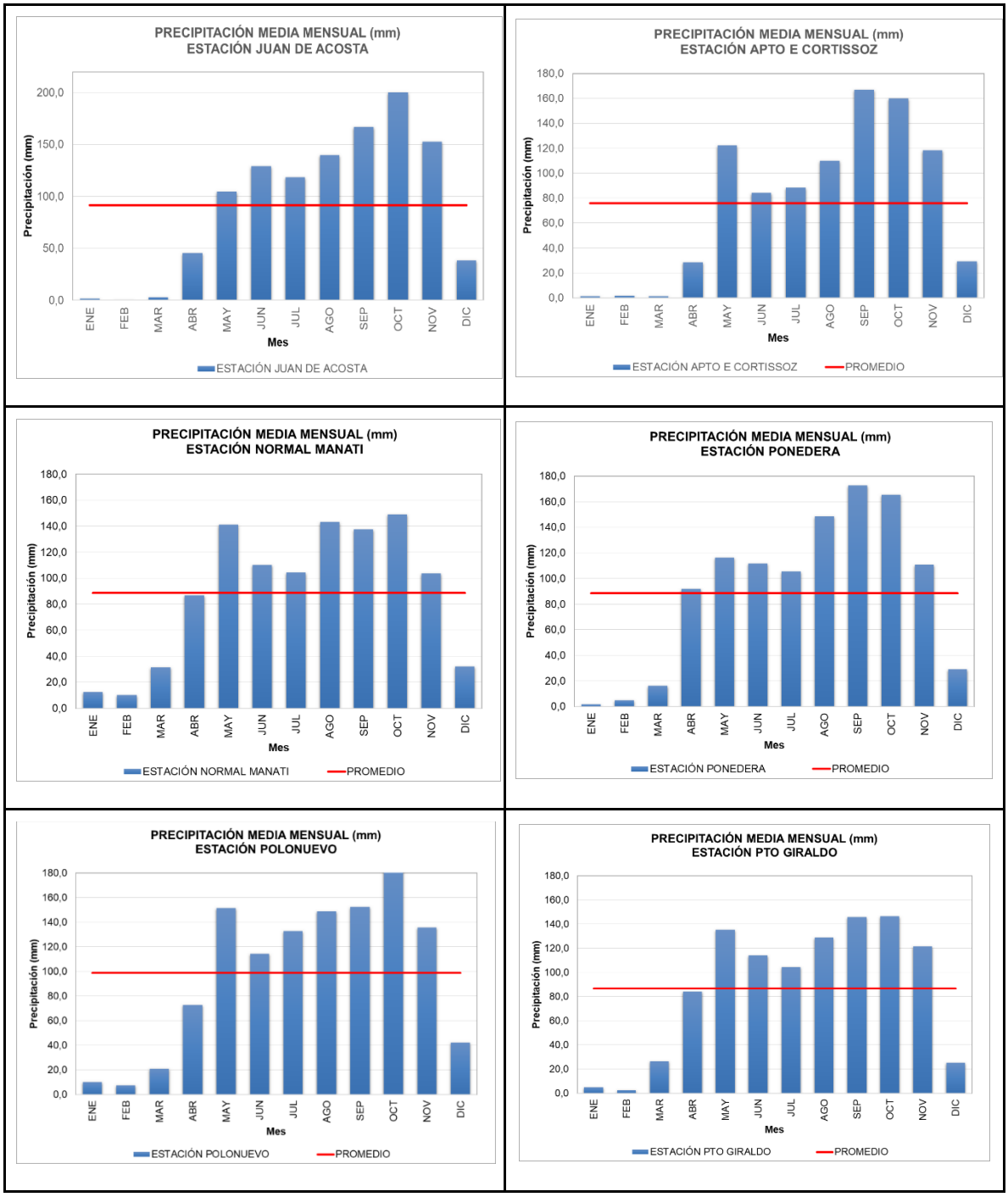
ESTACIÓN SAN RAFAEL													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
MEDIOS	3,8	1,5	17,9	82,8	144,0	130,6	114,4	163,5	170,8	181,0	115,4	23,8	1149,5
MAXIMOS	50,0	40,0	84,0	245,0	353,0	276,0	350,0	395,0	365,0	418,0	263,0	130,0	418,0
MINIMOS	0,0	0,0	0,0	0,0	35,0	33,0	0,0	42,0	63,0	50,0	33,0	0,0	0,0
ESTACIÓN JUAN DE ACOSTA													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
MEDIOS	1,3	0,5	3,0	45,6	104,6	129,1	118,5	139,9	166,9	200,2	152,7	38,6	1100,8
MAXIMOS	15,9	6,0	25,1	147,3	198,6	328,4	296,9	392,6	360,5	384,1	391,7	193,6	392,6
MINIMOS	0,0	0,0	0,0	0,0	22,4	0,0	5,5	9,6	71,1	10,6	26,0	0,0	0,0
ESTACIÓN APTO E CORTISSOZ													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
MEDIOS	1,3	1,6	1,4	28,7	122,4	84,3	88,2	110,0	167,0	160,0	118,5	29,4	912,6
MAXIMOS	20,4	41,4	14,6	142,9	320,8	215,9	359,7	309,9	293,2	352,0	394,5	214,1	394,5
MINIMOS	0,0	0,0	0,0	0,0	25,6	1,3	1,3	4,7	36,6	48,7	7,2	0,0	0,0
ESTACIÓN NORMAL MANATI													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
MEDIOS	12,4	10,0	31,5	87,0	141,3	110,2	104,4	143,1	137,7	149,2	103,5	32,3	1062,4
MAXIMOS	85,2	83,7	144,4	263,1	359,3	240,0	236,8	297,9	266,3	248,8	286,4	151,9	359,3
MINIMOS	0,0	0,0	0,0	8,4	27,4	34,9	26,7	43,3	48,5	50,5	19,7	0,0	0,0
ESTACIÓN PONEDERA													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
MEDIOS	1,7	4,9	16,0	92,0	116,1	111,7	105,5	148,8	172,6	165,5	110,7	29,1	1074,8
MAXIMOS	16,0	85,0	107,0	334,8	254,0	254,0	257,2	358,0	336,0	440,0	208,0	210,0	440,0
MINIMOS	0,0	0,0	0,0	0,0	14,0	21,0	8,0	60,0	66,0	29,0	35,0	0,0	0,0
ESTACIÓN POLONUEVO													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
MEDIOS	10,2	7,4	21,0	72,8	151,4	114,3	132,7	148,7	152,5	194,7	135,7	42,3	1183,7
MAXIMOS	57,0	98,7	118,4	182,5	298,1	280,3	450,6	444,7	413,8	379,8	407,2	172,9	450,6
MINIMOS	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	18,0	0,0	29,6	56,1	61,9	4,0	0,0	0,0
ESTACIÓN PTO GIRALDO													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
MEDIOS	4,8	2,4	26,5	84,1	135,5	114,1	104,4	128,6	145,8	146,5	121,4	25,1	1039,2
MAXIMOS	77,0	31,0	354,0	220,0	281,0	302,0	311,0	230,0	283,0	422,0	313,0	150,0	422,0
MINIMOS	0,0	0,0	0,0	24,0	0,0	13,0	5,0	29,0	30,0	48,0	0,0	0,0	0,0

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

En la Figura 5.1-53 se observa que el régimen anual de lluvias presenta un comportamiento de tipo monomodal, siendo los periodos por encima del promedio de precipitación de mayo a noviembre, el mes de julio es un mes de menores precipitaciones a estos periodos, sin embargo no es un mes seco como tal, sino un mes de transición a las lluvias más altas o máximas las cuales se presentan en septiembre y octubre, pues el periodo de precipitaciones más bajas o sequías máximas se presenta entre los meses de diciembre y abril.

Figura 5.1-53 Distribución temporal de la precipitación total mensual en las estaciones analizadas



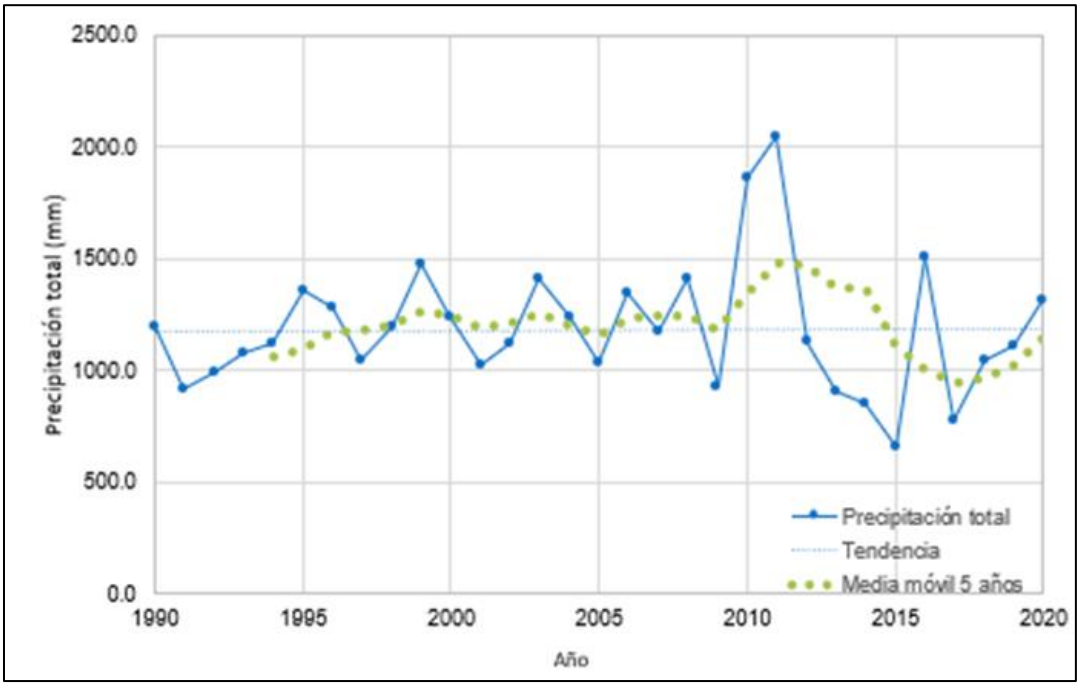


Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

La variación anual de la lluvia se analizó en la estación Sabanalarga por su representatividad sobre la zona de estudio (ver Figura 5.1-54). La precipitación total anual máxima se presentó en el año 2011 y la precipitación más baja se presentó

en el año 2015. Según la clasificación de Jan Null estos años se encuentran posiblemente influenciados por el fenómeno ENSO en su fase niña y niño respectivamente.

Figura 5.1-54 Variación anual de la precipitación en la estación Sabanalarga



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.4.4.6 Variabilidad espacial de la precipitación

Se realizó la distribución espacial de la precipitación a nivel anual con el método de Kriging ordinario y el software Surfer, la distribución espacial se presenta en la Figura 5.1-55. Para este análisis se tuvieron en cuenta las estaciones y los valores de precipitación media anual multianual de las estaciones que se presentan en la Tabla 5.1-39 para el periodo común de registro 1990-2020.

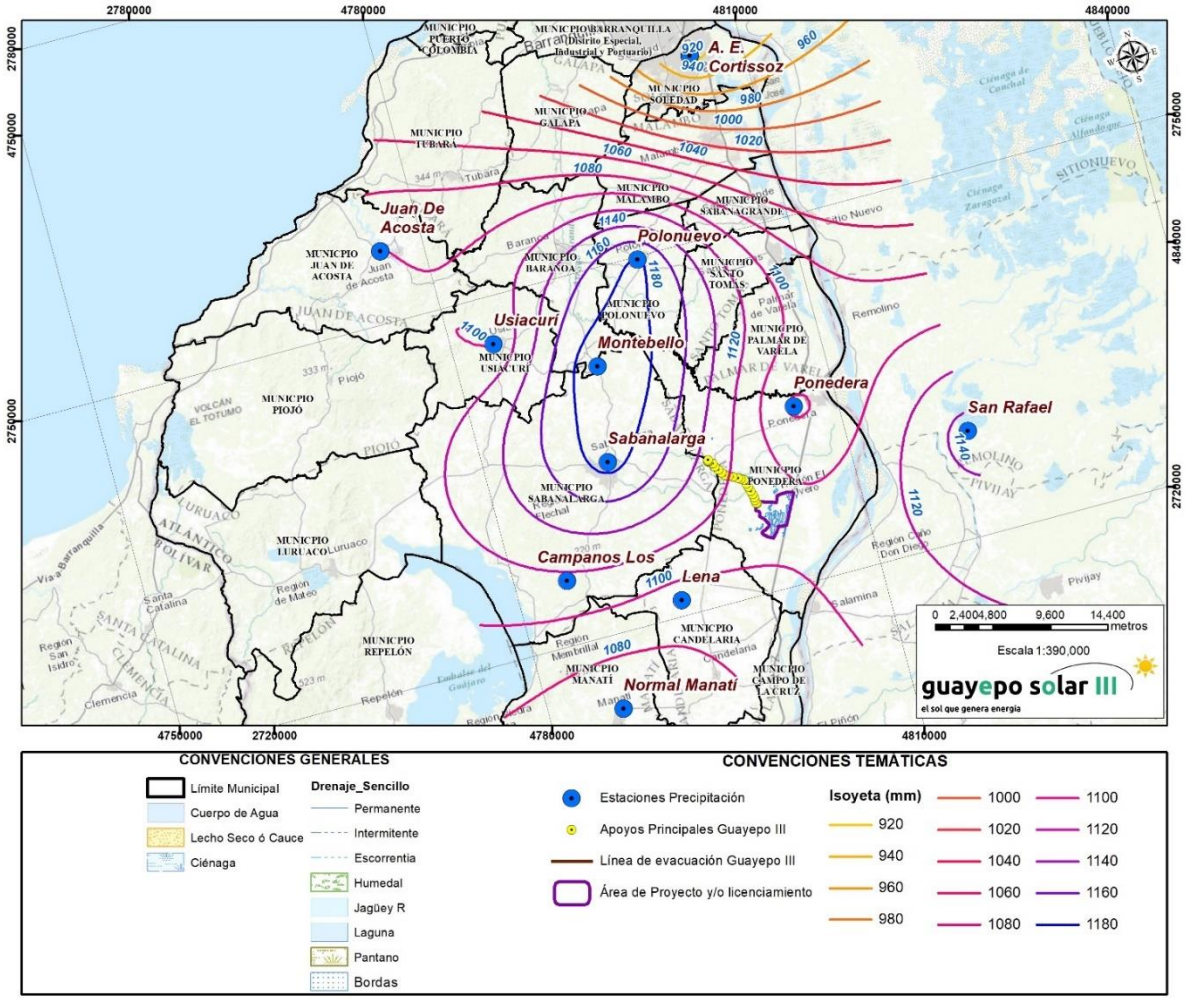
Tabla 5.1-39 Estaciones de precipitación empleadas

ESTACIÓN	CÓDIGO	ALTITUD	X (M)	Y (M)	P (MM)
Montebello	29040020	100	4791426	2741970	1196,7
Ponedera	29040070	8	4806378	2734503	1074,8
Polonuevo	29040080	80	4796932	2749732	1183,7
Sabanalarga	29040190	100	4790168	2734040	1188,4
Lena	29040200	45	4793166	2721304	1089,5
Usiacurí	29040240	100	4783499	2746026	1099,0
A.E Cortissoz	29045020	14	4805571	2765027	912,6

ESTACIÓN	CÓDIGO	ALTITUD	X (M)	Y (M)	P (MM)
Juan De Acosta	29045110	20	4776396	2755934	1100,8
San Rafael	29060540	10	4819880	2728771	1149,5
Normal Manatí	29035080	10	4786131	2713812	1062,4
Puerto Giraldo	29040300	5	4800653	2719729	1039,2

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Figura 5.1-55 Distribución espacial de la precipitación total anual.



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Como se puede observar, en la zona de estudio la precipitación anual es del orden de 1100 mm, en concordancia con lo registrado en las estaciones cercanas al proyecto.

5.1.4.4.7 Índice de aridez

El índice de aridez permite caracterizar el clima en una zona de manera cualitativa, mostrando condiciones con excedencia o déficit de agua. Este representa la dinámica superficial del suelo determinada a partir de las variables de evapotranspiración real y evapotranspiración potencial, y no se refiere a la dinámica subsuperficial del suelo.

$$Ia=(ETP-ETR) / ETP$$

Donde:

- Ia es el índice de aridez (adimensional)
- ETP es la evapotranspiración potencial (mm)
- ETR es la evapotranspiración real (mm)
- En el Estudio Nacional del Agua (IDEAM, 2015) se presenta la calificación del índice de aridez de acuerdo con la

Tabla 5.1-40 Calificación de rangos de índice de aridez

RANGO DE VALORES DEL INDICADOR	CALIFICACIÓN
< 0,15	Altos excedentes de agua
0,16 - 0,19	Excedentes de agua
0,20 - 0,29	Moderado a excedentes de agua
0,30 - 0,39	Moderado
0,40 - 0,49	Moderado a deficitario de agua
0,50 - 0,59	Deficitario de agua
> 0,6	Altamente deficitario de agua

Fuente: (IDEAM, 2015)

En la zona de estudio el índice de aridez calculado es de 0,39 considerado como moderado de acuerdo con la calificación del IDEAM, con ETP= 1278,9 mm y ETR= 779 mm.

5.1.4.4.8 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 0,69 lo que ubica la zona como de moderada retención.

5.1.4.4.9 Caudal ambiental

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 reiterar que no se requiere captación de agua de corrientes hídricas.

5.1.4.5 Caracterización hidrológica de los sistemas lóticos

El sistema de drenaje en el área del parque está controlado por bordas utilizadas para el uso ganadero del predio y los cauces existentes son intermitentes, por lo que la interacción entre estos cuerpos de agua se encuentra controlada. Sin embargo, por encontrarse en la zona de planicie de inundación del río Magdalena, existe riesgo que ante un evento de creciente alto la zona se pueda ver afectada.

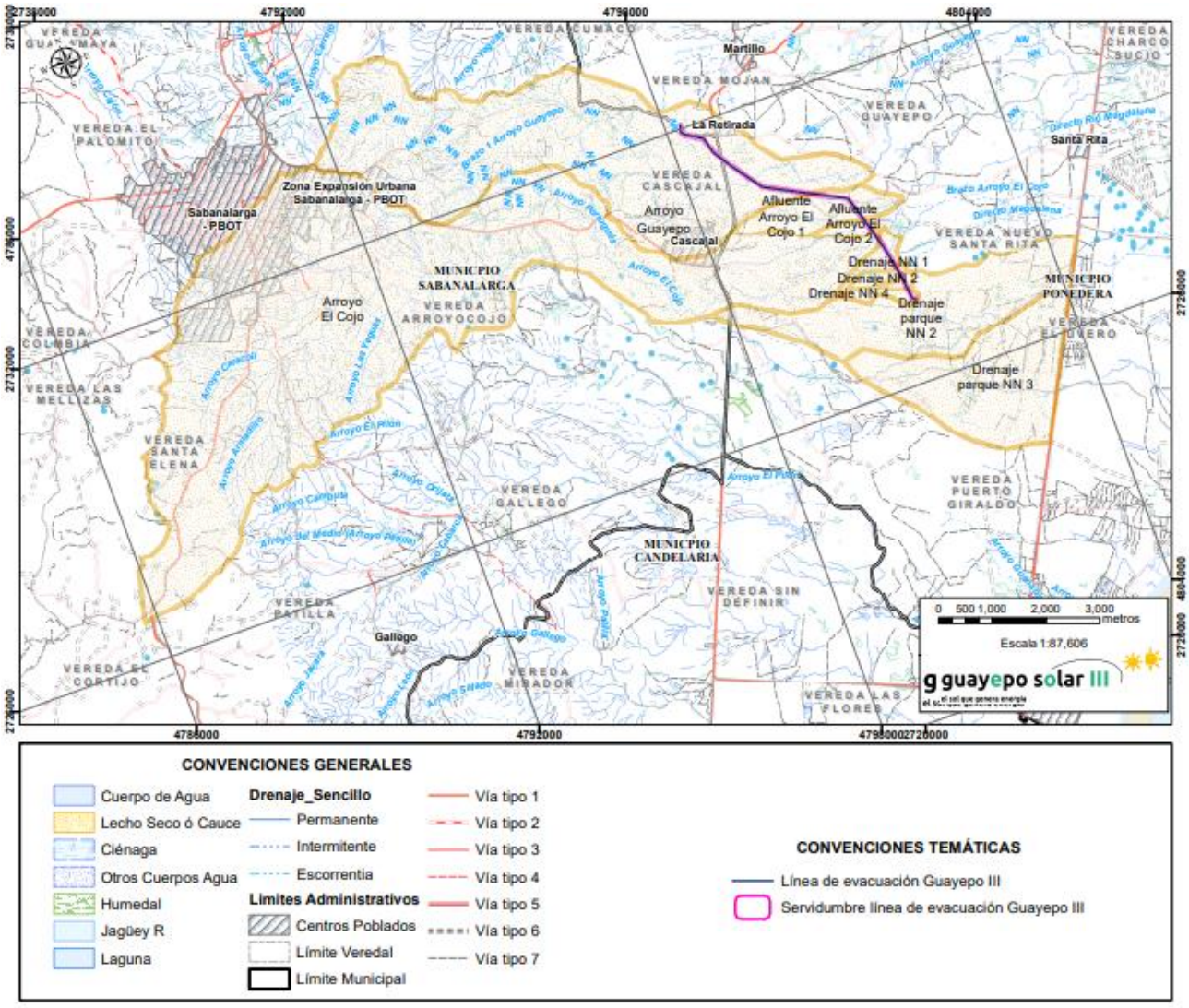
En los drenajes presentes en el área de influencia no cuentan con estaciones hidrométricas que permitan caracterizarlos hidrológicamente a partir de información directa de estos cuerpos de agua o a partir de registros de caudales diarios de estaciones hidrométricas localizadas en cuencas cercanas al área de influencia y representativas que permitan implementar metodologías indirectas como relación área - precipitación - caudal, con el fin de estimar los caudales diarios de los arroyos identificados.

Por lo anterior, para realizar la caracterización del caudal medio en los cuerpos de agua identificados, se utilizaron los resultados del rendimiento hídrico estimado para esta parte del país y consignados en el Estudio Nacional de Aguas de Colombia del año 2014 y disponible en el Sistema de Información Ambiental para Colombia (SIAC).

5.1.4.5.1 Caudales medios

El Estudio Nacional de Aguas de Colombia de 2014, establece que para la zona del proyecto el rendimiento hídrico medio multianual varía entre 20 l/s/km² y 30 l/s/km² (ver Figura 5.1-56). En la Tabla 5.1-41 se presenta el caudal medio estimado para las cuencas que se encuentran dentro del polígono de estudio para un rendimiento de 20 l/s/km². Se toma el valor de menor rango para tener una holgura frente a la disponibilidad hídrica estimada.

Figura 5.1-56 Isorrendimientos medios multianuales



Fuente: Adaptado por (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021) del Estudio Nacional del Agua, 2014.

Tabla 5.1-41 Caudal medio mensual multianual en m³/s en los cuerpos de agua identificados

ID	SUBCUENCA	ÁREA (KM²)	RENDIMIENTO (L/S/KM²)	Q MEDIO (M³/S)
1	Arroyo Guayepo	18,96	20	0,379
2	Afluente Arroyo El Cojo 1	1,60	20	0,032
3	Afluente Arroyo El Cojo 2	0,28	20	0,006
4	Arroyo El Cojo	38,01	20	0,760
5	Drenaje NN 1	0,47	20	0,009
6	Drenaje NN 2	0,25	20	0,005
7	Drenaje NN 3	0,13	20	0,003
8	Drenaje NN 4	0,29	20	0,006
9	Drenaje parque NN 2	6,99	20	0,140

ID	SUBCUENCA	ÁREA (KM²)	RENDIMIENTO (L/S/KM²)	Q MEDIO (M³/S)
10	Drenaje parque NN 3	6,19	20	0,124

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.4.5.2 Caudales en los cuerpos de agua de interés

La estimación de series de caudales medios para los arroyos identificados se realizó a partir de los registros de precipitación de la estación Sabanalarga y el coeficiente de escorrentía obtenido como la relación entre el caudal medio para un rendimiento de 20 l/s/km² y la precipitación total media anual de cada subcuenca (Tabla 5.1-42). En el Anexo 5.1.3. 3, se presentan la información y memorias de cálculo de las estimaciones realizadas.[15]

Tabla 5.1-42 Coeficiente de escorrentía

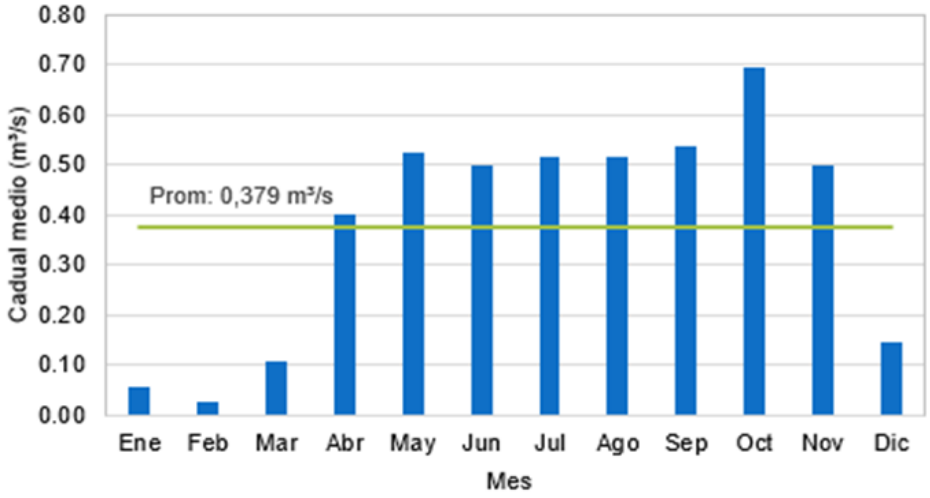
ID	SUBCUENCA	ÁREA (Km²)	Q MEDIO (m³/s)	PMEDIA (mm)	Ce
1	Arroyo Guayepo	18,96	0,379	1148	0,55
2	Afluente Arroyo El Cojo 1	1,60	0,032	1116	0,57
3	Afluente Arroyo El Cojo 2	0,28	0,006	1113	0,57
4	Arroyo El Cojo	38,01	0,760	1150	0,55
5	Drenaje NN 1	0,47	0,009	1110	0,57
6	Drenaje NN 2	0,25	0,005	1110	0,57
7	Drenaje NN 3	0,13	0,003	1110	0,57
8	Drenaje NN 4	0,29	0,006	1110	0,57
9	Drenaje parque NN 2	6,99	0,140	1107	0,57
10	Drenaje parque NN 3	6,19	0,124	1103	0,57

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

De acuerdo con la Figura 5.1-57 el régimen de caudales de los arroyos es de tipo unimodal. El periodo de caudales por encima del promedio ocurre de abril a noviembre siendo el mes de octubre el que presenta mayor caudal. El periodo de caudales bajos se presenta en los meses restantes, donde el mes de febrero presenta el caudal mensual multianual más bajo. El caudal presentado en cada mes y el caudal promedio estimado en cada subcuenca se relaciona en la Tabla 5.1-43.

[15] *No se utiliza la metodología de polígonos de Thiessen porque la variación de los valores de precipitación de las estaciones en la zona de estudio no es significativa, por lo tanto, al ponderar datos no se presenta variación.*

Figura 5.1-57 Distribución temporal de caudales medios mensuales en el arroyo Guayepo. Periodo 1990-2020



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Tabla 5.1-43 Caudal medio mensual multianual en m³/s en los cuerpos de agua identificados. Periodo 1990-2020

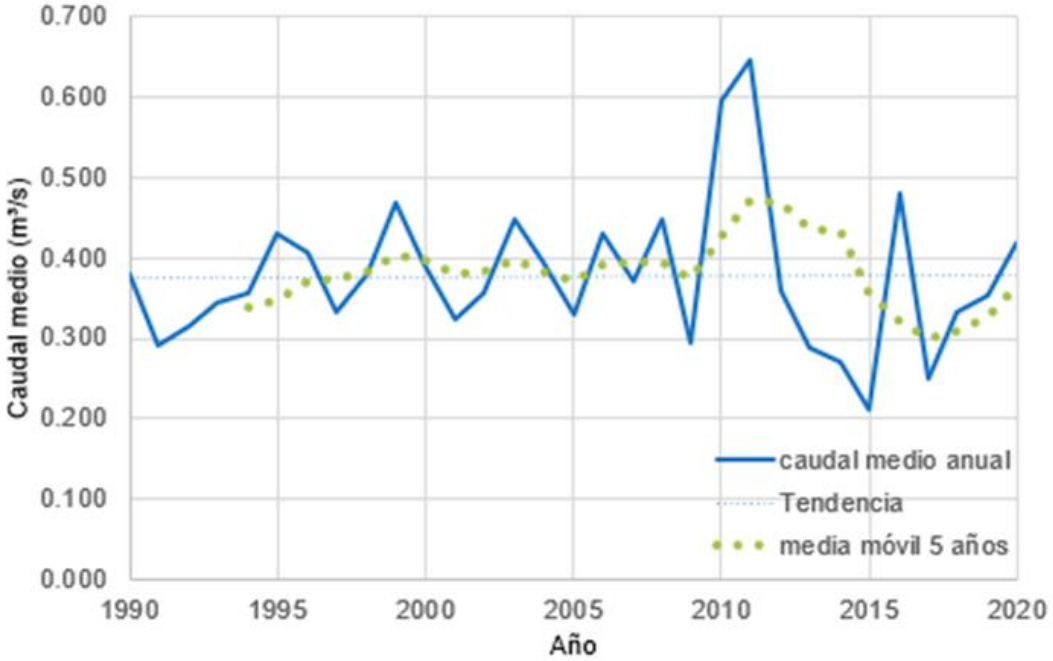
SUBCUENCA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Arroyo Guayepo	58,6	27,3	108,8	403,1	524,9	497,6	514,8	517,9	537,8	696,0	497,5	146,2
Afluente Arroyo El Cojo 1	4,9	2,3	9,2	33,9	44,2	41,9	43,3	43,6	45,3	58,6	41,9	12,3
Afluente Arroyo El Cojo 2	0,9	0,4	1,6	6,0	7,8	7,4	7,6	7,7	7,9	10,3	7,3	2,2
Arroyo El Cojo	117,5	54,8	218,1	808,0	1052	997,4	1031,8	1038,1	1078	1395,1	997,1	293,0
Drenaje NN 1	1,4	0,7	2,7	9,9	12,9	12,2	12,6	12,7	13,2	17,1	12,2	3,6
Drenaje NN 2	0,8	0,4	1,4	5,2	6,8	6,5	6,7	6,7	7,0	9,0	6,5	1,9
Drenaje NN 3	0,4	0,2	0,7	2,7	3,5	3,3	3,4	3,5	3,6	4,6	3,3	1,0
Drenaje NN 4	0,9	0,4	1,7	6,1	8,0	7,6	7,8	7,9	8,2	10,6	7,6	2,2
Drenaje parque NN 2	21,6	10,1	40,1	148,6	193,5	183,4	189,8	190,9	198,2	256,6	183,4	53,9
Drenaje parque NN 3	19,1	8,9	35,5	131,7	171,4	162,5	168,1	169,2	175,7	227,4	162,5	47,8

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.4.5.2.1 Análisis de tendencia

Con el fin de establecer los ciclos de años húmedos y secos, se realizó un análisis sobre la evolución en el tiempo del caudal medio anual para los arroyos. En la Figura 5.1-58 se muestra dicha variación en el arroyo Guayepo utilizando una media móvil para períodos de cinco años.

Figura 5.1-58 Variación de caudales medios anuales en el arroyo Guayepo



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

El caudal medio máximo se presenta en el año 2011 y el caudal medio más bajo se presenta en el año 2015. Según la clasificación de Jan Null estos años se encuentran posiblemente influenciados por el fenómeno ENSO en su fase niña fuerte y niño moderado respectivamente.

La tendencia de los caudales es estable, la ciclicidad anual de los caudales, definida entre los años que corta la línea de tendencia con la serie anual de caudales, oscila entre mínimo dos años y seis años.

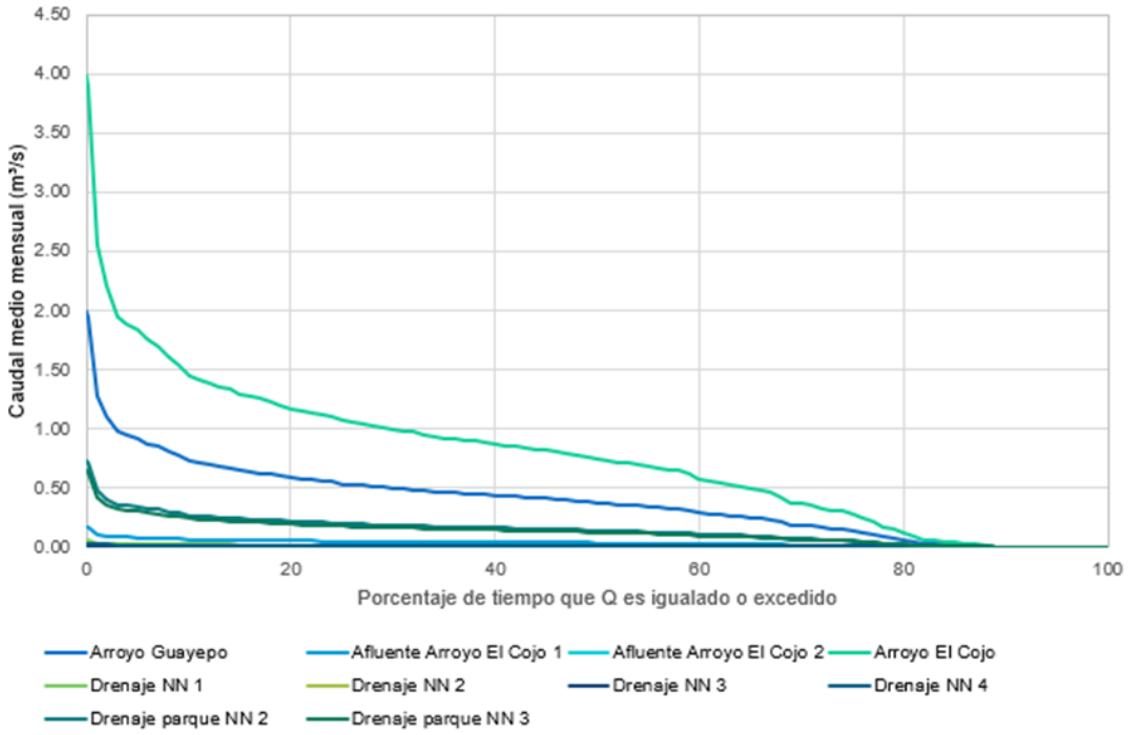
5.1.4.5.2.2 Curva de duración de caudales

A partir de la serie de caudales a nivel diario se elaboró la curva de duración de caudales medios diarios en los cuerpos de agua identificados la cual permite establecer la probabilidad de que un valor de caudal sea igualado o excedido (Ver Anexo 5.1.3. 3).

En la Figura 5.1-59 se presenta como ejemplo la curva de duración de caudales de los arroyos, donde se observa que la curva presenta una fuerte pendiente lo que

indica que el arroyo presenta caudales extremos (altos y bajos) frecuentemente, al contrario de una curva que tiende a ser plana lo cual que indica un cauce es autorregulado y presenta baja frecuencia de caudales muy altos o muy bajos. En la Tabla 5.1-44 se presentan los caudales esperados a diferentes confiabilidades para los cuerpos de agua.

Figura 5.1-59 Curva de duración de caudales mensuales en los arroyos



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Tabla 5.1-44 Caudales esperados en los arroyos analizados para diferentes confiabilidades en m³/s

PERCENTIL		0,01	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Caudal medio (m³/s)	Arroyo Guayepo	1,990	0,721	0,582	0,497	0,433	0,374	0,286	0,180	0,06	0,00	0,00
	Afluente Arroyo El Cojo 1	0,167	0,061	0,049	0,042	0,036	0,031	0,024	0,015	0,005	0,00	0,00
	Afluente Arroyo El Cojo 2	0,029	0,011	0,009	0,007	0,006	0,006	0,004	0,003	0,001	0,00	0,00
	Arroyo El Cojo	3,989	1,445	1,166	0,996	0,869	0,750	0,574	0,36	0,11	0,00	0,00
	Drenaje NN 1	0,049	0,018	0,014	0,012	0,011	0,009	0,007	0,004	0,001	0,00	0,00
	Drenaje NN 2	0,026	0,009	0,008	0,006	0,006	0,005	0,004	0,002	0,001	0,00	0,00
	Drenaje NN 3	0,013	0,005	0,004	0,003	0,003	0,002	0,002	0,001	0,00	0,00	0,00
	Drenaje NN 4	0,030	0,011	0,009	0,008	0,007	0,006	0,004	0,003	0,001	0,00	0,00

PERCENTIL		0,01	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	Drenaje parque NN 2	0,734	0,266	0,214	0,183	0,160	0,138	0,106	0,07	0,02	0,00	0,00
	Drenaje parque NN 3	0,650	0,235	0,190	0,162	0,142	0,122	0,094	0,06	0,02	0,00	0,00

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.4.6 Dinámica fluvial

En la zona del proyecto se encuentran algunos cuerpos de aguas loticos y lenticos, por lo que se revisó la evolución tanto espacial como temporal de los sistemas fluviales identificados, analizando así la morfología fluvial de estos.

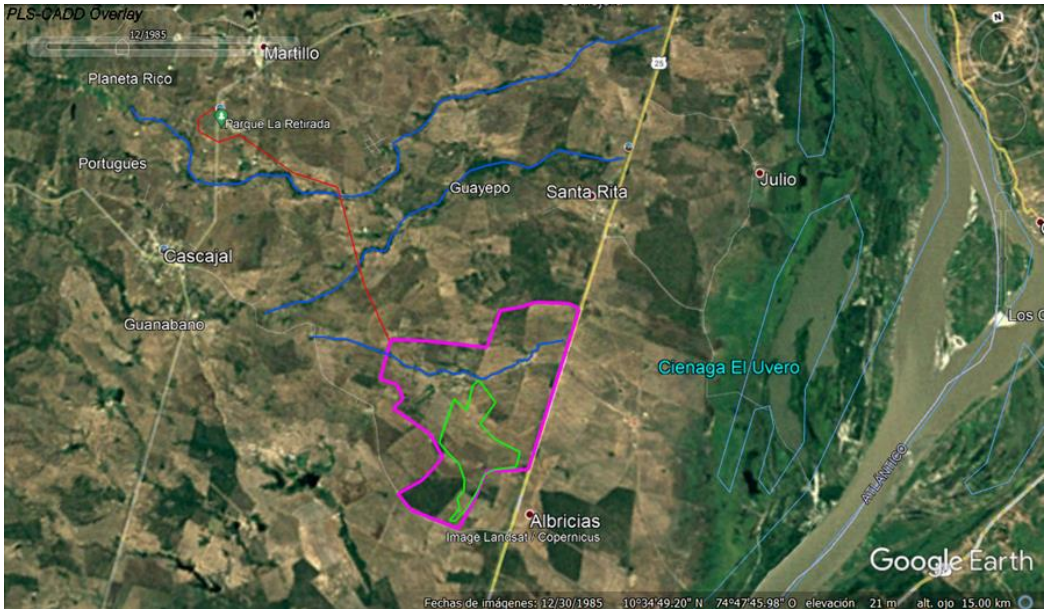
Para la revisión de la dinámica fluvial, se utilizaron las imágenes Satelitales de Google Earth, registrando así los cuerpos de agua en las imágenes disponibles. De la Figura 5.1-60 hasta la Figura 5.1-98 presentan el registro de las imágenes en los años disponibles.

Figura 5.1-60 Dinámica espacial y temporal de los cuerpos en la zona del proyecto en diciembre de 1969



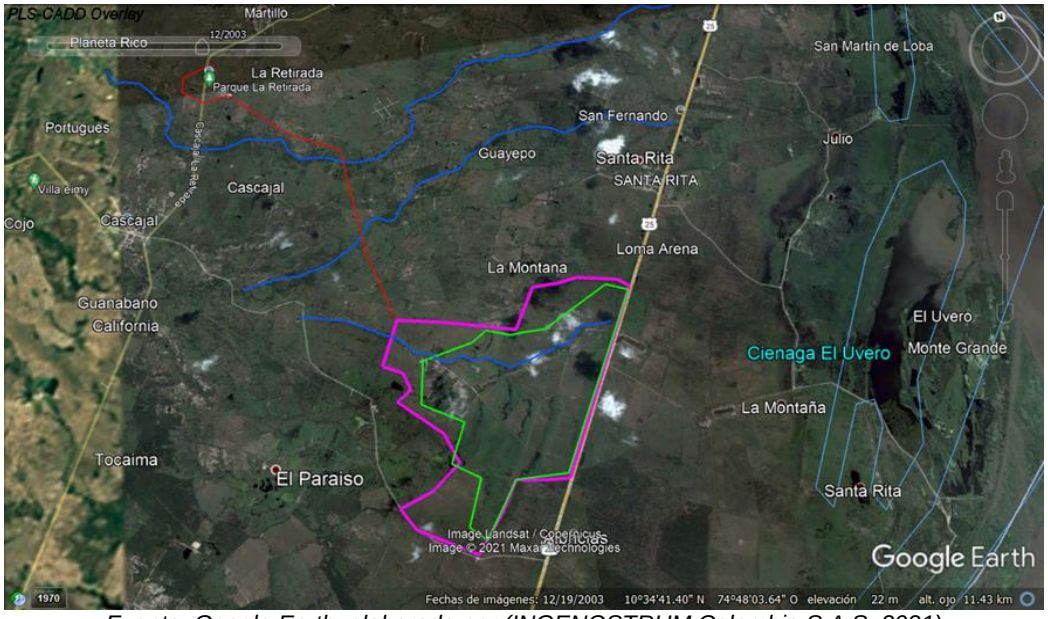
Fuente: Google Earth, elaborado por (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Figura 5.1-61 Dinámica espacial y temporal de los cuerpos en la zona del proyecto en diciembre de 1985



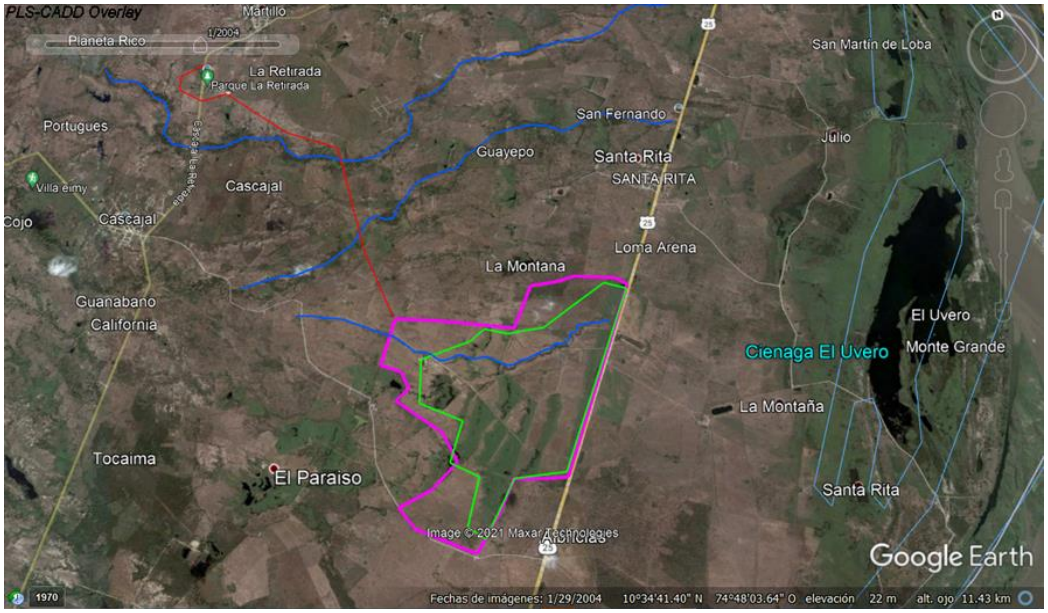
Fuente: Google Earth, elaborado por (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Figura 5.1-62 Dinámica espacial y temporal de los cuerpos en la zona del proyecto en diciembre de 2003



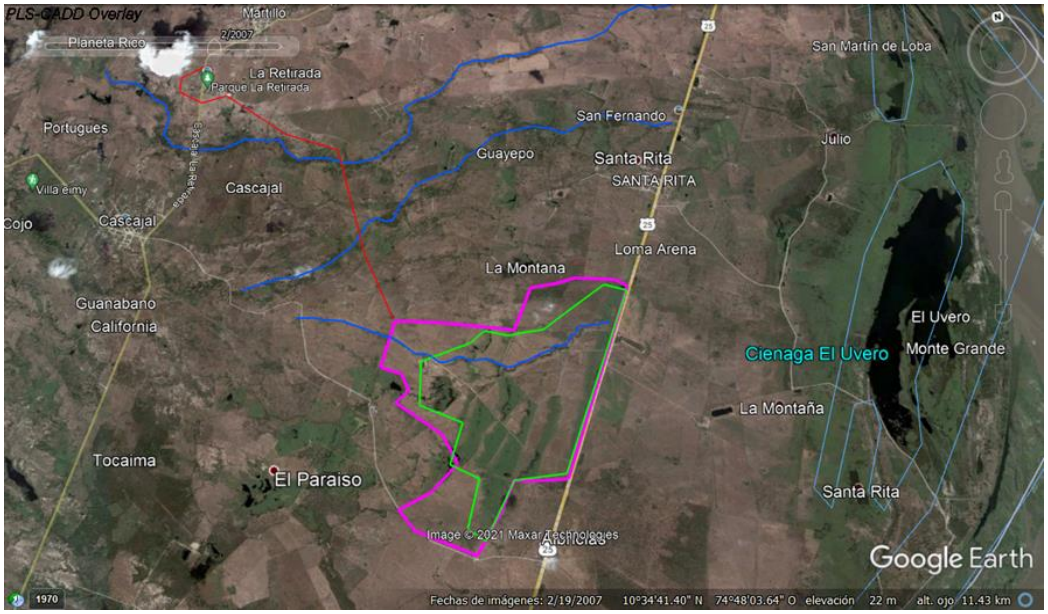
Fuente: Google Earth, elaborado por (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Figura 5.1-63 Dinámica espacial y temporal de los cuerpos en la zona del proyecto en enero de 2004



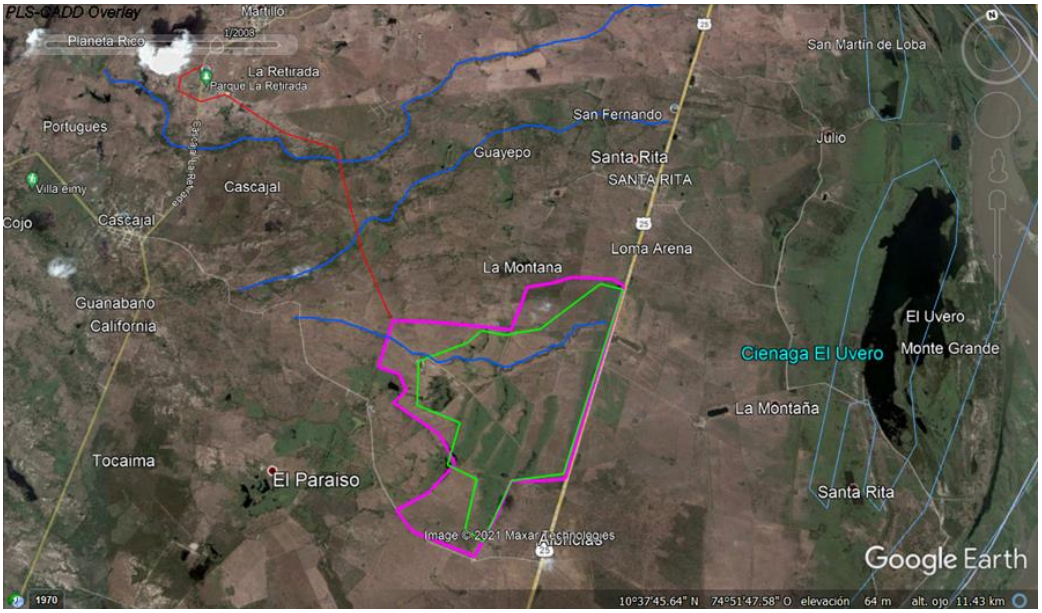
Fuente: Google Earth, elaborado por (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Figura 5.1-64 Dinámica espacial y temporal de los cuerpos en la zona del proyecto en febrero de 2007



Fuente: Google Earth, elaborado por (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Figura 5.1-65 Dinámica espacial y temporal de los cuerpos en la zona del proyecto en enero de 2008



Fuente: Google Earth, elaborado por (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Figura 5.1-66 Dinámica espacial y temporal de los cuerpos en la zona del proyecto en agosto de 2011



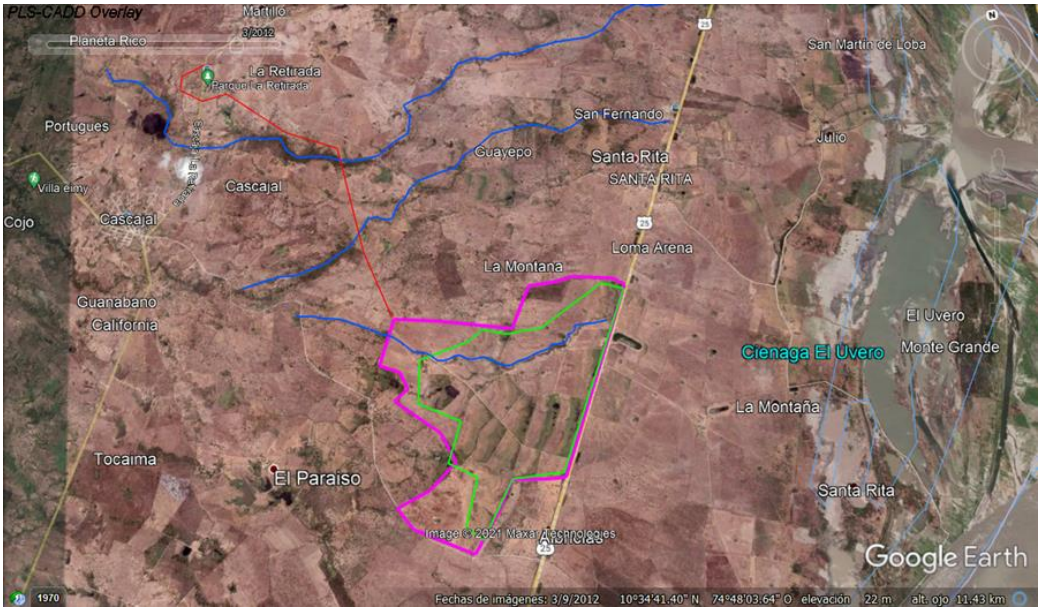
Fuente: Google Earth, elaborado por (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Figura 5.1-67 Dinámica espacial y temporal de los cuerpos en la zona del proyecto en enero de 2012



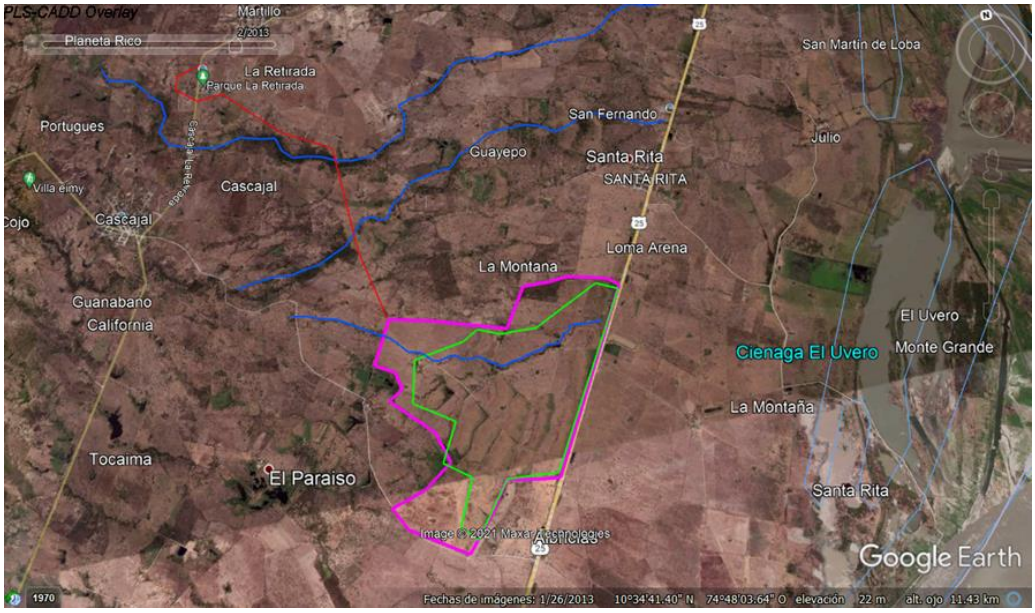
Fuente: Google Earth, elaborado por (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Figura 5.1-68 Dinámica espacial y temporal de los cuerpos en la zona del proyecto en marzo de 2012



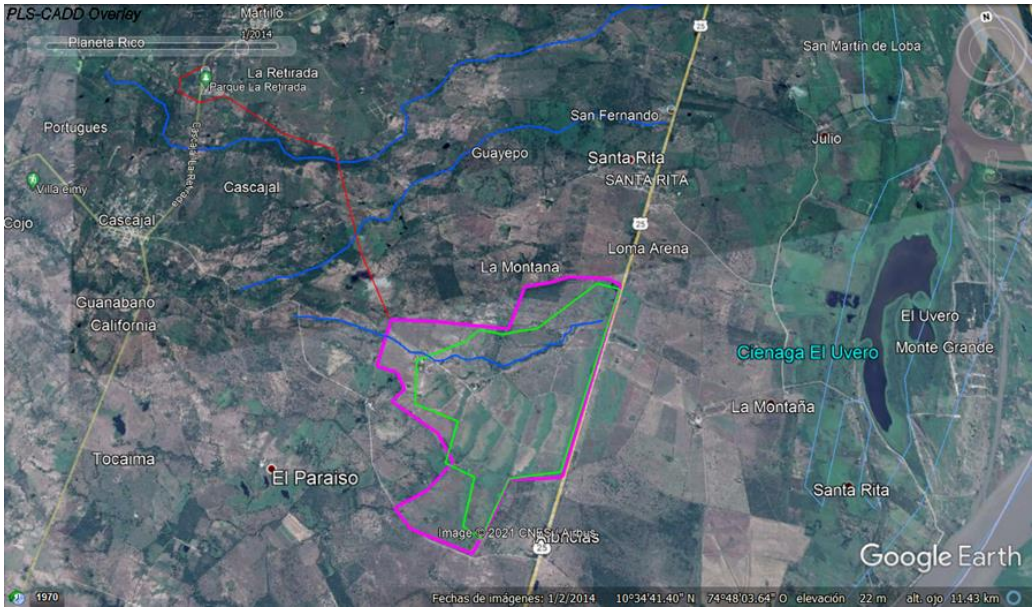
Fuente: Google Earth, elaborado por (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Figura 5.1-69 Dinámica espacial y temporal de los cuerpos en la zona del proyecto en febrero de 2013



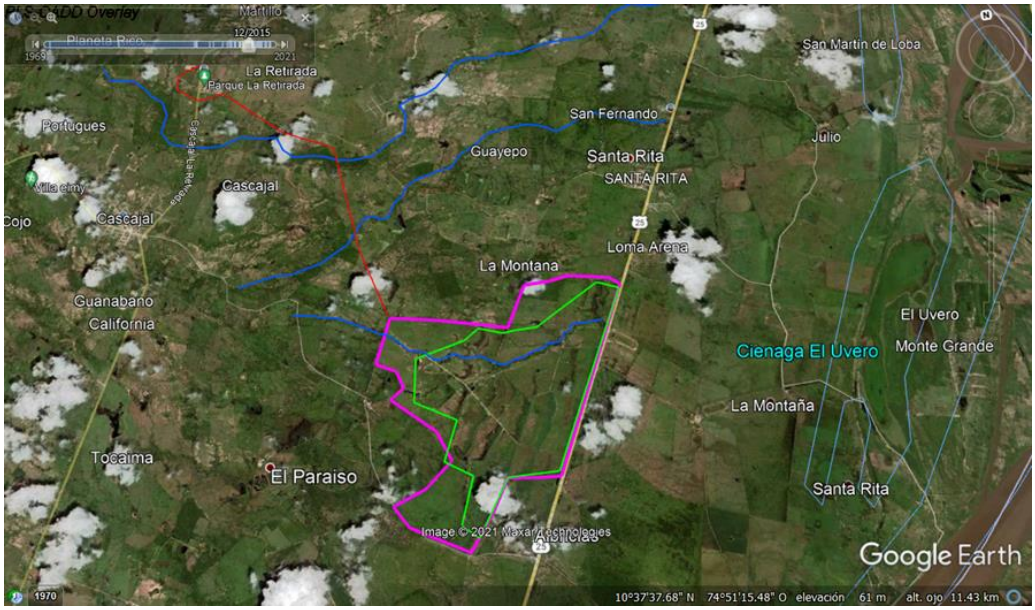
Fuente: Google Earth, elaborado por (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Figura 5.1-70 Dinámica espacial y temporal de los cuerpos en la zona del proyecto en enero de 2014



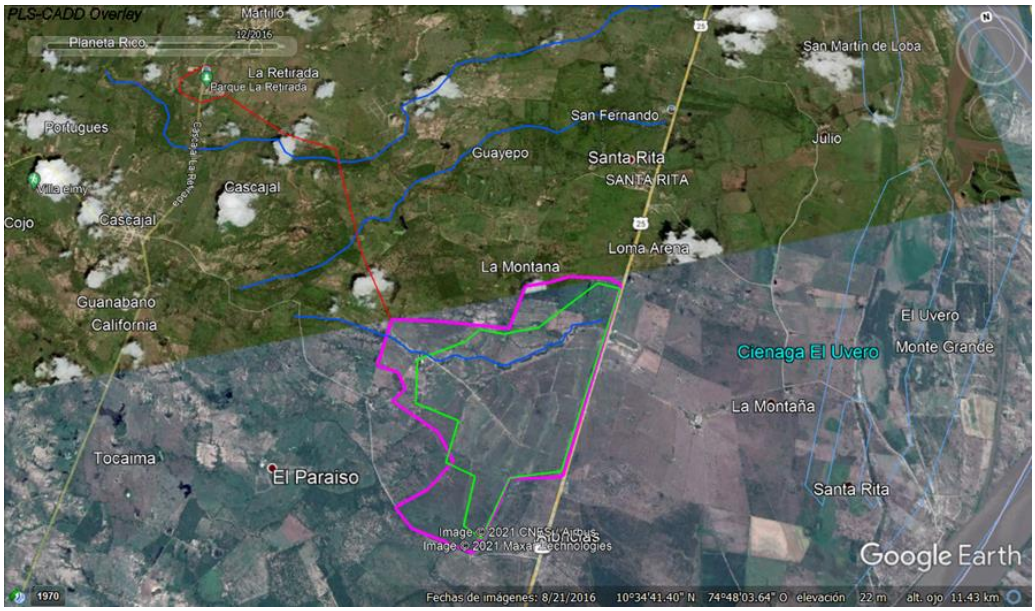
Fuente: Google Earth, elaborado por (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Figura 5.1-71 Dinámica espacial y temporal de los cuerpos en la zona del proyecto en diciembre de 2015



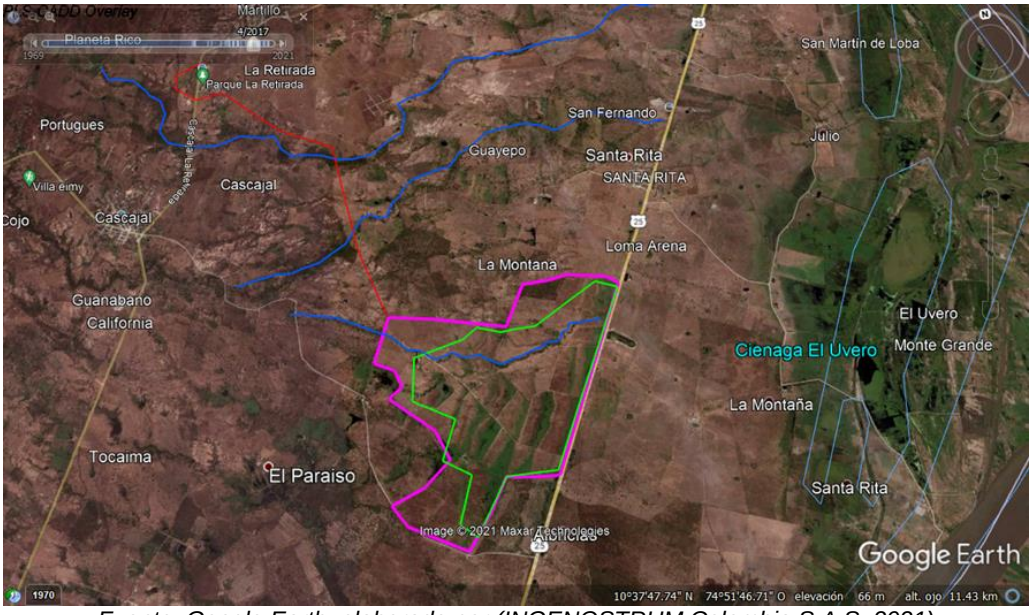
Fuente: Google Earth, elaborado por (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Figura 5.1-72 Dinámica espacial y temporal de los cuerpos en la zona del proyecto en diciembre de 2016



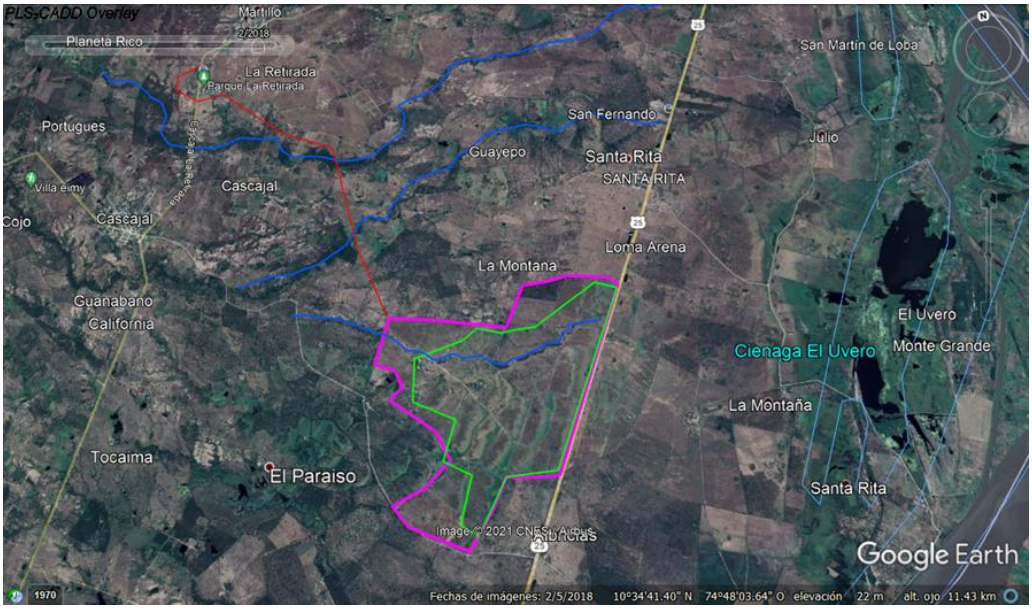
Fuente: Google Earth, elaborado por (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Figura 5.1-73 Dinámica espacial y temporal de los cuerpos en la zona del proyecto en abril de 2017



Fuente: Google Earth, elaborado por (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Figura 5.1-74 Dinámica espacial y temporal de los cuerpos en la zona del proyecto en febrero de 2018



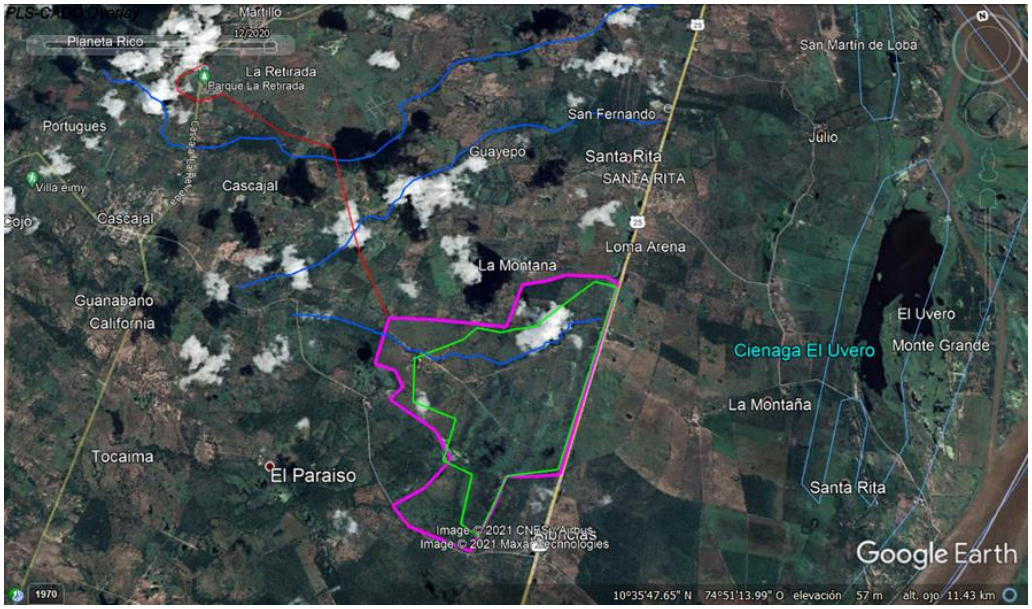
Fuente: Google Earth, elaborado por (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Figura 5.1-75 Dinámica espacial y temporal de los cuerpos en la zona del proyecto en diciembre de 2019



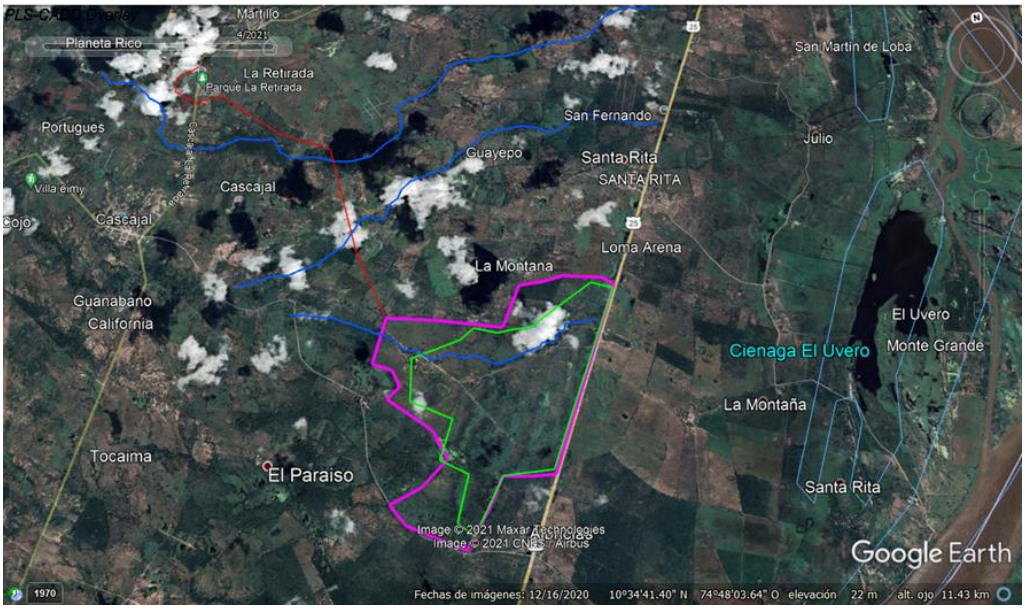
Fuente: Google Earth, elaborado por (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Figura 5.1-76 Dinámica espacial y temporal de los cuerpos en la zona del proyecto en diciembre de 2020



Fuente: Google Earth, elaborado por (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Figura 5.1-77 Dinámica espacial y temporal de los cuerpos en la zona del proyecto en abril de 2021

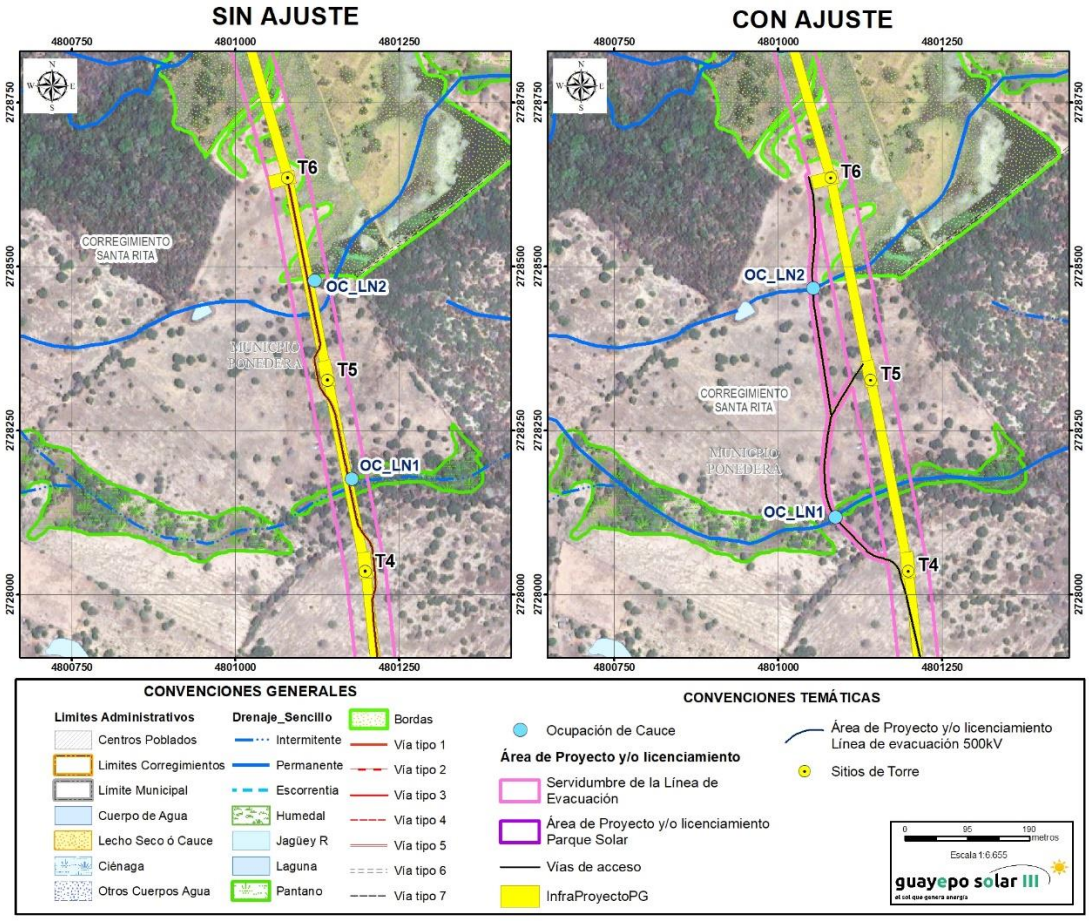


Fuente: Google Earth, elaborado por (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Como se puede observar de la Figura 5.1-60 hasta la Figura 5.1-98 los cuerpos de agua no han presentados cambios en su morfología fluvial, ni por causa de las actividades de ganadería realizadas en el predio, preservándose en el tiempo como se evidencia en las imágenes satelitales analizadas para el periodo de registro (1969 – 2021).

En respuesta al requerimiento No.9, el cuál cita "***Complementar el análisis cartográfico de dinámica fluvial para los cuerpos de agua que serán intervenidos por el proyecto***" se ajusta cartográficamente la red de drenaje, específicamente los cuerpos de agua que cruzan la servidumbre de la línea de evacuación. El ajuste realizado se puede evidenciar en la Figura 5.1-78, dónde se modificó el trazado del Arroyo El Cojo.

Figura 5.1-78 Ajuste Cartográfico Drenaje Sencillo



Fuente: Ingenostrum Colombia, 2021

Por otro lado, se complementó el análisis cartográfico de la dinámica fluvial para los cuerpos de agua que atraviesan la servidumbre de la línea de evacuación. Para dicho análisis se utilizaron las imágenes satelitales de Google Earth en los diferentes años disponibles(2004, 2011, 2017, 2020). Durante el análisis multitemporal se tuvieron en cuenta variables como, coberturas vegetales, componente geomorfológico, suelos, uso del suelo y finalmente se describe la dinámica fluvial para cada uno de los tramos.

Los tramos de la línea se dividieron de la siguiente manera:

Tabla 5.1-45. División de tramos para análisis dinámica fluvial

Tramo	Torres
Tramo 1	De la T2 a la T6
Tramo 2	De la T7 a la 11
Tramo 3	De la T13 a la T21

Fuente: Ingenostrum Colombia, 2021

5.1.4.6.1 Análisis Dinámica Fluvial- Primer Tramo

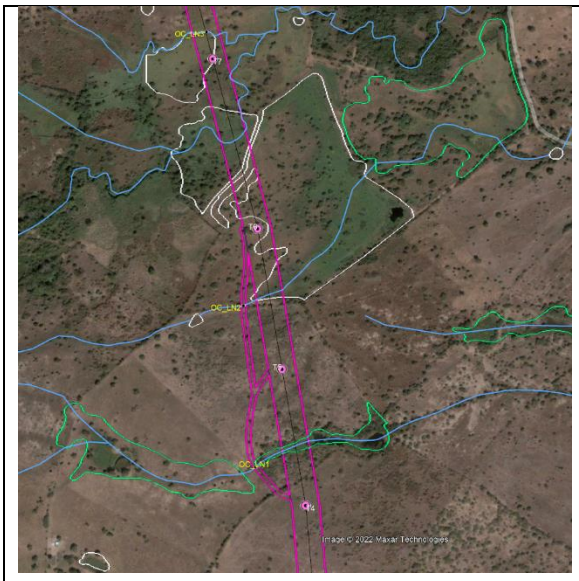
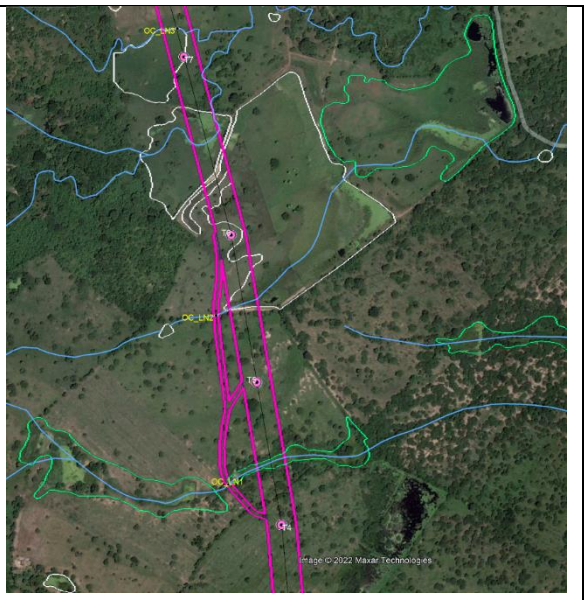
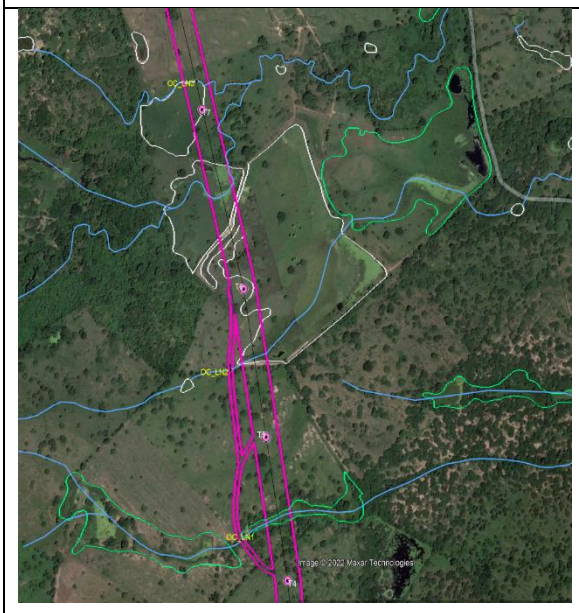
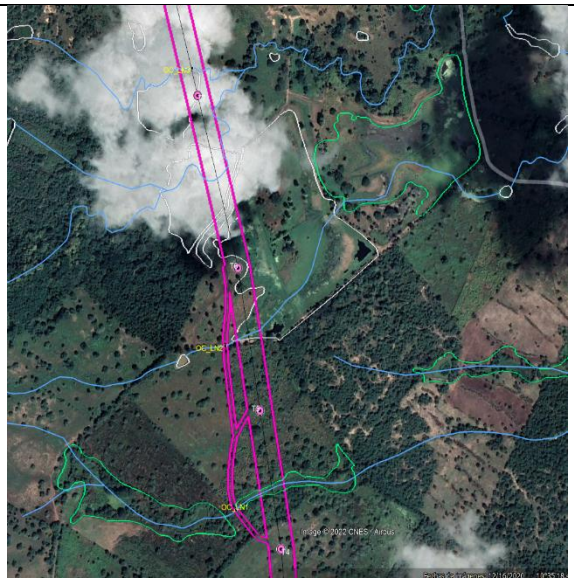
Tabla 5.1-46. Análisis Dinámica Fluvial Tramo 1 Línea de Evacuación

Componente a analizar	Análisis
Cobertura Vegetales	Frente a la cobertura vegetal durante el primer tramo de la línea se tienen coberturas principalmente de pastos arbolados, vegetación secundaria o en transición y algunos cuerpos de agua superficial junto con zonas pantanosas.
Geomorfología	En cuanto a las unidades geomorfológicas en la zona de estudio del primer tramo se encuentran principalmente en Planicie Ondulada específicamente en la subunidad de terrazas fluviales. En cuanto a los procesos erosivos durante este primer tramo se encuentra mayormente una erosión laminar con susceptibilidad de erosión media/alta en donde es normal encontrar parches de suelo degradado los cuales podrían indicar cambios puntuales en la dinámica fluvial del área por erosión en las rondas hídricas debido al uso de los suelos, dedicado a la ganadería en el área.

Suelos	Los suelos han sido degradados por la sobreutilización que existe debido a la actividad ganadera y agrícola que se ha dado en los últimos años. Por esta degradación se presentan fenómenos de erosión superficial y en las rondas hídricas.
Uso del Suelo	El uso actual del suelo en este tramo está dentro del grupo de Ganadería, específicamente el uso de pastoreo extensivo, este mismo uso ha sido el causante de una degradación del mismo en los últimos años y por tal razón los posibles cambios a nivel de la trayectoria de los arroyos existentes. A su vez, este uso actual ha perdurado en las últimas décadas.
Dinámica fluvial	A pesar que el área de proyecto ha sido intervenida en su mayoría por la actividad ganadera, la dinámica fluvial a nivel de cuenca y de drenajes principales no ha cambiado en los últimos 20, como se observa en la Figura 5.1-79 . En conclusión, la dinámica fluvial está influenciada en su mayoría por la mecanización de los suelos, la sobreutilización de las rondas hídricas, la actividad ganadera que erosiona y sedimenta los cuerpos de agua de manera puntual, así como la intervención de los propietarios de predios aguas arriba que generan taponamientos para retener agua en épocas de sequía por lo cual sólo hay agua en los arroyos en la época de invierno. Puntualmente, en los cruces con la línea de evacuación no se alterará esta dinámica fluvial teniendo en cuenta lo descrito anteriormente, únicamente se harán cambios en los puntos de ocupaciones de cauce descritos en el capítulo 7, que igual garantizará el flujo de los caudales de estos cuerpos de agua. Para este tramo se tiene en cuenta las ocupaciones OC_LN1, OC_LN2 Y OC_LN3.

Fuente: Ingenostrum Colombia, 2021

Figura 5.1-79 Análisis Dinámica Fluvial Tramo 1 Línea de Evacuación

	
Fuente: Google Earth Año:2004	Fuente: Google Earth Año:2011
	
Fuente: Google Earth Año:2017	Fuente: Google Earth Año: 2020

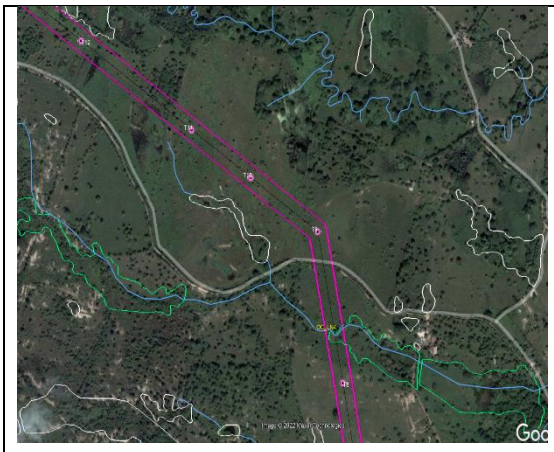
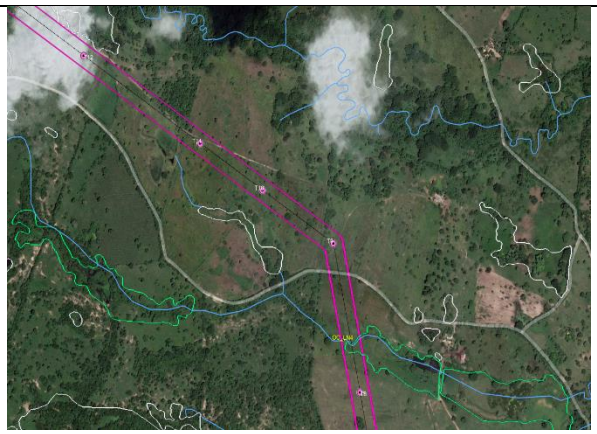
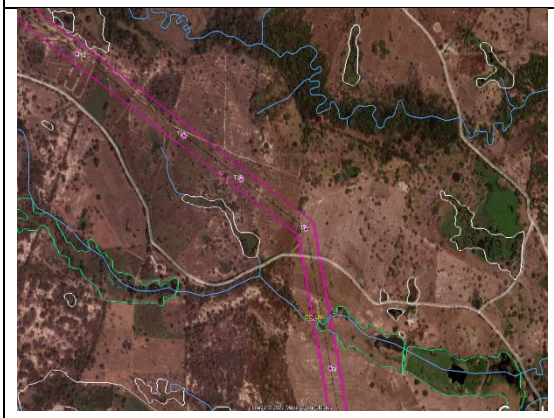
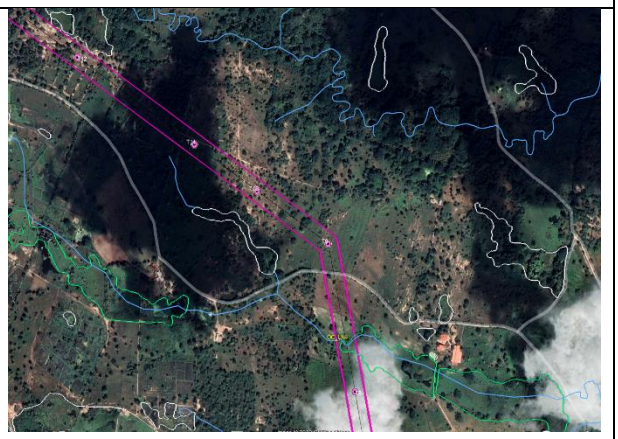
5.1.4.6.2 Análisis Dinámica Fluvial- Segundo Tramo

Tabla 5.1-47 Análisis Dinámica Fluvial Tramo 2 Línea de Evacuación

Componente a analizar	Análisis
Cobertura Vegetales	Frente a la cobertura vegetal durante el segundo tramo de la línea se tienen coberturas principalmente de pastos limpios y pastos arbolados. También hay presencia de zonas pantanosas justo por donde pasa el arroyo El Cojo.
Geomorfología	En cuanto a las unidades geomorfológicas en la zona de estudio del segundo tramo se encuentran principalmente en Planicie Ondulada específicamente en la subunidad de terrazas fluviales y unas áreas de Llanuras de Inundación. En cuanto a los procesos erosivos durante este primer tramo se encuentra mayormente una erosión laminar con susceptibilidad de erosión media/alta en donde es normal encontrar parches de suelo degradado los cuales podrían indicar cambios puntuales en la dinámica fluvial del área por erosión en las rondas hídricas debido al uso de los suelos, dedicado a la ganadería en el área.
Suelos	Los suelos han sido degradados por la sobreutilización que existe debido a la actividad ganadera y agrícola que se ha dado en los últimos años. Por esta degradación se presentan fenómenos de erosión superficial y en las rondas hídricas.
Uso del Suelo	El uso actual del suelo en este tramo está dentro del grupo de Ganadería, específicamente el uso de pastoreo extensivo, este mismo uso ha sido el causante de una degradación del mismo en los últimos años y por tal razón los posibles cambios a nivel de la trayectoria de los arroyos existentes. A su vez, este uso actual ha perdurado en las últimas décadas.
Dinámica fluvial	A pesar que el área de proyecto ha sido intervenida en su mayoría por la actividad ganadera, la dinámica fluvial a nivel de cuenca y de drenajes principales no ha cambiado en los últimos 20 años, como se observa en la Figura 5.1-80 . En conclusión, la dinámica fluvial está influenciada en su mayoría por la mecanización de los suelos, la sobreutilización de las rondas hídricas, la actividad ganadera que erosiona y sedimenta los cuerpos de agua de manera puntual, así como la intervención de los propietarios de predios aguas arriba que generan taponamientos para retener agua en épocas de sequía por lo cual sólo hay agua en los arroyos en la época de invierno. Puntualmente, en los cruces con la línea de evacuación no se alterará esta dinámica fluvial teniendo en cuenta lo descrito anteriormente, únicamente se harán cambios en los puntos de ocupaciones de cauce descritos en el capítulo 7, que igual garantizará el flujo de los caudales de estos cuerpos de agua. Para este tramo se tiene en cuenta la ocupación OC LN4.

Fuente: Ingenostrum Colombia, 2021

Figura 5.1-80 Análisis Dinámica Fluvial Tramo 2 Línea de Evacuación

	
Fuente: Google Earth Año:2004	Fuente: Google Earth Año:2011
	
Fuente: Google Earth Año:2017	Fuente: Google Earth Año: 2020

5.1.4.6.3 Análisis Dinámica Fluvial- Tercer Tramo

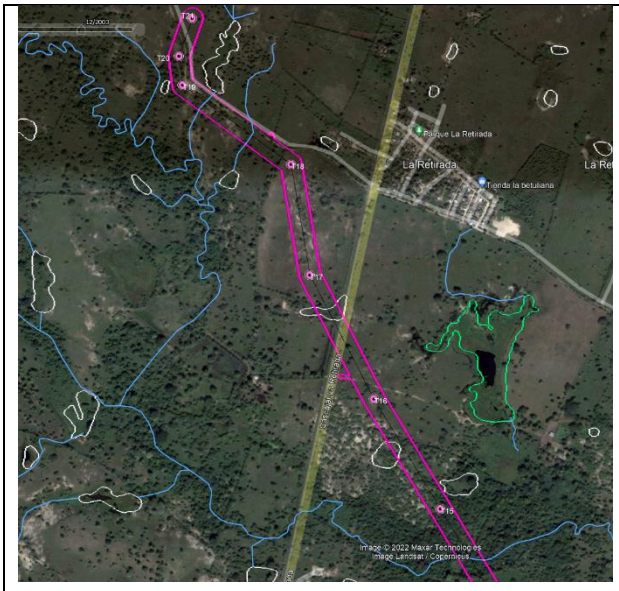
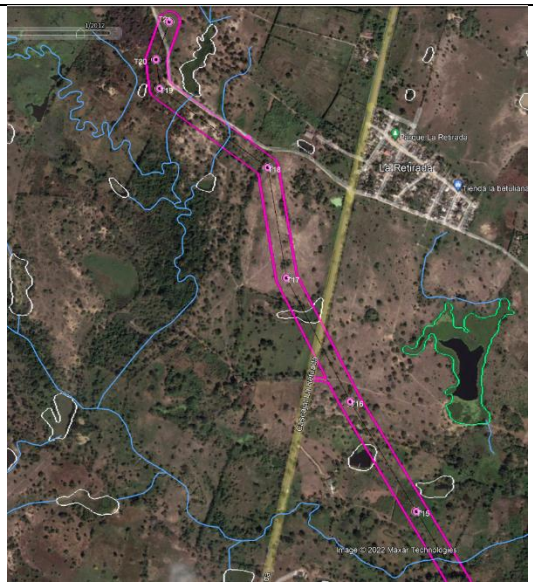
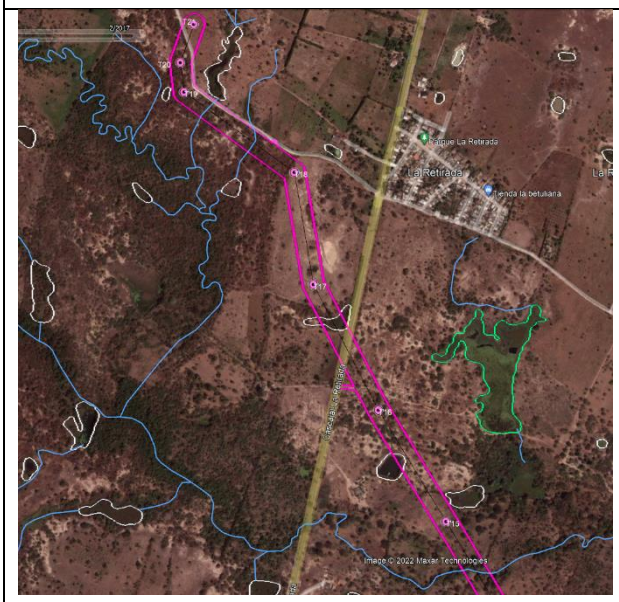
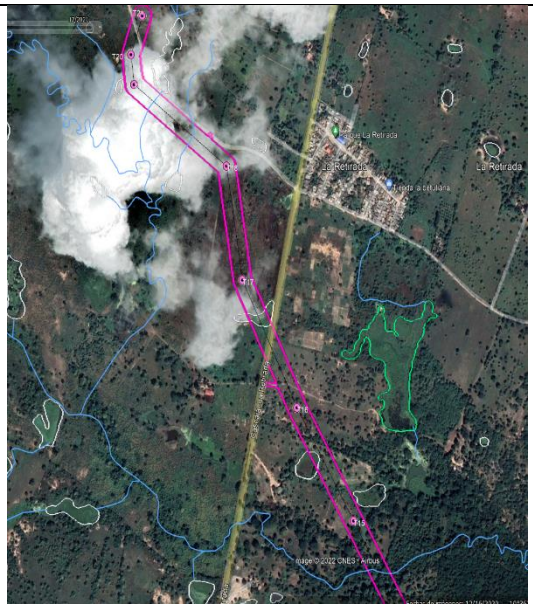
Tabla 5.1-48 Análisis Dinámica Fluvial Tramo 3 Línea de Evacuación

Componente a analizar	Análisis
Cobertura Vegetales	Frente a la cobertura vegetal durante el tercer tramo de la línea se tienen coberturas principalmente de pastos limpios y pastos arbolados. También hay presencia de cuerpos de agua artificial.
Geomorfología	En cuanto a las unidades geomorfológicas en la zona de estudio del tercer tramo se encuentran principalmente en Planicie Ondulada específicamente en la subunidad de terrazas fluviales y unas áreas de unidades antropogénicas de excavación. En cuanto

	a los procesos erosivos durante este último tramo se encuentra mayormente una erosión laminar con susceptibilidad de erosión media/alta en donde es normal encontrar parches de suelo degradado los cuales podrían indicar cambios puntuales en la dinámica fluvial del área por erosión en las rondas hídricas debido al uso de los suelos, dedicado a la ganadería en el área.
Suelos	Los suelos han sido degradados por la sobreutilización que existe debido a la actividad ganadera y agrícola que se ha dado en los últimos años. Por esta degradación se presentan fenómenos de erosión superficial y en las rondas hídricas.
Uso del Suelo	El uso actual del suelo en este tramo está dentro del grupo de Ganadería, específicamente el uso de pastoreo extensivo, este mismo uso ha sido el causante de una degradación del mismo en los últimos años y por tal razón los posibles cambios a nivel de la trayectoria de los arroyos existentes. A su vez, este uso actual ha perdurado en las últimas décadas.
Dinámica fluvial	A pesar que el área de proyecto ha sido intervenida en su mayoría por la actividad ganadera, la dinámica fluvial a nivel de cuenca y de drenajes principales no ha cambiado en los últimos 20, como se observa en la Fuente: Ingenostrum Colombia, 2021 Figura 5.1-81. En conclusión, la dinámica fluvial está influenciada en su mayoría por la mecanización de los suelos, la sobreutilización de las rondas hídricas, la actividad ganadera que erosiona y sedimenta los cuerpos de agua de manera puntual, así como la intervención de los propietarios de predios aguas arriba que generan taponamientos para retener agua en épocas de sequía por lo cual sólo hay agua en los arroyos en la época de invierno. Puntualmente, en los cruces con la línea de evacuación no se alterará esta dinámica fluvial teniendo en cuenta lo descrito anteriormente, únicamente se harán cambios en los puntos de ocupaciones de cauce descritos en el capítulo 7, que igual garantizará el flujo de los caudales de estos cuerpos de agua.

Fuente: Ingenostrum Colombia, 2021

Figura 5.1-81 Análisis Dinámica Fluvial Tramo 3 Línea de Evacuación

<table>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>Fuente: Google Earth
Año:2004</td><td>Fuente: Google Earth
Año:2011</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>Fuente: Google Earth
Año:2017</td><td>Fuente: Google Earth
Año: 2021</td></tr>
</table>

5.1.5 Calidad del agua

La contaminación hídrica constituye uno de los problemas ambientales de mayor gravedad para la comunidad, impone costos y perjuicios enormes a consumidores y productores que utilizan las aguas superficiales, incluyendo impactos sobre la salud humana, incrementos de los costos de tratamiento de aguas, desvalorización de tierras aledañas a ríos contaminados, disminución de la actividad pesquera, degradación de áreas de recreación y turísticas, deterioro de equipos de hidroeléctricas y reducción de la productividad agrícola, entre otros (IGAC et al., 2007).

Es importante mencionar que, de acuerdo a las características constructivas y operativas del proyecto no se contempla la intervención de ninguna corriente superficial para captación de agua, puesto que la demanda hídrica para hidratación y uso industrial, se suplirá mediante la compra del recurso en bloque a empresas que cuenten con los respectivos permisos por parte de la autoridad ambiental competente para su suministro y será transportada en carrotanques a medida que avance la construcción de la obra.

Adicionalmente, no se presentarán vertimientos en la etapa constructiva del proyecto, dado que, en el área de intervención, se contará con baterías sanitarias para el uso del personal, cuyo manejo se realizará con empresas autorizadas.

5.1.5.1 Selección de los puntos de monitoreo

Como consideración principal para realizar la caracterización fisicoquímica y bacteriológica del agua, se tuvo 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)”, para ello se realizaron monitoreos sobre los mismos puntos en los dos períodos climáticos a monitorear. De acuerdo con esto, es importante aclarar que se realiza un análisis de la calidad del agua del área a licenciar del proyecto pese a que no prevé la necesidad de

tramitar concesión de aguas ni vertimientos, solamente se realizará intervenciones a cauces de tipo temporal.

Con el objetivo de establecer las condiciones de calidad de las fuentes hídricas, se realizaron tres campañas de monitoreo. La primera se efectuó durante el mes de mayo del 2021, en época climática de lluvia. Inicialmente se definieron 10 puntos de muestreo (OC_LN1, OC_LN2, OC_LN3, OC_LN4, M_LN5, M_PARQ1, M_PARQ2, M_PARQ3, M_PARQ4 y M_PARQ5) (ver Tabla 5.1-49) y debido a que dos se encontraron secos (M_LN5 y OC_LN4), finalmente se caracterizaron 8 puntos de muestreo. La segunda campaña fue realizada durante el mes de julio del 2021, el cual es un mes donde se presentan menores precipitaciones, siendo este un mes de transición a las lluvias más altas o lluvias máximas, se monitorearon los 10 puntos de la campaña anterior y se incluyó el monitoreo de 10 puntos adicionales correspondientes a ocupaciones de cauce que se llevarán a cabo en el área del parque fotovoltaico.

La tercera campaña se realizó en el mes de octubre de 2021 (época climática de máximas lluvias en la zona) con el fin de complementar el monitoreo de las ocupaciones de cauce en ambas temporadas.

Las coordenadas específicas de los puntos monitoreado se muestran en la Tabla 5.1-49 y se visualizan en la Figura 5.1-82.

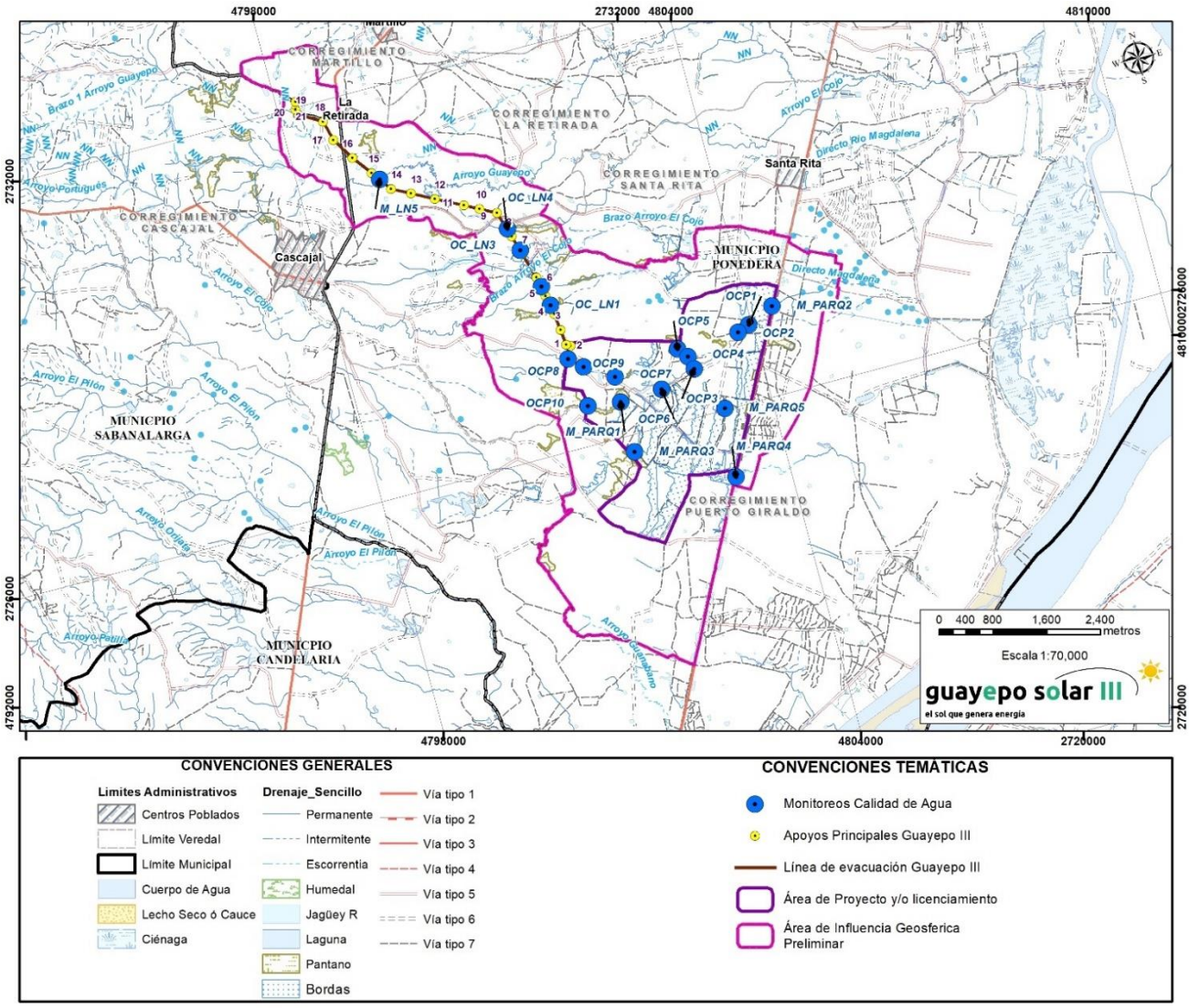
Tabla 5.1-49 Temporalidad y sitios de monitoreo línea y parque solar

INFRAESTRUCTURA	TIPO	ID	COORDENADAS ORIGEN ÚNICO NACIONAL CTM12		FECHA CAMPAÑA	TEMPORADA CAMPAÑA
			ESTE	NORTE		
Línea	Ocupación cauce	OC_LN3	4800955,5	2729083,42	Mayo - Julio	Lluvia - Seca
Línea	Ocupación cauce	OC_LN4	4800853,79	2729439,37	Mayo - Julio	Lluvia - Seca
Línea	Ocupación cauce	OC_LN1	4801177,53	2728175,63	Mayo - Julio	Lluvia - Seca
Línea	Ocupación cauce	OC_LN2	4801121,2	2728478,32	Mayo - Julio	Lluvia - Seca
Línea	Caracterización fisicoquímica-hidrobiológica	M_LN5	4799207,14	2730641,91	Mayo - Julio	Lluvia - Seca
Parque	Caracterización fisicoquímica-hidrobiológica	M_PARQ1	4801812,66	2726510,16	Mayo - Julio	Lluvia - Seca

INFRAESTRUCTURA	TIPO	ID	COORDENADAS ORIGEN ÚNICO NACIONAL CTM12		FECHA CAMPAÑA	TEMPORADA CAMPAÑA
			ESTE	NORTE		
Parque	Caracterización fisicoquímica-hidrobiológica	M_PARQ2	4804362,53	2727313,05	Mayo - Julio	Lluvia - Seca
Parque	Caracterización fisicoquímica-hidrobiológica	M_PARQ3	4801823,14	2725741,95	Mayo - Julio	Lluvia - Seca
Parque	Caracterización fisicoquímica-hidrobiológica	M_PARQ4	4803185,47	2724987,91	Mayo - Julio	Lluvia - Seca
Parque	Caracterización fisicoquímica-hidrobiológica	M_PARQ5	4803286,68	2726019,25	Mayo - Julio	Lluvia - Seca
Parque	Ocupación cauce	OCP1	4803954,22	2727133,6	Julio – Oct.	Seca - Lluvia
Parque	Ocupación cauce	OCP2	4803768,7	2727063,44	Julio – Oct.	Seca - Lluvia
Parque	Ocupación cauce	OCP5	4802837,91	2727051,02	Julio – Oct.	Seca - Lluvia
Parque	Ocupación cauce	OCP4	4802954,21	2726900,53	Julio – Oct.	Seca - Lluvia
Parque	Ocupación cauce	OCP3	4802996,64	2726699,67	Julio – Oct.	Seca - Lluvia
Parque	Ocupación cauce	OCP9	4801220,07	2727329,45	Julio – Oct.	Seca - Lluvia
Parque	Ocupación cauce	OCP8	4801413,47	2727155,44	Julio – Oct.	Seca - Lluvia
Parque	Ocupación cauce	OCP7	4801831,39	2726894,3	Julio – Oct.	Seca - Lluvia
Parque	Ocupación cauce	OCP10	4801329,46	2726580,02	Julio – Oct.	Seca - Lluvia
Parque	Ocupación cauce	OCP6	4802453,55	2726535,59	Julio – Oct.	Seca - Lluvia

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021).

Figura 5.1-82 Localización puntos de monitoreo



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.5.2 Metodología de análisis

Las tres campañas fueron ejecutadas por el laboratorio ECOSAM SAS, acreditado por el IDEAM bajo la Resolución número 0590 del 23 de julio de 2020. El laboratorio trabaja bajo los lineamientos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater y la norma de acreditación para laboratorios ISO 17025. El tipo de muestra llevado a cabo es de tipo simple, ya que las muestras de tipo integrada se realizan cuando se solicita una concesión o permiso de vertimiento directo a los cuerpos de agua, el proyecto no demandará concesiones ni vertimientos para el

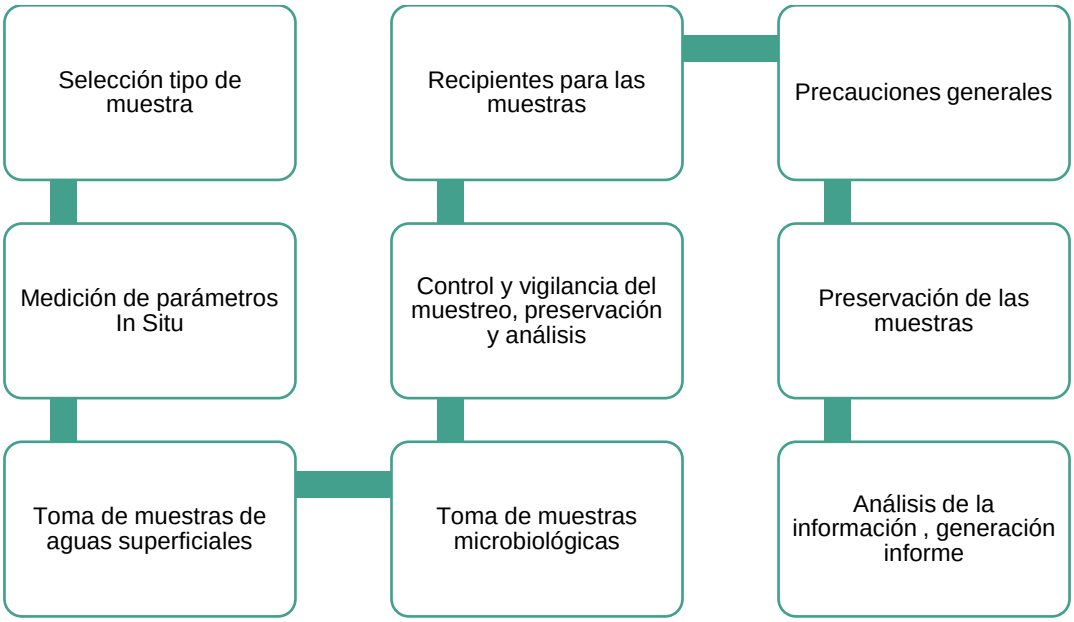
desarrollo de las actividades en sus diferentes etapas, adicionalmente el análisis integrado no aplica para el tipo de cuerpos de agua encontrados en el área del proyecto pues la sección hidráulica es muy pequeña y no se tendrían diferencias de las muestras en los sectores de la misma.

La primera campaña realizada del 11 al 12 de mayo del 2021, se llevó a cabo durante el marco del paro nacional situación que generó en la zona y en la mayoría de los departamentos del país el cierre de vías nacionales, departamentales y municipales, por consiguiente las muestras fueron recepcionadas el 14 de mayo a las 8:00 am, en consecuencia las muestras de DBO5 tomadas en los puntos OC LN2 y OC LN1 se vieron afectadas, junto con las muestras de coliformes tomados durante los dos días de ejecución del monitoreo, debido a que estas tienen un tiempo de almacenamiento de 48 horas para las DBO5 y 24 horas para los coliformes. Sin embargo, dichas muestras se mantuvieron durante todo el tiempo en condiciones adecuadas de temperatura y refrigeración.

En el Anexo 5.1.4 Calidad del Agua se presentan los respectivos anexos y certificaciones de acreditación del laboratorio, los protocolos de monitoreo y los resultados de los análisis con la cadena de custodia y registro fotográfico.

En la Figura 5.1-83 se muestra la metodología utilizada para la caracterización de los puntos de monitoreo.

Figura 5.1-83 Metodología de caracterización de puntos de monitoreo



Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

5.1.5.3 Parámetros de caracterización

En cada uno de los puntos se realizaron muestras de tipo simple. Para la elección de los parámetros que fueron objeto de caracterización se tuvo como referencia lo estipulado en el numeral 5.1.5 (términos de referencia TdR-015) y el numeral 5.1.7 (términos de referencia TdR-017) partiendo que en ningún cuerpo de agua se realizará vertimientos y/o concesiones de agua (ver Tabla 5.1-50).

Tabla 5.1-50 Parámetros analizados

Parámetro	Parámetros solicitados según el uso y aprovechamiento del recurso TdR-015 y TdR-017			Parámetros monitoreados para el proyecto Guayepo III
	Para cuerpos de agua en los que se propone concesiones	Para cuerpos de agua en los que se propone vertimientos agua residual doméstica	Para cuerpos de agua en los que se propone vertimientos agua residual no doméstica	
Temperatura	x	x	x	x
pH	x	x	x	x
DQO	x	x	x	x
DBO5	x	x	x	x
Sólidos suspendidos totales	x	x	x	x
Sólidos Disueltos Totales	x	x	x	x
Sólidos Sedimentables	x	x	x	x

Parámetro	Parámetros solicitados según el uso y aprovechamiento del recurso TdR-015 y TdR-017			Parámetros monitoreados para el proyecto Guayepo III
	Para cuerpos de agua en los que se propone concesiones	Para cuerpos de agua en los que se propone vertimientos agua residual doméstica	Para cuerpos de agua en los que se propone vertimientos agua residual no doméstica	
Grasas y aceites	x	x	x	x
Fenoles totales	-	-	x	-
Sustancias activas azul metileno	-	x	x	-
Coliformes Totales	x	x	x	x
Coliformes Fecales	x	x	x	x
Conductividad eléctrica	x	x	x	x
Turbiedad	x	x	x	x
Oxígeno disuelto	x	x	x	x
Potasio	-	-	x	-
Hidrocarburos totales	x	x	x	x
Fósforo total	x	x	x	x
Nitrógeno total	x	x	x	x
Cloruros	-	-	x	-
Sulfatos	-	-	x	-
Arsénico	-	-	x	-
Cadmio	-	-	x	-
Bario	-	-	x	-
Cinc	-	-	x	-
Cobre	-	-	x	-
Cromo	-	-	x	-
Hierro	-	-	x	-
Mercurio	-	-	x	-
Níquel	-	-	x	-
Plomo	-	-	x	-
Plata	-	-	x	-
Selenio	-	-	x	-
Acidez total	-	-	x	-
Alcalinidad total	-	-	x	-
Dureza cálcica	-	-	x	-
Dureza total	-	-	x	-
Color real	-	-	x	-

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.5.4 Resultados de monitoreos

En la Tabla 5.1-51, se muestran el consolidado de los monitoreos realizados para las tres campañas llevadas a cabo durante mayo, julio y octubre de 2021, donde fue necesario llevar a cabo dos muestreos en época de lluvia (mayo y octubre) ya que en la primera campaña realizada en mayo aún no se conocían todas las ocupaciones de cauce que demandará el proyecto específicamente en el área que compete el parque solar fotovoltaico.

Tabla 5.1-51 Temporalidad y sitios de monitoreo línea y parque solar fotovoltaico

INFRAESTRUCTURA	TIPO	ID	FECHA CAMPAÑA	TEMPORADA CAMPAÑA	MATRIZ
Línea	Ocupación cauce	OC_LN3	Mayo- Julio	Lluvia-Seca	Agua superficial
Línea	Ocupación cauce	OC_LN4	Mayo- Julio	Lluvia-Seca	Seco
Línea	Ocupación cauce	OC_LN1	Mayo- Julio	Lluvia-Seca	Agua superficial
Línea	Ocupación cauce	OC_LN2	Mayo- Julio	Lluvia-Seca	Agua superficial
Línea	Caracterización fisicoquímica-hidrobiológica	M_LN5	Mayo- Julio	Lluvia-Seca	Seco
Parque	Caracterización fisicoquímica-hidrobiológica	M_PARQ1	Mayo- Julio	Lluvia-Seca	Agua superficial
Parque	Caracterización fisicoquímica-hidrobiológica	M_PARQ2	Mayo- Julio	Lluvia-Seca	Agua superficial
Parque	Caracterización fisicoquímica-hidrobiológica	M_PARQ3	Mayo- Julio	Lluvia-Seca	Agua superficial
Parque	Caracterización fisicoquímica-hidrobiológica	M_PARQ4	Mayo- Julio	Lluvia-Seca	Agua superficial
Parque	Caracterización fisicoquímica-hidrobiológica	M_PARQ5	Mayo- Julio	Lluvia-Seca	Agua superficial
Parque	Ocupación cauce	OCP1	Julio - Octubre	Seca-Lluvia	Agua superficial
Parque	Ocupación cauce	OCP2	Julio - Octubre	Seca-Lluvia	Seco
Parque	Ocupación cauce	OCP5	Julio - Octubre	Seca-Lluvia	Agua superficial
Parque	Ocupación cauce	OCP4	Julio - Octubre	Seca-Lluvia	Seco
Parque	Ocupación cauce	OCP3	Julio - Octubre	Seca-Lluvia	Seco
Parque	Ocupación cauce	OCP9	Julio - Octubre	Seca-Lluvia	Agua superficial
Parque	Ocupación cauce	OCP8	Julio - Octubre	Seca-Lluvia	Agua superficial
Parque	Ocupación cauce	OCP7	Julio - Octubre	Seca-Lluvia	Seco
Parque	Ocupación cauce	OCP10	Julio - Octubre	Seca-Lluvia	Seco
Parque	Ocupación cauce	OCP6	Julio - Octubre	Seca-Lluvia	Seco

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021).

5.1.5.4.1 Campaña época lluvia mes de mayo

Los resultados analíticos fisicoquímicos y microbiológicos para cada muestra entregados por el laboratorio se encuentran en el Anexo 5.1.4 Calidad del Agua. En la Tabla 5.1-52 se evidencia el resultado de los parámetros analizados y los valores

de referencia permisible según el Decreto 1594 de 1984 para cada uno de los puntos monitoreados.

Tabla 5.1-52 Ubicación puntos de monitoreo

Punto	Coordenadas		Matriz	No. Proyecto	Fecha
	Norte	Este			
OC LN2	2728478,32	4801121,2	Agua Natural	187-21-01	2021/05/11
OC LN1	2728175,63	4801177,53	Agua Natural	187-21-02	2021/05/11
OC LN3	2729083,42	4800955,5	Agua Natural	187-21-03	2021/05/12
M PARQ2	2727313,05	4804362,53	Agua Natural	187-21-04	2021/05/12
M PARQ4	2724987,91	4803185,47	Agua Natural	187-21-05	2021/05/12
M PARQ5	2726019,25	4803286,68	Agua Natural	187-21-06	2021/05/12
M PARQ3	2725741,95	4801823,14	Agua Natural	187-21-07	2021/05/12
M PARQ1	2726510,16	4801812,66	Agua Natural	187-21-08	2021/05/12
OC LN4	2729439,37	4800853,79	Punto seco	Punto seco	Punto seco
M LN5	2730641,91	4799207,14	Punto seco	Punto seco	Punto seco

Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

5.1.5.4.1.1 Descripción de los puntos de monitoreo

A continuación, se listan y describen los puntos de monitoreo objeto de análisis fisicoquímico y microbiológico en cuerpos de agua naturales.

Tabla 5.1-53 Descripción puntos de monitoreo

Punto	Descripción	Registro fotográfico
OC LN2	Jagüey. Cuerpo de agua grande, cubierto por lenteja de agua, agua turbia color verdosa. Cuerpo de agua léntico.	 OC LN2 Corregimiento Santa Rita Georreferencia: Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 E 4’801.121,2 – N 2’728.478,32

Punto	Descripción	Registro fotográfico
OC LN1	Jagüey. Debido a las condiciones climáticas de la región, el punto se encontraba casi seco, aun así, se realizó la toma de muestra y análisis in Situ del agua. El punto estaba ubicado en un potrero con ganado, con abundante pasto alrededor del cuerpo de agua, el agua era turbia y con olor a materia orgánica.	 OC LN1 Corregimiento Santa Rita Georreferencia: Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 E 4’801.177,53 – N 2’728.175,63
OC LN3	Quebrada pequeña. Se realizó la toma de muestra simple, análisis in Situ y aforo de caudal. El cuerpo de agua era turbio y presentaba olor a agua residual. Cuerpo de agua lótico.	 OC LN3 Corregimiento Santa Rita Georreferencia: Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 E 4’800.955,50 – N 2’729.083,42
M PARQ2	Jagüey donde el 90% del cuerpo de agua se encuentra cubierto por pasto largo y helechos. Agua turbia e inodora. Cuerpo de agua léntico.	 M PARQ2 Corregimiento Santa Rita Georreferencia: Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 E 4’804.362,53 – N 2’727.313,05

Punto	Descripción	Registro fotográfico
M PARQ4	Jagüey/Cañada ubicada junto a la carretera Santa Rita-Puerto Giraldo. El cuerpo de agua estaba rodeado de pasto y cemento. Agua turbia con olor a materia orgánica. Cuerpo de agua léntico	 M PARQ4 Corregimiento de Puerto Giraldo Georreferencia: Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 E 4’803.185,47 – N 2’724.987,91
M PARQ 5	Jagüey donde la totalidad del cuerpo de agua se encuentra cubierto por pasto largo por lo cual este no es visible. El punto se encontraba ubicado junto a un terraplén usado para movilizar tractores y ganado. Cuerpo de agua léntico.	 M PARQ5 Corregimiento de Puerto Giraldo Georreferencia: Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 E 4’803.286,68 – N 2’726.019,25
M PARQ 3	Jagüey ubicado dentro de una finca donde el uso del suelo es predominante para ganadería. El cuerpo de agua estaba cubierto por macrófitas (lechuga de agua). Agua turbia inodora. Cuerpo de agua léntico	 M PARQ3 Corregimiento de Puerto Giraldo Georreferencia: Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 E 4’801.823,14 – N 2’725.741,95

Punto	Descripción	Registro fotográfico
M PARQ1	Jagüey ubicado dentro de una finca donde el uso del suelo es predominante para ganadería. El cuerpo de agua estaba cubierto por pastos cortos. Agua turbia inodora. Cuerpo de agua léntico	 M PARQ1 Corregimiento de Puerto Giraldo Georreferencia: Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 E 4’801.812,66 – N 2’726.510,16
OC LN4	Debido a las condiciones climáticas presentadas en la región desde semanas anteriores al monitoreo, el punto se encontró seco y no se pudo realizar la toma de muestra.	 OC LN4 Corregimiento Santa Rita Georreferencia: Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 E 4’800.853,79 – N 2’729.439,37
M LN5	Punto seco debido a las condiciones climáticas de la región. No se pudo realizar la toma de muestra y análisis In Situ.	 M LN5 Corregimiento La Retirada Georreferencia: Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 E 4’799.207,14 – N 2’730.641,91

Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021).

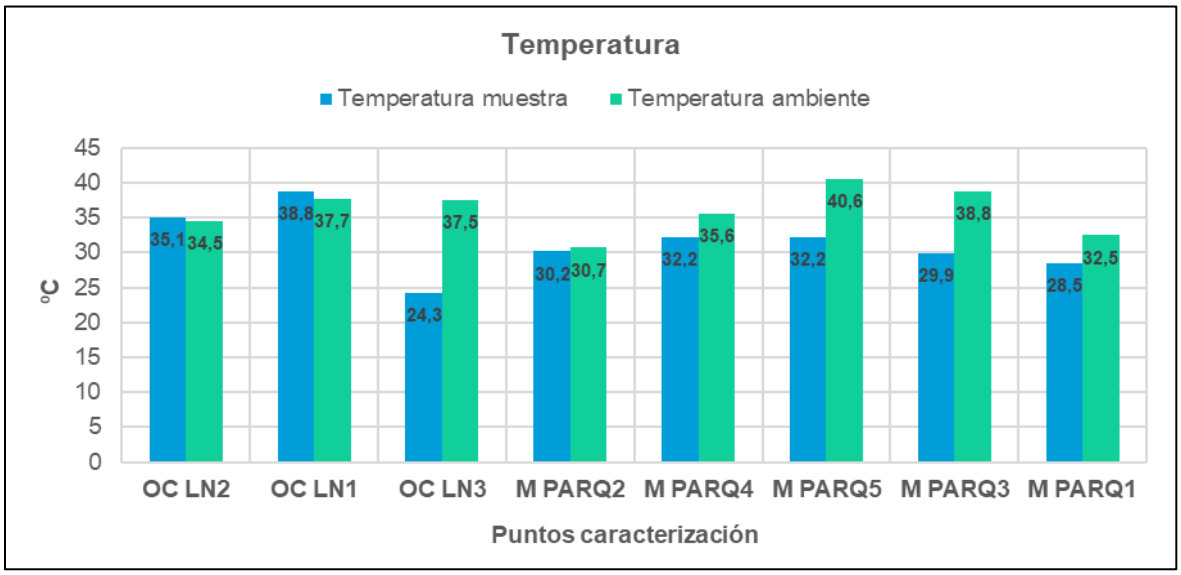
5.1.5.4.1.1.1 Parámetros físicos

5.1.5.4.1.1.1.1 Temperatura

La variación de la temperatura de un cuerpo de agua depende de la incorporación de residuos o de agua caliente proveniente del uso industrial y/o doméstico, de tal manera que la temperatura es un indicador de la presencia de material contaminante en un cuerpo de agua.

Los resultados de temperatura de la muestra se encuentran ubicados en un rango entre 24,3 ºC a 38,8 ºC, evidenciando un comportamiento aparentemente normal entre temperatura de la muestra y temperatura ambiente. El punto con menor valor de temperatura de la muestra fue OC LN3 y el que registró la mayor fue OC LN1, (ver Figura 5.1-84).

Figura 5.1-84 Temperatura registrada en los puntos monitoreados



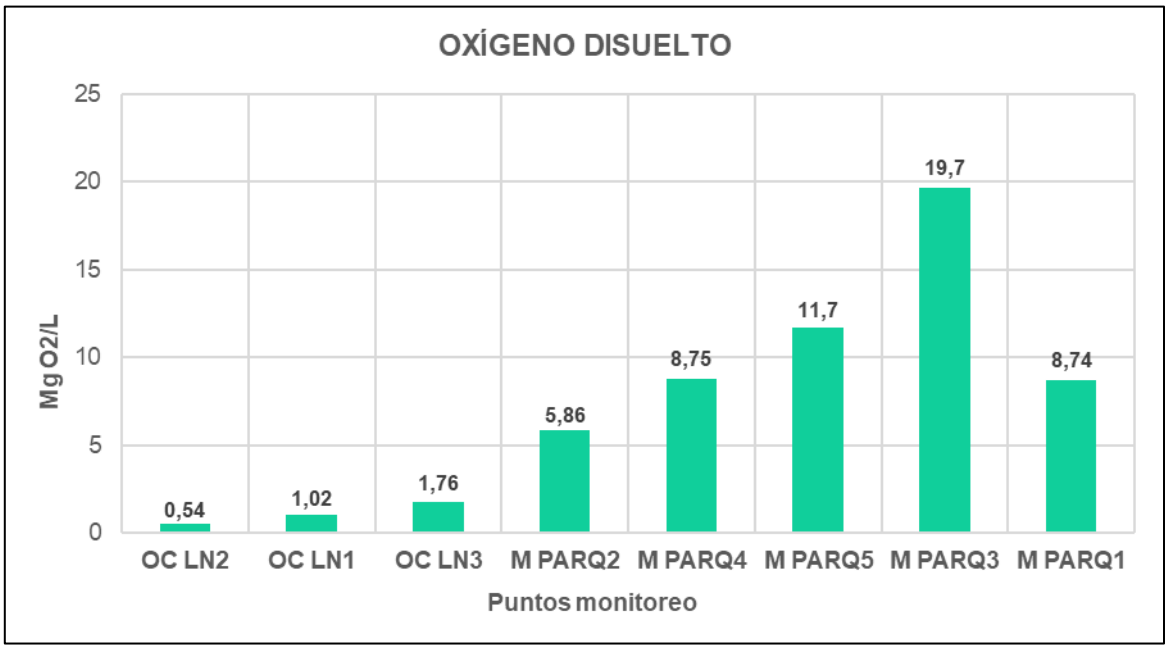
Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021).

5.1.5.4.1.1.1.2 Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es un factor que determina la existencia de condiciones aeróbicas o anaeróbicas en un medio particular. Su contenido indica la concentración y estabilidad del material orgánico presente, es por tanto un factor importante en la auto purificación de los ríos.

Según los datos arrojados por las muestras tomadas los valores mínimos de oxígeno disuelto fueron reportados en los puntos OC LN2, OC LN1 y OC LN3 estando por debajo de la concentración mínima de oxígeno que debe tener un cuerpo de agua superficial para el normal desarrollo de la vida acuática cuyo valor es de 5 mg/L según la Agencia de Protección Ambiental -EPA-. Por otro lado, el punto M PARQ3, presentó la concentración más alta del estudio, (Ver Figura 5.1-85).

Figura 5.1-85 Oxígeno disuelto registrado en los puntos monitoreados



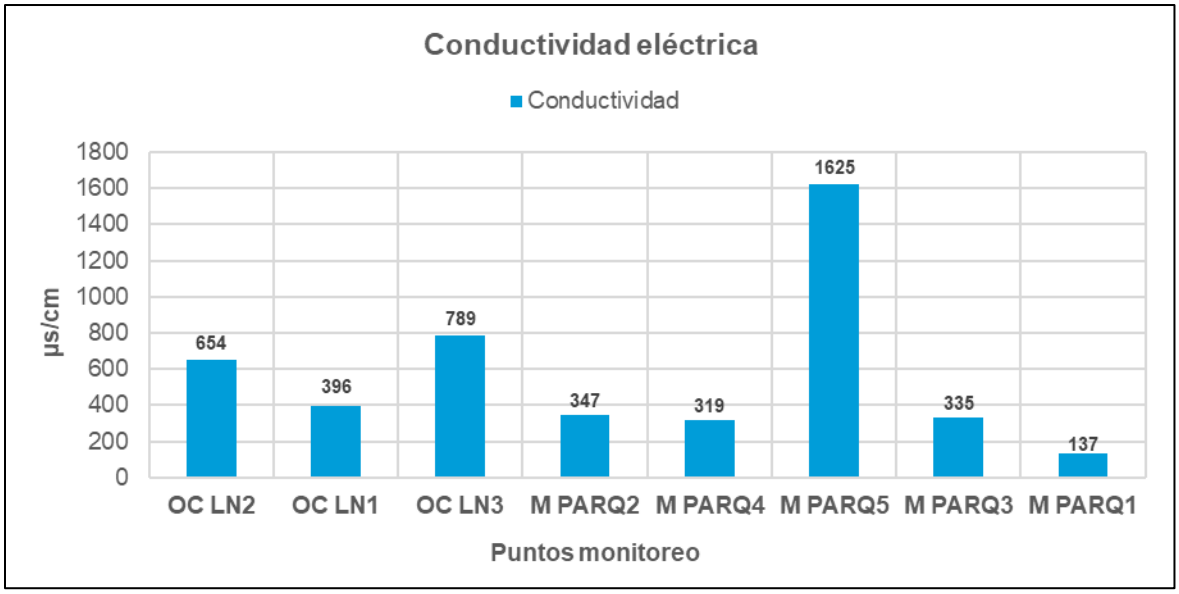
Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021).

5.1.5.4.1.1.1.3 Conductividad eléctrica

Está relacionada íntimamente con la cantidad de sólidos disueltos presentes en el agua; es decir, que a mayor presencia de sólidos disueltos mayor conductividad. La conductividad refleja la mineralización de las aguas dado que conjuga los cationes sodio, potasio, calcio, magnesio; así como, los aniones carbonatos, bicarbonatos, sulfatos y cloruros principalmente.

Durante el monitoreo se registraron valores de conductividad en el intervalo de 137 µs/cm a 1625 µs/cm, registrando el mayor valor en el punto M PARQ5, mientras que el punto M PARQ1 registró el menor valor, (Ver Figura 5.1-131).

Figura 5.1-86 Conductividad registrado en los puntos monitoreados

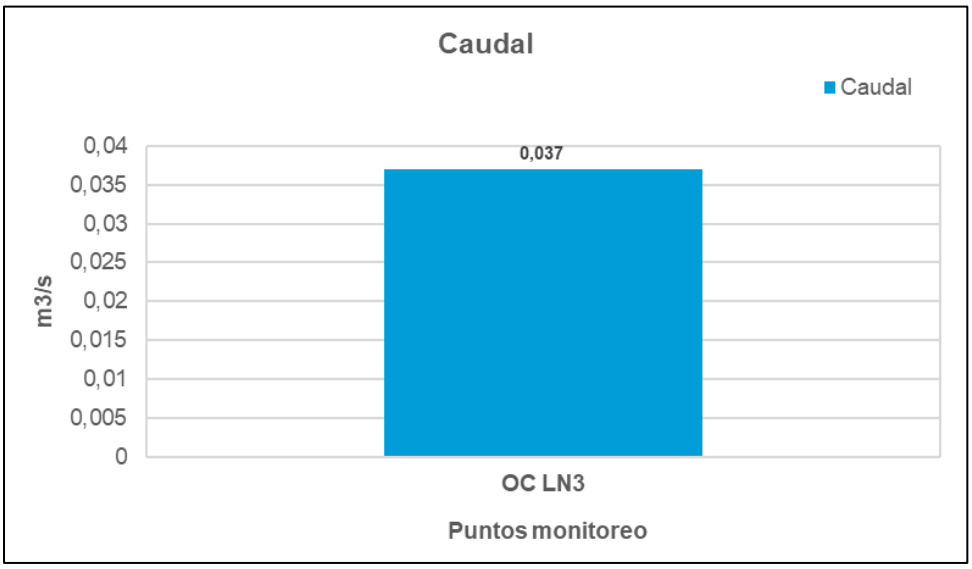


Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021).

5.1.5.4.1.1.1.4 Caudal

El estudio de caudal registró un valor de 0,037 m3/s en el punto OC LN3 (ver Figura 5.1-87). Todos los datos requeridos para la medición del caudal se registraron en el formato de campo F-18 Análisis in situ y aforo de caudales los cuales se entregan se encuentran en el Anexo 5.1.4 Calidad del Agua.

Figura 5.1-87 Caudal registrado en el punto OC LN3.



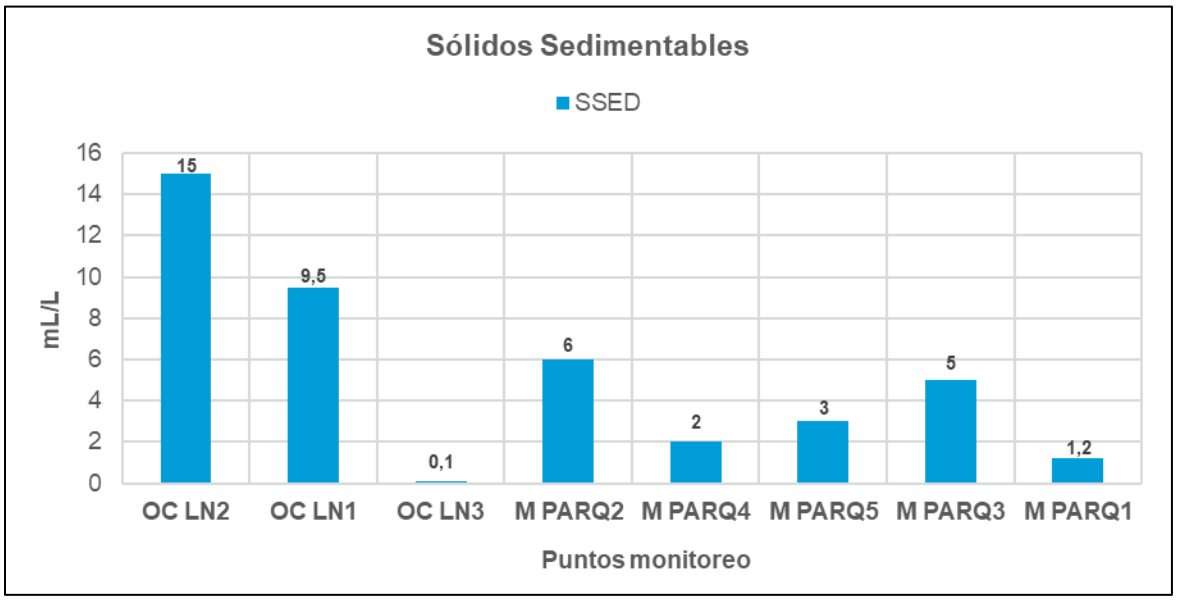
Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021).

5.1.5.4.1.1.1.5 Sólidos Sedimentables (SSED)

Los sólidos sedimentables están formados por partículas más densas que el agua, que se mantienen dispersas dentro de ella en virtud de la fuerza de arrastre causada por el movimiento o turbulencia de la corriente. Por tal razón se sedimentan rápidamente por acción de la gravedad, cuando la masa de agua se mantiene en reposo.

El punto de monitoreo OC LN2 registró la mayor concentración de sólidos sedimentables a diferencia del punto OC LN3 que registro un valor menor a la unidad.

Figura 5.1-88 Sólidos sedimentables registrados en los puntos monitoreados



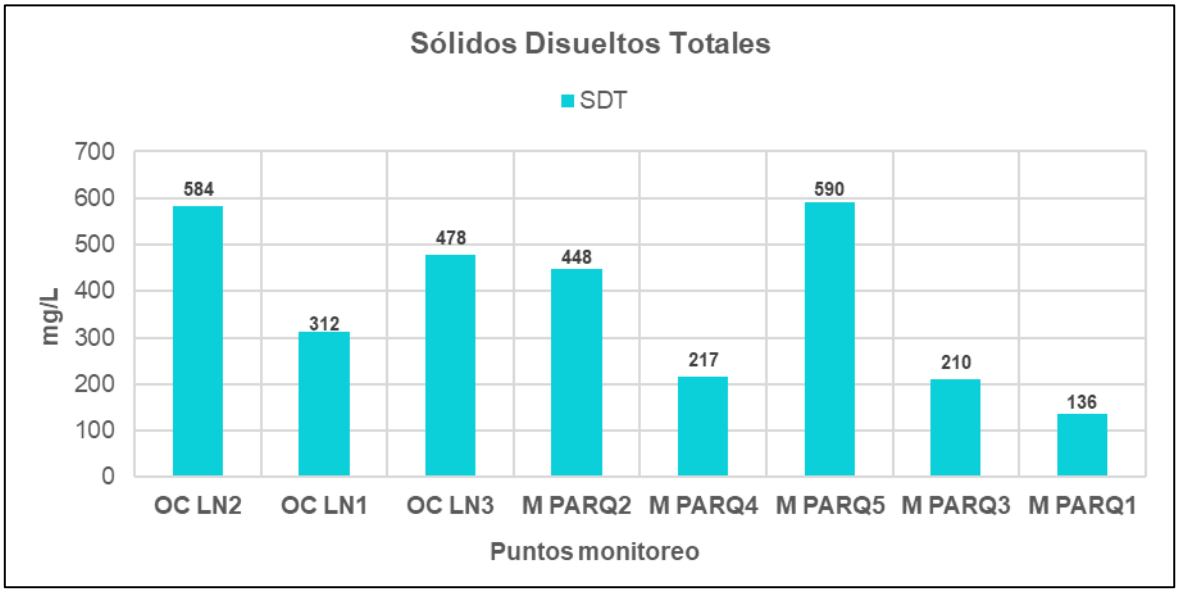
Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021).

5.1.5.4.1.1.1.6 Sólidos disueltos totales (SDT)

Los sólidos disueltos están constituidos por las sales minerales que el agua disuelve cuando conecta los minerales de la corteza terrestre. Estos sólidos, incrementan la capacidad del agua para conducir una corriente eléctrica, generalmente se correlaciona un aumento de sólidos disueltos con el incremento de la conductividad, esto solo es válido en aguas naturales.

Los puntos M PARQ5 y OC LN2 registraron la máxima concentración para este parámetro con relación a los otros puntos monitoreados, por otro parte el punto M PARQ1 es el que menor valor registra con 136 mg/L.

Figura 5.1-89 Sólidos disueltos totales registrados en los puntos monitoreados



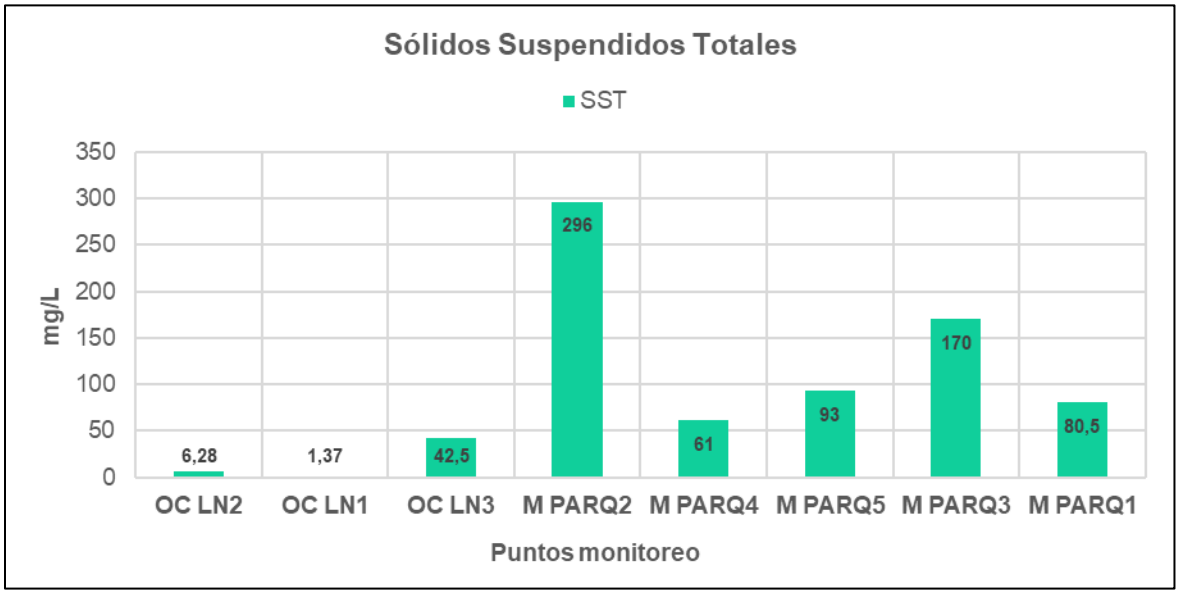
Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021).

5.1.5.4.1.1.1.7 Sólidos suspendidos totales

Los sólidos suspendidos totales (o no filtrables) son aquellos que son retenidos en un filtro de tamaño de poro 2 micrómetros. El contenido de materias en suspensión de las aguas es muy variable y está en función de la naturaleza de los suelos, de las precipitaciones, la pluviometría y el tipo de actividades que se desarrollen en cercanías a los cuerpos de agua. Si bien todos los cursos de agua contienen materias en suspensión, contenidos elevados pueden impedir la penetración de la luz, disminuir el oxígeno disuelto y limitar el desarrollo de la vida acuática.

El punto M PARQ2 es el que presenta la mayor concentración de sólidos suspendidos totales con un registro de 292 mg/L, a diferencia de los puntos OC LN1 y OC LN2 cuyas concentraciones son las de menor valor registradas de 1,37 mg/L y 6,28 mg/L respectivamente.

Figura 5.1-90 Sólidos suspendidos totales registrados en los puntos monitoreados



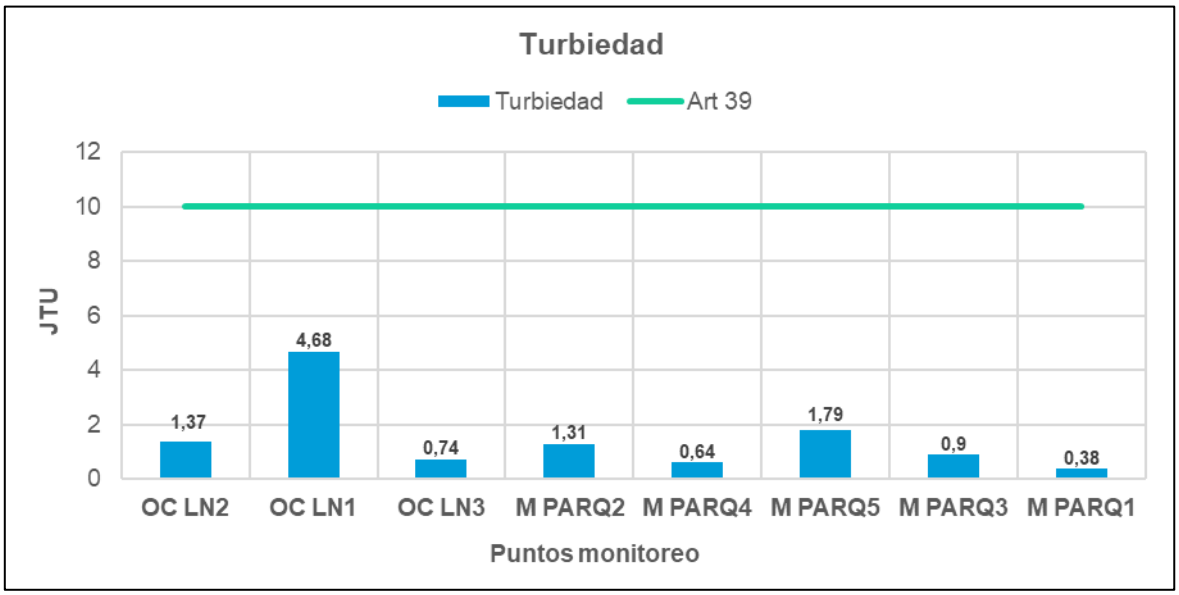
Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021).

5.1.5.4.1.1.1.8 Turbiedad

Está relacionada con la cantidad de sólidos en el agua, específicamente con los sólidos en suspensión. Esta variable hace referencia a la interferencia al paso de la luz causada por la materia (materia orgánica, microorganismos, arcillas, etc.) en suspensión que contiene el agua. La mayoría de las aguas superficiales tienen una turbidez importante y su consumo de forma directa sin previo tratamiento es poco probable.

Se registraron valores inferiores a 4,68 JTU, siendo el punto OC LN1 el de mayor valor (ver Figura 5.1-91), no obstante, estos no superaron el límite establecido por el artículo 39 Decreto 1594. Es importante aclarar que se realizó la conversión de unidades de NTU a JTU según la siguiente equivalencia: 1 JTU = 19 NTU.

Figura 5.1-91 Turbiedad registrada en los puntos monitoreados



Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021).

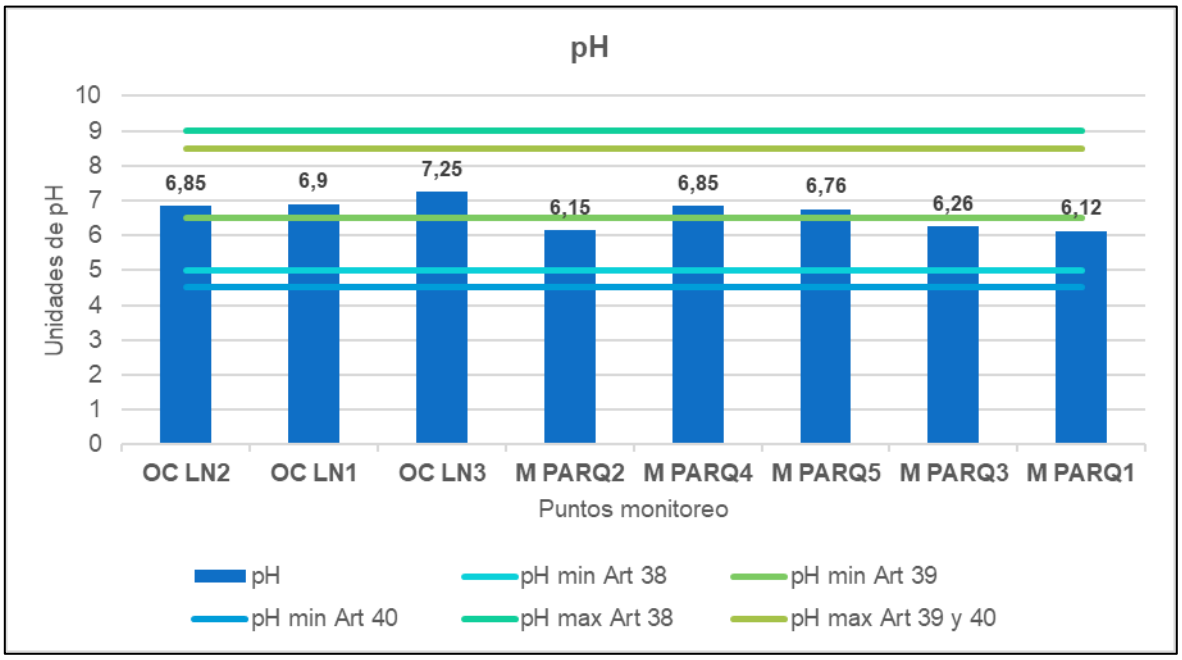
5.1.5.4.1.1.2 Parámetros químicos

5.1.5.4.1.1.2.1 Ph

Es un indicador del grado de acidez del agua, así como de cualquier otra sustancia. A partir de la determinación de la concentración de iones hidrógeno (H3O+) se establece el grado de acidez o alcalinidad cuyo factor más importante es habitualmente la concentración de anhídrido carbónico debida a la mineralización.

Según la norma, ninguno de los puntos excedió los límites superiores (8,5- 9,0 unidades de pH) descritos en los artículos 38 – 40 del Decreto 1594 de 1984. Sin embargo, los puntos M PARQ2, M PARQ3 y M PARQ1 no cumplieron con la normativa estipulada por el artículo 39 del Decreto 1594, debido a que registraron valores inferiores al rango establecido. No obstante, los demás puntos monitoreados cumplieron satisfactoriamente con los artículos 38 – 40 del Decreto 1594, (ver Figura 5.1-92).

Figura 5.1-92 pH registrado en los puntos monitoreados



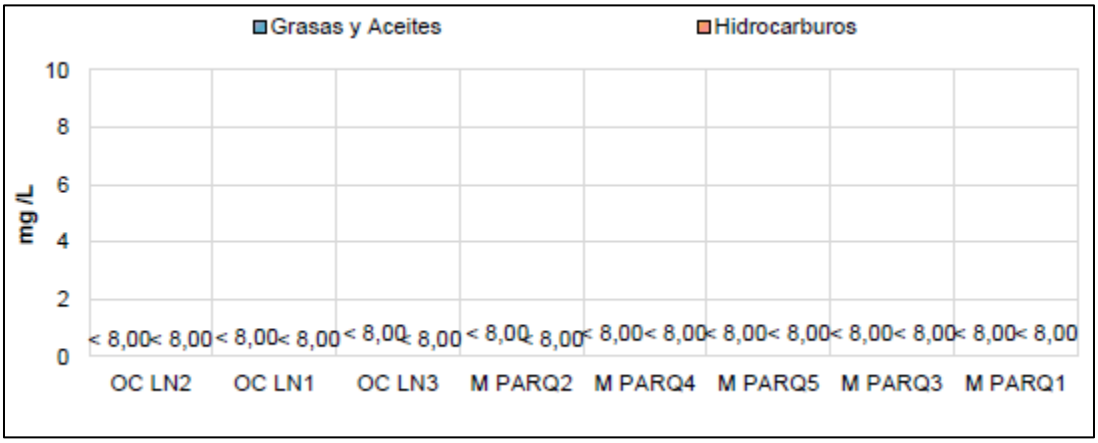
Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021).

5.1.5.4.1.1.2.2 Hidrocarburos, Grasas y aceites

Comprende aceites, grasas, ceras y demás compuestos similares. Con el término aceites se definen a los esteres de ácidos grasos líquidos a temperatura ambiente, mientras que los esteres sólidos se denominan grasas, las cuales son compuestos bastante estables y lentamente descompuestos por las bacterias. Su presencia en cuerpos de agua naturales se asocia a la presencia de vertimientos domésticos o industriales. Por otra parte, la identificación de hidrocarburos se usa para describir una gran familia de varios cientos de compuestos químicos originados del petróleo crudo.

Las muestras evidenciaron valores por debajo del límite de cuantificación del método utilizado en el laboratorio, como se observa en la Figura 5.1-93.

Figura 5.1-93 Hidrocarburos, Grasas y aceites registrados en los puntos monitoreados



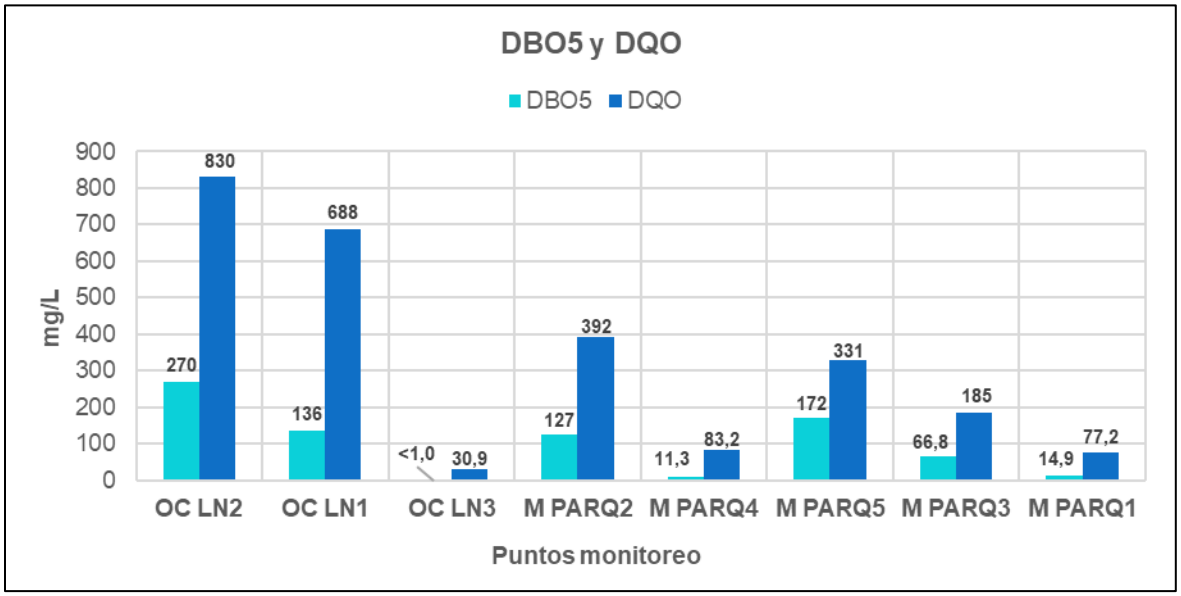
Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021).

5.1.5.4.1.1.2.3 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) y Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La demanda bioquímica de oxígeno es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, bajo condiciones aeróbicas, en un período de 5 días y a 20 °C. En cuanto a la Demanda química de oxígeno corresponde al contenido del conjunto de materias orgánicas que tienen un carácter biodegradante o no.

El punto OC LN3, registró una concentración inferior al límite de cuantificación del método para el parámetro de DBO5, por otro lado, todos los puntos evaluados presentaron la relación DBO5 < DQO, evidenciando una mayor concentración de DQO y DBO5 en el punto OC LN2, (ver Figura 5.1-94).

Figura 5.1-94 Demanda bioquímica de oxígeno registrados en los puntos monitoreados



Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021).

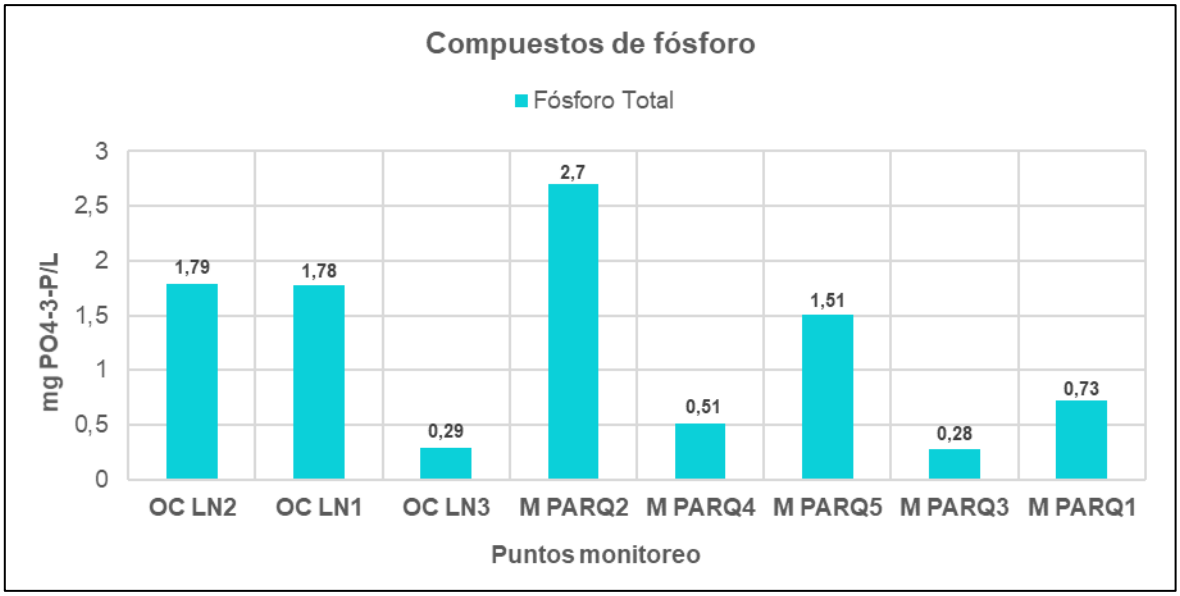
5.1.5.4.1.1.2.4 Fósforo total

Los compuestos del fósforo se consideran importantes nutrientes de las plantas, y conducen al crecimiento de algas en las aguas superficiales, pudiendo llegar a promover la eutrofización de las aguas.

La carga de fósforo total se compone de ortofosfato + Polifosfatos + compuestos de fósforo orgánico, siendo normalmente la proporción de ortofosfato la más elevada.

Como se observa en la Figura 5.1-95, el punto con mayor concentración fue M PARQ2 con 2,70 mg PO_4^{-3}-P/L. Por otro lado, los puntos OC LN2 y OC LN1, registraron valores cercanos de fósforo total. Finalmente, los puntos M PARQ3 y OC LN3, reportaron los valores más bajos del estudio.

Figura 5.1-95 Compuestos de fósforo registrados en los puntos monitoreados



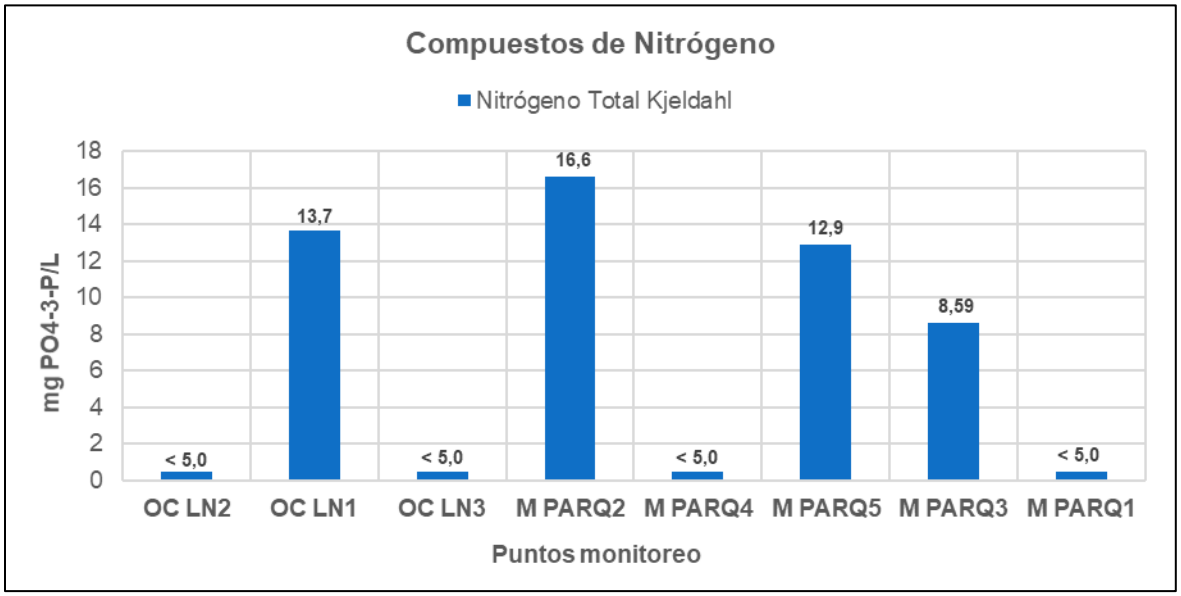
Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021).

5.1.5.4.1.1.2.5 Compuestos de nitrógeno

Dentro de los compuestos de nitrógeno se encuentra el nitrógeno total. El nitrógeno total refleja la cantidad total de nitrógeno en el agua analizada, es la suma del nitrógeno orgánico en sus diversas formas (proteínas y ácidos nucleicos en diversos estados de degradación, urea, aminas, etc.) y el ion amonio NH4+. No incluye, los nitratos ni los nitritos.

Los valores de concentración de los puntos OC LN2, OC LN3, M PARQ4 y M PARQ1 fueron reportados como inferiores al límite de cuantificación del método. Por otro lado, el punto M PARQ2 registró la mayor concentración de este parámetro (ver, Figura 5.1-96).

Figura 5.1-96 Compuestos de Nitrógeno registrados en los puntos monitoreados



Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021).

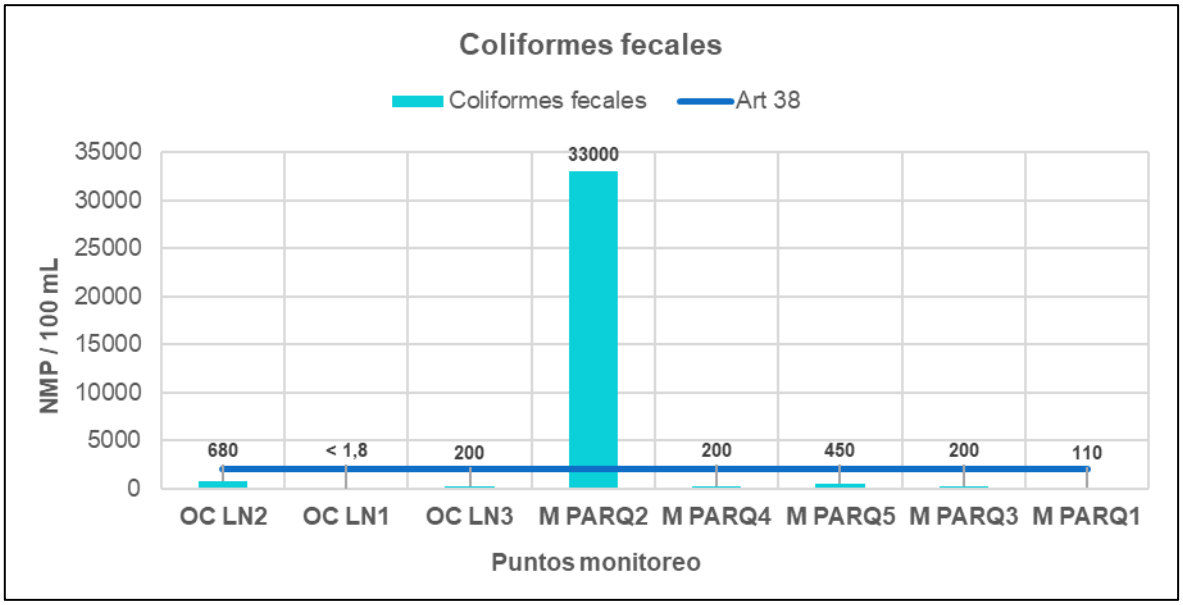
5.1.5.4.1.1.3 Parámetros microbiológicos

Los coliformes fecales también denominados coliformes termo tolerantes, llamados así porque soportan temperaturas hasta de 45 °C, comprenden un grupo muy reducido de microorganismos los cuales son indicadores de calidad, ya que son de origen fecal. Determinar el tipo de microorganismos presentes y su concentración proporciona herramientas para conocer la calidad del agua y conservación de ecosistemas.

Los parámetros de tipo microbiológico analizados en este estudio fueron coliformes fecales y coliformes totales. Existen tres límites máximos establecidos por la norma ambiental vigente. El artículo 38 acepta máximo 2000 NMP/100 mL de coliformes fecales y 20000 NMP de coliformes totales y el artículo 39 acepta 1000 NMP/100 mL para coliformes totales. Todos los puntos evaluados cumplieron satisfactoriamente con lo establecido por el artículo 38 para coliformes fecales, excepto el punto M PARQ2 (ver Figura 5.1-97), que registró una concentración de 33000 NMP /100 mL. En cuanto al parámetro de coliformes totales, se evidenció el no cumplimiento de los artículos 38 y 39 por parte de los puntos OC LN3, M PARQ2,

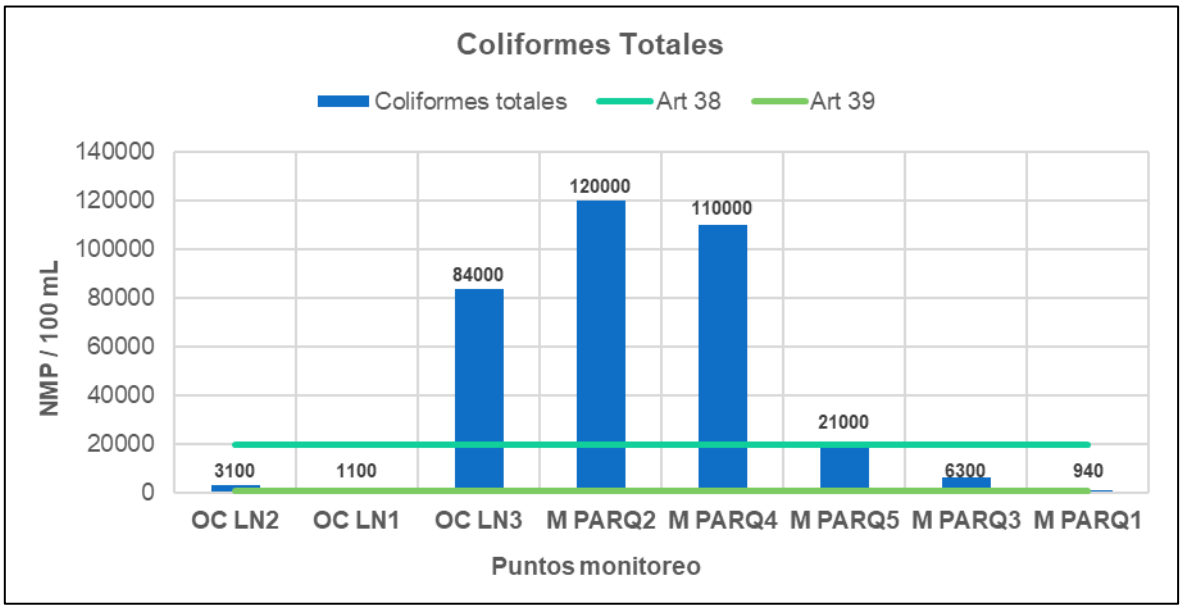
M PARQ4 y M PAR5, (ver, Figura 5.1-98). Cabe mencionar que sólo el punto M PARQ1 cumplió satisfactoriamente con lo establecido por la normativa para ambos parámetros.

Figura 5.1-97 Coliformes fecales registrados en los puntos monitoreados



Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021).

Figura 5.1-98 Coliformes totales registrados en los puntos monitoreados



Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021).

En la Tabla 5.1-54 se observan un consolidado con los resultados para cada uno de los parámetros muestreados en los puntos de monitoreo.

Tabla 5.1-54 Resultados análisis de calidad del agua

Parámetro	Unidad	Puntos								Decreto 1594			
		OC LN2	OC LN1	OC LN3	M PARQ2	M PARQ4	M PARQ5	M PARQ3	M PARQ1	Art 38	Art 39	Art 40	Art 41
Conductividad	µs/cm	654	396	789	347	319	1625	335	137	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Oxígeno disuelto	Mg O_2/L	0,54	1,02	1,76	5,86	8,75	11,7	19,7	8,74	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
pH	Unidades de pH	6,85	6,9	7,25	6,15	6,85	6,76	6,26	6,12	5.0-9.0	6.5-8.5	4.5-9.0	N.A.
Temperatura muestra	ºC	35,1	38,8	24,3	30,2	32,2	32,2	29,9	28,5	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Temperatura ambiente	ºC	34,5	37,7	37,5	30,7	35,6	40,6	38,8	32,5	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Caudal	m^3/s	0,037	-	-	-	-	-	-	-	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
SST	mg/L	6,28	1,37	42,5	296	61,0	93,0	170	80,5	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
SSED	mL/L	15,0	9,50	0,10	6,00	2,00	3,00	5,00	1,20	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
SDT	mg/L	584	312	478	448	217	590	210	136	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Turbiedad	JTU	1,37	4,68	0,74	1,31	0,64	1,79	0,90	0,38	N.A.	10,0	N.A.	N.A.
Grasas y aceites	mg/L	< 8,00	< 8,00	< 8,00	< 8,00	< 8,00	< 8,00	< 8,00	< 8,00	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Hidrocarburos	Mg TPH/L	< 8,00	< 8,00	< 8,00	< 8,00	< 8,00	< 8,00	< 8,00	< 8,00	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Fósforo Total	mg PO_{4-3}-P/L	1,79	1,78	0,29	2,70	0,51	1,51	0,28	0,73	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg N/L	< 5,0	13,7	< 5,0	16,6	< 5,0	12,9	8,59	< 5,0	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
DBO_5	mg/L	270	136	< 1,0	127	11,3	172	66,8	14,9	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
DQO	mg O_2/L	830	688	30,9	392	83,2	331	185	77,2	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Coliformes fecales	NMP / 100 mL	680	< 1,8	200	33000	200	450	200	110	2000	N.A.	N.A.	N.A.
Coliformes totales	NMP / 100 mL	3100	1100	84000	120000	110000	21000	6300	940	20000	1000	N.A.	N.A.

Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

SST: Sólidos suspendidos totales
SSED: Solidos Sedimentables
SDT: Sólidos Disueltos Totales
DBO5: Demanda Bioquímica de Oxígeno a cincos días
DQO: Demanda Química de Oxígeno

5.1.5.4.1.1.4 Índices de contaminación (ICOS)

Los índices de contaminación son el resultado de una investigación de 17 análisis de componentes principales realizados en una serie de programas de monitoreo que incluyen estudios del Oleoducto Colombia, OCENSA, los campos Cusiana y Cupiagua, etc., en los cuales se evaluaron entre 20 y 35 variables fisicoquímicas en más de 22 cuerpos de agua Lóticos y hasta 6 períodos de muestreo.

Los índices de contaminación desarrollados son: ICOMI, ICOMO, ICOSUS, ICOPH, ICOTEM, ICOTRO e ICOTOX. La implementación de los índices de contaminación permite que personas que no están familiarizadas con los rangos naturales de cada variable puedan interpretar la condición de cualquier cuerpo de agua.

5.1.5.4.1.1.4.1 ICOMI

Mide el grado de mineralización. Su propósito es recoger en unas variables la expresión de los múltiples iones disueltos en el agua. El índice lo conforman los valores de conductividad, como reflejo del conjunto de sólidos disueltos, dureza, por cuanto recoge los cationes calcio, magnesio, y alcalinidad, porque hace lo propio con los aniones carbonatos y bicarbonatos. El ICOMI y los índices, cuyos valores oscilan entre 0 y 1, se calculan de acuerdo con las fórmulas que se muestran en la Tabla 5.1-55.

$$ICOMI = \frac{1}{3} \times (I_{Conductividad} + I_{Dureza} + I_{Alcalinidad})$$

Tabla 5.1-55 Fórmulas de índices de contaminación mineral

ÍNDICE	FÓRMULA	RESTRICCIONES
Conductividad	Log (I_{Cond})= −3,26 + 1,34 × Log (Cond)	Conductividad >270 µ/Scm → I_{Cond}=1
Dureza	Log (I_{Dur})= −9,09 + 4,4 × Log (Dur)	Dureza >110 mg/L → I_{Dur}=1 Dureza < 30 mg/L → I_{Dur}=0
Alcalinidad	Log (I_{Alc})= −0,25 + 0,005 × Alcalinidad.	Alcalinidad >250 mg/L → I_{Alc}=1 Alcalinidad < 50 mgL → I_{Alc}=0

Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

5.1.5.4.1.1.4.2 ICOMO

Mide la contaminación por materia orgánica. Se determina a través de tres variables: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Coliformes Totales (CT) y porcentaje de oxígeno. Los índices, cuyos valores oscilan entre 0 y 1, se calculan teniendo en cuenta las expresiones presentadas en la Tabla 5.1-56.

$$ICOMO = \frac{1}{3} \times (I_{DBO} + I_{CT} + I_{Oxígeno})$$

Tabla 5.1-56 Fórmula de índices de contaminación por materia orgánica

ÍNDICE	FÓRMULA	RESTRICCIONES
DBO	I_{DBO}= −0,05 + 0,7 × Log (DBO)	DBO >30 mg/L → I_{DBO}=1 DBO < 2 mg/L → I_{DBO}=0
Coliformes Totales (CT)	I_{CT}= −1,44 + 0,56 × Log (CT)	CT >20000 NMP/100ml → I_{CT}=1 CT < 500 NMP/100ml → I_{CT}=0
% Oxígeno	$I_{Oxígeno}$= 1 + 0,01 × Log (%O2)	% Oxígeno >100% → $I_{Oxígeno}$=0

Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

5.1.5.4.1.1.4.3 ICOSUS

Mide el nivel de contaminación por sólidos suspendidos. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$ICOSUS = -0{,}02 + 0{,}003 \times (I_{Sólidos\ suspendidos})$$

Restricciones:

Sólidos suspendidos > 340mg/L → $I_{Sólidos\ suspendidos}$=1

Sólidos suspendidos < 10mgL → $I_{Sólidos\ suspendidos}$=0

5.1.5.4.1.1.4.4 ICOpH

Mide el impacto por el cambio de pH. Está diseñado con base en la idea de que un pH ideal es el neutro, por lo tanto, describe una campana invertida en donde valores superiores o inferiores a la neutralidad incrementan el valor del índice es decir indican contaminación. Existen restricciones: Cuando el pH es menor a 7 se calcula pH=14-pH y se reemplaza el valor de índice pH (pH') en la fórmula anterior. El ICOpH se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$ICOpH = \frac{e^{-31,08+3,45\times pH"}}{1+e^{-31,08+3,45\times pH"}}$$

5.1.5.4.1.1.4.5 ICOTRO

Se fundamenta en la concentración del Fósforo total. A diferencia de los anteriores en los cuales se determina un valor entre cero y uno (0 y 1), la concentración del Fósforo otorga una calificación cualitativa así:

- Calificación cualitativa tipo Oligotrofia con un contenido de fósforo < 0,01 mg P/L
- Calificación cualitativa tipo Mesotrofía con un contenido de fósforo 0,01- 0,02 mg P/L
- Calificación cualitativa tipo Eutrofia con un contenido de fósforo 0,02 - 1,00 mg P/L
- Calificación cualitativa tipo Hipereutrofía con un contenido de fósforo >1,00 mg P/L

5.1.5.4.1.1.5 Bases de interpretación -ICOS-

A diferencia de los ICA, los ICOS reflejan nula o baja contaminación cuando son próximos a cero (0) y alta contaminación cuando se aproximan a uno (1). En la Tabla 5.1-57 se observan los rangos recomendados para la evaluación de los ICOS concebidos teniendo en cuenta diversas reglamentaciones nacionales e internacionales para diferentes usos del agua. Para efectos de la presente evaluación se utilizó la técnica del semáforo, asociando a cada rango un color desde verde para baja contaminación hasta rojo para alta.

Tabla 5.1-57 Rangos de contaminación de los ICOS

VALOR ICOS	CARACTERIZACIÓN	CONTAMINACIÓN
0 – 0.2	Aguas puras y quizá con aporte	Ninguna
≥ 0,2 – 0,4	Con leve incidencia antrópica	Baja
≥ 0,4 – 0,6	Notable actividad antrópica	Media
≥ 0,6 – 0,8	Incidencia importante de contaminación	Alta
≥ 0,8 – 1,0	Áreas muy contaminadas	Muy Alta

Fuente: (Ramírez, 1997)

5.1.5.4.1.1.5.1 Resultados índices de contaminación ICOS

A partir del resultado del análisis fisicoquímico de las muestras tomadas y con base en las fórmulas anteriormente descritas se calcularon los “ICOS” para los puntos de agua monitoreados. En la Tabla 5.1-58 se muestran los resultados obtenidos para los ocho puntos monitoreados.

El índice ICOMI no fue calculado debido a que los parámetros dureza total y alcalinidad no fueron medidos para el presente estudio.

Tabla 5.1-58 Resultados ICOS

NOMBRE DEL PUNTO	ICOMI	ICOMO	ICOSUS	ICOpH	ICOTRO
OC LN2		0,814	1,00	0,002	Hipereutrofía
OC LN1		0,709	1,00	0,001	Hipereutrofía
OC LN3		0,588	0,108	0,002	Eutrofía
M PARQ2		0,740	0,867	0,018	Hipereutrofía
M PARQ4		0,562	0,163	0,002	Eutrofía
M PARQ5		0,667	0,259	0,002	Hipereutrofía
M PARQ3		0,563	0,490	0,012	Eutrofía
M PARQ1		0,332	0,221	0,020	Eutrofía

Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

El grado de afectación por materia orgánica representado por el ICOMO está determinado como de contaminación baja para el punto M PARQ1, de contaminación media para los puntos OC LN3, M PARQ4 y M PARQ3, de contaminación alta para los puntos OC LN1, M PARQ2 y M PARQ5 y de contaminación muy alta para el punto OC LN2.

El índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) clasificó los puntos M PARQ 5 y M PARQ1 como contaminación baja, el punto M PARQ3 como contaminación media, los puntos OC LN2, OC LN1 y M PARQ2 como contaminación muy alta y los demás puntos como contaminación nula.

Todos los puntos evaluados, reportaron un índice de contaminación ICOpH como nulo. Finalmente, el índice evaluado por el fósforo total (ICOTRO), clasificó los puntos OC LN2, OC LN1, M PARQ2 y M PARQ5 como hipereutrofía y los puntos OC LN3, M PARQ4, M PARQ3 y M PARQ1 como eutrofia.

5.1.5.4.1.1.6 Índices de calidad del agua (ICA)

El índice de Calidad de Agua "Water Quality Index" (WQI), fue desarrollado por la National Sanitation Foundation (NSF) de Estados unidos. Lo anterior se logró mediante la combinación de la opinión de un panel de 142 expertos en el tema de calidad del agua, los cuales fueron encuestados por correo, buscando la forma de realizar un consenso de los parámetros que deberían ser incluidos en el índice y las transformaciones que debían ser realizadas para que todos los parámetros se convirtieran en subíndices en una escala similar. Esto último con el fin de resolver la dificultad que representaba la heterogeneidad de las unidades de medida y la ponderación de la importancia de cada subíndice.

Los ICA, se basan en una expresión matemática, en la cual se da una combinación de un número de parámetros físicos, químicos y/o microbiológicos (subíndices), que permiten definir una medida de la calidad del agua para diferentes usos. El valor numérico obtenido de dicha expresión matemática (valores entre 0 y 100) se clasifica en diferentes rangos a los cuales se le asigna una descripción cualitativa del grado de contaminación del agua, tal como se procede para los ICOS.

Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos a tener en cuenta en el cálculo del índice son:

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO, en mg/L)
- Oxígeno Disuelto, expresado como % de saturación (OD, en % Sat)
- Potencial de hidrógeno (pH, en unidades)
- Turbiedad (Turb, en NTU)
- Fosfatos (PO4-3, en mg/L)
- Nitratos (NO3-2, en mg/L)
- Temperatura (T). Delta, diferencias de temperatura
- Coliformes Fecales (Coli. F, en NMP/100 ml)
- Sólidos Totales (ST, en mg/L)

5.1.5.4.1.1.6.1 Bases de interpretación -ICA-

El cálculo de los subíndices se hace través de expresiones que describen curvas específicas a cada parámetro, ya que las funciones empleadas en el cálculo de los subíndices (Ii) de cada parámetro tienen el propósito de transformar las variables a una escala adimensional, es decir a un valor determinado del parámetro se puede obtener el valor del subíndice correspondiente logrando de esta forma una curva donde en el eje de las abscisas se ubican varios niveles de la variable en particular y en el eje de las ordenadas los niveles de calidad del agua o valor del subíndice, el cual se encuentra entre 0 y 100.

Luego de calcular los subíndices estos se multiplican por un peso representativo de su impacto en la calidad del agua y la suma de estos productos conduce a un valor del índice para su respectiva clasificación.

Tabla 5.1-59 Ponderación o peso relativo aplicado a cada uno de los parámetros

PARÁMETRO	PESO RELATIVO (W)
Oxígeno Disuelto	17%
Coliformes Fecales	16%
pH	11%
DBO	11%
Temperatura	10%
Fosforo total	10%
Nitratos	10%
Turbiedad	8%
Sólidos Suspendidos Totales	7%

Fuente: Estudio Nacional del Agua 2010

5.1.5.4.1.1.6.2 Resultados índices de calidad -ICA-

Cabe resaltar que el cálculo del ICA se realizó sin tener en cuenta los parámetros de nitratos, sólidos totales y fosfatos totales.

Tabla 5.1-60 Resultados ICA

NOMBRE DEL PUNTO	ICA
OC LN2	40,86
OC LN1	50,06
OC LN3	53,69
M PARQ2	49,35
M PARQ4	64,66
M PARQ5	44,29
M PARQ3	43,96
M PARQ1	61,8

Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

Del total de puntos monitoreados se presentaron cinco en una clasificación de color naranja lo que indica un nivel malo de calidad de agua; en su mayoría el resultado reflejó el nivel de los parámetros relacionados con la materia orgánica. Los puntos de monitoreo restantes fueron clasificados en calidad media.

5.1.5.4.1.1.7 Índices de Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL)

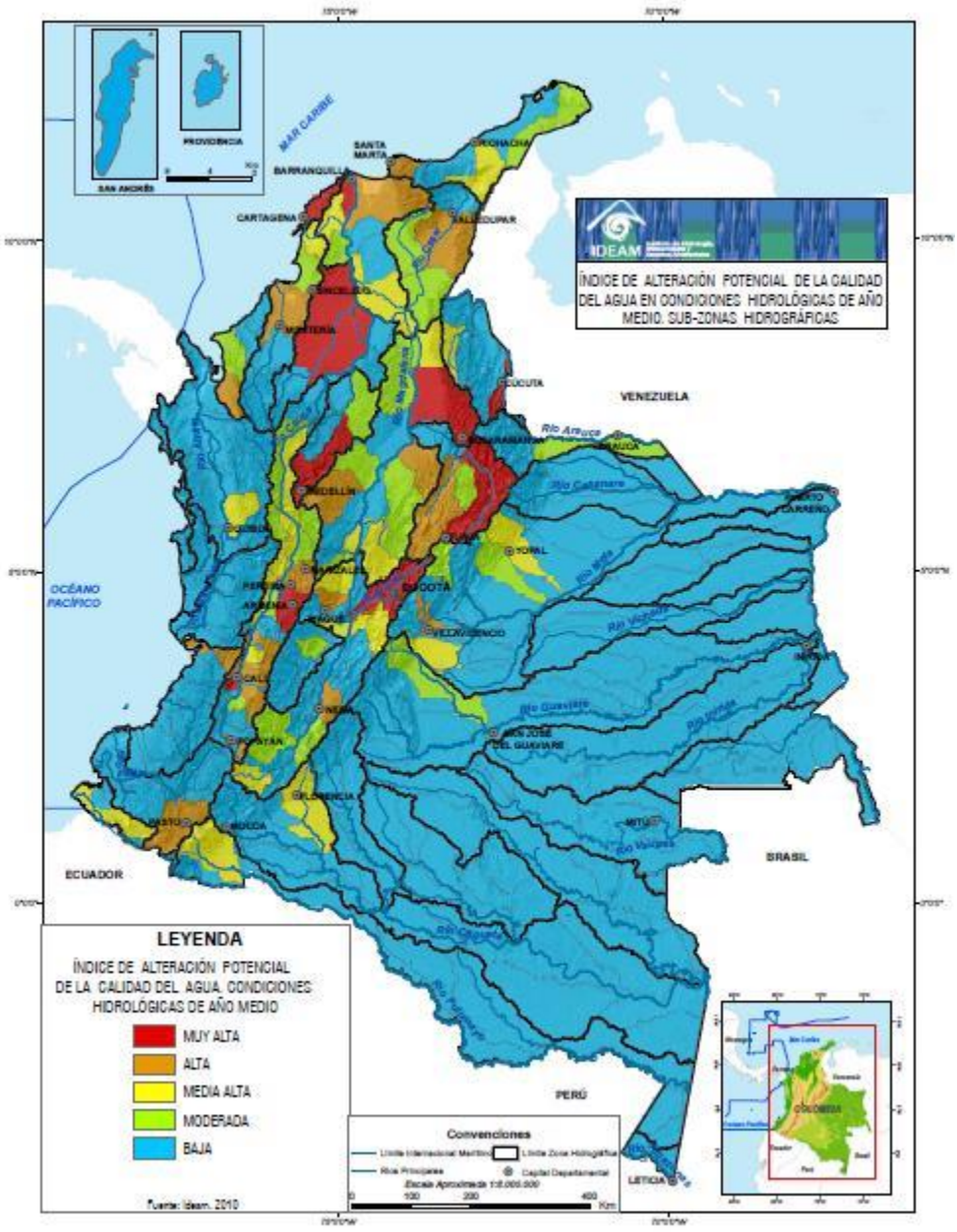
El índice de alteración potencial de la calidad del agua -IACAL- es un reflejo de la amenaza por contaminación a la que puede estar sometida una subzona hidrográfica y corresponde al "*valor numérico que califica en una de cinco categorías, la razón existente entre la carga de contaminante que se estima recibe una subzona hidrográfica j en un período de tiempo t y la oferta hídrica superficial, para año medio y año seco, de esta misma subzona hidrográfica1 estimada a partir de una serie de tiempo…*"[16].

La obtención de este índice se realiza con base en el análisis de la información del IDEAM, en el cual se involucran mediciones de las presiones por contaminación sobre los sistemas hídricos y cuerpos de agua del país y se analizan a partir de presiones por vertimientos. Los resultados de este indicador de presión potencial por cargas contaminantes a la calidad del agua se presentan en la Figura 5.1-99 por subzonas hidrográficas para condiciones hidrológicas medias y secas.

Según esto para la región del Caribe y puntualmente para la subzona Hidrográfica del arroyo Guayepo se estima el IACAL para condiciones hidrológicas promedio como "Muy Alta".

[16] IDEAM. Índice de afectación potencial a la calidad del agua – IACAL. Consultado el 24 de marzo de 2020 de: http://www.ideam.gov.co/web/agua/iacal

Figura 5.1-99 Índice de alteración potencial de la calidad de agua en condiciones hidrológicas de año medio. Subzonas hidrográficas.

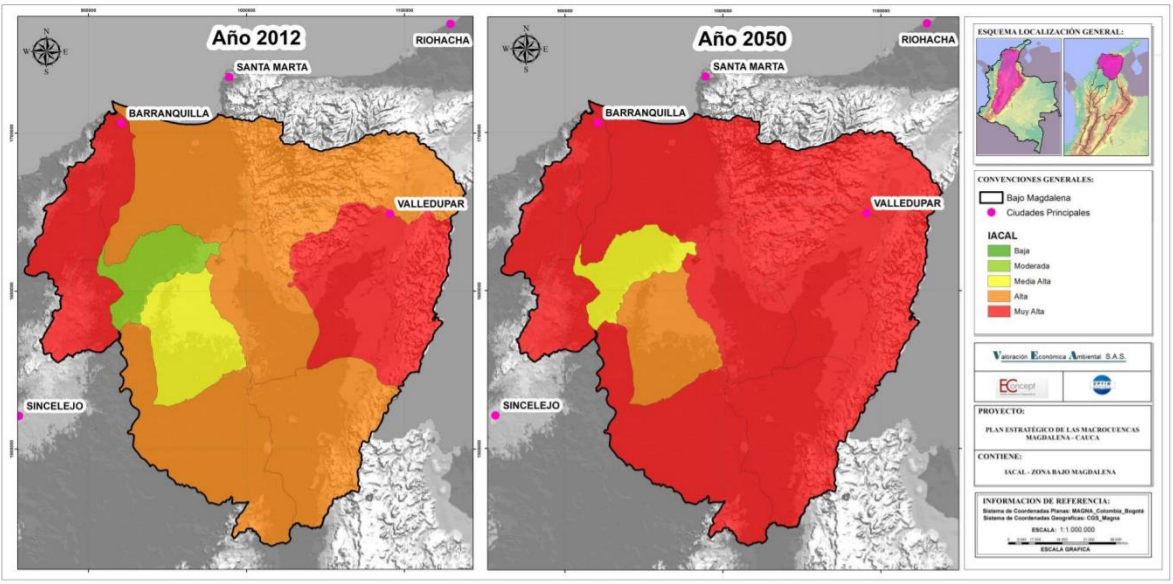


Fuente: IDEAM, 2010.

Teniendo en cuenta la información presentada en el Plan estratégico Macrocuencas Magdalena-Cauca las proyecciones para el año 2050 de la zona del Bajo Magdalena en un año seco presentarán condiciones de presión alta. Es necesario

resaltar que actualmente existen 4 subzonas para las cuales la situación de presión ya se encuentra dentro de la categoría Muy Alto, lo cual evidencia la necesidad de establecer medidas o mecanismos preventivos para las demás subzonas y posibles tratamientos o controles para las subzonas críticas.

Figura 5.1-100 Subzonas hidrográficas según Categoría de IACAL año seco proyectado – Bajo Magdalena



Fuente: Cálculos UT Macrocuencas con información de IDEAM 2010, tomado de (Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, 2015)

5.1.5.4.1.2 Conclusiones

De la caracterización fisicoquímica y microbiológica realizada a las muestras de agua tomadas en los cuerpos de agua natural, se concluye:

Los niveles de temperatura evidenciados no presentaron variaciones significativas entre sus datos. Siendo este un parámetro no contemplado en la normativa.

El oxígeno disuelto y la conductividad registraron variaciones en los puntos monitoreados, presentando una mayor concentración de oxígeno disuelto en el punto M PARQ3 y un valor máximo de conductividad en el punto M PARQ5. Sin embargo, la norma no establece límites obligatorios a cumplir con respecto a estos parámetros.

Con respecto al pH, ninguno de los puntos del estudio excedió los límites superiores (8,5 unidades de pH y 9 unidades de pH) descritos en los artículos 38 – 40 del Decreto 1594. Por otro lado, los puntos M PARQ2, M PARQ3 y M PARQ1 registraron valores de 6,15 unidades de pH, 6,26 unidades de pH y 6,12 unidades de pH respectivamente, los cuales se encontraron inferiores al rango contemplado por el artículo 9 del Decreto 1594 incumpliendo con lo establecido por dicha norma.

El punto OC LN3, registró un valor de caudal de 0,037 m3/s. No obstante, la normativa no establece límite para este parámetro.

En cuanto a los sólidos, se registraron variaciones en los diferentes puntos monitoreados, evidenciando una mayor concentración de los parámetros de sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos totales y sólidos sedimentables en los puntos OC LN1, M PARQ5 y OC LN2 respectivamente.

Se destaca que todos los niveles de turbiedad registrados en los diferentes puntos monitoreados reportaron concentraciones acordes a la normatividad ambiental vigente (inferiores a 190 NTU o 10 JTU).

En el estudio de los compuestos de materia orgánica, se concluyó que en todos los puntos monitoreados se registró una concentración superior del parámetro de DQO, evidenciando su mayor concentración por parte del punto OC LN2. Estos parámetros no presentan límite máximo permitido por la normativa ambiental vigente.

Los compuestos orgánicos analizados en el presente estudio como: grasas y aceites e hidrocarburos, se reportaron como inferiores al límite de cuantificación del método utilizado en el laboratorio en todos los puntos monitoreados.

En el estudio del parámetro de fósforo total, como representante de los compuestos de fósforo, se evidenció valores entre 0,277 mg PO4-3-P/L a 2,70 mg PO4-3-P/L, siendo el punto M PARQ2, el que registró la mayor concentración. No obstante, este parámetro no presenta un límite máximo por parte de la normativa ambiental vigente.

En lo que respecta a los compuestos de nitrógeno como nitrógeno total kjeldahl, se evidenció que la mitad de los puntos evaluados presentó concentraciones por debajo del límite de cuantificación. Mientras que, en la otra mitad, el punto M PARQ2 registró una concentración máxima de 16,6 mg N/L. Sin embargo, este parámetro no posee un límite máximo a cumplir por parte de la normativa.

De los parámetros de tipo microbiológico analizados en este proyecto (coliformes fecales y coliformes totales) se concluye que solo el punto M PARQ1, cumplió satisfactoriamente con lo establecido por los artículos 38 y 39 del Decreto 1594 para dichos parámetros.

El grado de afectación por materia orgánica representado por el ICOMO está determinado como de contaminación baja para el punto M PARQ1, de contaminación media para los puntos OC LN3, M PARQ4 y M PARQ3, de contaminación alta para los puntos OC LN1, M PARQ2 y M PARQ5 y de contaminación muy alta para el punto OC LN2.

El índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) clasificó los puntos M PARQ 5 y M PARQ1 como contaminación baja, el punto M PARQ3 como contaminación media, los puntos OC LN2, OC LN1 y M PARQ2 como contaminación muy alta y los demás puntos como contaminación nula.

Todos los puntos evaluados, reportaron un índice de contaminación ICOpH como nulo. Finalmente, el índice evaluado por el fósforo total (ICOTRO), clasificó los puntos OC LN2, OC LN1, M PARQ2 y M PARQ5 como hipereutrofía y los puntos OC LN3, M PARQ4, M PARQ3 y M PARQ1 como eutrofia.

En el cálculo de la calidad del agua se evidenció que la mayoría de los puntos evaluados reflejó un nivel de calidad malo (OC LN2, OC LN1, M PARQ2, M PARQ5, M PARQ3) principalmente debido a las concentraciones de materia orgánica presentada en estos puntos; mientras que los tres puntos restantes (OC LN3, M PARQ4, M PARQ1) fueron clasificados en calidad media.

5.1.5.4.2 Campaña época seca mes de julio

Dando cumplimiento a lo estipulado por los términos de referencia TdR-015 y TdR-17, en el mes de julio del 2021 se realiza la campaña para la medición de la calidad del agua en el período climático considerado como época seca, aunque en el área donde se localizará el parque solar fotovoltaico Guayepo III y su línea de evacuación el mes de julio no es un mes completamente seco, si es el de menor precipitación y se considera como un mes de transición para las lluvias más fuertes que ocurren en septiembre y octubre, este momento climático es llamado por los habitantes del área de influencia como “veranillo”.

En la Tabla 5.1-61, se muestran los puntos monitoreados para la campaña realizada en el mes de julio, la cual inició el 22 de julio de 2021 y finalizó el 24 de julio de 2021.

Tabla 5.1-61 Sitios de monitoreo línea y parque solar fotovoltaico época seca

INFRAESTRUCTURA	TIPO	ID	FECHA CAMPAÑA	TEMPORADA CAMPAÑA	MATRIZ
Línea	Ocupación cauce	OC_LN3	Julio	Seca	Agua Superficial
Línea	Ocupación cauce	OC_LN4	Julio	Seca	Agua Superficial
Línea	Ocupación cauce	OC_LN1	Julio	Seca	Agua Superficial
Línea	Ocupación cauce	OC_LN2	Julio	Seca	Agua Superficial
Línea	Caracterización fisicoquímica-hidrobiológica	M_LN5	Julio	Seca	Punto Seco
Parque	Caracterización fisicoquímica-hidrobiológica	M_PARQ1	Julio	Seca	Agua Superficial
Parque	Caracterización fisicoquímica-hidrobiológica	M_PARQ2	Julio	Seca	Agua Superficial
Parque	Caracterización fisicoquímica-hidrobiológica	M_PARQ3	Julio	Seca	Agua Superficial
Parque	Caracterización fisicoquímica-hidrobiológica	M_PARQ4	Julio	Seca	Punto seco
Parque	Caracterización fisicoquímica-hidrobiológica	M_PARQ5	Julio	Seca	Agua Superficial
Parque	Ocupación cauce	OCP1	Julio	Seca	Punto Seco

INFRAESTRUCTURA	TIPO	ID	FECHA CAMPAÑA	TEMPORADA CAMPAÑA	MATRIZ
Parque	Ocupación cauce	OCP2	Julio	Seca	Punto Seco
Parque	Ocupación cauce	OCP5	Julio	Seca	Punto Seco
Parque	Ocupación cauce	OCP4	Julio	Seca	Punto Seco
Parque	Ocupación cauce	OCP3	Julio	Seca	Punto Seco
Parque	Ocupación cauce	OCP9	Julio	Seca	Punto Seco
Parque	Ocupación cauce	OCP8	Julio	Seca	Punto Seco
Parque	Ocupación cauce	OCP7	Julio	Seca	Punto Seco
Parque	Ocupación cauce	OCP10	Julio	Seca	Punto Seco
Parque	Ocupación cauce	OCP6	Julio	Seca	Punto Seco

Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

Los resultados analíticos fisicoquímicos y microbiológicos para cada muestra entregados por el laboratorio se encuentran en el Anexo 5.1.4 Calidad del Agua. En la Tabla 5.1-62 se consolida la ubicación de los puntos monitoreados.

Tabla 5.1-62 Ubicación puntos de monitoreo

No.	NOMBRE	COORDENADAS		No. PROYECTO	FECHA	MATRIZ
		Norte	Este			
1	OC_LN4	2729439,37	4800853,79	280-21-01	2021/07/22	Agua Superficial
2	OC_LN3	4800955,5	2729083,42	280-21-02	2021/07/22	Agua Superficial
3	M_PARQ02	2727313,05	4804362,53	280-21-03	2021/07/22	Agua Superficial
4	M_PARQ05	2726019,25	4803286,68	280-21-04	2021/07/22	Agua Superficial
5	OC_LN01	2728175,63	4801177,53	280-21-05	2021/07/24	Agua Superficial
6	OC_LN02	2728478,32	4801121,2	280-21-06	2021/07/24	Agua Superficial
7	M_PARQ01	2726510,16	4801812,66	280-21-07	2021/07/24	Agua Superficial
8	M_PARQ03	2725741,95	4801823,14	280-21-08	2021/07/24	Agua Superficial
9	M_PARQ04	2724987,91	4803185,47	Punto seco	Punto seco	Punto seco
10	ML_05	2730641,91	4799207,14	Punto seco	Punto seco	Punto seco
11	OC_P01	2727133,6	4803954,22	Punto seco	Punto seco	Punto seco
12	OC_P02	2727063,44	4803768,7	Punto seco	Punto seco	Punto seco
13	OC_P03	2726699,67	4802996,64	Punto seco	Punto seco	Punto seco
14	OC_P04	2726900,53	4802954,21	Punto seco	Punto seco	Punto seco
15	OC_P05	2727051,02	4802837,91	Punto seco	Punto seco	Punto seco
16	OC_P06	2726535,59	4802453,55	Punto seco	Punto seco	Punto seco
17	OC_P07	2726894,3	4801831,39	Punto seco	Punto seco	Punto seco
18	OC_P08	2727155,44	4801413,47	Punto seco	Punto seco	Punto seco
19	OC_P09	2727329,45	4801220,07	Punto seco	Punto seco	Punto seco
20	OC_P10	2726580,02	4801329,46	Punto seco	Punto seco	Punto seco

Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

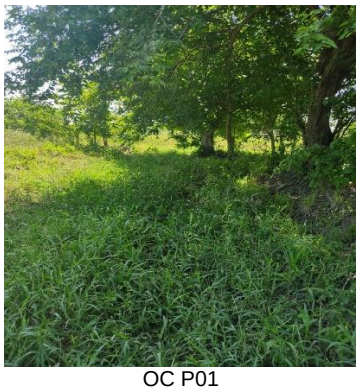
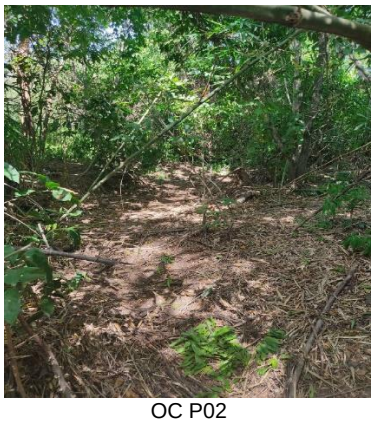
5.1.5.4.2.1 Descripción de los puntos de monitoreo

Tabla 5.1-63 Descripción de los puntos de monitoreo

Punto	Descripción	Registro fotográfico
OC LN4	Punto de aguas estancadas y turbias, se percibe un fuerte olor a materia orgánica en descomposición y una capa de aceite y sedimentos disueltos y flotando sobre la superficie. El agua es utilizada para abastecer el ganado. A sus alrededores se presenta una vegetación compuesta de hierbas bajas y pastos, junto algunos árboles ocasionales, esta composición es típica para la zona ganadera y bosque seco tropical. Los suelos aledaños son secos y áridos, formando arena y quiebres en la tierra, además de la erosión por el paso del ganado.	 OC LN4 Corregimiento Santa Rita Georreferencia: Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 E 4800853,79 – N 2729439,37
OC LN3	Cuerpo lotico producto de la escorrentía. Aguas de colores ligeramente turbios e inodoros, con fondos lodosos muy fangosos que dificultan el acceso. Presenta vegetación protectora de cauce compuesta de hierbas y pastos altos. La muestra fue tomada bajo la sombra de un árbol y se observaron peces en el cauce.	 OC LN3 Corregimiento Santa Rita Georreferencia: Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 E 4800955,5 – N 2729083,42
M PARQ 02	Jagüey cercano a la carretera que se forma por agua de escorrentía y empozamiento de agua. El cuerpo de agua se encuentra completamente cubierto por macrófitas y pastos altos. Las aguas debajo de la vegetación son de color marrón oscuro y olor fétido. A sus alrededores es zona seca con vegetación de arbustos bajos y pastos altos.	 M PARQ02 Corregimiento Santa Rita Georreferencia: Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 E 4804362,53 – N 2727313,05

Punto	Descripción	Registro fotográfico
M PARQ 05	Agua estancada tipo jagüey, aguas oscuras de olor fétido. El cuerpo de agua se encuentra cubierto parcialmente por macrófitos, con orillas fangosas de difícil acceso, es observa una ligera capa de aceite y solidos flotando por la superficie. El agua es usada para abastecer al ganado.	 M PARQ5 Corregimiento Puerto Giraldo Georreferencia: Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 E 4803286,68 – N 2726019,25
OC LN01	Jagüey con poco nivel de agua debido a las altas temperaturas, crecimiento masivo de macrófitas y plantas terrestres sobre la tierra húmeda que deja el retroceso del agua. La extensión máxima del cuerpo de agua se encuentra colonizada por muchas especies de plantas y el suelo es fangoso, el terreno aledaño está compuesto de tierra árida con formación de arena y quiebres por resequedad con pastos altos. El agua es de color marrón oscuro y expide un olor a putrefacción de materia orgánica, se encuentra concentrada en el centro del terreno húmedo. El jagüey es utilizado para abastecer al ganado presente en la zona, día soleado.	 OC LN01 Corregimiento de Santa Rita Georreferencia: Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 E 4801177,53 – N 2728175,63
M PARQ 01	Jagüey en medio de pastizales altos que también colonizan el jagüey, presenta crecimiento de macrófitas de más de 2 metros de altura, en su superficie (lenteja de agua y buchón). Aguas de color marrón claro y presenta un ligero olor a materia orgánica en descomposición. Se observan fondos fangosos con hojas y troncos en descomposición.	 M PARQ 01 Corregimiento de Puerto Giraldo Georreferencia: Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 E 4801812,66 – N 2726510,16

Punto	Descripción	Registro fotográfico
OC LN02	Jagüey de gran tamaño, con varios puntos de acumulación de agua, se observa crecimiento de macrófitas en la superficie, como buchón y lenteja de agua. Se observa fauna como aves y peces. El agua es de color marrón oscuro y olor ligero a putrefacción, los fondos son lodosos con materia orgánica en descomposición. La tierra de las áreas aledañas se encuentra cubiertas de pastos y hierbas bajas con tierras áridas que presentan quiebres. El jagüey es utilizado para abastecer al ganado presente en la zona, día soleado.	 OC LN02 Corregimiento de Santa Rita Georreferencia: Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 E 4801121,2 – N 2728478,32
M PARQ 03	Jagüey que cubre una gran área de extensión, se observan diferentes puntos de acumulación de agua, pero en su mayoría esta convertido en zonas lodosas. El agua es de color marrón oscuro con olor a descomposición de materia orgánica y la superficie completa del jagüey se encuentra cubierta por diferentes especies de macrófitas en un 100 por ciento y las zonas más secas están colonizadas por pastos altos. Se observan arboles de porte medio y alto en las zonas aledañas al jagüey.	 M PARQ 03 Corregimiento de Puerto Giraldo Georreferencia: Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 E 4801823,14 – N 2725741,95
M LN5	Punto seco correspondiente a un jagüey ubicado en un desnivel del terreno. El terreno aledaño corresponde a matorrales con árboles medios y hierbas altas, típica de bosque seco tropical.	 M LN5 Corregimiento La Retirada Georreferencia: Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 E 4799207,14 – N 2730641,91
M PARQ 04	Punto seco correspondiente a un jagüey a borde de carretera. Se observa vegetación compuesta a hierbas y pastos altos con algunos árboles cercanos.	

Punto	Descripción	Registro fotográfico
		 M PARQ 04 Corregimiento Puerto Giraldo Georreferencia: Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 E 4803185,47 – N 2724987,91
OC P01	Punto seco, terreno en desnivel y cubierto de pastos bajos. Se observan árboles de porte alto alrededor de la zona del cauce.	 OC P01 Corregimiento Puerto Giraldo Georreferencia: Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 E 4803954,22 – N 2727133,6
OC P02	Punto seco correspondiente a un jagüey. Punto en medio de un parche de bosque seco con pastos y hierbas altos, además de árboles de porte medio y alto.	 OC P02 Corregimiento Puerto Giraldo Georreferencia: Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 E 4803768,7 – N 2727063,44

Punto	Descripción	Registro fotográfico
OC P03	Punto seco, corresponde a un caño que en temporada de lluvia recoge múltiples escorrentías. Hay vegetación espesa alrededor del punto, se observa la formación del cauce dada la depresión en la tierra y la distribución de los árboles. El punto se encuentra dentro de un parche bosque que cuenta con arbustos altos y árboles de gran porte.	 OC P03 Corregimiento Puerto Giraldo Georreferencia: Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 E 4802996,64 – N 2726699,67
OC P04	Punto seco, corresponde a una escorrentía que se acumula metros más abajo. La tierra es árida y arenosa, con un bosque espeso de hierbas y pastos altos, se observan arboles de porte alto (10 m).	 OC P04 Corregimiento Santa Rita Georreferencia: Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 E 4802954,21 – N 2726900,53
OC P05	Punto seco correspondiente a un jagüey que se surte de la escorrentía por agua lluvia, es una zona de árboles altos, con pastos y hierbas de alturas de un metro. Se trata de una zona llana con una ligera depresión hacia el centro.	 OC P05 Corregimiento Santa Rita Georreferencia: Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 E 4802837,91 – N 2727051,02

Punto	Descripción	Registro fotográfico
OC P06	Punto seco, se encuentra a desnivel con respecto al terreno aledaño. Se encuentra colonizado de plantas tipo arbustos bajos y se puede observar una línea de árboles que delimitan la extensión del jagüey.	 OC P06 Corregimiento Puerto Giraldo Georreferencia: Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 E 4802453,55 – N 2726535,59
OC P07	Punto seco, cercano a la carretera veredal. Se observa una cerca que marca el inicio de una pequeña depresión que comprende el jagüey en temporadas de lluvias. Las plantas que se encuentran son arbustos altos y pastos medianos.	 OC P07 Corregimiento Nuevo Santa Rita Georreferencia: Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 E 4801831,39 – N 2726894,3
OC P08	Punto seco correspondiente a una cañada que se acumula en un desnivel del suelo. Se observan pastos altos que colonizaron el cauce y la tierra se encuentra muy seca formando arena.	 OC P08 Corregimiento Santa Rita Georreferencia: Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 E 4801413,47 – N 2727155,44

Punto	Descripción	Registro fotográfico
OC P09	Punto seco correspondiente a una acumulación de agua en un área levemente deprimida con respecto al terreno, se observa un jagüey con agua adyacente al punto. La vegetación son hierbas altas de unos 60 cm de altos y algunos árboles medianos.	 OC P09 Corregimiento Santa Rita Georreferencia: Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 E 4801220,07 – N 2727329,45
OC P10	Punto seco correspondiente a un jagüey. El terreno se encuentra árido y seco, colonizado por hierbas altas y árboles de porte bajo. A unos 30 metros se encuentra otro jagüey con agua, el cual se encuentra represado con un muro de tierra.	 OC P10 Corregimiento La Retirada Georreferencia: Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 E 4801329,46 – N 2726580,02

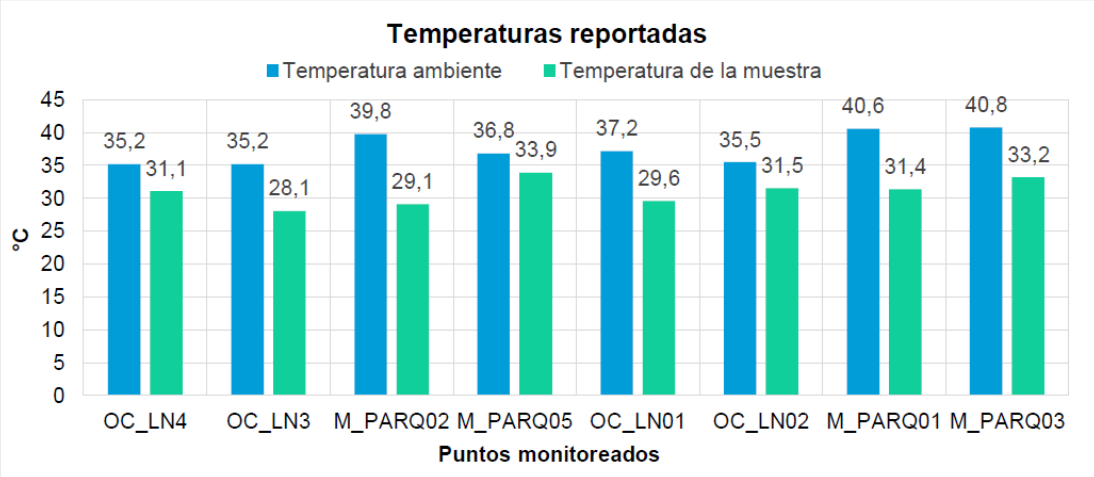
Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

5.1.5.4.2.1.1 Parámetros físicos

5.1.5.4.2.1.1.1 Temperatura

La temperatura ambiente durante el monitoreo oscilo entre 35 °C – 40 °C, y la temperatura de la muestra entre 28 °C – 33 °C, evidenciando un comportamiento aparentemente normal entre temperatura de la muestra y temperatura ambiente, (Figura 5.1-101).

Figura 5.1-101 Temperatura registrada en los puntos monitoreados

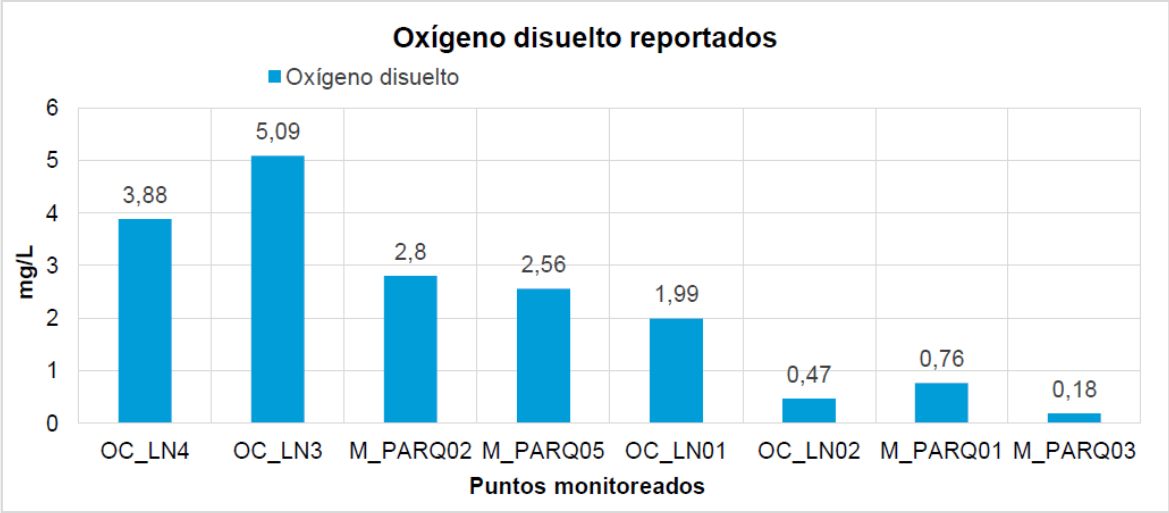


Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

5.1.5.4.2.1.1.2 Oxígeno disuelto

El punto M_PARQ03 registró la menor concentración de oxígeno disuelto reportando un valor de 0,18 mg/L y el punto OC_LN3 registró la mayor concentración reportando un valor de 5,09 mg/L, (Figura 5.1-102).

Figura 5.1-102 Oxígeno disuelto registrado en los puntos de monitoreo

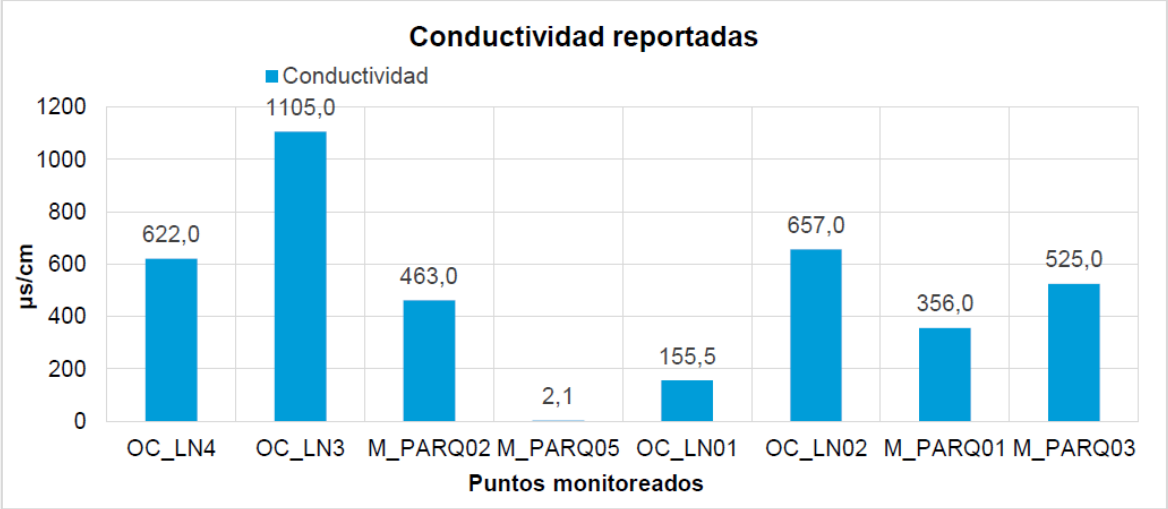


Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

5.1.5.4.2.1.1.3 Conductividad eléctrica

Los valores de conductividad reportados en el monitoreo oscilaron en valores entre 2,1 µs/cm a 1105 µs/cm, presentando la menor concentración en el punto M_PARQ05 y la mayor en el punto OC_LN3, respectivamente, (Figura 5.1-103)

Figura 5.1-103 Conductividad eléctrica registrada en los puntos de monitoreo

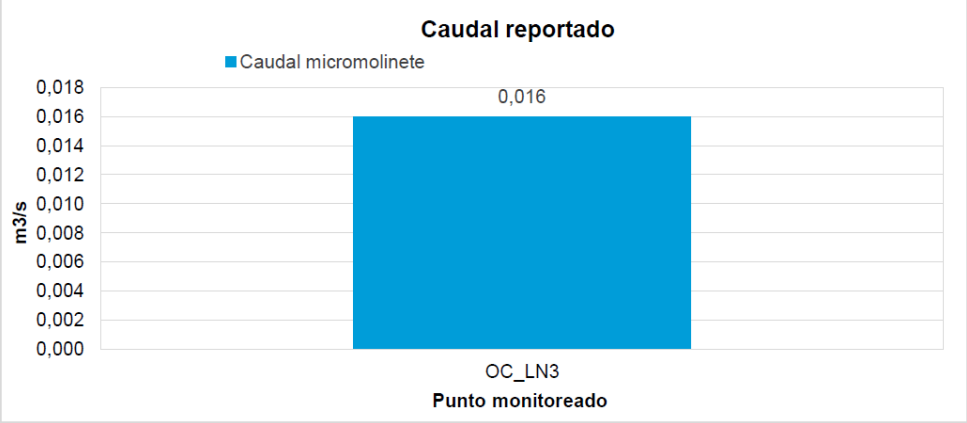


Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

5.1.5.4.2.1.1.4 Caudal

El punto OC_LN3 registró un caudal de 0,016 m3/s. Cabe resaltar que en los demás puntos no se pudo realizar el aforo de caudales debido a que las características que presentaban los cuerpos de agua no lo permitían, ya que eran cuerpos de agua lénticos, (Figura 5.1-104)

Figura 5.1-104 Caudal registrado en el punto OC LN3



Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

Todos los datos requeridos para el aforo del caudal en el punto OC_LN3 se registran en la Tabla 5.1-64.

Tabla 5.1-64 Aforo de caudal OC LN3

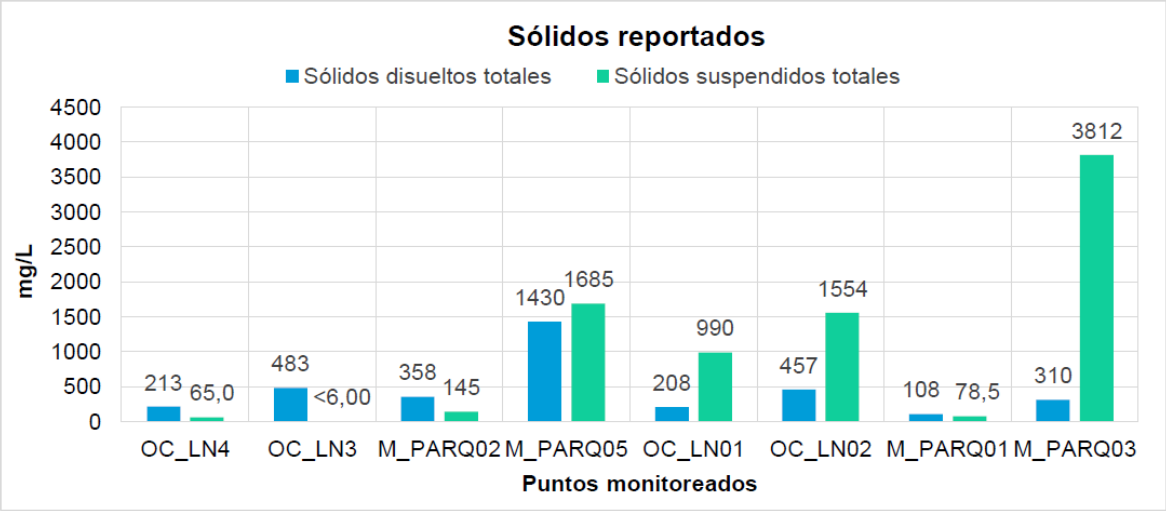
Aforo Área velocidad correntómetro- micromolinete															
Fecha	Hora	Distancia (m)	Punto (Hi)		Profundidad H (m)	Profundidad media en la sección (HPr)m/s	Área Sección (A) m^2	% profundidad	Tiempo (S)	Velocidad en el punto (Vp) m/s	Velocidad en el punto (Vp) corregida (m/s)	Velocidad (Vmv) m/s	Velocidad (VmS) (m/s)	Caudal sección (Q) m^3/s	Caudal sección (Q) L/s
2021/07/22	09:40	0	H	0	0	0,00	0,000	0	30	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
		0,4433333	H	1	0,09	0,05	0,020	0	30	0,30	0,341	0,170	0,085	0,007	6,8
		0,8866667	H	2	0,08	0,09	0,038	0	30	0,20	0,245	0,293	0,232	0,009	9,2
		1,33	H	3	0,07	0,08	0,033	0	30	0,00	0,000	0,122	0,208	0,000	0,0
A Total Aforado							0,091	V. media de aforo		0,18	E. 10%	0,002	QT=∑Qp=	0,016	16

Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

5.1.5.4.2.1.1.5 Sólidos

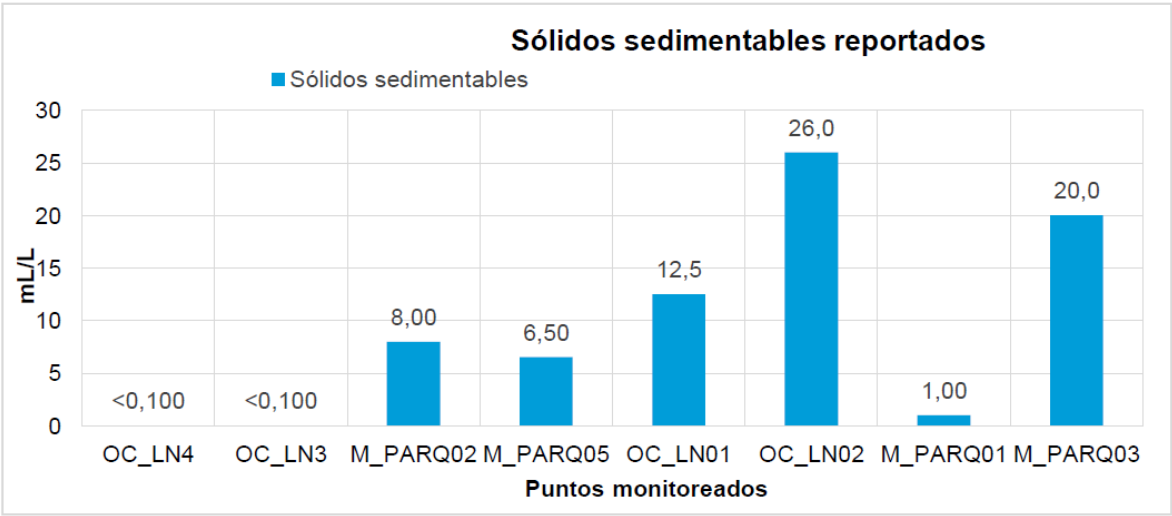
Los parámetros relacionados con los sólidos que se analizaron fueron: sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales y sólidos sedimentables. En cuanto a los sólidos disueltos totales los valores se registraron entre 108 mg/L a 1430 mg/L, y lo sólidos suspendidos totales registraron valores entre <6,00 mg/L a 3812 mg/L. El punto M_PARQ01 registró la menor concentración de sólidos disueltos totales y el punto M_PARQ05 la mayor concentración. Por otro lado, el punto OC_LN3 registró la menor concentración de sólidos suspendidos totales y el M_PARQ03 la mayor concentración, (ver Figura 5.1-105). Y, por último, lo sólidos sedimentables se registraron valores entre <0,100 mL/L a 26,0 mL/L, registrándose por debajo del límite de cuantificación del laboratorio los puntos OC_LN4 y OC_LN3, y la mayor concentración se registró en el punto OC_LN02, (ver Figura 5.1-106).

Figura 5.1-105 Sólidos disueltos totales y sólidos suspendidos totales registrados en los puntos monitoreados



Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

Figura 5.1-106 Sólidos sedimentables registrados en los puntos monitoreados



Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

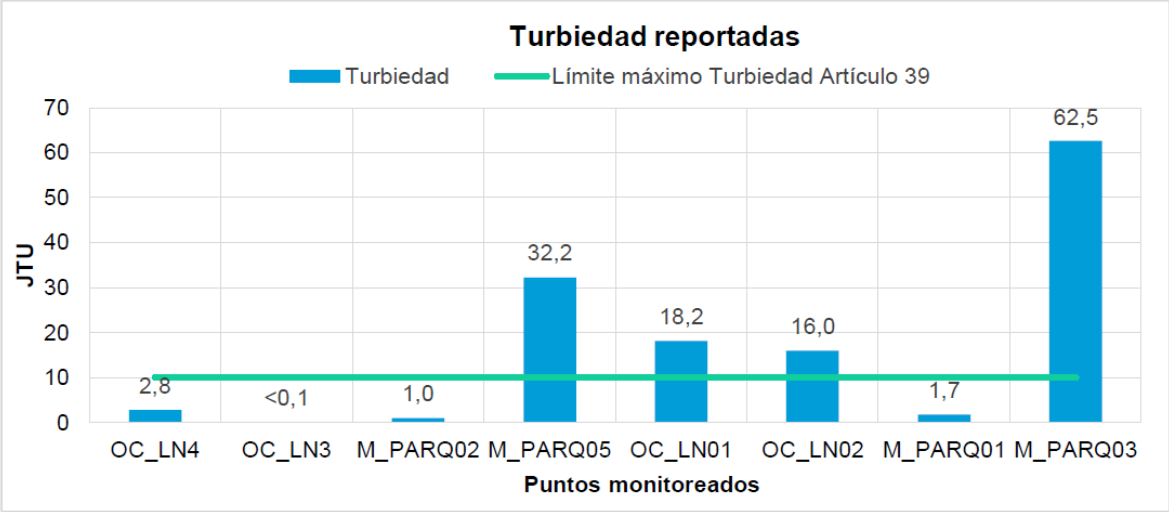
5.1.5.4.2.1.1.6 Turbiedad

Es importante aclarar que se realizó la conversión de unidades de NTU a JTU según la siguiente equivalencia 1 JTU = 19 NTU, debido a que la norma lo exige en unidades JTU.

La turbiedad reportada oscilo con valores registrados entre <0,1 JTU a 62,5 JTU. El punto OC_LN3 se registró por debajo del límite de cuantificación del laboratorio y

fue el que reportó el menor valor, y el punto M_PARQ03 reporto el mayor valor registrándose en 62,5 JTU. Con respecto a la norma, los puntos M_PARQ05, OC_LN01, OC_LN02 y M_PARQ03 superaron el límite máximo permisible estipulado en el artículo 39 del Decreto 1594 de 1984 (Figura 5.1-107).

Figura 5.1-107 Valores de turbiedad registrados en los puntos monitoreados



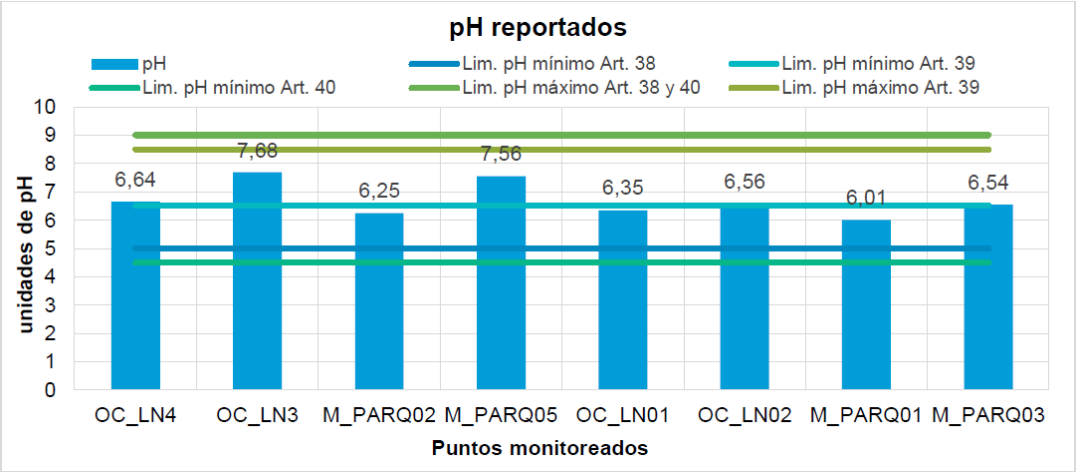
Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

5.1.5.4.2.1.2 Parámetros químicos

5.1.5.4.2.1.2.1 pH

Todos los puntos del monitoreo cumplieron con los límites mínimos estipulados en los artículos 38 y 40 del y con los límites máximos estipulados en los artículos 38, 39 y 40 del Decreto 1594 de 1984. En cuanto al límite mínimo del artículo 39 los puntos M_PARQ02, OC_LN01 y M_PARQ01 están por debajo de éste, ya que reportaron valores inferiores a 6,5 unidades de pH, los demás puntos si cumplen satisfactoriamente con el límite mínimo estipulado en el artículo 39 del Decreto 1594 de 1984, (Figura 5.1-108).

Figura 5.1-108 pH registrado en los puntos monitoreados

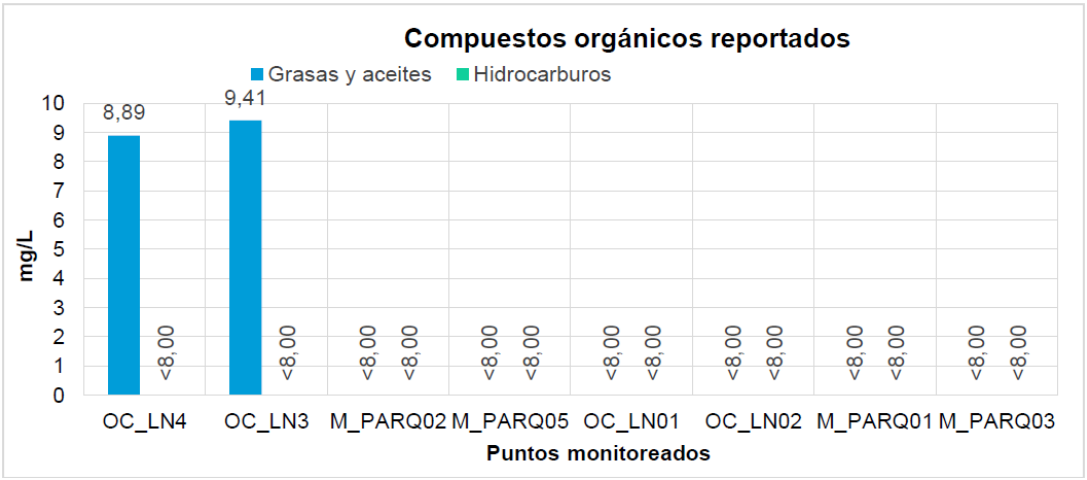


Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

5.1.5.4.2.1.2.2 Compuestos orgánicos

Las grasas y aceites en todos los puntos registraron valores por debajo del límite de cuantificación del laboratorio, a excepción de los puntos OC_LN4 y OC_LN3 que registraron valores cuantificables de 8,89 mg/L y 9,41 mg/L, respectivamente. De igual manera, los hidrocarburos reportados en todos los puntos del monitoreo se registraron por debajo del límite de cuantificación del laboratorio, (Figura 5.1-109).

Figura 5.1-109 Hidrocarburos, grasas y aceites registrados en los puntos monitoreados

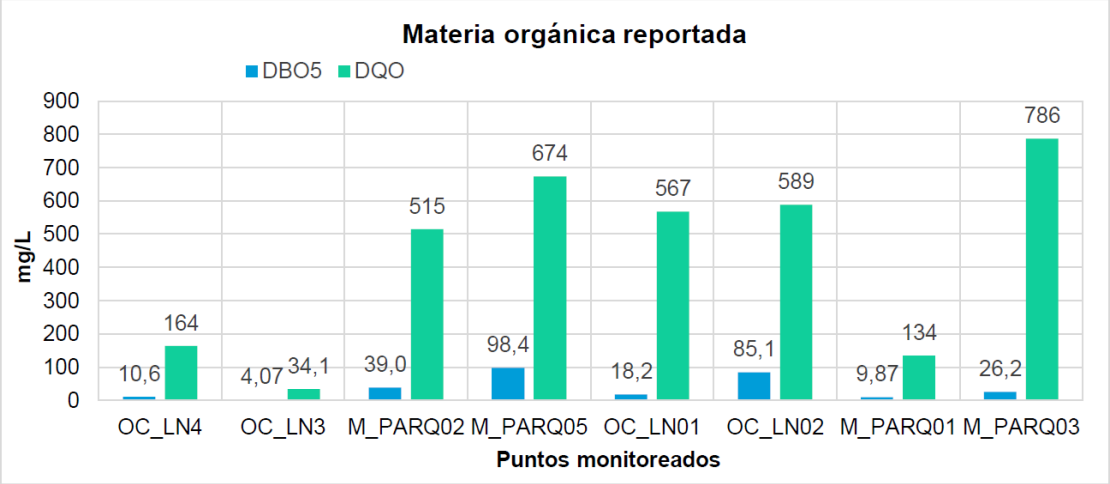


Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

5.1.5.4.2.1.2.3 Materia orgánica (DBO, DQO)

Son determinados materia orgánica los siguientes parámetros: DBO5 y DQO. Los parámetros DBO5 y DQO presentaron comportamientos diferentes en muchos de los puntos monitoreados. El punto OC_LN3 registró la menor concentración de DBO5 y de DQO, reportando valores de 4,07 mg/L y 34,1 mg/L, respectivamente, por otro lado, el punto M_PARQ05 registró la mayor concentración de DBO5 reportando un valor de 98,4 mg/L y el punto M_PARQ03 registró la mayor concentración de DQO reportando un valor de 786 mg/L, (Figura 5.1-110).

Figura 5.1-110 DBO5 y DQO registrados en los puntos monitoreados

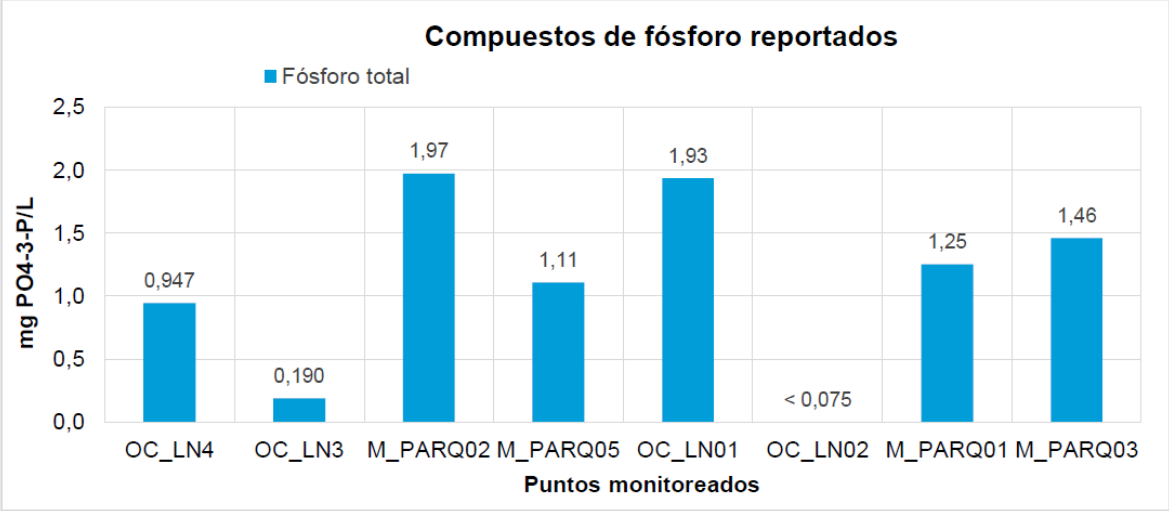


Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

5.1.5.4.2.1.2.4 Fósforo total

El fósforo total registró valores entre < 0,075 mg PO4-3-P/L a 1,97 mg PO4-3-P/L, en dónde la mayor concentración la registró el punto M_PARQ02, (Figura 5.1-111).

Figura 5.1-111 Fósforo total registrado en los puntos monitoreados

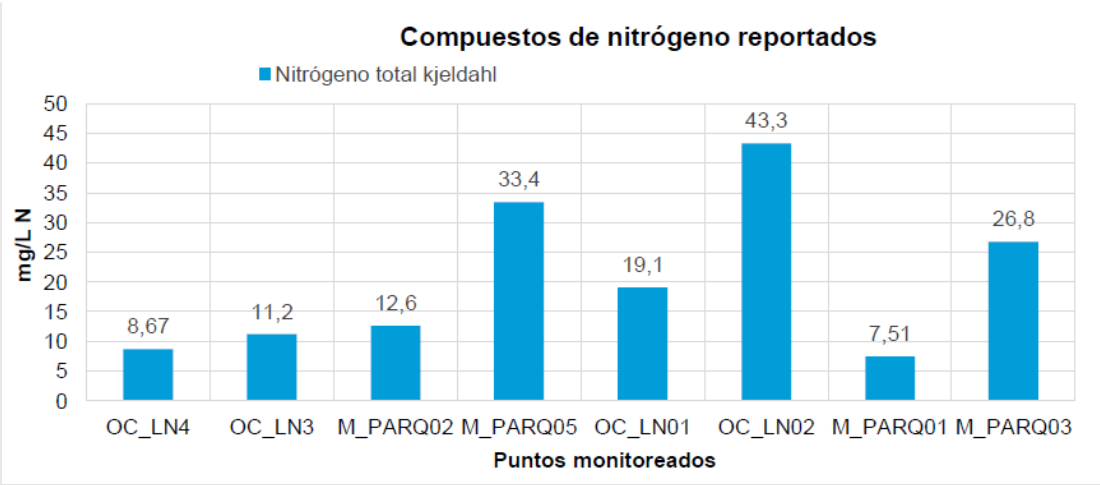


Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

5.1.5.4.2.1.2.5 Compuestos de nitrógeno

Dentro de los compuestos de nitrógeno se analizó el nitrógeno total Kjeldahl, este parámetro registró valores entre 7,51 mg/L N a 43,4 mg/L N, en dónde, el punto M_PARQ01 registró el menor valor y el punto OC_LN02 el mayor valor, (Figura 5.1-112).

Figura 5.1-112 Nitrógeno total Kjeldahl registrado en los puntos monitoreados

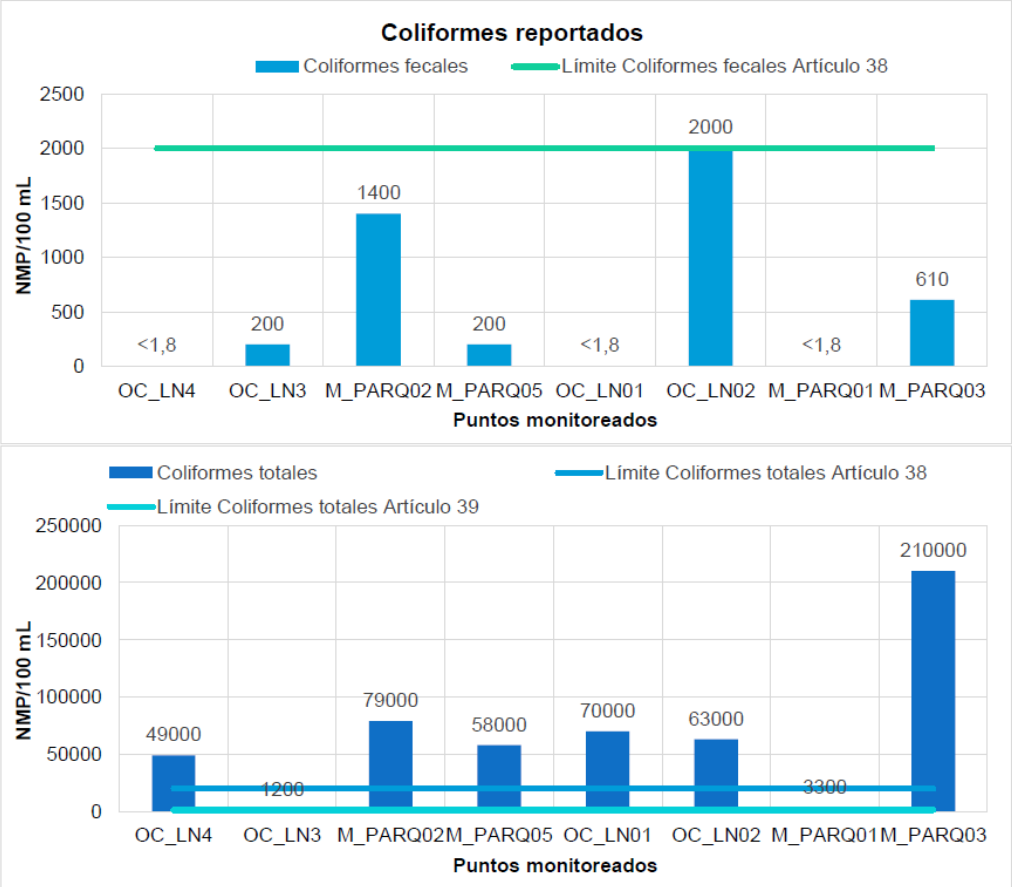


Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

5.1.5.4.2.1.3 Parámetros microbiológicos

Los coliformes fecales registrados en el monitoreo dieron valores entre <1,8 NMP/100 mL a 2000 NMP/100 mL, cumpliendo así todos los puntos con el límite máximo permisible estipulado en el artículo 38 del Decreto 1594 de 1984, cabe resaltar que el punto OC_LNO02 se reportó sobre el límite reportando un valor de 2000 NMP/100 mL. Por otro lado, los coliformes totales en todos los puntos sobrepasan los límites máximos permisibles de los artículos 38 y 39 del Decreto 1594 de 1984, a excepción de los puntos OC_LN3 y MPARQ_01 que cumplen con el límite del artículo 38 del Decreto 1594 de 1984, (Figura 5.1-113).

Figura 5.1-113 Coliformes fecales y coliformes totales registrados en los puntos monitoreados



Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

5.1.5.4.2.1.4 Índices de contaminación

5.1.5.4.2.1.4.1 Índice de contaminación – ICOS

A partir del resultado del análisis fisicoquímico de las muestras tomadas y con base en las fórmulas anteriormente descritas se calcularon los índices de contaminación – "ICOS" para los puntos de agua monitoreados que se encuentran ubicados en lugar de muestreo Ponedora – Atlántico. En la Tabla 5.1-65 se muestran los resultados obtenidos y más adelante se detallan los mismos.

El índice ICOMI no pudo ser calculado debido a que los parámetros dureza total y alcalinidad no fueron solicitados en este monitoreo.

Tabla 5.1-65 Resultados índices de contaminación -ICOS

NOMBRE DEL PUNTO	ICOMI	ICOMO	ICOSUS	ICOpH	ICOTRO
OC LN4		0,556	0,175	0,003	EUTROFÍA
OC LN3		0,220	0,000	0,010	EUTROFÍA
M PARQ02		0,667	0,415	0,013	HIPEREUTROFÍA
M PARQ05		0,667	1,000	0,007	HIPEREUTROFÍA
OC LN01		0,611	1,000	0,009	HIPEREUTROFÍA
OC LN 02		0,747	1,000	0,004	OLIGOTROFÍA
M PARQ01		0,392	0,216	0,029	HIPEREUTROFÍA
M PARQ03		0,906	1,000	0,005	HIPEREUTROFÍA

Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

El grado de afectación por materia orgánica (ICOMO) caracterizó a los puntos OC_LN3 y M_PARQ01 con una baja contaminación, al punto OC_LN4 con un grado de contaminación media, a los puntos M_PARQ02, M_PARQ05, OC_LN01 y OC_LN02 con un grado de contaminación alta, y al punto M_PARQ03 con un grado de contaminación muy alta, caracterizándolo como un área muy contaminada.

El índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) clasificó los puntos OC_LN4 y OC_LN3 con ningún tipo de contaminación. Por otro lado, al punto M_PARQ01 lo clasificó con un grado de contaminación bajo y al punto M_PARQ02 con un grado de contaminación media. Los demás puntos, los clasifico con un grado de contaminación muy alta, caracterizándolo como áreas muy contaminadas por sólidos suspendidos totales.

Todos los puntos evaluados, reportaron un índice de contaminación ICOpH con ningún tipo de contaminación.

Finalmente, el índice evaluado por el fósforo total (ICOTRO), clasificó al punto OC_LN02 con oligotrofía, a los puntos OC_LN4 y OC_LN3 con eutrofía. Y los demás puntos presentaron hipereutrofía, debido a que se reportaron valores de fósforo total >1,00 mg P/L.

5.1.5.4.2.1.4.2 Índices de calidad del agua

Cabe resaltar que el cálculo del ICA se realizó sin tener en cuenta los parámetros de nitratos, sólidos totales y fosfatos totales. En la Tabla 5.1-66

Tabla 5.1-66 Resultados índice de calidad del agua – ICA

NOMBRE DEL PUNTO	ICA
OC LN4	62,69
OC LN3	68,14
M PARQ02	35,21
M PARQ05	40,42
OC LN01	43,84
OC LN02	28,66
M PARQ01	47,29
M PARQ03	27,41

Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

Los puntos OC_LN4 y OC_LN3 el ICA los clasificó con mediana calidad, y los puntos M_PARQ02, M_PARQ05, OC_LN01, OC_LN02, M_PARQ01 y M_PARQ03 presentaron una mala calidad.

5.1.5.4.2.2 Conclusiones

De la caracterización fisicoquímica y microbiológica realizada a las muestras de agua tomadas en los cuerpos de agua natural, se concluye:

El punto OC LN3, registró un valor de caudal de 0,016 m3/s.

Los valores de conductividad reportados en el monitoreo oscilaron entre 2,1 µs/cm a 1105 µs/cm, presentando la menor concentración en el punto M_PARQ05 y la mayor en el punto OC_LN3, respectivamente. Este parámetro no está contemplado en los límites dictados por la normativa ambiental vigente.

El punto M_PARQ03 registró la menor concentración de oxígeno disuelto reportando un valor de 0,18 mg/L y el punto OC_LN3 registró la mayor concentración reportando un valor de 5,09 mg/L. Este parámetro no está contemplado en los límites dictados por la normativa ambiental vigente.

Todos los puntos del monitoreo cumplieron con los límites mínimos estipulados en los artículos 38 y 40 del y con los límites máximos estipulados en los artículos 38, 39 y 40 del Decreto 1594 de 1984. En cuanto al límite mínimo del artículo 39 los puntos M_PARQ02, OC_LN01 y M_PARQ01 están por debajo de éste, ya que reportaron valores de 6,25 unidades de pH, 6,35 unidades de pH y 6,01 unidades de pH, y son valores inferiores a 6,5 unidades de pH, los demás puntos si cumplen satisfactoriamente con el límite mínimo estipulado en el artículo 39 del Decreto 1594 de 1984.

Los niveles de temperatura evidenciados no presentaron variaciones significativas entre sus datos, evidenciándose un comportamiento aparentemente normal entre la temperatura de la muestra y temperatura ambiente. Siendo este un parámetro no contemplado en la normativa.

La turbiedad reportada oscilo con valores registrados entre <0,1 JTU a 62,5 JTU. Los puntos M_PARQ05, OC_LN01, OC_LN02 y M_PARQ03 superaron el límite máximo permisible estipulado en el artículo 39 (10 JTU) del Decreto 1594 de 1984 registrando valores de 32,2 JTU, 18,2 JTU, 16,0 JTU y 62,5 JTU.

Los sólidos disueltos totales se registraron entre 108 mg/L a 1430 mg/L, y lo sólidos suspendidos totales registraron valores entre <6,00 mg/L a 3812 mg/L. El punto M_PARQ01 registró la menor concentración de sólidos disueltos totales y el punto M_PARQ05 la mayor concentración. Por otro lado, el punto OC_LN3 registró la menor concentración de sólidos suspendidos totales y el M_PARQ03 la mayor concentración. Por último, lo sólidos sedimentables se registraron valores entre <0,100 mL/L a 26,0 mL/L, registrándose por debajo del límite de cuantificación del laboratorio los puntos OC_LN4 y OC_LN3, y la mayor concentración se registró en

el punto OC_LN02. Estos parámetros no están contemplados en los límites dictados por la normativa ambiental vigente.

Los compuestos orgánicos analizados en el presente estudio fueron: grasas y aceites e hidrocarburos, se reportaron como inferiores al límite de cuantificación del método utilizado en el laboratorio en todos los puntos monitoreados, a excepción de los puntos OC_LN4 y OC_LN3 que registraron valores cuantificables de 8,89 mg/L y 9,41 mg/L, respectivamente para grasas y aceites. Estos parámetros no están contemplados con límite máximo permisible por la normativa ambiental vigente.

En el estudio los compuestos de materia orgánica DBO5 y DQO. El punto OC_LN3 registró la menor concentración de DBO5 y de DQO, reportando valores de 4,07 mg/L y 34,1 mg/L, respectivamente, por otro lado, el punto M_PARQ05 registró la mayor concentración de DBO5 reportando un valor de 98,4 mg/L y el punto M_PARQ03 registró la mayor concentración de DQO reportando un valor de 786 mg/L. Estos parámetros no están contemplados con límite máximo permisible por la normativa ambiental vigente.

En el estudio del parámetro de fósforo total, como representante de los compuestos de fósforo, registró valores entre < 0,075 mg PO4-3-P/L a 1,97 mg PO4-3-P/L, en dónde la mayor concentración la registró el punto M_PARQ02. Este parámetro no está contemplado en los límites dictados por la normativa ambiental vigente.

Dentro de los compuestos de nitrógeno se analizó el nitrógeno total Kjeldahl, este parámetro registró valores entre 7,51 mg/L N a 43,4 mg/L N, en dónde, el punto M_PARQ01 registró el menor valor y el punto OC_LN02 el mayor valor. Este parámetro no está contemplado en los límites dictados por la normativa ambiental vigente.

Los coliformes fecales registrados en el monitoreo dieron valores entre <1,8 NMP/100 mL a 2000 NMP/100 mL, cumpliendo así todos los puntos con el límite máximo permisible estipulado en el artículo 38 del Decreto 1594 de 1984, cabe resaltar que el punto OC_LNO02 se reportó sobre el límite reportando un valor de

2000 NMP/100 mL. Por otro lado, los coliformes totales en todos los puntos sobrepasan los límites máximos permisibles de los artículos 38 y 39 del Decreto 1594 de 1984, a excepción de los puntos OC_LN3 y MPARQ_01 que cumplen con el límite del artículo 38 del Decreto 1594 de 1984.

El grado de afectación por materia orgánica (ICOMO) caracterizó a los puntos OC_LN3 y M_PARQ01 con una baja contaminación, al punto OC_LN4 con un grado de contaminación media, a los puntos M_PARQ02, M_PARQ05, OC_LN01 y OC_LN02 con un grado de contaminación alta, y al punto M_PARQ0 con un grado de contaminación muy alta, caracterizándolo como un área muy contaminada.

El índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) clasificó los puntos OC_LN4 y OC_LN3 con ningún tipo de contaminación. Por otro lado, al punto M_PARQ01 lo clasificó con un grado de contaminación bajo y al punto M_PARQ02 con un grado de contaminación media. Los demás puntos, los clasifico con un grado de contaminación muy alta, caracterizándolo como áreas muy contaminadas por sólidos suspendidos totales.

Todos los puntos evaluados, reportaron un índice de contaminación ICOpH con ningún tipo de contaminación.

El índice evaluado por el fósforo total (ICOTRO), clasificó al punto OC_LN02 con oligotrofía, a los puntos OC_LN4 y OC_LN3 con eutrofía. Y los demás puntos presentaron hipereutrofía, debido a que se reportaron valores de fósforo total >1,00 mg P/L.

Los puntos OC_LN4 y OC_LN3 el ICA los clasificó con mediana calidad, y los puntos M_PARQ02, M_PARQ05, OC_LN01, OC_LN02, M_PARQ01 y M_PARQ03 presentaron una mala calidad.

5.1.5.4.3 Campaña época lluvia mes de octubre

El monitoreo se realizó el día 05 de octubre y finalizó el día 06 de octubre del año 2021, en función del Decreto Único Reglamentario 1076 del 2015 en los artículos 2.2.3.3.9.3., 2.2.3.3.9.4., 2.2.3.3.9.5. y 2.2.3.3.9.6. que se refieren al decreto 1594 de 1984 artículos 38, 39, 40 y 41 respectivamente para usos del agua y residuos líquidos, capítulo IV de los criterios de calidad para destinación del recurso.

Tabla 5.1-67 Ubicación de los puntos de monitoreo, campaña mes de octubre

No.	NOMBRE	COORDENADAS		NO. ROYECTO	*FECHA*	MATRIZ
		NORTE	ESTE			
1	OCP8	2727155,44	4801413,47	397-21-01	2021/10/05	Agua Superficial
2	OCP9	2727329,45	4801220,07	397-21-02	2021/10/05	Agua Superficial
3	OCP5	2727051,02	4802837,91	397-21-03	2021/10/06	Agua Superficial
4	OCP1	2727133,60	4803954,22	397-21-04	2021/10/06	Agua Superficial
5	OCP10	2726580,02	4801329,46	Punto seco	Punto seco	Punto seco
6	OCP7	2726894,30	4801831,39	Punto seco	Punto seco	Punto seco
7	OCP6	2726535,59	4802453,55	Punto seco	Punto seco	Punto seco
8	OCP4	2726900,53	4802954,21	Punto seco	Punto seco	Punto seco
9	OCP3	2726699,67	4802996,64	Punto seco	Punto seco	Punto seco
10	OCP2	2727063,44	4803768,70	Punto seco	Punto seco	Punto seco

Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

5.1.5.4.3.1 Descripción de los puntos de monitoreo

Tabla 5.1-68 Descripción puntos monitoreo segunda campaña

Punto	Descripción	Registro fotográfico
OC P08	Jagüey ubicado en potrero destinado a ganadería. Se observan poáceas creciendo en el lecho del cuerpo de agua, el cual tiene un nivel bastante bajo. Se observan algunas macrófitas acuáticas como Ludwigia sp. y se observan algunas aves acuáticas como Tingua de Agua (Porphyrio martinica). El punto se encuentra rodeado de arbustos y árboles de porte bajo. No se puede hacer toma de caudales porque las ocupaciones de cauce están en una posición geográfica que sufre de altas temperaturas con terrenos muy áridos, y la infiltración en el suelo en dónde está ubicado el punto impide que el agua siga un curso, estancándose así, sin posibilidad de que llegue a correr el flujo de agua para poder tomar	 OC P08 Corregimiento Santa Rita Georreferencia: Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 E 4801413,47 – N 2727155,44

Punto	Descripción	Registro fotográfico
OC P09	Potrero. Pastos altos. Punto cubierto en su totalidad por lentejas de agua. Lecho lodoso, casi sin agua. El punto se encuentra rodeado de árboles de Totumo (Crescentia cujete) y se observan algunas passifloráceas. Agua turbia con olor a materia orgánica. Se encuentra cerca a potreros destinados a ganadería. Se observan árboles de porte bajo rodeando el punto y poáceas creciendo en este. No se puede hacer toma de caudales porque las ocupaciones de cauce están en una posición geográfica que sufre de altas temperaturas con terrenos muy áridos, y la infiltración en el suelo en dónde está ubicado el punto impide que el agua siga un curso, estancándose así, sin posibilidad de que llegue a correr el flujo de agua para poder tomar el caudal, y debido a esto el sistema del agua termina siendo el de un cuerpo lentico.	 OC P09 Corregimiento Santa Rita Georreferencia: Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 E 4801220,07 – N 2727329,45
OC P05	Cuerpo lótico. Caño. Lecho lodoso. Aguas turbias. Se encuentra rodeado de pastos altos y maleza, además de arbustos de porte alto y árboles de porte bajo. Entre la maleza abunda una planta de nombre común "Tote". El cuerpo de agua es una zanja hecha para recolección de aguas lluvias que podría secarse en cuestión de días por las condiciones del terreno y temperatura de la zona. Se presentaron lluvias la noche anterior. No se puede hacer toma de caudales porque las ocupaciones de cauce están en una posición geográfica que sufre de altas temperaturas con terrenos muy áridos, y la infiltración en el suelo en dónde está ubicado el punto impide que el agua siga un curso, estancándose así, sin posibilidad de que llegue a correr el flujo de agua para poder tomar el caudal, y debido a esto el sistema del agua termina siendo el de un cuerpo lentico.	 OC P05 Corregimiento Santa Rita Georreferencia: Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 E 4802837,91 – N 2727051,02
OC P01	Zanja de aguas lluvias. Se presentaron lluvias fuertes la noche anterior. Punto rodeado de poáceas y algunos árboles de porte bajo. Lecho lodoso. Aguas turbias. Se encuentra en potreros destinados a ganadería. No se puede hacer toma de caudales porque las ocupaciones de cauce están en una posición geográfica que sufre de altas temperaturas con terrenos muy áridos, y la infiltración en el suelo en dónde está ubicado el punto impide que el agua siga un curso, estancándose así, sin posibilidad de que llegue a correr el flujo de agua para poder tomar el caudal, y debido a esto el sistema del agua termina siendo el de un cuerpo lentico.	 OC P01 Corregimiento Puerto Giraldo Georreferencia: Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 E 4803954,22 – N 2727133,6

Punto	Descripción	Registro fotográfico
OC P10	Punto seco correspondiente a ocupación de cauce por aguas lluvias. Lecho lodoso. Se ubica en potrero destinado a ganadería. Se encontraron poáceas creciendo en el lecho y huellas de ganado. Cerca al punto se encontraron arbustos de porte alto. Se perciben altas temperaturas durante la visita al punto.	 OC P10 Corregimiento Santa Rita Georreferencia: Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 E 4801329,46 – N 2726580,02
OC P07	Punto seco correspondiente a ocupación de cauce por aguas lluvias. Lecho lodoso. Se encontraron poáceas y otras herbáceas creciendo en su lecho. El punto se encuentra ubicado en potrero destinado a ganadería. Se perciben altas temperaturas durante la visita a este punto.	 OC P07 Corregimiento Santa Rita Georreferencia: Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 E 4801831,39 – N 2726894,3
OC P06	Punto seco correspondiente a ocupación de cauce por aguas lluvias. Lecho lodoso. El punto se encuentra totalmente cubierto por diversas herbáceas y algunos arbustos de porte bajo y alto. Se perciben altas temperaturas durante la visita al punto.	 OC P06 Corregimiento Puerto Giraldo Georreferencia: Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 E 4802453,55 – N 2726535,59

Punto	Descripción	Registro fotográfico
OC P04	Punto seco correspondiente a ocupación de cauce por aguas lluvias. Lecho lodoso. El punto se encuentra sombreado por árboles de porte bajo y algunos arbustos. Se ubica cerca a potreros destinados a ganadería. Se presentaron fuertes lluvias la noche anterior a la visita al punto.	 OC P04 Corregimiento Santa Rita Georreferencia: Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 E 4802954,21– N 2726900,53
OC P03	Punto seco correspondiente a ocupación de cauce por aguas lluvias. El punto se encuentra a la sombra de árboles de porte mediano y bajo y rodeado de arbustos. En su lecho se encuentran herbáceas y arbustos creciendo en el lecho. El punto se encuentra ubicado cerca a potreros destinados a ganadería. Se presentaron lluvias fuertes la noche anterior a la visita al punto.	 OC P03 Corregimiento Puerto Giraldo Georreferencia: Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 E 4802996,64– N 2726699,67
OC P02	Punto seco correspondiente a ocupación de cauce por aguas lluvias. El punto se encuentra cubierto por árboles de porte mediano y bajo y rodeado de arbustos. Se encontraron poáceas y otras herbáceas creciendo en el lecho. El punto se encuentra ubicado cerca a potreros destinados a ganadería. Se presentaron lluvias fuertes la noche anterior a la visita al punto.	 OC P02 Corregimiento Puerto Giraldo Georreferencia: Origen de Proyección Cartográfica CTM-12 E 4803768,7 – N 2727063,44

Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

En la Tabla 5.1-69 se observan los parámetros monitoreados en el mes de octubre.

Tabla 5.1-69 Parámetros monitoreados

NOMBRE DEL PARÁMETRO	TIPO
Caudal	In-Situ
Conductividad	In-Situ
Oxígeno disuelto	In-Situ
pH	In-Situ
Temperatura ambiente	In-Situ
Temperatura de la muestra	In-Situ
Turbiedad	Fisicoquímico
Sólidos disueltos totales	Fisicoquímico
Sólidos sedimentables	Fisicoquímico
Sólidos suspendidos totales	Fisicoquímico
Grasas y aceites	Fisicoquímico
Hidrocarburos	Fisicoquímico
DBO5	Fisicoquímico
DQO	Fisicoquímico
Fósforo total	Fisicoquímico
Nitrógeno total Kjeldahl	Fisicoquímico
Coliformes fecales	Microbiológico
Coliformes totales	Microbiológico

Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

5.1.5.4.3.1.1 Parámetros físicos

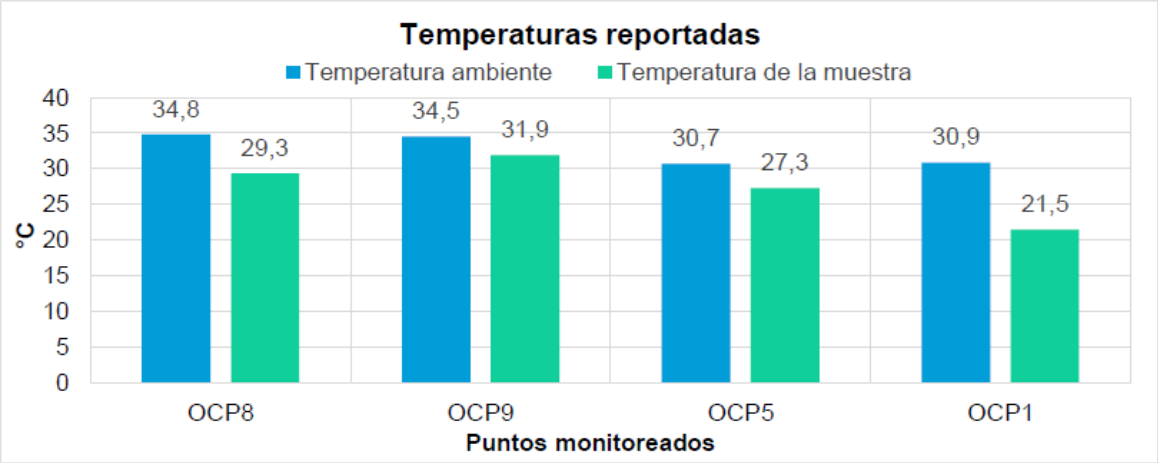
Los análisis físicos miden y registran aquellas características del agua que pueden ser observados por los sentidos haciéndola inadecuada para su uso doméstico e industrial sin embargo estas características tienen menor importancia desde el punto de vista sanitario.

5.1.5.4.3.1.1.1 Temperatura

La temperatura ambiente durante el monitoreo oscilo entre 30,7 °C a 34,8 °C, y la temperatura de la muestra entre 21,5 °C a 31,9 °C, evidenciando un comportamiento aparentemente normal entre temperatura de la muestra y temperatura ambiente.

Este parámetro no está contemplado en los límites dictados por la normativa ambiental vigente.

Figura 5.1-114 Temperatura registrada en los puntos monitoreados

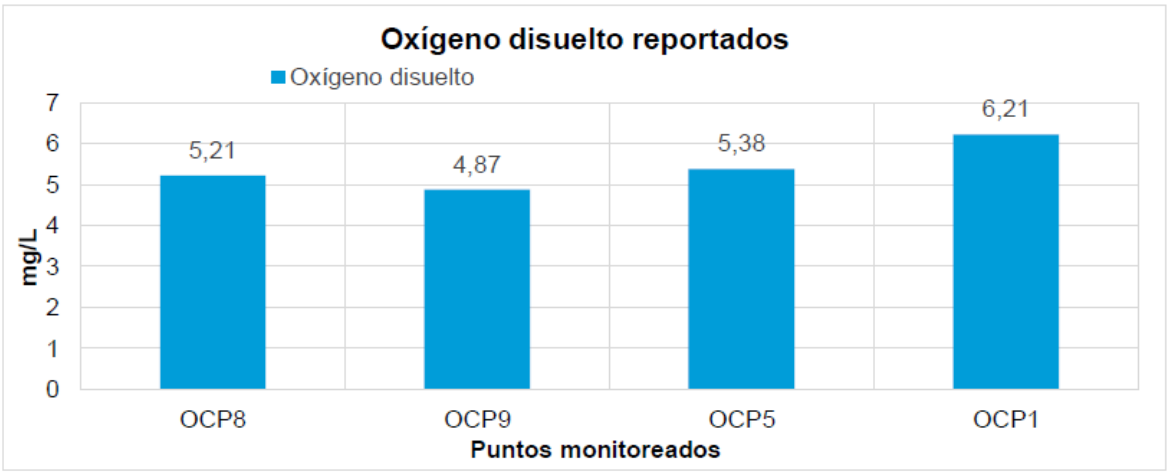


Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

5.1.5.4.3.1.1.2 Oxígeno disuelto

El punto OCP9 registró la menor concentración de oxígeno disuelto reportando un valor de 4,87 mg/L y el punto OCP1 registró la mayor concentración reportando un valor de 6,21 mg/L.

Figura 5.1-115 Contenido de oxígeno disuelto registrado en los puntos monitoreados



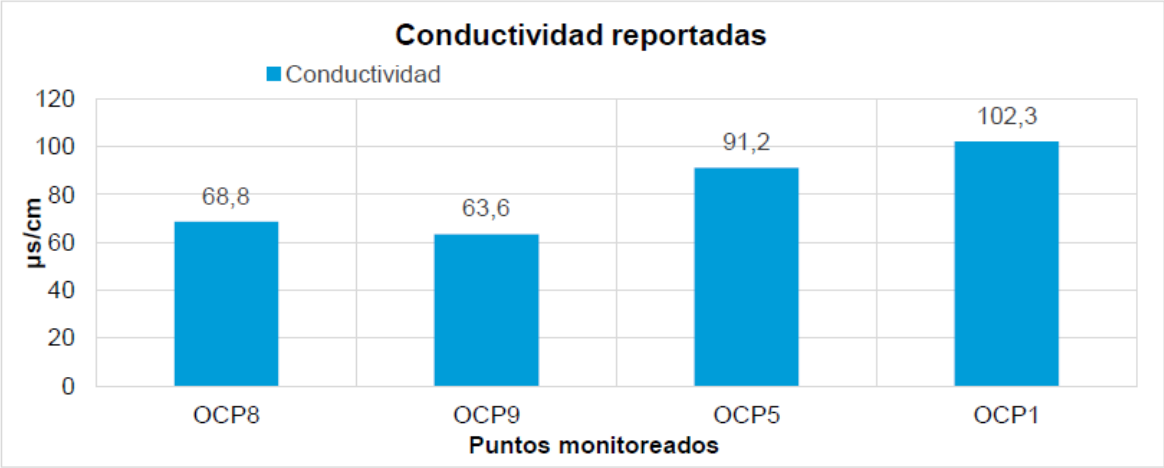
Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

5.1.5.4.3.1.1.3 Conductividad eléctrica

Los valores de conductividad reportados en el monitoreo oscilaron en valores entre 63,6 µs/cm a 102,3 µs/cm, presentando la menor concentración en el punto OCP9 y la mayor en el punto OCP1, respectivamente.

Este parámetro no está contemplado en los límites dictados por la normativa ambiental vigente.

Figura 5.1-116 Conductividad registrada en los puntos monitoreados



Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

5.1.5.4.3.1.1.4 Caudal

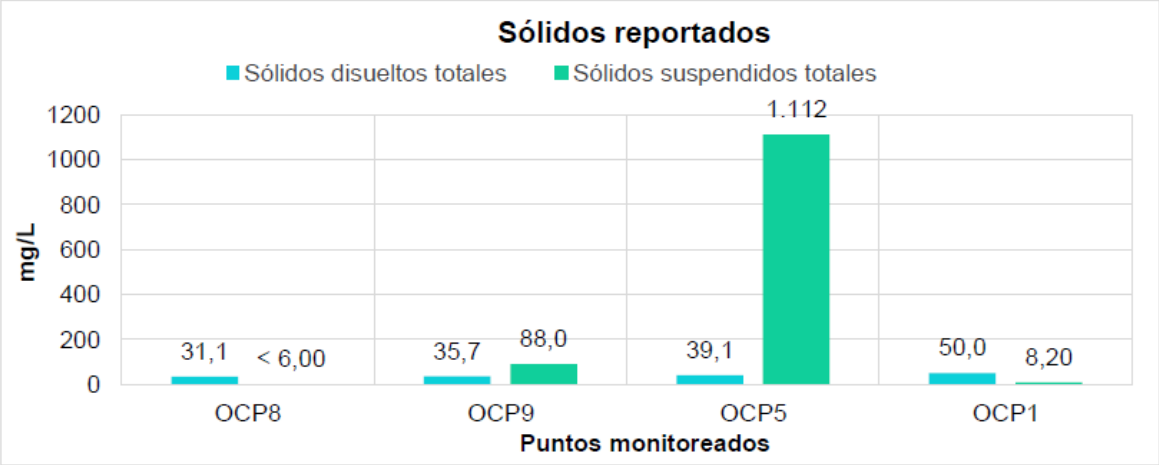
No se puede hacer toma de caudales porque las ocupaciones de cauce están en una posición geográfica que sufre de altas temperaturas con terrenos muy áridos, y la infiltración del suelo en dónde está ubicado el punto impide que el agua siga un curso, estancándose así, sin posibilidad de que llegue a presentarse flujo de agua para poder tomar el caudal, y debido a esto los puntos terminan siendo un sistema de cuerpos lenticos.

5.1.5.4.3.1.1.5 Sólidos

Los parámetros relacionados con los sólidos que se analizaron fueron: sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales y sólidos sedimentables. El punto

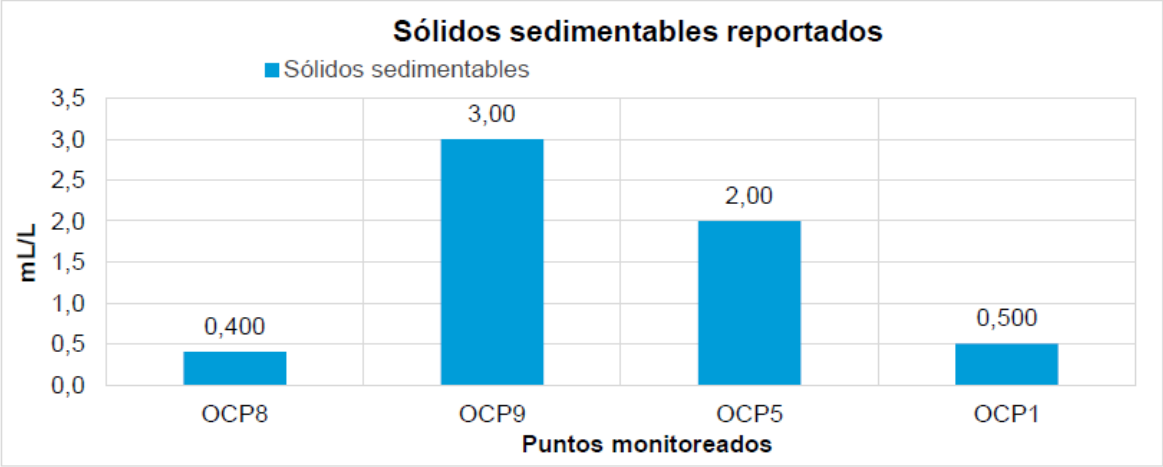
OCP8 registró la menor concentración de sólidos disueltos en el monitoreo registrando un valor de 31,1 mg/L y el punto OCP1 registró la mayor concentración reportando un valor de 50,0 mg/L, el punto OCP5 registró la mayor concentración de sólidos suspendidos totales reportando un valor de 1.112 mg/L y el punto OCP8 registró la menor concentración reportándose por debajo del límite de cuantificación del laboratorio < 6,00 mg/L. Y en cuanto a lo sólidos sedimentables registraron valores entre 0,400 mL/L a 3,00 mL/L, registrándose la menor concentración en el punto OCP8 y la mayor concentración se registró en el punto OCP9.

Figura 5.1-117 Sólidos disueltos totales y sólidos suspendidos totales registrados en los puntos monitoreados



Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

Figura 5.1-118 Sólidos sedimentable registrados en los puntos monitoreados



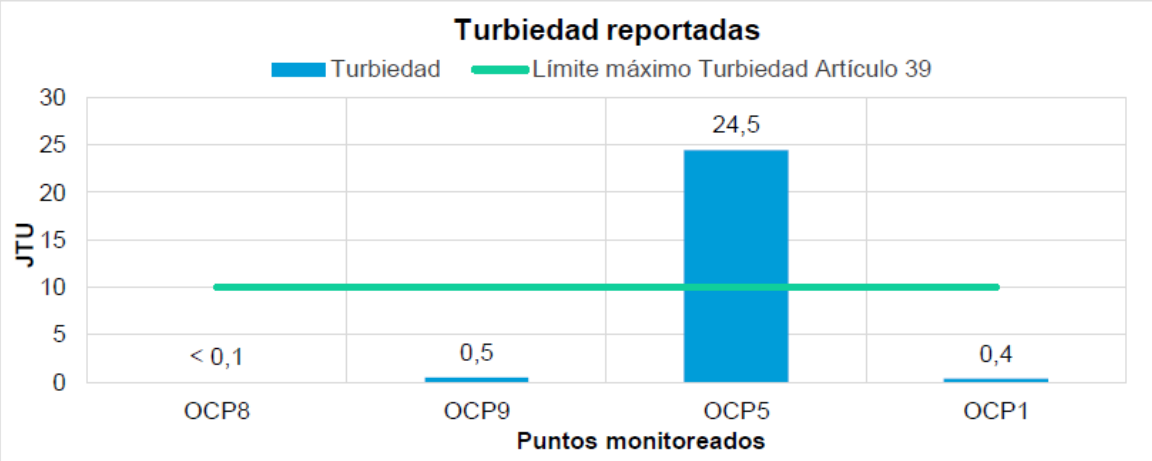
Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

5.1.5.4.3.1.1.6 Turbiedad

Es importante aclarar que se realizó la conversión de unidades de NTU a JTU según la siguiente equivalencia 1 JTU = 19 NTU, debido a que la norma lo exige en unidades JTU.

La turbiedad reportada oscilo con valores registrados entre <0,1 JTU a 24,5 JTU. El punto OCP8 se registró por debajo del límite de cuantificación del laboratorio y fue el que reportó el menor valor, y el punto OCP5 reportó el mayor valor registrándose en 24,5 JTU. Con respecto a la norma, todos los puntos cumplen con el límite máximo permisible estipulado en el artículo 39 del Decreto 1594 de 1984 exceptuando el punto OCP5 que supero el límite máximo permisible estipulado en el artículo 39 del Decreto 1594 de 1984.

Figura 5.1-119 Valores de turbiedad registrado en los puntos monitoreados



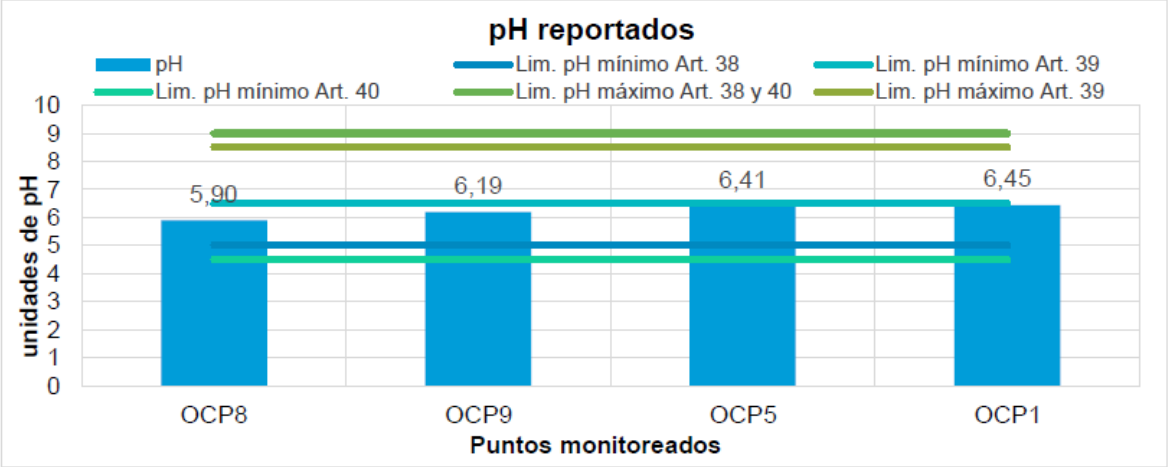
Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

5.1.5.4.3.1.2 Parámetros químicos

5.1.5.4.3.1.2.1 pH

Todos los puntos del monitoreo cumplieron con los límites mínimos estipulados en los artículos 38 y 40 del Decreto 1594 de 1984 (5 unidades de pH y 4,5 unidades de pH) y con los límites máximos estipulados en los artículos 38, 39 y 40 del Decreto 1594 de 1984 (9 unidades de pH y 8,5 unidades de pH). En cuanto al límite mínimo del artículo 39 del Decreto 1594 de 1984.todos los puntos monitoreados están por debajo de éste, ya que reportaron valores inferiores a 6,5 unidades de pH de 5,90 unidades de pH, 6,19 unidades de pH, 6,41 unidades de pH y 6,45 unidades de pH, respectivamente.

Figura 5.1-120 pH registrado en los puntos monitoreados

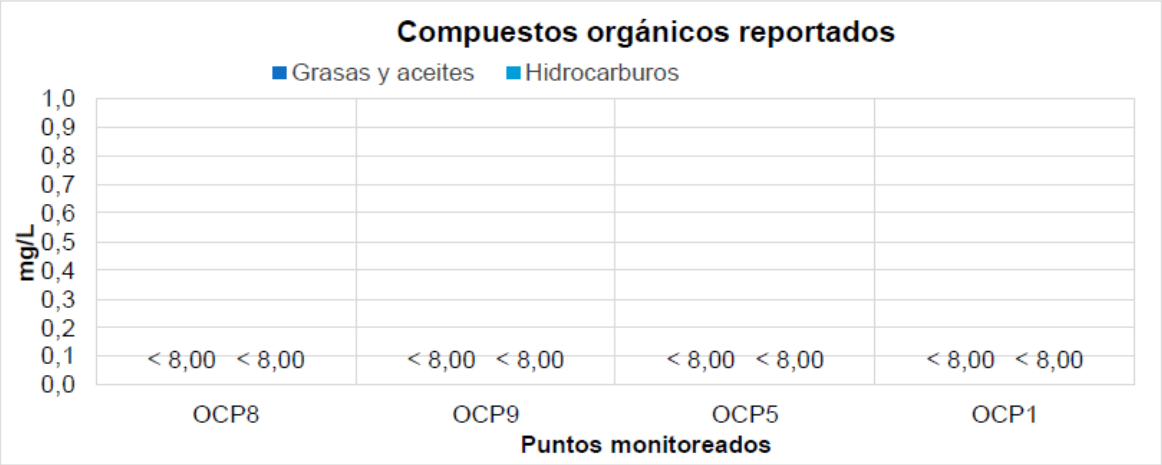


Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

5.1.5.4.3.1.2.2 Compuestos orgánicos

Las grasas y aceites en todos los puntos registraron valores por debajo del límite de cuantificación del laboratorio < 8,00 mg/L. De igual manera, los hidrocarburos reportados en todos los puntos del monitoreo se registraron por debajo del límite de cuantificación del laboratorio < 8,00 mg/L.

Figura 5.1-121 Grasas y aceites e hidrocarburos registrados en los puntos monitoreados

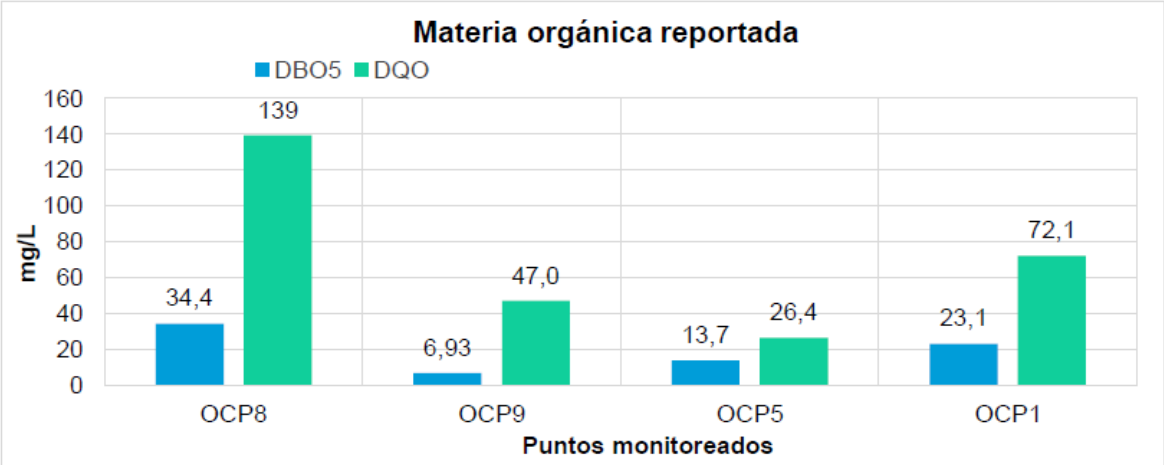


Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

5.1.5.4.3.1.2.3 Materia orgánica (DBO, DQO)

Son determinados materia orgánica los parámetros DBO5 y DQO, estos parámetros presentaron comportamientos normales en todos los puntos registrando una relación DBO5 < DQO; la mayor concentración de DBO5 y de DQO se registraron en el punto OCP8 reportando un valor de 34,4 mg/L de DBO5 y una concentración de 139 mg O2/L de DQO.

Figura 5.1-122 DBO5 y DQO registrados en los puntos monitoreados

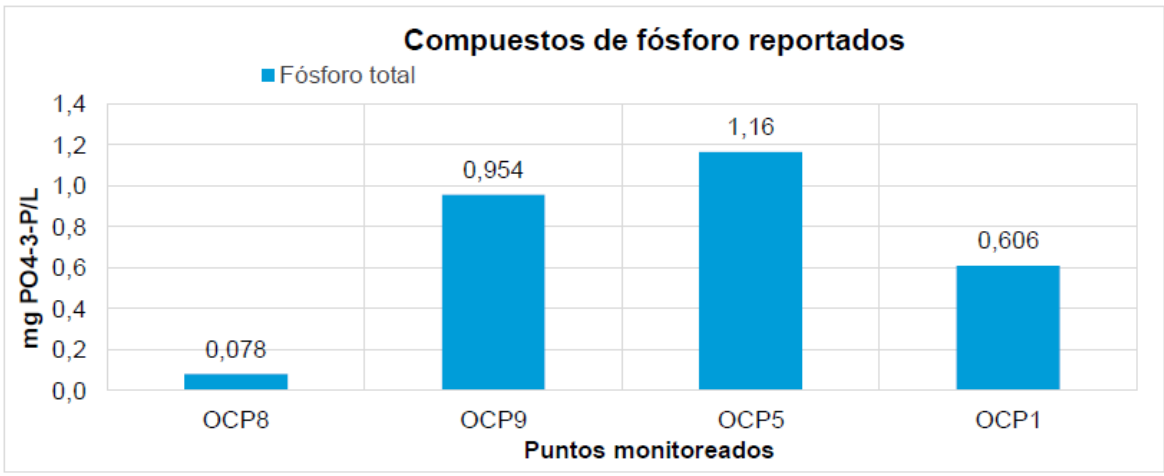


Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

5.1.5.4.3.1.2.4 Compuestos de fósforo

En este grupo se encuentra el fósforo total. El fósforo total registró valores entre 0,078 mg PO4-3-P/L a 1,16 mg PO4-3-P/L, en dónde la mayor concentración la registró el punto OCP5 y la menor el punto OCP8.

Figura 5.1-123 Fósforo total registrado en los puntos monitoreados

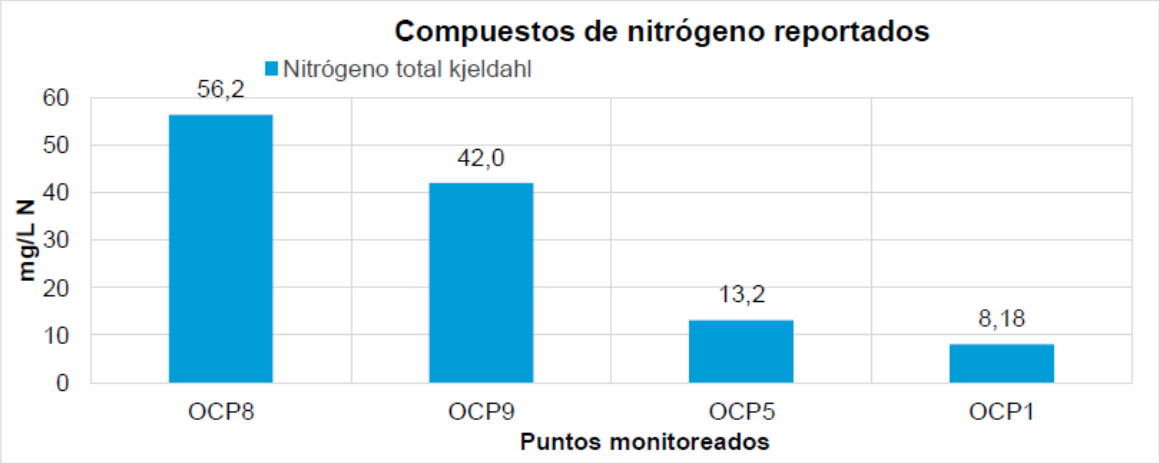


Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

5.1.5.4.3.1.2.5 Compuestos de nitrógeno

Dentro de los compuestos de nitrógeno se analizó el nitrógeno total Kjeldahl, este parámetro registró valores entre 8,18 mg/L N a 56,2 mg/L N, en dónde, el punto OCP1 registró el menor valor y el punto OCP8 reportó el mayor valor.

Figura 5.1-124 Nitrógeno total Kjeldahl registrados en los puntos monitoreados

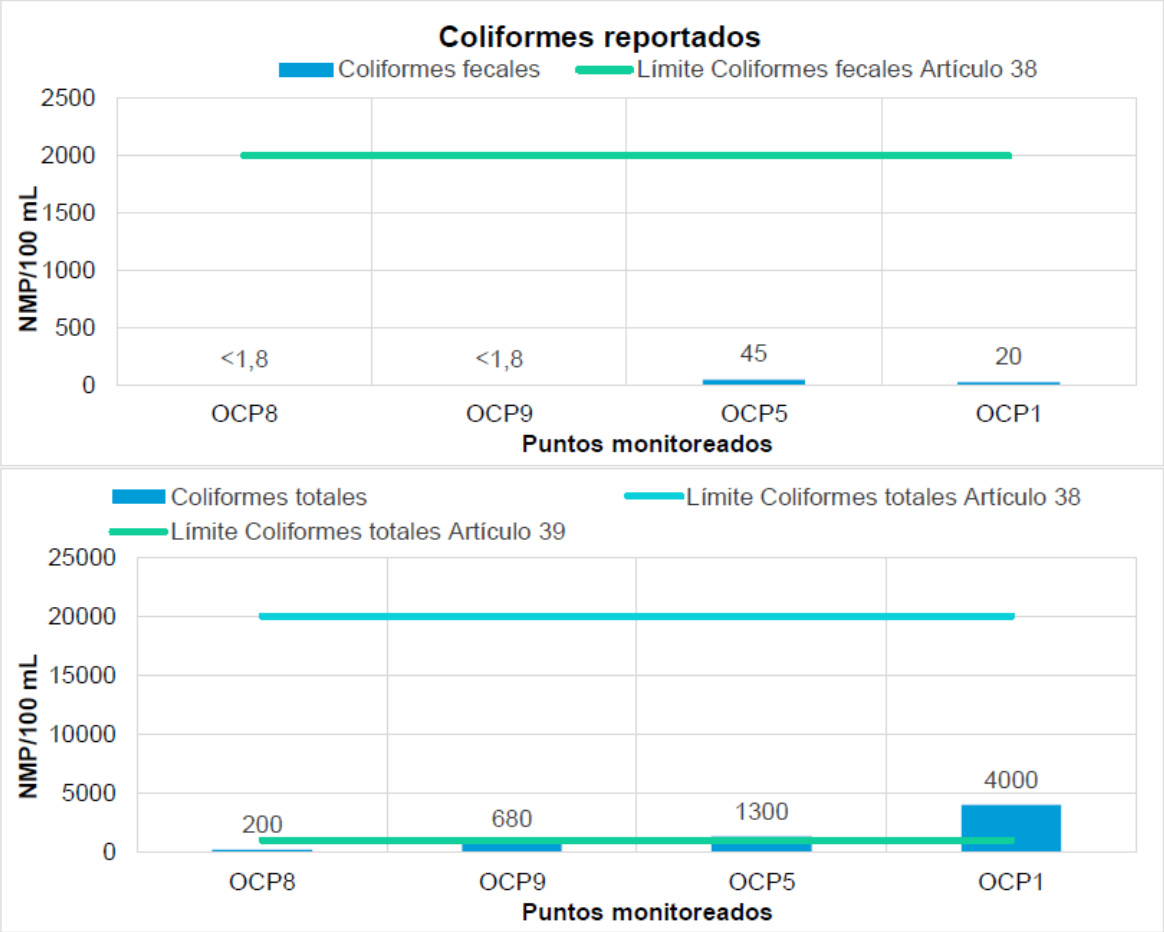


Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

5.1.5.4.3.1.3 Parámetros microbiológicos

Los coliformes fecales registrados en el monitoreo dieron valores entre <1,8 NMP/100 mL a 45 NMP/100 mL, cumpliendo así todos los puntos con el límite máximo permisible estipulado en el artículo 38 del Decreto 1594 de 1984 de 2000 NMP/100 mL. Por otro lado, los coliformes totales en todos los puntos cumplen con el límite máximo permisible estipulado en el artículo 38 del Decreto 1594 de 1984 de 20000 NMP/100 mL ya que reportaron valores inferiores, y en cuanto al límite máximo permisible estipulado en el artículo 39 del Decreto 1594 de 1984 de 1000 NMP/100 mL los puntos OCP5 y OCP1 lo superan, ya que reportaron valores de 1300 NMP/100 mL y 4000 NMP/100 mL, respectivamente, los otros puntos si lo cumplieron.

Figura 5.1-125 Coliformes fecales y coliformes totales registrados en los puntos monitoreados



Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

5.1.5.4.3.1.4 Índices de contaminación -ICOS

A partir del resultado del análisis fisicoquímico de las muestras tomadas y con base en las fórmulas anteriormente descritas se calcularon los índices de contaminación – ICOS para los puntos de agua monitoreados que se encuentran ubicados en lugar de muestreo Ponedora – Atlántico. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos y más adelante se detallan los mismos.

Cabe resaltar que el índice ICOMI no pudo ser calculado debido a que los parámetros dureza total y alcalinidad no fueron solicitados en este monitoreo.

Tabla 5.1-70 Resultados índices de contaminación -ICOS-

NOMBRE DEL PUNTO	ÍNDICE				
	ICOMI	ICOMO	ICOSUS	ICOpH	ICOTRO
OCP8	---	0,333	0,000	0,042	EUTROFÍA
OCP9	---	0,228	0,244	0,016	EUTROFÍA
OCP5	---	0,350	1,000	0,007	HIPEREUTROFÍA
OCP1	---	0,494	0,000	0,006	EUTROFÍA

Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

El grado de afectación por materia orgánica (ICOMO) caracterizó a los puntos OCP8, OCP9 y OCP5 con una leve incidencia antrópica y con baja contaminación, y al punto OCP1 con una notable actividad antrópica y un grado de contaminación medio.

El índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) clasificó los puntos OCP8 y OCP1 con ningún tipo de contaminación caracterizándolos como cuerpos de aguas puras. Por otro lado, al punto OCP9 lo clasificó con un grado de contaminación bajo con leve incidencia antrópica, y al punto OCP5 con un grado de contaminación muy alto, caracterizándolo como un área muy contaminada por los sólidos suspendidos totales.

Todos los puntos evaluados, reportaron un índice de contaminación ICOpH con ningún tipo de contaminación, caracterizándolos como cuerpos de aguas puras.

Finalmente, el índice evaluado por el fósforo total (ICOTRO), clasificó al punto OCP5 con hipereutrofía ya que reportó un valor de fósforo total >1,00 mg P/L, a los demás puntos los clasificó con eutrofía ya que reportaron valores de fósforo total entre 0,02 – 1,00 mg P/L.

5.1.5.4.3.1.4.1 Índices de calidad del agua

A partir del resultado del análisis fisicoquímico de las muestras tomadas y con base en el resultado de los parámetros oxigeno dicuelto, coliformes fecales, pH, DBO5, temperaturas, fosfato total, nitratos, turbiedad y sólidos totales se calcularon los subíndices y posteriormente se calculó el índice de calidad del agua – ICA para los puntos de agua monitoreados que se encuentran ubicados en lugar de muestreo

Ponedora – Atlántico. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos y más adelante se detallan los mismos.

Cabe resaltar que el cálculo del ICA se realizó sin tener en cuenta los parámetros de nitratos, sólidos totales y fosfatos totales.

Tabla 5.1-71 Resultados índice de calidad del agua -ICA-

NOMBRE DEL PUNTO	ICA	
OCP8	66,72	Media
OCP9	71,94	Buena
OCP5	53,68	Media
OCP1	62,4	Media

Fuente: (ECOSAM S.A.S., 2021)

El índice de calidad del agua – ICA clasificó a los puntos OCP8, OCP5 y OCP1 con mediana calidad, y al punto OCP9 con buena calidad.

5.1.5.4.3.2 Conclusiones

Los valores de conductividad reportados en el monitoreo oscilaron en valores entre 63,6 µs/cm a 102,3 µs/cm, presentando la menor concentración en el punto OCP9 y la mayor en el punto OCP1, respectivamente. Este parámetro no está contemplado en los límites dictados por la normativa ambiental vigente.

El punto OCP9 registró la menor concentración de oxígeno disuelto reportando un valor de 4,87 mg/L y el punto OCP1 registró la mayor concentración reportando un valor de 6,21 mg/L. Este parámetro no está contemplado en los límites dictados por la normativa ambiental vigente.

Todos los puntos del monitoreo cumplieron con los límites mínimos estipulados en los artículos 38 y 40 del Decreto 1594 de 1984 (5 unidades de pH y 4,5 unidades de pH) y con los límites máximos estipulados en los artículos 38, 39 y 40 del Decreto 1594 de 1984 (9 unidades de pH y 8,5 unidades de pH). En cuanto al límite mínimo del artículo 39 del Decreto 1594 de 1984.todos los puntos monitoreados están por debajo de éste, ya que reportaron valores inferiores a 6,5 unidades de pH de 5,90 unidades de pH, 6,19 unidades de pH, 6,41 unidades de pH y 6,45 unidades de pH, respectivamente.

La temperatura ambiente durante el monitoreo oscilo entre 30,7 °C a 34,8 °C, y la temperatura de la muestra entre 21,5 °C a 31,9 °C, evidenciando un comportamiento aparentemente normal entre temperatura de la muestra y temperatura ambiente. Este parámetro no está contemplado en los límites dictados por la normativa ambiental vigente.

La turbiedad reportada oscilo con valores registrados entre <0,1 JTU a 24,5 JTU. El punto OCP8 se registró por debajo del límite de cuantificación del laboratorio y fue el que reportó el menor valor, y el punto OCP5 reportó el mayor valor registrándose en 24,5 JTU. Con respecto a la norma, todos los puntos cumplen con el límite máximo permisible estipulado en el artículo 39 del Decreto 1594 de 1984 exceptuando el punto OCP5 que supero el límite máximo permisible estipulado en el artículo 39 del Decreto 1594 de 1984.

Los parámetros relacionados con los sólidos que se analizaron fueron: sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales y sólidos sedimentables. El punto OCP5 registró la mayor concentración de sólidos suspendidos totales reportando un valor de 1.112 mg/L y el punto OCP8 registró la menor concentración reportándose por debajo del límite de cuantificación del laboratorio < 6,00 mg/L. Y en cuanto a lo sólidos sedimentables registraron valores entre 0,400 mL/L a 3,00 mL/L, registrándose la menor concentración en el punto OCP8 y la mayor concentración se registró en el punto OCP9. Estos parámetros no están contemplados en los límites dictados por la normativa ambiental vigente.

Las grasas y aceites se registraron por debajo del límite de cuantificación del laboratorio < 8,00 mg/L. De igual manera, los hidrocarburos reportados se registraron por debajo del límite de cuantificación del laboratorio < 8,00 mg/L. Estos parámetros no están contemplados con límite máximo permisible por la normativa ambiental vigente.

En el estudio los compuestos de materia orgánica DBO5 y DQO presentaron comportamientos normales en todos los puntos registrando una relación DBO5 < DQO; la mayor concentración de DBO5 y de DQO se registraron en el punto OCP8

reportando un valor de 34,4 mg/L de DBO5 y una concentración de 139 mg O2/L de DQO. Estos parámetros no están contemplados con límite máximo permisible por la normativa ambiental vigente.

En el estudio del parámetro de fósforo total, como representante de los compuestos de fósforo, registró valores entre 0,078 mg PO4-3-P/L a 1,16 mg PO4-3-P/L, en dónde la mayor concentración la registró el punto OCP5 y la menor el punto OCP8. Este parámetro no está contemplado en los límites dictados por la normativa ambiental vigente.

Dentro de los compuestos de nitrógeno se analizó el nitrógeno total Kjeldahl, este parámetro registró valores entre 8,18 mg/L N a 56,2 mg/L N, en dónde, el punto OCP1 registró el menor valor y el punto OCP8 reportó el mayor valor.

Los coliformes fecales registrados en el monitoreo dieron valores entre <1,8 NMP/100 mL a 45 NMP/100 mL, cumpliendo así todos los puntos con el límite máximo permisible estipulado en el artículo 38 del Decreto 1594 de 1984 de 2000 NMP/100 mL. Por otro lado, los coliformes totales en todos los puntos cumplen con el límite máximo permisible estipulado en el artículo 38 del Decreto 1594 de 1984 de 20000 NMP/100 mL ya que reportaron valores inferiores, pero en cuanto al límite máximo permisible estipulado en el artículo 39 del Decreto 1594 de 1984 de 1000 NMP/100 mL los puntos OCP5 y OCP1 lo superan, ya que reportaron valores de 1300 NMP/100 mL y 4000 NMP/100 mL, respectivamente, los otros puntos si lo cumplieron.

El grado de afectación por materia orgánica (ICOMO) caracterizó a los puntos OCP8, OCP9 y OCP5 con una leve incidencia antrópica y con baja contaminación, y al punto OCP1 con una notable actividad antrópica y un grado de contaminación medio.

El índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) clasificó los puntos OCP8 y OCP1 con ningún tipo de contaminación caracterizándolos como cuerpos de aguas puras. Por otro lado, al punto OCP9 lo clasificó con un grado de

contaminación bajo con leve incidencia antrópica, y al punto OCP5 con un grado de contaminación muy alto, caracterizándolo como un área muy contaminada por los sólidos suspendidos totales.

Todos los puntos evaluados, reportaron un índice de contaminación ICOpH con ningún tipo de contaminación, caracterizándolos como cuerpos de aguas puras.

El índice evaluado por el fósforo total (ICOTRO), clasificó al punto OCP5 con hipereutrofía ya que reportó un valor de fósforo total >1,00 mg P/L, a los demás puntos los clasificó con eutrofía ya que reportaron valores de fósforo total entre 0,02 – 1,00 mg P/L.

El índice de calidad del agua – ICA clasificó a los puntos OCP8, OCP5 y OCP1 con mediana calidad, y al punto OCP9 con buena calidad.

5.1.6 Usos del agua

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.

Con el fin de cumplir con lo establecido en los términos de referencia TdR-015 y TdR-17, a continuación, se presenta la caracterización de usos del agua, la cual se realizó para las corrientes de directa intervención por ocupaciones de cauce y en general para aquellas presentes en el área de influencia que estén expuestas a los posibles impactos por el desarrollo del proyecto. Es preciso aclarar que el proyecto no requerirá concesiones ni vertimientos sobre el recurso como se indica en el capítulo 7 Demanda, uso y aprovechamiento de recursos.

El área del proyecto se localiza en la subzona hidrográfica objeto de ordenamiento denominada *Complejo de Humedales de la vertiente occidental del Río Magdalena*, por lo tanto, el presente apartado contiene la revisión de información secundaria procedente del Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Magdalena en el departamento del Atlántico (2007) y de la consulta del registro de

usuarios facilitado por la CRA el día 4 de junio de 2021 (Ver Anexo 2/Metodología/2.1 Comunicación con Entidades/2.1.2 Consultas territoriales 2021-2022/CRA). Posteriormente se presentan los resultados de un levantamiento de información primaria detallada de todos los usos y usuarios identificados en el área de intervención del proyecto.

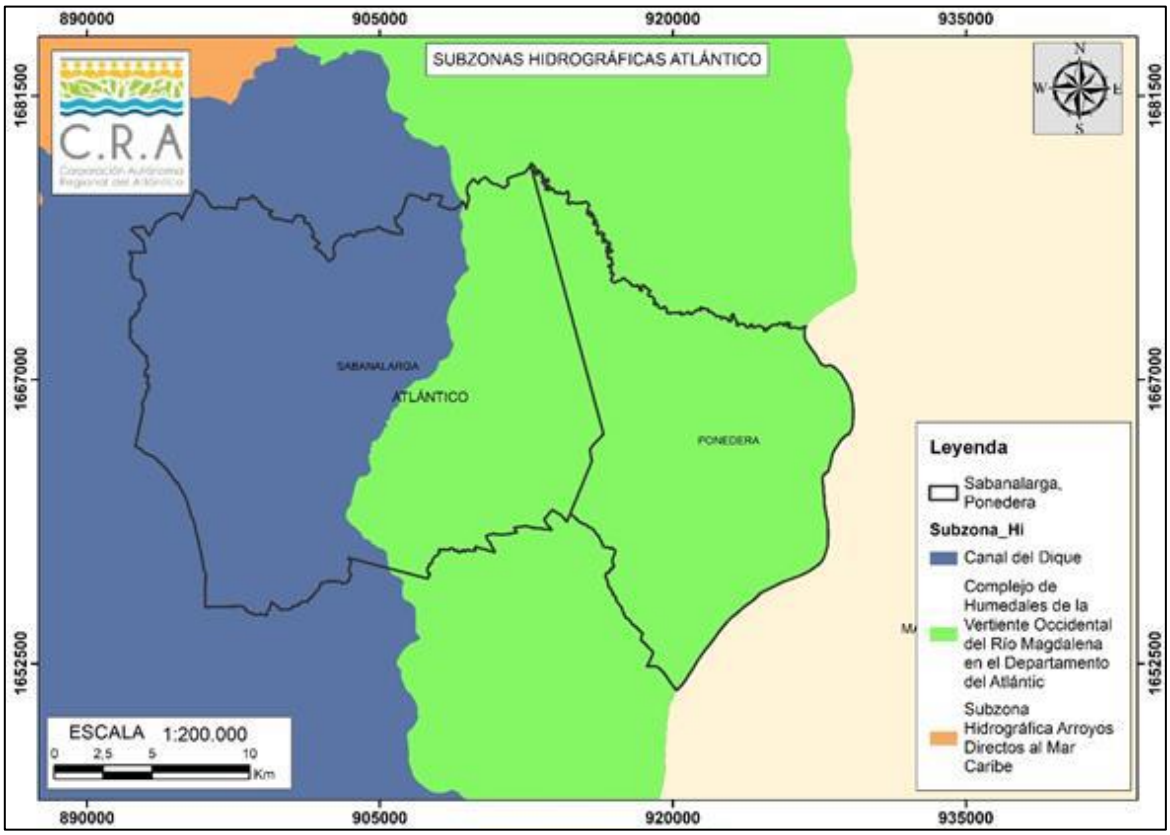
Finalmente se determina los posibles conflictos actuales sobre la disponibilidad y usos del agua, por medio de la información secundaria consultada y lo evidenciado en las visitas a campo (Del 19 al 24 de abril de 2021) en el marco de las encuestas de usos y usuarios llevadas a cabo en el área de influencia del proyecto. Para ver las encuestas con mayor detalle ver Anexo 5.1. Abiótico/ 5.1.5 Usos del Agua.

5.1.6.1 Información secundaria de usos y usuarios

A nivel general, 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 elaborado en el año 2007, la cuenca del Río Magdalena ocupa casi una tercera parte del territorio del departamento del atlántico con una superficie de 107.224 hectáreas (1.072 Km^2) la cual se extiende desde el municipio de Suan al sur del departamento hasta el corregimiento de las Flores en Barranquilla.

El municipio de Ponedera en su totalidad hace parte de la Cuenca del Río Magdalena específicamente de la subzona complejo de humedales de la vertiente occidental del Río Magdalena en el departamento del Atlántico abarcando los corregimientos de Martillo, Puerto Giraldo, La Retirada y Santa Rita, por otra parte el municipio de Sabanalarga lo conforman la Unidad Geográfica Norte Embalse del Gúajaro del Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Complejo de Humedales del Canal del Dique (POMCA Canal del Dique) (2008) y la cuenca del Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Magdalena en el Departamento del Atlántico (POMCA Río Magdalena)(2007). (ver Figura 5.1-126).

Figura 5.1-126 Subzonas hidrográficas departamento del Atlántico[17]



Fuente: (Corporación Autónoma Regional del Atlántico, 2021)

El POMCA del Río Magdalena señala que el municipio de Ponedera toma el agua del Río Magdalena, y la empresa que suministraba el servicio referencia a Aguas de la Ribera con una cobertura del 95% en el municipio (ver Tabla 5.1-72) indicando que la calidad del agua no es apta para consumo humano; actualmente en el municipio, quien opera y suministra el servicio de acueducto es la empresa Triple A S.A. E.S.P. en el área de la cabecera municipal y en los corregimientos de Martillo y La Retirada.

Según el POMCA del Río Magdalena del año 2007, el municipio de Sabanalarga era abastecido por la empresa de acueducto Triple A, que a su vez se provee de nueve (9) pozos profundos con una cobertura del 73 % del municipio (ver Tabla 5.1-72), actualmente la empresa prestadora del servicio sigue siendo Triple A S.A. E.S.P que

[17] *Ver anexo 2/Metodología/2.1 Comunicación con Entidades/2.1.2 Consultas territoriales 2021-2022/CRA*

según la presentación de *Avances PDA del Atlántico Fortalecimiento empresas AAA del sector rural,* la construcción del Acueducto Regional Sabanalarga-Ponedera con capacidad de 400 lps – 23 km y 33 Km, en redes de distribución, va a ampliar la cobertura del 69% al 98% (Ver Figura 5.1-127).

Tabla 5.1-72 Servicio de acueducto en los municipios de Ponedera y Sabanalarga

MUNICIPIO	FUENTE DE DONDE TOMA EL AGUA	ACUEDUCTO Y EMPRESA QUE SUMINISTRA EL SERVICIO	COBERTURA (%)	FRECUENCIA PRESTACIÓN DEL SERVICIO	CALIDAD DEL AGUA
Ponedera	Río Magdalena	Empresa aguas de la Ribera*	95%	12 a 24 horas diarias	No es apta para consumo humano
Sabanalarga	Nueve pozos profundos	Triple A	73%	24 horas – cada 12 días	Apta para consumo humano

*Estos datos hacen referencia al año 2007, año en el cual se realizó la publicación del POMCA, actualmente es operado por la empresa Triple A S.A. E.S.P.

Fuente: Agenda Socioambiental del Desarrollo Sostenible de las Comunidades del Departamento del Atlántico e Informe Anual sobre el Estado de los Recursos Naturales y el Medio Ambiente en el Departamento del Atlántico, tomado de (CRA, CORMAGDALENA, & CONSERVACIÓN INTERNACIONAL, 2007)

Figura 5.1-127 Trazado Tubería de Conducción



Fuente: (Atlántico & Secretaría de agua potable y saneamiento básico, 2019)

En relación con el sistema de alcantarillado, el POMCA del Río Magdalena 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[18].

Sin embargo, el (Plan de Desarrollo Municipal 2016 – 2019 de Sabanalarga)[19] y el (Plan de Desarrollo Municipal 2016-2019 de Ponedera)[20] 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 5.1-73se relaciona la cobertura de los servicios.

Tabla 5.1-73 Cobertura de servicios de acueducto y alcantarillado en los municipios de Sabanalarga y Ponedera

COBERTURA SERVICIO PÚBLICO	MUNICIPIO			
	SABANALARGA		PONEDERA	
	URBANO	RURAL	URBANO	RURAL
Acueducto	87%	51,2%	87,9%	34,1%
Alcantarillado	76%	2,4%	85%	20%

Fuente: Alcaldía se Sabanalarga, Alcaldía municipal de Ponedera.

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, realizadas por los mismos propietarios de los predios.

[18] *CRA, CORMAGDALENA Y CONSERVACIÓN INTERNACIONAL. Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Magdalena en el Departamento del Atlántico, 2007*
[19] *Alcaldía de Sabanalarga, Atlántico. Plan de Desarrollo Municipal 2016 – 2019 de Sabanalarga*
[20] *Alcaldía municipal de Ponedera, Atlántico. Plan de Desarrollo Municipal 2016-2019 de Ponedera*

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 se efectuó consulta a la CRA con el objetivo de identificar los usos y usuarios presentes en el área de influencia del proyecto, recibiendo respuesta mediante radicado 001693 de junio 04 del 2021, la cual es presentada con todos los puntos concedidos en los municipios Ponedera y Sabanalarga, en el Anexo 2.1. Comunicación con Entidades, en la subcarpeta 2.1.2.6 Corporación Autónoma Regional del Atlántico CRA se localiza el Listado de las concesiones y vertimientos.

En la Tabla 5.1-74 se muestra el inventario de usuarios y usos concedidos por la CRA, y en Tabla 5.1-75 se muestran los vertimientos concedidos por la CRA, de los cuales ninguno se encuentra inmerso en el área de influencia del proyecto como se observa en la Figura 5.1-128 y en la Figura 5.1-129. De estos reportes es posible

dar una breve conclusión, que son pocos los sitios de concesiones y vertimientos reglamentados por la autoridad ambiental

Tabla 5.1-74 Inventario de usos concedidos por la CRA en los Municipios de Ponedera y Sabanalarga

MUNICIPIO	CORREGIMIENTO / CENTRO POBLADO	NOMBRE PREDIO	TIPO FUENTE	FUENTE	USO	NÚMERO EXPEDIENTE	CAUDAL CONCESIONADO (lts/seg)	Coordenadas CTM 12	
								Este	Norte
Ponedera	Puerto Giraldo	Las Flores	Superficial	Río Magdalena	Zoocriadero de babilla y caimán del Magdalena	1301-005	2,52	4801485,32	2718474,75
Ponedera		Granja Avícola “Las Mercedes”	Subterránea		Actividades pecuarias y domésticas (aves de corral)	1301-097	0,5	4807715,53	2734031,12
Ponedera	Martillo	Granja Avícola Tropicana	Superficial	Represa	Actividades pecuarias (aves de corral)	1301-517	2	4802470,11	2732808,64
Ponedera		Granja Avícola Villa Ponedera	Subterránea		Actividades pecuarias (aves de corral)	1327-441	1,74	4805840,41	2730236,11
Ponedera		ETAP Sabanalarga, Ponedera	Superficial	Río Magdalena	Abastecimiento municipios de Sabanalarga y Ponedera y los corregimientos de Martillo, Retirada, Santa Rita y Cacajal	1727-334	400	4810819,17	2730416,22
Ponedera		Los Tres Hermanos	Subterránea		Piscícola		1,68	4808072,01	2735279,23
Sabanalarga		Los Manantiales	Subterránea		Explotación minera o tratamiento de minerales	1727-729	0,218	4790781,77	2736805,34
Sabanalarga	La Peña	Curramba	Superficial	Embalse	Piscícola	1709-021	93,75	4889420,42	2725776,63
Sabanalarga		Finca Los Manantiales	Subterránea		Baño y cocina estación de servicio EDS	1527-389	12	4790801,67	2736780,95
Sabanalarga	Agua de Pablo	Villa Angela	Superficial	Embalse El Guájaro	Piscícola	1701-449	4000000	4887888,12	2724339,99
Sabanalarga	Colombia	Granja Avícola Aurora	Subterránea		Actividades pecuarias (aves de corral)		20	4782984,33	2734718,50
Sabanalarga	Agua de Pablo	Finca niña Pame	Subterránea		Actividades pecuarias y domésticas	1701-264	4,7	4889960,80	2723003,71
Sabanalarga		Agroecológico de Sabanalarga-CEDAGRO	Subterránea		Uso doméstico y actividades de enseñanza en ambientes agroindustriales	1701-227	0,6	4791266,91	2737331,62

MUNICIPIO	CORREGIMIENTO / CENTRO POBLADO	NOMBRE PREDIO	TIPO FUENTE	FUENTE	USO	NÚMERO EXPEDIENTE	CAUDAL CONCESIONADO (lts/seg)	Coordenadas CTM 12	
								Este	Norte
Sabanalarga	Molineros	El silencio	Superficial	Embalse El Guájaro	Piscícola	1709-021	321	4775439,13	2730429,23

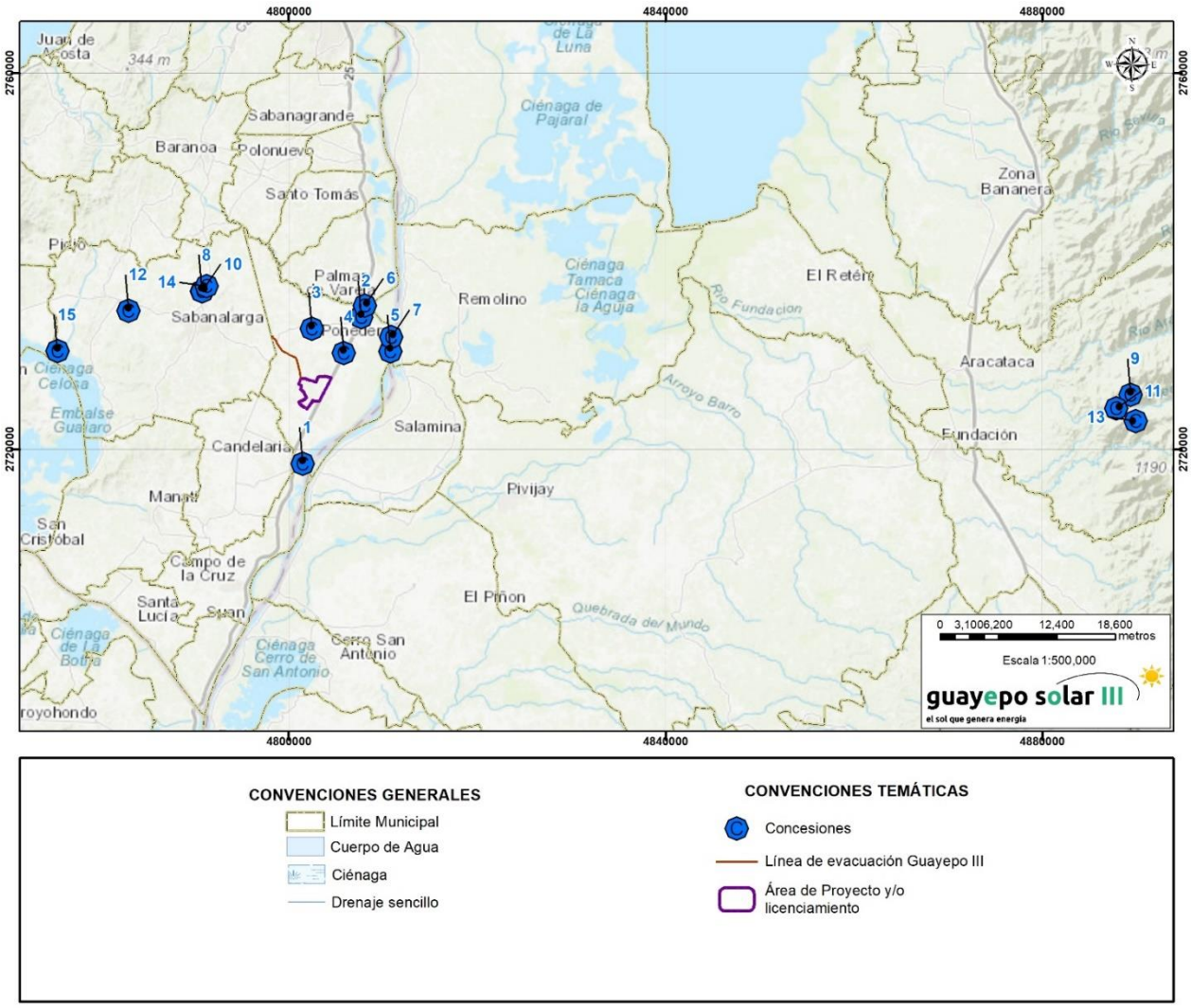
- *Fuente: (Corporación Autónoma Regional del Atlántico, 2021)*

Tabla 5.1-75 Inventario de permisos de vertimiento por la CRA en los Municipios de Ponedera y Sabanalarga

MUNICIPIO	CORREGIMIENTO / CENTRO POBLADO	NOMBRE PREDIO	TIPO VERTIMIENTO	FUENTE	RESOLUCIÓN	VIGENCIA	CAUDAL DISEÑO ST (lts/seg)	Coordenadas CTM 12	
								Este	Norte
Ponedera	Puerto Giraldo	Las Flores	Residual industrial	Suelo	323	10 años	1,941		
Ponedera		Planta de producción	Residual industrial	Alcantarillado	498	5 años	2	4790987,22	2734499,59
Ponedera		Las Trinitarias	Agua Residual no Domestica		1031			4807644,07	2734449,57
Sabanalarga		La Esperanza	Residual industrial	Arroyo Canetico (carretico)	434	5 años	2	4789707,78	2733345,42
Sabanalarga		Clinica San Rafael	Residual industrial	Alcantarillado	755	5 años	0,0026	4782541,83	2734566,51
Sabanalarga	Colombia	Granja Avícola Aurora	Residual industrial	Suelo (Infiltración)	852	5 años	0,34	4788888,44	2669641,47
Sabanalarga		Estación de Servicios Los Ángeles	Residual no domestico	Pozo de infiltración	470	5 años	0,004	4808243,19	2734977,55
Sabanalarga	Isabel López	Institución Educativa José Consuegra Higgins	Agua Residual Domestica	Sin Nombre (IE José Consuegra Higgins)	35	5 años	0,1967	4781262,64	2738962,15
Sabanalarga	Aguada de Pablo	Institución Educativa San José Aguada de Pablo	Agua Residual Domestica	Arroyo Rico	36	5 años	0,27	4780337,27	2721270,41
Sabanalarga	Gallego	Institución Educativa San Cayetano de Gallego	Agua Residual Domestica	Sin Nombre (IE San Cayetano de Gallego)	37	5 años	0,11	4789806,45	2725201,39

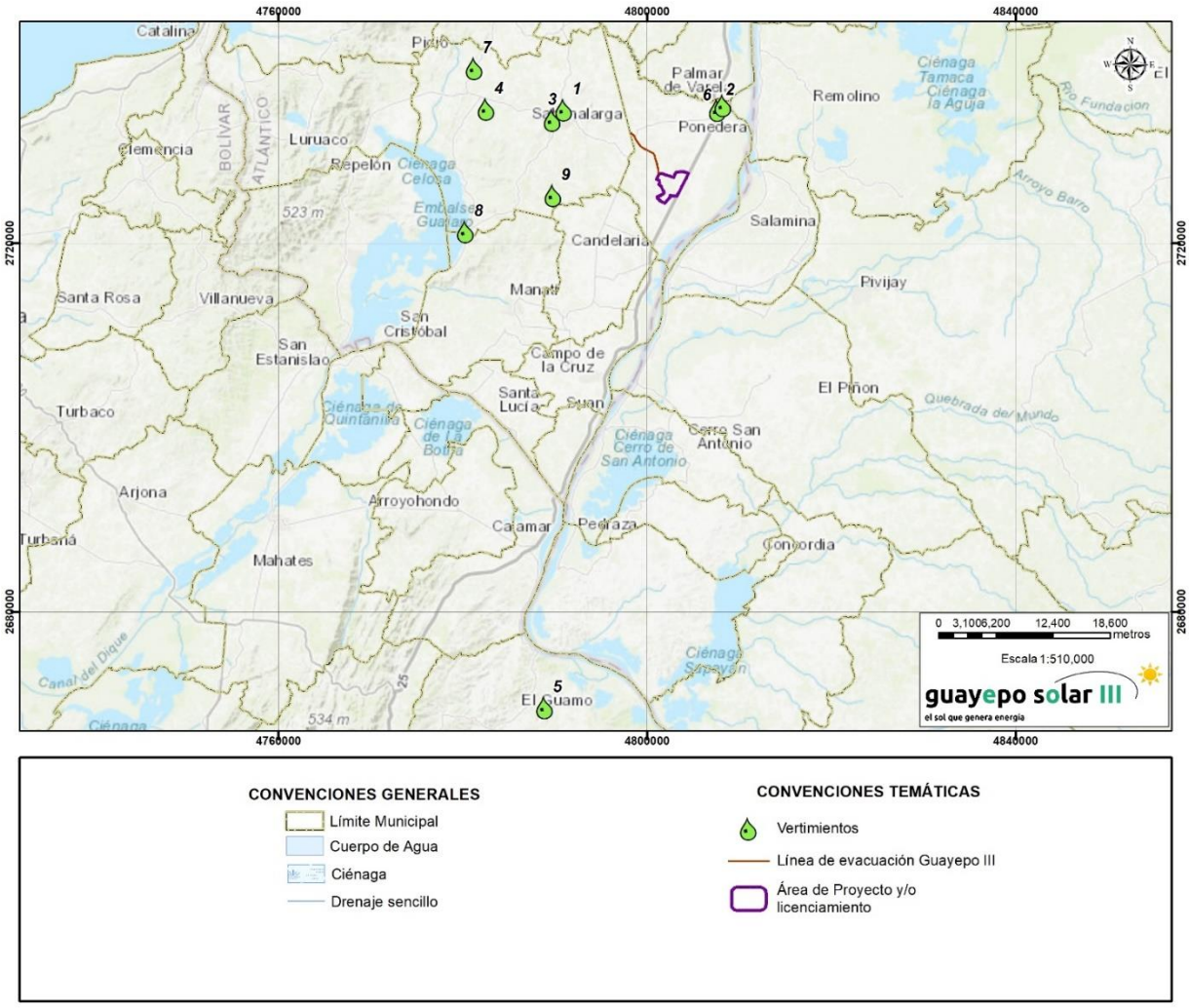
Fuente: (Corporación Autónoma Regional del Atlántico, 2021)

Figura 5.1-128 Inventario de usos concedidos por la CRA



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Figura 5.1-129 Inventario de permisos de vertimiento por la CRA



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Por otra parte, se hizo una revisión los usos del agua en las ciénagas o conjunto de humedales presentes en los municipios de interés, donde se destaca que, en el municipio de Ponedera, se encuentra al suroriente de la cabecera municipal en la margen izquierda del Río Magdalena la Ciénaga El Uvero o el Conjunto de humedales El Uvero, donde ambos sistemas, ciénaga y río, constituyen el recurso natural más importante del municipio. Esta ciénaga es el resultado del reducto de antiguos cauces del Río Magdalena, con el que se comunica a través de caños o bocas naturales y artificiales, y a través de los desbordamientos.

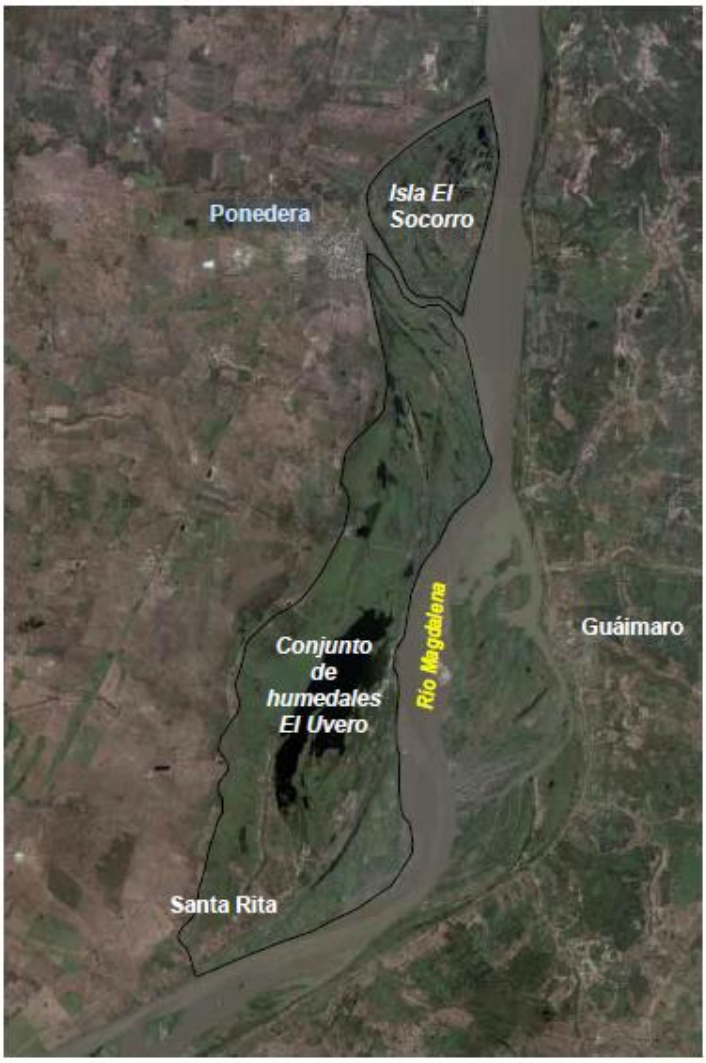
La ciénaga El Uvero es el principal espejo de agua del sistema cenagoso del municipio de Ponedera y recibe las aguas de los arroyos El Cojo y Guayepo siendo los dos tributarios más importantes de la ciénaga. También recibe aportes de agua por escorrentía y la lluvia directa.

La pesca artesanal es el uso más importante de la ciénaga. Algunos de los problemas que enfrenta la ciénaga son el sobrepastoreo, la erosión de la barra que la separa del río, la tala indiscriminada de la vegetación de galería, la caza descontrolada, métodos ilícitos de pesca y la sobrepoblación de taruya (Eichhornia cressipes), (Laboratorío LIMA LTDA, 2014).

Dentro del Conjunto de humedales El Uvero se incluye la isla El Socorro, se percibe que se ha mantenido durante largo tiempo, aunque ha cambiado ligeramente de forma por la evolución de los brazos que dividen el caudal del río, la isla se encuentra colonizada en alto porcentaje para la explotación y uso de ganadería y cultivos de pancoger (CRA, CORMAGDALENA, & CONSERVACIÓN INTERNACIONAL, 2007), ver Figura 5.1-130.

Cabe resaltar que ninguna ciénaga o conjunto de humedales serán objeto de intervención por las actividades del proyecto.

Figura 5.1-130 Conjunto de humedales El Uvero



Fuente: (CRA, CORMAGDALENA, & CONSERVACIÓN INTERNACIONAL, 2007)

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[21], fuera del área a licenciar.

[21] *Alcaldía municipal de Sabanalarga. Consulta el 28 de marzo de 2020 de: http://www.sabanalarga-atlantico.gov.co/*

5.1.6.2 Identificación primaria de usos y usuarios

A partir del trabajo realizado en campo, se identificaron los usuarios en el área de influencia preliminar para el componente geosférico, y los usos que hacen del recurso hídrico para el desarrollo de sus actividades domésticas y económicas.

Durante los recorridos de campo se evidenció que los usuarios se abastecen de agua para sus diferentes actividades domésticas, pecuarias y piscícolas mediante la compra del recurso, por medio de la red del Acueducto Regional Sabanalarga-Ponedera, y por medio del almacenamiento de agua lluvia en jagüeyes.

Como parte del trabajo de caracterización in situ, se realizaron 20 encuestas de usos y usuarios desde el 19 al 24 de abril de 2021. El formato de encuesta realizada, así como los registros de las encuestas se encuentran en el Anexo 5.1.5. Usos del agua.

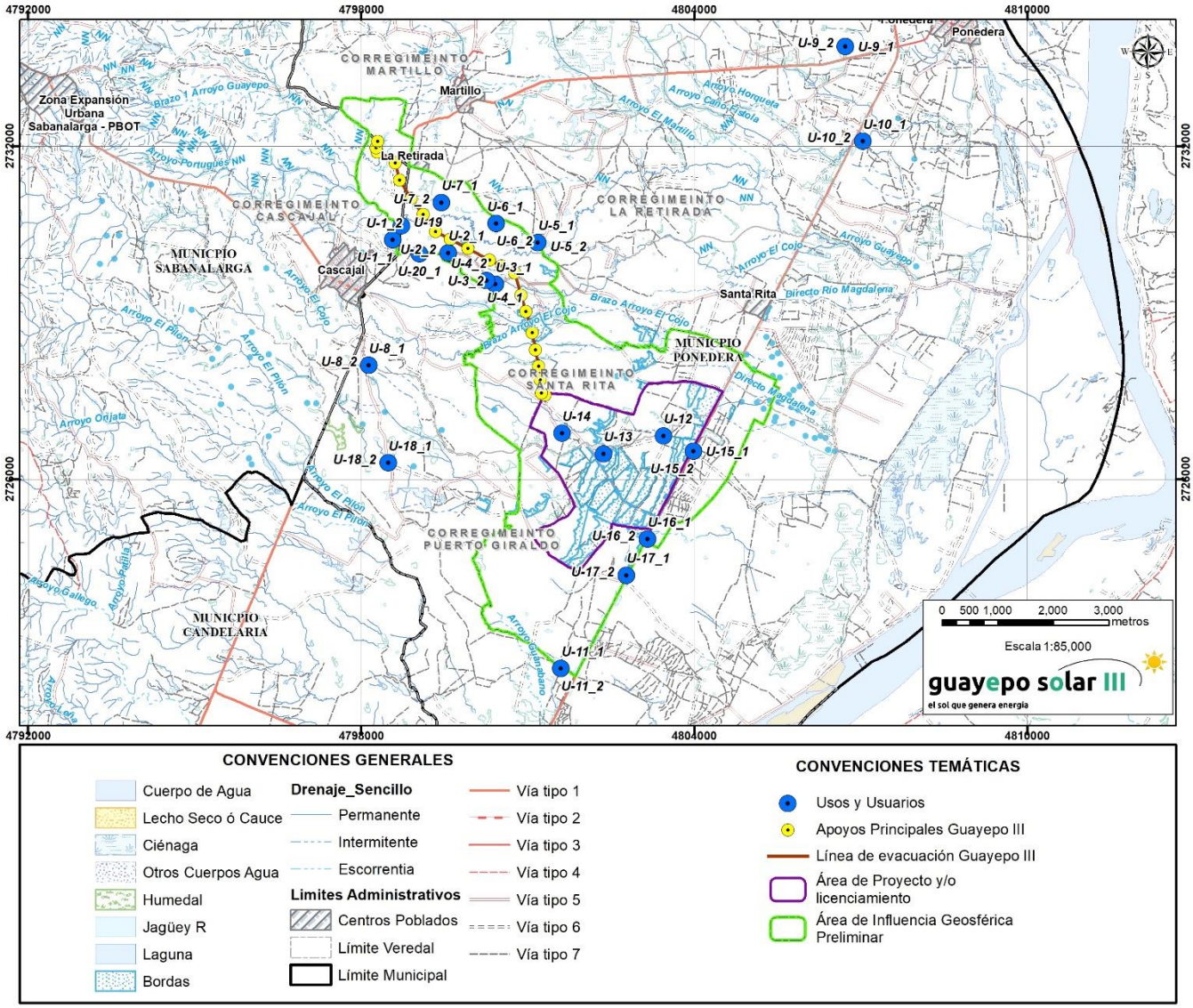
En la Tabla 5.1-76 se relacionan los puntos georreferenciados del inventario de usos y usuarios identificados.

Tabla 5.1-76 Inventario de usos y usuarios

ID	NOMBRE	COORDENADAS ORIGEN ÚNICO NACIONAL CTM12	
		ESTE	NORTE
U-1	Finca Divino Niño	4798571,21	2730311,15
U-2	Finca Villa Mary	4799569,03	2730078,78
U-3	Finca La Bendición	4800419,74	2729512,05
U-4	Finca Don Santi	4800260,05	2729582,58
U-5	Finca Guayepo	4801187,05	2730265,11
U-6	Finca María Isidora	4800433,53	2730607,59
U-7	Finca Hacienda La María	4799446,21	2730984,86
U-8	Finca California	4798141,57	2728054,49
U-9	Finca La Mitad	4806726,12	2733797,50
U-10	Finca Villa Adriana	4807038,07	2732091,11
U-11	Finca San Miguel	4801604,39	2722589,64
U-12	Finca Buena Vista – primera casa	4803450,13	2726782,64
U-13	Finca Buena Vista – segunda casa	4802372,43	2726459,49
U-14	Finca Buena Vista – tercera casa	4801620,00	2726829,94
U-15	Finca La montaña	4803986,96	2726505,89
U-16	Finca Las torres	4803160,81	2724920,37
U-17	Finca La Antonisa	4802783,72	2724269,92
U-18	Finca Paraíso terrenal	4798491,35	2726294,95
U-19	Finca Sin Nombre	4798730,03	2730563,51
U-20	Finca Villa Mary	4799053,16	2730060,58

Fuente: INGENOSTRUM S.A.S, 2021

Figura 5.1-131 Localización inventario usos y usuarios



Fuente: INGENOSTRUM S.A.S, 2021

La información recolectada mediante el mecanismo de encuestas se encuentra consolidada en la

Tabla **5.1-77**, donde se encuestaron 20 usuarios en el área de influencia geosférica.

Tabla 5.1-77 Usos y usuarios identificados en el área de estudio durante recorridos en campo

ID	NOMBRE	USOS					ABASTECIMIENTO	REGISTRO
		Ch	Pe	Ag	E	Re		
U-1	Finca Divino Niño	x	x		x		La finca cuenta con jagüey donde se almacena el agua que utilizan para su actividad económica principal que es la ganadería, riego de plantas ornamentales, agricultura de pancoger y para el consumo de especies menores. El agua para consumo humano proviene del acueducto cuyo servicio es prestado por la empresa Triple A.	Ver Fotografía 5.1-22 Fotografía 5.1-23
U-2	Finca Villa Mary	x	x	x	x		La finca cuenta con jagüey donde se almacena el agua que utilizan para su actividad económica principal que es la ganadería, riego de plantas ornamentales, agricultura de pancoger y para bañarse. El agua para consumo humano proviene de la empresa Triple A, la cual es comprada por un tercero y es transportada y almacenada en “calambucos” o canecas. El usuario reporta que cada día de por medio deben hacer la compra de tres “calambucos” o canecas, una caneca equivale a 40 litros aproximadamente.	Ver Fuente: Fotografía 5.1-24 Fotografía 5.1-25
U-3	Finca La Bendición	x	x				La finca cuenta con dos jagüeyes donde se almacena el agua que utilizan para su actividad económica principal que es la ganadería, riego de plantas ornamentales, agricultura de pancoger y para bañarse. El agua para consumo humano proviene de la empresa Triple A, la cual es comprada en Santa Rita y es transportada y almacenada en “calambucos” o canecas. El jagüey próximo a la entrada se encontraba seco y no fue posible visitar el otro. El usuario reporta que cada tres días deben hacer la compra de dos “calambucos” o canecas, una caneca equivale a 40 litros aproximadamente.	Ver Fotografía 5.1-26
U-4	Finca Don Santi	x	x	x	x		La finca cuenta con dos jagüeyes donde se almacena el agua que utilizan para su actividad económica principal que es la ganadería, riego de plantas ornamentales, agricultura de pancoger, pastizales y para bañarse. El agua para consumo humano proviene de la empresa Triple A, la cual es comprada en Santa Rita y es transportada y almacenada en “calambucos” o canecas. El agua se extrae de los jagüeyes por medio de motobomba. El usuario reporta que cada 15 días deben hacer la compra de ocho “calambucos” o canecas, una caneca equivale a 40 litros aproximadamente.	Ver Fotografía 5.1-27 Fotografía 5.1-28 Fotografía 5.1-29
U-5	Finca Guayepo	x	x		x		La finca cuenta con un jagüey donde se almacena el agua que utilizan para su actividad económica principal que es la ganadería, riego de plantas ornamentales, agricultura de pancoger, pastizales y para bañarse. El agua para consumo humano proviene de la empresa Triple A, la cual es comprada en La Retirada y es transportada y almacenada en “calambucos” o canecas. El usuario reporta que cada ocho días deben hacer la compra de seis “calambucos” o canecas, una caneca equivale a 40 litros aproximadamente.	Ver Fotografía 5.1-30

ID	NOMBRE	USOS					ABASTECIMIENTO	REGISTRO
		Ch	Pe	Ag	E	Re		
U-6	Finca María Isidora	x	x		x		La finca cuenta con dos jagüeyes donde se almacena el agua que utilizan para su actividad económica principal que es la ganadería, riego de plantas ornamentales, agricultura de pancoger, pastizales. El agua para consumo humano proviene de la empresa Triple A, la cual es comprada en La Retirada y es transportada y almacenada en “calambucos” o canecas. El usuario reporta que cada seis días deben hacer la compra de 10 “calambucos” o canecas, una caneca equivale a 40 litros aproximadamente.	Ver Fotografía 5.1-31 Fotografía 5.1-32 Fotografía 5.1-33
U-7	Hacienda La María	x	x	x	x		La Hacienda cuenta con seis jagüeyes donde se almacena el agua que utilizan para su actividad económica principal que es la ganadería, riego de plantas ornamentales, agricultura de pancoger, pastizales y cultivo de pan coger como mango, papaya. El agua para consumo humano proviene de la empresa Triple A, la cual es comprada en La Retirada y es transportada y almacenada en “calambucos” o canecas. También cuenta con pozo de agua subterránea el agua es utilizada para animales y para las actividades domésticas como el lavado de ropa y enceres. La hacienda cuenta con un tanque de almacenamiento de agua lluvia el cual es concreto y el agua es utilizada para consumo	Ver Fotografía 5.1-34 Fotografía 5.1-35 Fotografía 5.1-36 Fotografía 5.1-37
U-8	Finca California	x	x		x		La finca cuenta con tres jagüeyes donde se almacena el agua que utilizan para su actividad económica principal que es la ganadería, riego de plantas ornamentales, agricultura de pancoger, pastizales, también cuentan con pozo de agua subterránea para el consumo de animales. El agua para consumo humano proviene de la empresa Triple A, la cual es comprada en La Retirada y es transportada y almacenada en “calambucos” o canecas.	Ver Fotografía 5.1-38
U-9	Finca La Mitad	x	x		x		La finca cuenta con jagüey donde se almacena el agua que utilizan para su actividad económica principal que es la ganadería, riego de plantas ornamentales, agricultura de pancoger, pastizales, también cuentan con pozo de agua subterránea para el consumo de animales. El agua para consumo humano proviene del acueducto de ponedera el servicio es brindado por la empresa Triple A.	Sin registro
U-10	Finca Villa Adriana	x	x	x	x		La finca cuenta con jagüey donde se almacena el agua que utilizan para su actividad económica principal que es la ganadería, riego de plantas ornamentales, agricultura de pancoger, pastizales, también cuentan con pozo de agua subterránea para el consumo de animales y siembre. El agua para consumo humano proviene del acueducto de ponedera el servicio es brindado por la empresa Triple A.	Sin registro
U-11	Finca San Miguel	x	x	x	x		La finca cuenta con cuatro jagüeyes donde se almacena el agua que utilizan para su actividad económica principal que es la ganadería, riego de plantas ornamentales, agricultura de pancoger, pastizales. El agua para consumo humano proviene de la empresa Triple A, la cual es comprada en Santa Rita y es transportada y almacenada en “calambucos” o canecas. Cuentan con un pozo de agua subterránea el cual también es utilizado para el ganado el agua se obtiene por medio de motobomba.	Ver Fotografía 5.1-39 Fotografía 5.1-40

ID	NOMBRE	USOS					ABASTECIMIENTO	REGISTRO
		Ch	Pe	Ag	E	Re		
U-12	Finca Buena Vista – primera casa	x	x		x		La finca Buenavista cuenta con tres casas, la cual alberga tres grupos de familias, en la primera casa la más cercana a la vía principal, cuenta con dos jagüeyes cercanos, el agua es utilizada para el consumo de los animales, consumo humano y para riego.	Ver Fotografía 5.1-41 Fotografía 5.1-42 Fotografía 5.1-43
U-13	Finca Buena Vista – segunda casa	x	x		x		En la segunda casa de la finca buena vista los jagüeyes cercanos son utilizados para la actividad pecuaria, cuentan con un tanque de almacenamiento de agua lluvia la cual utilizan para consumo humano	Sin registro
U-14	Finca Buena Vista – tercera casa	x	x	x	x		La tercera casa de la finca buena vista cuenta con aljibe, tanque de almacenamiento de agua lluvia para consumo humano, y jagüeyes estos son utilizados para la actividad pecuaria, para los pequeños rumiantes como cabras y chivos, caballos, etc., adicional cuentan con animales para la actividad relacionada con el juego o pelea de gallos.	Ver Fotografía 5.1-43 Fotografía 5.1-44
U-15	Finca La montaña	x	x		x		La finca cuenta con jagüey y pozo de agua subterránea el agua es utilizada para su actividad económica principal que es la ganadería, riego de plantas ornamentales, agricultura de pancoger pastizales y para bañarse. El agua para consumo humano proviene de la empresa Triple A, la cual es comprada en Santa Rita y es transportada y almacenada en “calambucos” o canecas.	Sin registro
U-16	Finca Las torres	x	x				La finca cuenta con jagüey y pozo de agua subterránea el agua es utilizada para su actividad económica principal que es la ganadería, riego de plantas ornamentales, agricultura de pancoger, pastizales y para bañarse. El agua para consumo humano proviene de la empresa Triple A, la cual es comprada en Santa Rita y es transportada y almacenada en “calambucos” o canecas. El usuario reporta que cada siete días deben hacer la compra de cuatro “calambucos” o canecas, una caneca equivale a 40 litros aproximadamente.	Sin registro
U-17	Finca La Antonisa	x	x	x	x	x	La finca cuenta con jagüey el agua es utilizada para su actividad económica principal que es la ganadería, riego de plantas ornamentales, agricultura de pancoger, pastizales, hay presencia de un pozo de agua subterránea pero actualmente no se encuentra en uso. El agua para consumo humano la compran en Barranquilla, la finca cuenta con piscina.	Ver Fotografía 5.1-45 Fotografía 5.1-46 Fotografía 5.1-47
U-18	Finca Paraíso terrenal	x	x		x		La finca cuenta con jagüey y pozo de agua subterránea el agua es utilizada para su actividad económica principal que es la ganadería, riego de plantas ornamentales, agricultura de pancoger, pastizales y para bañarse. El agua para consumo humano proviene de la empresa Triple A, la cual es comprada en Cascajal y es transportada y almacenada en “calambucos” o canecas.	Sin registro
U-19	Finca Sin Nombre	x				x	La finca se encuentra sobre la vía nacional el agua para consumo humano proviene de la empresa Triple A, y llega por medio del acueducto Corregimiento, la finca es para uso recreativo	Sin registro

ID	NOMBRE	USOS					ABASTECIMIENTO	REGISTRO
		Ch	Pe	Ag	E	Re		
U-20	Finca Villa Mary	x	x	x	x		El agua potable proviene del acueducto Corregimiento, también cuentan con dos jagüeyes para la cría de patos, para la actividad pecuaria, riego de plantas ornamentales, agricultura de pancoger y para el consumo de especies menores, cuentan con panel solar.	Ver Fotografía 5.1-48

**Ch: Consumo humano, Pe: Pecuario, Ag: Agrícola (pan coger), E: Especies menores y Re: Recreativo*

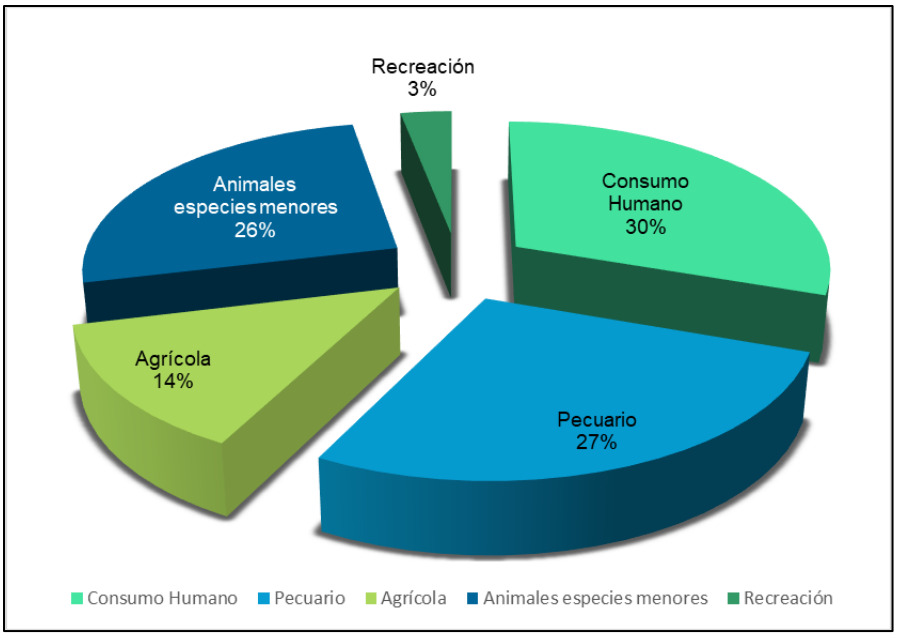
Fuente: INGENOSTRUM S.A.S, 2021

De los usos y usuarios descritos en la

Tabla **5.1-77** solo se intervendrán los ubicados en la finca Buena Vista (U-12, U-13 y U-14), donde el recurso es captado por medio de jarillones, jagüeyes y almacenamiento de agua lluvia en tanques, donde se llevará acabo la construcción del parque solar fotovoltaico Guayepo III.

De las encuestas realizadas el uso principal que se da en el área es para consumo humano con un 30%, seguido el uso para actividades pecuarias relacionadas con ganadería (27%) y uso para animales de especies menores (26%), las actividades agrícolas de pancoger con un 14% de representación y en menor medida el uso está destinado a la recreación con un 3%, como se observa en la Figura 5.1-132.

Figura 5.1-132 Usos del agua en el área de influencia del proyecto

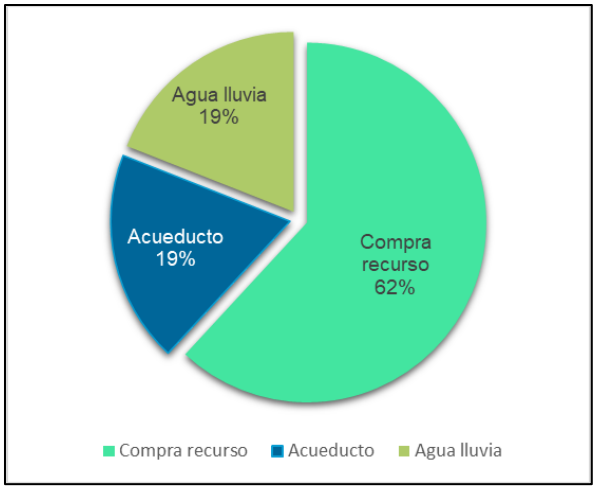


Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Las unidades territoriales del área de influencia tienen como principal fuente de abastecimiento el Acueducto Regional Sabanalarga-Ponedera, usando el recurso principalmente en actividades domésticas y para consumo humano; en las zonas donde no se presta el servicio de acueducto, las personas realizan compra del recurso en los centros poblados de los corregimientos con periodicidades que van de 3 a 15 días lo cual depende de la cantidad de “calambucos” o canecas que compren para el abasteciendo de sus fincas y lugares de residencia.

La distribución de las fuentes de abastecimiento para consumo humano está dada de la siguiente manera, por la prestación del servicio de acueducto (19%), de la recolección de aguas lluvias en tanques (19%) y en mayor proporción (62%) por la compra del recurso en los centros poblados de los corregimientos de Santa Rita, La Retirada, Martillo y un usuario reportó compra del recurso desde la ciudad de Barranquilla, (ver Figura 5.1-133).

Figura 5.1-133 Fuentes de abastecimiento para consumo humano



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Igualmente, para llevar a cabo las actividades pecuarias características de la mayoría de las fincas lo hacen por medio del almacenamiento de agua lluvia a través de la construcción de jarillones o jagüeyes; en muchos casos esta agua también se utiliza para labores como riego, consumo de especies menores, lavado de ropa, de

enceres, aseo personal y en algunos casos para consumo humano. El 95% de los usuarios encuestados reportaron contar con jagüeyes en sus fincas.

En cuanto a las actividades recreativas se evidencia en menor proporción (3%) y se da por la presencia de piscinas de uso privado en dos de las fincas de los usuarios encuestados, no existe como tal complejos turísticos o balnearios en el área de influencia del proyecto.

A continuación, se muestra el registro fotográfico tomado en campo.

Fotografía 5.1-22 Finca Divino niño



Finca Divino Niño
Cascajal, Mpio. Sabanalarga
Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12):
E 4.798.537,22– N 2.730.309,27

Fuente: Guayepo Solar III, 2021.

Fotografía 5.1-23 Jagüey Finca Divino niño



Jagüey Finca Divino Niño
Cascajal, Mpio. Sabanalarga
Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12):
E 4.798.614,25– N 2.730.326,00

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Fotografía 5.1-24 Finca Villa Mary



Jagüey Finca Villa Mary
Guayepo, Mpio. Ponedera
Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12):
E 4.799.569,03– N 2.730.078,78

Fuente: Guayepo Solar III, 2021.

Fotografía 5.1-25 Jagüey Finca Villa Mary



Jagüey Finca Villa Mary
Guayepo, Mpio. Ponedera
Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12):
E 4.799.645,10– N 2.730.107,51

Fuente: Guayepo Solar III, 2021.

Fotografía 5.1-26 Finca La Bendición



Finca La Bendición
Nuevo Santa Rita, Mpio. Ponedera
Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12):
E 4.800.419,74– N 2.729.512,06

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Fotografía 5.1-27 Jagüey 1 Finca Don Santi



Jagüey 1 Finca Don Santi
Nuevo Santa Rita, Mpio. Ponedera
Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12):
E 4.800.182,84– N 2.729.515,87

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Fotografía 5.1-28 Jagüey 2 Finca Don Santi



Jagüey 2 Finca Don Santi
Nuevo Santa Rita, Mpio. Ponedera
Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12):
E 4.800.182,84– N 2.729.515,87

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Fotografía 5.1-29 Corral para ganado en la Finca Don Santi



Corral para ganado Finca Don Santi
Nuevo Santa Rita, Mpio. Ponedera
Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12):
E 4.800.260,05 – N 2.729.582,58

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Fotografía 5.1-30 Finca Guayepo



Jagüey Finca Guayepo
Guayepo, Mpio. Ponedera
Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12):
E 4.801.342,80 – N 2.730.210,59

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Fotografía 5.1-31 Finca María Isidora



Finca María Isidora
Guayepo, Mpio. Ponedera
Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12)
E 4.800.433,53 – N 2.730.607,59

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Fotografía 5.1-32 Jagüey 1 Finca María Isidora



Jagüey 1 Finca María Isidora
Guayepo, Mpio. Ponedera
Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12):
E 4.800.412,55 – N 2.730.612,66

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Fotografía 5.1-33 Jagüey 2 Finca María Isidora



Jagüey 2 Finca María Isidora
Guayepo, Mpio. Ponedera
Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12):
E 4.800.412,55 – N 2.730.612,66

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Fotografía 5.1-34 Hacienda La María



Hacienda La María
Guayepo, Mpio. Ponedera
Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12):
E 4.799.446,24– N 2.730.984,86

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Fotografía 5.1-35 Jagüey Hacienda La María



Jagüey Hacienda La María
Guayepo, Mpio. Ponedera
Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12):
E 4.799.503,27 – N 2.731.007,66

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Fotografía 5.1-36 Pozo séptico Hacienda La María



Pozo séptico Hacienda La María
Guayepo, Mpio. Ponedera
Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12):
E 4.799.467,14 – N 2.730.965,80

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Fotografía 5.1-37 Tanque almacenamiento aguas lluvias Hacienda La María



Tanque almacenamiento agua lluvia Hacienda La María
Guayepo, Mcpio. Ponedera
Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12):
E 4.799.468,07 – N 2.730.946,80

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Fotografía 5.1-38 Pozo Finca California



Pozo agua subterránea Finca California
Mcpio. Ponedera
Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12):
E 4.798.142,58 – N 2.728.059,49

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Fotografía 5.1-39 Jagüey Finca San Miguel



Jagüey Finca San Miguel
Mcpio. Ponedera
Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12):
E 4.801.589,71 – N 2.722.680,65

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Fotografía 5.1-40 Pozo agua subterránea Finca San Miguel



Pozo agua subterránea Finca San Miguel
Mcpio. Ponedera
Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12):
E 4.801.595,67 – N 2.722.668,64

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Fotografía 5.1-41 Jagüey 1 primer sector Finca Buena Vista



Jagüey 1 Finca San Fernando
Mcpio. Ponedera
Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12):
E 4.803.463,23 – N 2.726.814,58

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Fotografía 5.1-42 Jagüey 2 primer sector Finca Buena Vista



Jagüey 2 Finca San Fernando
Mcpio. Ponedera
Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12):
E 4.802.609,70 – N 2.726.563,63

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Fotografía 5.1-43 Jagüey seco Finca Buena vista



Jagüey 2 Finca San Fernando
Mcpio. Ponedera
Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12):
E 4.801.374,04 – N 2.726.523,91

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Fotografía 5.1-44 Caprino en la finca Buena Vista



Caprino en la finca Buena Vista
Nuevo Santa Rita, Mcpio. Ponedera
Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12):
E 4.801.374,04 – N 2.726.523,91

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

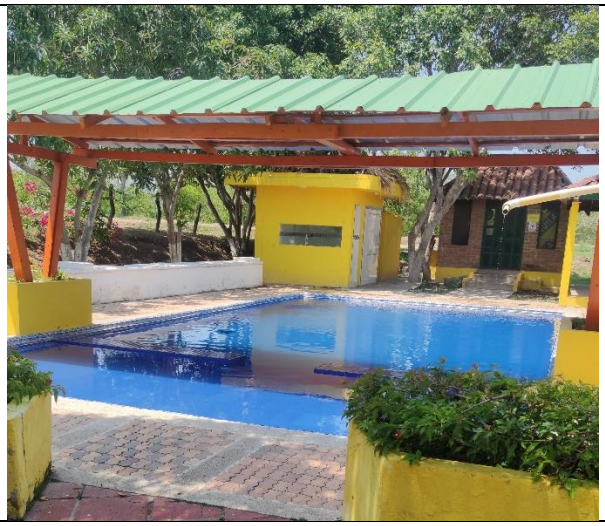
Fotografía 5.1-45 Jagüey Finca La Antonisa



Jagüey Finca La Antonisa
Mcpio. Ponedera
Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12):
E 4.802.687,62 – N 2.724.231,27

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Fotografía 5.1-46 Piscina Finca La Antonisa



Piscina Finca La Antonisa
Mpio. Ponedera
Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12):
E 4.802.666,68 – N 2724.245,33

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Fotografía 5.1-47 Pozo Finca La Antonisa



Piscina Finca La Antonisa
Mpio. Ponedera
Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12):
E 4.802.644,80 – N 2.724.276,40

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Fotografía 5.1-48 Jagüey Finca Villa Mary



Jagüey Finca Villa Mary
Nuevo Santa Rita, Mcpio. Ponedera
Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12):
E 4.799.115,97 – N 2.730.011,38

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

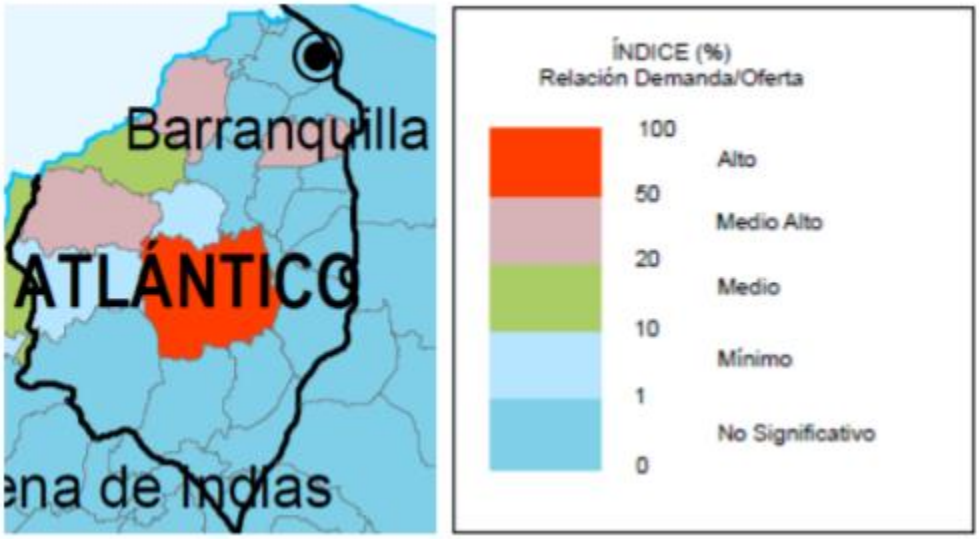
5.1.6.3 Demanda del recurso hídrico en el departamento del Atlántico

La red hídrica del Atlántico es sencilla debido a la extensión del departamento, al relieve y el clima. Las corrientes más importantes del sistema hidrográfico son el río Magdalena y el Canal del Dique, que se unen en su extremo sur, (De Hoyos Benítez & Noguera Mario, 2014).

El índice de escasez municipal indica según lo reportado por el IGAC en 2014 (ver Figura 5.1-134) que el municipio de Sabanalarga presenta un índice “Alto” (entre 50 – 100%) mientras el municipio de Ponedera se encuentra en el rango de “No significativo” (<1%).

Teniendo en cuenta que el Índice de Escasez es la relación entre la demanda y la oferta del recurso hídrico (Demanda/Oferta), podemos afirmar que los municipios que presentan un Índice de Escasez “Alto” tienen mayor tendencia al agotamiento del recurso por diversos factores (sobreutilización del recurso, degradación de fuentes hídricas, crecimiento poblacional, entre otros), que los que presentan un Índice “Medio Alto”, “Medio”, “Mínimo” y “No Significativo”, es decir, que el municipio de Sabanalarga es el que presenta mayor riesgo hacia esta tendencia, (De Hoyos Benítez & Noguera Mario, 2014).

Figura 5.1-134 Índice de escasez municipal del Atlántico (IGAC-2014)



Fuente: IGAC – 2014, tomado de (De Hoyos Benítez & Noguera Mario, 2014)

La situación del área de la cuenca hidrográfica del sistema de humedales del río Magdalena en el Departamento del Atlántico, tiene un régimen climático que se caracteriza por un elevado déficit hidrológico, toda vez que se registran para la cuenca precipitaciones medias anuales del orden de 1.050 a 1.100 mm, frente a valores de evaporación media anual cercanos a los 1827 mm. Esta situación amerita que se adelanten tareas en procura de defender y racionalizar el consumo y utilización del recurso hídrico. No obstante que ya se tienen problemas por la escasez del recurso, se observa en algunos sectores de la población conductas que contribuyen a complicar la situación aún más a través de los represamientos inadecuados de los arroyos, vertimientos de residuos sólidos y escombros a las corrientes, malas prácticas de agricultura que conducen a la generación de procesos erosivos en las cuencas aferentes, entre otros, (CRA, CORMAGDALENA, & CONSERVACIÓN INTERNACIONAL, 2007).

5.1.6.4 Demanda del recurso hídrico en el área de influencia del proyecto

Con el objeto de estimar la demanda hídrica en la zona, se procedió a realizar el inventario de usuarios indicado en el numeral 5.1.6.2 del presente capítulo, 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 al momento de la entrevista en el marco de la visita de campo. Por otra parte, es claro la falta del recurso durante la temporada de verano, los arroyos tienden a presentar cauces secos y la oferta es nula para toda la población en el sector, condición que se ha presentado históricamente debido a la climatología del área.

Teniendo en cuenta que la actividad principal de los predios donde se ubicará el parque solar corresponde a actividades netamente ganaderas, donde el ganado se encuentra distribuido de la siguiente forma: de doble propósito (carne y leche) con un estimado de 166 cabezas de ganado, ganado para ceba con un estimado de 65 cabezas de ganado y 41 cabezas de ganado de cría, se procedió a estimar los metros cúbicos de agua consumido por el ganado afectado, con la intervención de las 116,94ha de bordas y cuerpos de agua artificiales. Lo anterior, considerando que en promedio un bovino de doble propósito adulto consume entre el 10 y el 15% de su peso en agua al día; es así como una cabeza de ganado que pesa 350 kilos tendrá que ingerir por lo menos 52,5 litros de agua al día[22], por lo tanto, el total de metros cúbicos de agua consumida por el ganado equivale a 4.773,16 m3 de agua al año.

Cabe resaltar que el desarrollo del proyecto Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200 MW y su línea de evacuación a 500kV, no demandará el uso y aprovechamiento del recurso hídrico ya que para el desarrollo de este no se tiene contemplado puntos o solicitudes de captaciones y vertimientos que pudiesen presentar una presión adicional sobre la oferta y demanda hídrica de la zona. En el capítulo 7. Demanda, uso y aprovechamiento de recursos naturales se encuentra a mayor profundidad esta información.

[22] *El análisis se desarrolla con base en lo registrado por contexto ganadero en el artículo de Calidad y cantidad de agua que requieren los bovinos. CONtextoganadero. Calidad y cantidad de agua que requieren los bovinos. Página web: https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/calidad-y-cantidad-de-agua-que-requieren-los-bovinos, 2018.*

5.1.6.5 Conflictos actuales y potenciales

Actualmente se observa que la intervención del hombre en las interacciones naturales de la cuenca hidrográfica, con el objetivo de sacar mayor provecho a su actividad productiva bloqueando las conexiones del río con las ciénagas, por medio de la construcción de compuertas para retardar la subida o la bajada de niveles al interior de las ciénagas, el levantamiento de terraplenes para encerrar y desecar grandes fracciones alterando completamente los ciclos naturales en los niveles y apropiándose de estos terrenos, haciendo vertimientos de aguas residuales sin ningún tratamiento desde las poblaciones ribereñas generando graves deterioros en la calidad ambiental de estos ecosistemas, (CRA, CORMAGDALENA, & CONSERVACIÓN INTERNACIONAL, 2007), son de los conflictos más representativos evidenciados en el área de influencia del proyecto.

Estas actividades han llevado a la afectación de la hidrodinámica de los cuerpos de agua, el crecimiento sin límites de la frontera agrícola, pecuaria y urbana, frente a los ojos de las instituciones y entes territoriales, han generado una modificación del régimen hidrológico de la zona, promoviendo la desconexión hidrológica del complejo de humedales cuya función radica en ser reguladores del gran Río Magdalena, previendo eventos de tipo natural como las inundaciones, las cuales son la principal amenaza que afecta a los municipios de la cuenca, como los municipios de Sabanalarga y Ponedera. Los conflictos de uso del agua existentes en el municipio de Ponedera según lo expuesto en el POMCA del Río Magdalena (Departamento del Atlántico) se listan en la Tabla 5.1-78.

Tabla 5.1-78 Conflictos de uso existentes en el municipio de Ponedera

TIPO CONFLICTO	ACTORES INVOLUCRADOS	UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Manejo de compuertas para beneficio particular	Propietarios de fincas y pescadores	Municipio de Ponedera	Cierre de las compuertas (ubicadas en las diferentes ciénagas y en el río Magdalena) por parte de los terratenientes para asentar terreno para la ganadería, perjudicando a los pescadores con la desecación de las ciénagas
Obstrucción de caminos vecinales y taponamiento del canal de acceso a la ciénaga el Uvero	Pescadores y terratenientes	Municipio de Ponedera (ciénaga del Uvero)	Los terratenientes obstruyen los caminos vecinales y el canal de acceso a la ciénaga se encuentra tapado por aumento de la vegetación, como consecuencia, los pescadores se ven obligados a recorrer trayectos más largos para llegar a la ciénaga a ejercer su actividad
Discordia entre pescadores por el uso de técnicas inadecuadas de pesca	Pescadores asociados y no asociados	Municipio de Ponedera	Los pescadores asociados procuran cuidar el recurso empleando artes de pesca adecuadas y entran en conflicto con los pescadores no organizados porque emplean trasmallo, zangarreo y atarraya de ojo pequeño

Fuente: (CRA-CORMAGDALENA-CI, 2007).

Adicionalmente, y teniendo en cuenta los resultados encontrados en relación con la destinación del recurso hídrico en el área de influencia del Proyecto, se identifican de manera general los siguientes conflictos actuales y potenciales en el uso del agua:

La carencia de sistemas adecuados de tratamiento y/o disposición de aguas residuales domésticas, las cuales son vertidas directamente en suelos o cuerpos de agua aledaños a las viviendas rurales, aportando directa o indirectamente carga contaminante de materia orgánica, sólidos suspendidos, lixiviación de alimentos en descomposición, residuos sólidos, entre otros, a las fuentes hídricas tanto superficiales como subterráneas. De esta forma, se reduce la calidad del recurso hídrico y con ello la posibilidad de los usuarios aguas abajo de los puntos de descarga, de destinarla para consumo humano.

Según la documentación entregada por planeación del municipio de Sabanalarga donde indica que la fuente de abastecimiento del acueducto es el Embalse de Guajáro, cuyas aguas no reciben tratamiento alguno, la calidad del agua cruda posee dureza que demanda un tratamiento específico con el cual actualmente no cuenta, además la turbiedad es alta generando colmatación en los filtros del sistema de acueducto sumado con la situación que al momento de instalar el nuevo sistema de tratamiento no hubo una adecuada transferencia de tecnología, por lo tanta la

operación y la prestación del servicio no es eficiente, adicionalmente dentro de las redes de distribución existe una tubería de asbesto cemento la cual demanda con urgencia el cambio debido a que este tipo de materiales atentan contra la salud humana.

La disponibilidad del recurso es limitada para las fincas o predios que se encuentran alejados de los centros poblados o vías principales, lo cual demanda la compra y transporte del recurso por medio de terceros y/o el consumo de agua proveniente del almacenamiento en jagueyes de agua lluvia trayendo consigo afectación a la salud pública de los habitantes de la zona.

Dicho lo anterior, las medidas de manejo propuestas y a implementar en el presente estudio pretenden prevenir y/o mitigar el efecto sinérgico por la posible generación de impactos sobre el medio abiótico por cambios en las características fisicoquímicas del recurso hídrico, que se pueden ocasionar como resultado de la construcción de las obras temporales por ocupación de cauce y por la posible afectación indirecta a las fuentes de agua por procesos morfodinámicos desencadenantes de movimientos de tierra en los sitios de torre, cuyo radio de afectación se extiende fuera de estos, en el caso de las zonas más susceptibles.

Cabe resaltar que el proyecto no generara presión sobre la disponibilidad del recurso hídrico ya que para el desarrollo de este no se necesita realizar captación de aguas superficiales o subterráneas ni vertimientos en cuerpos de agua por lo que no se incrementarían conflictos adicionales a los ya existentes en la cuenca.

Y por lo mismo no se hará uso y aprovechamiento del recurso hídrico para el desarrollo del proyecto. Las respectivas fichas del PMA que atienden al uso de agua se encuentran en el capítulo 10.1.1.PMA_PMS/Subprograma de manejo del recurso hídrico y residuos líquidos (GIII-PMA-AB-04).

5.1.7 Hidrogeología

Teniendo en cuenta la división de Provincias Hidrogeológicas propuesto por la UNESCO para el Mapa Hidrogeológico de Sur América, Colombia fue dividida en 6 provincias. El área del proyecto se encuentra ubicada en la provincia hidrogeológica Andina Vertiente Atlántica la cual comprende el sistema montañoso del país y ocupa la región entre los límites con Ecuador en el sur hasta las estribaciones meridionales de la Serranía del Perijá en el norte[23].

Esta provincia presenta una gran variedad litológica consistente en sedimentos y rocas que van desde el Precámbrico hasta el Reciente. Estos sedimentos y rocas se presentan desde impermeables hasta altamente permeables, siendo los valles y las mesetas los grandes centros de almacenamiento de agua tanto superficial como subterránea.

Otros estudios como el Atlas de aguas subterráneas de Colombia, (Marín, 2001) sitúan al Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV dentro del acuífero de Sabanalarga, este se encuentra en la parte central del departamento del Atlántico entre las poblaciones de Manatí en el Sur hasta el norte de la población de Sabanalarga, haciendo parte del Sinclinal de Sabanalarga, aflorando en un área de aproximadamente 60 km^2.

El acuífero de Sabanalarga está constituido por una alternancia de areniscas y conglomerados poco consolidados con esporádicas intercalaciones de arcillolitas, con valores de resistividad entre 10 y 30 Ohm/m para las capas saturadas con agua poco dulce a dulce.

El techo del acuífero que podría corresponder a la superficie del proyecto Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV se encuentra entre 15 y 30 m, con resistividades entre 3 a 53 Ohm/m correlacionados

[23] *INGEOMINAS. Memoria técnica de la plancha 5-01. Atlas de aguas subterráneas de Colombia. 2003. Bogotá D.C.*

con depósitos cuaternarios inconsolidados areno arcillosos, desde arcillas hasta arenas gruesas.

La elaboración de este componente tuvo como base datos de diferentes estudios realizados para el departamento del Atlántico y pretenden evaluar el potencial para almacenar y transmitir agua, productividad de acuíferos, y funcionamiento del sistema hidrogeológico en el área de influencia del proyecto Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV.

Si bien no hay estudios que hablen específicamente de la hidrogeología de la zona de estudio, existen investigaciones y documentos que a nivel regional que hablan de la presencia y condiciones de las aguas subterráneas en el departamento de Atlántico y sectores aledaños al canal del Dique.

A continuación, se hace una reseña de algunos de los estudios que se tienen en el departamento del Atlántico que hablan de las condiciones del subsuelo y la existencia y comportamiento de las aguas subterráneas se destacan los siguientes:

5.1.7.1 Análisis de información secundaria

5.1.7.1.1 Perforación de Investigación 24 II C-1 (3) en el Corregimiento de Cascajal (Finca "El Paraíso"), Municipio de Sabanalarga Atlántico

En el año de 1981 el Instituto Nacional de Fomento Municipal (INSFOPAL) realizó en la parte sur del Departamento del Atlántico 206 sondeos eléctricos verticales que tenían como objeto la evaluación del potencial acuífero subterráneo que pretendía abastecer la demanda de acueducto para poblaciones ubicadas en el departamento.

Por medio de INGEOMINAS se realizó la construcción de 5 pozos destinados a la producción y exploración del líquido, la perforación en el corregimiento de Cascajal es una de las obras llevadas a cabo en el desarrollo de este proyecto. Tanto los resultados de las perforaciones, análisis hidrogeoquímicos y sondeos eléctricos

verticales suministrados por INSFOPAL fueron insumos que se correlacionaron en el presente estudio.

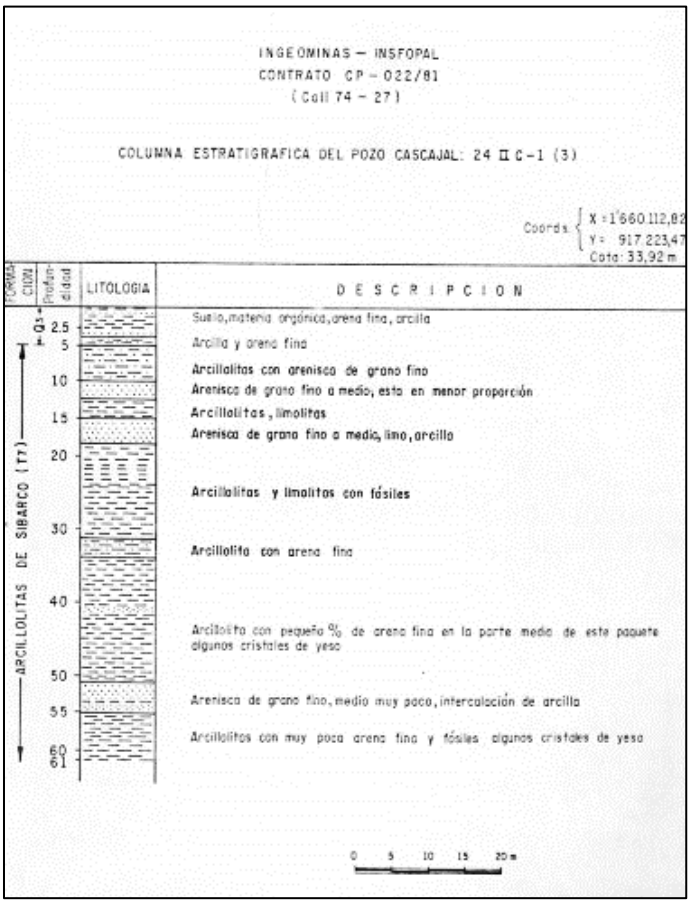
De la interpretación de los registros eléctricos realizados en la zona de interés en los registros gamma se nota claramente una zona de mayor actividad entre 18 y 49 metros con paquetes arcillosos y entre o y 18 metros se presentan intercalaciones de arena y arcilla con valores para arenas de 80 ohm-m y 10 ohm—m para las arcillas.

De los 206 sondeos eléctricos verticales realizados por INSFOPAL, 10 de ellos, los más cercanos al sector de estudio, indican una capa superficial con resistividades de 12 a 20 ohm-m que pueden indicar capas no saturadas o saturadas con agua dulce.

Dentro de los materiales obtenidos en la perforación el dominante son arcillas con intercalaciones de limos, arenas finas en delgadas capas, el material cuaternario presente en la perforación corresponde a gravas, arenas finas, limos y arcillas.

Debajo del depósito cuaternario predominan arcillolitas, limolitas fosilíferas con intercalaciones esporádicas de areniscas y yeso diseminado pertenecientes a la formación Sibarco las cuales bordean el flanco sureste del sinclinal de Sabanalarga.

Figura 5.1-135 Columna estratigráfica pozo 24 II C-1



Fuente: (INGEOMINAS, 1985)

La perforación del pozo 24II C-1 llevo a la construcción de un piezómetro donde se realizaron análisis fisicoquímicos del agua los cuales se muestran a cuáles se muestran a continuación:

Figura 5.1-136 Análisis de agua de pozo Cascajal municipio de Sabanalarga



TABLA No. 1
SUBDIRECCION DE INVESTIGACIONES QUIMICAS
ANALISIS DE AGUAS

INGEOMINAS

No. _____

FECHA: 12 (Día) 6 (Mes) 83 (Año)

MUESTRA No. | SU DENOMINACION

Agua Subterránea - Pozo Cascajal (Atlántico)

Remitente: INGEOMINAS

Dirección:

Procedencia: Pozo de Cascajal (Atlántico) - Piezómetro

Su referencia: (3) 31-XII-82

Boleta (s) de liquidación No. (s) Cascajal XI-18-82 de fecha:

DETERMINACION	POZO CASCAJAL
ALCALINIDAD TOTAL Como $CaCO_3$, mg/L	430
CONDUCTIVIDAD ESPECIFICA a 20°C ~~micromhos~~ mS/m	807
DUREZA TOTAL (Ca, Mg) como $CaCO_3$, mg/L	690
HIERRO TOTAL como Fe, mg/L	
pH potenciométrico a 20°C	8,0
Sólidos en solución (evaporación a 105°C), mg/L	
Turbiedad como SiO_2, mg/L	6,0
IONES EN SOLUCION (mg/L):	
Calcio como Ca^{++}	120
Hierro total como Fe	0.1
Magnesio como Mg^{++}	93
Manganeso como Mn^{++}	0.05
Potasio como K^{+}	9,0
Sodio como Na^{+}	1.679
Bicarbonatos como HCO_3^{-}	524
Carbonatos como CO_3^{--}	0.0
Cloruros como Cl^{-}	2.662
Nitratos como NO_3^{-}	8.5
Sulfatos como SO_4^{--}	62.5

OBSERVACIONES: Los resultados analíticos presentes corresponden exclusivamente a la (s) muestra (s) recibidas (s) y no a otro (s) material (es) de la misma procedencia.

La muestra de agua de Cascajal (Piezómetro 1) es muy dura y salobre.

Vo.Bo. 22 JEFE SECCION QUIMICA INORGANICA

Vo.Bo. _____ JEFE DIVISION CONTROL DE CALIDAD

Fuente: (INGEOMINAS, 1985)

Teniendo en cuenta los resultados anteriormente mencionados se concluye acerca de la existencia de agua salubre la cual no ofrece buenas posibilidades de abastecimiento de agua subterránea.

5.1.7.1.2 Plan de Acción Cuatrienal - PAC 2016-2019 - Atlántico frente al Cambio Climático

Este informe investigativo se da como resultado de un trabajo en equipo entre directivos y funcionarios de CRA, contratistas y equipo de ONG que establecieron diálogo con las comunidades de todos los rincones del territorio del departamento del Atlántico.

El Plan de Acción Cuatrienal (PAC) es un instrumento de planeación de las corporaciones autónomas regionales, a través del cual se definen las acciones e inversiones que se adelantarán en el área de su jurisdicción, con una proyección a cuatro años.

Para el caso específico del proyecto Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV, se ha tenido como referencia la caracterización biofísica en lo correspondiente a hidrología, ecosistemas, oferta y disponibilidad de agua; además de la problemática ambiental generada en el recurso hídrico.

Cada uno de estos apartados menciona la ocupación de los cuerpos de agua para el departamento en donde la principal fuente de agua dulce es el rio Magdalena y por otra parte el Canal del Dique es el medio de comunicación entre el río Magdalena y la bahía de Cartagena recibiendo por intermedio de canales los drenajes en el sur y las aguas procedentes de las antiguas ciénagas desecadas.

Teniendo en cuenta lo anterior se plantea el estado del arte para las principales áreas de la gestión ambiental incorporando una oferta y disponibilidad del agua tanto superficial como subterránea.

Estimaciones de la CRA e IDEAM establecen que en el departamento del Atlántico existe una oferta de 4.056.082 m^3/día en donde los principales aportantes superficiales son el rio Magdalena y el Canal del Dique, pero en el caso específico del proyecto Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV, las microcuencas que aportan potencial hídrico son la Ciénaga de Ponedera, Ciénaga de Uvero 2[24].

Para el caso específico de las aguas subterráneas el departamento de Atlántico presenta un potencial distribuido en una serie de unidades hidrogeológicas las cuales podrían estar conectadas hidráulicamente y relacionarse a un mismo ambiente de depositación presentando semejanzas en la calidad del agua subterránea. Teniendo en cuenta la localización espacial del proyecto Parque Solar

[24] *(C.R.A, 2016)*

Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV los principales sistemas acuíferos relacionados o cercanos al proyecto son:

Sistema Acuífero rio Magdalena: Incluye los municipios de Suán, Santa Lucia, Manatí, Candelaria, Ponedera, Parmar de Varela, Santo Tomas, Polonuevo, Sabanagrande, Malambo y Soledad.

Sistema Acuífero Sabanalarga: Ubicado en el centro del departamento, aflora principalmente en los municipios de Baranoa y Sabanalarga.

Sistema Acuífero de Tubará: Ubicado en los municipios de Tubará, Juan de Acosta y Usiacurí.

Por último, en lo relacionado a la problemática ambiental generada en el recurso hídrico en el departamento del Atlántico hay múltiples factores que atentan en contra de la cantidad, disponibilidad y calidad del recurso.

De acuerdo con lo establecido en las políticas nacionales para la gestión integral del recurso hídrico, los riesgos asociados al recurso hídrico están relacionados no solo al desabastecimiento de agua para el consumo humano sino también a la sequía y desertificación para actividades agropecuarias y contaminación hídrica para la población y los ecosistemas.

5.1.7.1.3 Memoria Técnica final de la Vulnerabilidad Intrínseca a la Contaminación de los acuíferos (Plancha 5.02)

Estudio correspondiente a la elaboración del mapa de vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación correspondiente a la plancha 5-01 mediante la metodología GOD (Foster, 1987). Siguiendo el sistema de clasificación del CEPIS, este trabajo se enmarca en el denominado reconocimiento preliminar, que corresponde a escalas de trabajo entre 1:250.000 y 1:500.000.

La información acerca del tipo de acuífero y consideraciones litológicas se evaluó con base a los estudios geológicos e hidrogeológicos regionales, locales y con la litología de los pozos construidos.

Los acuíferos que mayor relación se tienen con el proyecto Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV, son los de Tubará y Sabanalarga los cuales corresponden a acuíferos multicapa compuestos por sedimentos del terciario constituidos por arenas friables, areniscas calcáreas, conglomerados, arcillolitas y arcillolitas calcáreas con porosidad primaria y alta permeabilidad en niveles arenosos y baja en los limo-arenosos.

5.1.7.1.4 Prospección Geoeléctrica de aguas subterráneas en el departamento del Atlántico

Este proyecto efectuó 404 sondeos eléctricos verticales (SEV) como parte de la investigación hidrogeológica en el departamento de Atlántico y la parte norte del departamento de Bolívar.

De acuerdo con la morfología del terreno la zona se dividió en dos áreas en las cuales el método debía aplicarse e investigarse con criterios diferentes. En zonas montañosas el método que se aplicó fue en forma cualitativa debido al distanciamiento en algunas localidades geológicas, en el área plana se desarrolló un modelo regional ya que las condiciones geológicas permitieron un uso confiable del método.

En general las condiciones del departamento del Atlántico para la explotación de agua subterránea son limitados. Resistividades de formación de las que se puede esperar alguna posibilidad de explotación están con valores de más de 15 ohm-m patronaron geoeléctricamente unidades geológicas como areniscas friables, arcillolitas, Areniscas de Santa Rosa y los Conglomerados de Isabel López.

El principal objetivo de este proyecto investigativo es obtener información sobre la geometría del subsuelo y de diferencias en la calidad del agua, que puede servir en

la formulación del sistema hidrogeológico y en la interpretación de datos hidroquímicos de la zona.

Dentro del estudio de geoeléctrica de la zona plana y debido a la escasez de afloramientos terciarios en estos territorios este método es el más apropiado para prospección de aguas subterráneas., buscando determinar capas permeables e impermeables y así determinar cualitativamente la posibilidad de agua que tiene el subsuelo.

Teniendo en cuenta lo anterior y tras la interpretación de sondeos, el corte 7-7 paralelo al rio Magdalena y localizado entre los municipios de Soledad y ponedera es el que más se acerca a las condiciones presentes en el proyecto Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV, comprendiendo un conjunto de materiales cuaternarios y terciarios con posibilidades acuíferas y valores de resistividad de 12 a 30 ohm-m.

5.1.7.1.5 Hidrogeología de los departamentos de Atlántico y Bolívar al norte del canal del Dique

Este informe forma parte del proyecto “Prospección Hidrogeológica en los departamentos de Atlántico y Bolívar”, con base en los datos suministrados por las diversas investigaciones realizadas en este proyecto se clasifica el subsuelo en unidades hidrogeológicas constituidas por una o varias unidades geológicas con características hidrogeológicas similares.

Dentro de los objetivos del presente estudio están la evaluación del potencial de aguas subterráneas, con el fin de plantear la infraestructura necesaria para el desarrollo socioeconómico de la región.

Para la elaboración de este estudio se tuvo en cuenta la evaluación geológica, geomorfológica, características hidrogeoquímicas del agua subterránea, estudios de agua con técnicas isotópicas, perforación de pozos, pruebas de bombeo, todo lo anterior llevó a la determinación y evaluación hidrogeológica general de la región.

Es importante anotar que el inventario de puntos de agua registrados en este documento ayudó al diseño preliminar del movimiento de aguas subterráneas en el sector del proyecto Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV.

Por último y después del análisis de la información segundaria el estudio hidrogeológico se apoya con una visita técnica entre el 20 hasta el 24 de abril del 2021, con el fin de identificar puntos de agua subterráneos y superficiales junto a los principales rasgos geológicos y geomorfológicos del sector.

5.1.7.2 Unidades hidrogeológicas

Para el caso de la hidrogeología, es importante aclarar que las actividades del proyecto no tendrán ningún impacto sobre el recurso hídrico subterráneo, por lo cual la caracterización se presenta sobre el área de influencia de hidrogeología propuesta en el capítulo 4. Realizando un recorrido y análisis de información secundaria más regional, utilizando una ventana cartográfica propia de evaluación del componente hidrogeológico con el fin de justificar y estudiar el comportamiento hidrogeológico sobre el área de proyecto y/o licenciamiento.

En consecuencia, y en función de la capacidad de los materiales del medio para almacenar y transmitir el agua subterránea, se distinguen:

5.1.7.2.1 Acuíferos

Unidad geológica que permite el almacenamiento y circulación del agua y dadas sus condiciones de permeabilidad puede generar acumulaciones significativas del recurso hídrico.

Los mejores materiales para la generación de acuíferos son las arenas y gravas no consolidadas, pero rocas sedimentarias como areniscas, calizas, rocas volcánicas y cristalinas fracturadas también pueden ser clasificadas como acuíferos. En el caso particular del área de estudio predominan Depósitos de Llanura Aluvial (Qlal), Depósitos Coluvio-Aluviales (Qcal).

5.1.7.2.1.1 Acuicludos

Unidad geológica que conteniendo agua en su interior incluso hasta la saturación, no la transmite y por lo tanto no es posible su explotación. Se pueden citar como ejemplos los depósitos arcillosos de cualquier origen.

En el área de influencia del proyecto Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV no se encontraron unidades con estas características, pero algunas intercalaciones arcillosas de las unidades cartografiadas deben constituir acuicludos locales.

5.1.7.2.1.2 Acuitardos

Unidad geológica que conteniendo apreciables cantidades de agua la transmite muy lentamente, por lo que no son aptos para el emplazamiento de captaciones de aguas subterráneas, sin embargo, bajo condiciones especiales permiten una recarga vertical de otros acuíferos que puede llegar a ser muy importante. En el área del proyecto no se encontraron unidades asociadas a este tipo.

5.1.7.2.1.3 Acuifugos

Son aquellas unidades geológicas que no contienen agua ni la pueden transmitir, como por ejemplo un macizo granítico que no esté fisurado o rocas metamórficas sin meteorización ni fracturación, estas se consideran unidades impermeables.

En el área de influencia del proyecto Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV no se encontraron unidades con estas características

Teniendo en cuenta las definiciones de Acuíferos, Acuicludos, Acuitardos y Acuífugos se puede clasificar las unidades litológicas del área de estudio como sigue a continuación:

5.1.7.2.2 Unidad Hidrogeológica UH1

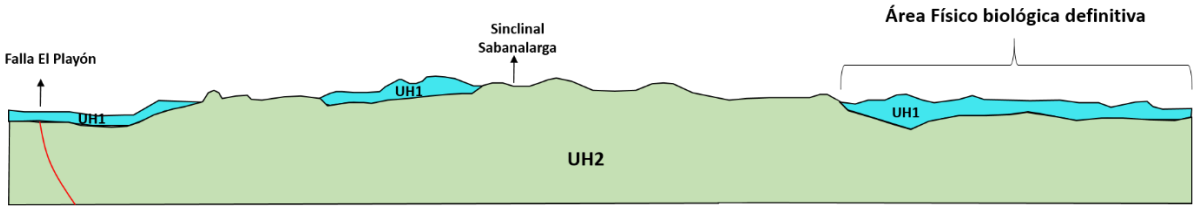
Sistemas de acuíferos discontinuos de extensión local, conformados por sedimentos de depósitos cuaternarios no consolidados de tipo depósito de llanura aluvial (Qal), depósito coluvio-aluvial (Qcal) y Depósitos Antropogénicos (A) que forman acuíferos libres y semiconfinados. Esta unidad hidrogeológica corresponde a un Acuífero de mediana productividad con capacidad específica entre 1,0 y 2,0 l/s/m.

5.1.7.2.3 Unidad Hidrogeológica UH2

Unidad formada por acuíferos insignificantes con recursos limitados o sin recursos. A esta categoría corresponden los niveles arcillosos de las Formaciones Tubará (Ngt) e Hibácharo (Ngh). Estos materiales actúan como acuicludo, conteniendo agua en su interior incluso hasta la saturación, pero no la transmite.

Esta unidad hidrogeológica se encuentra por debajo de la Unidad hidrogeológica UH1 y aunque no aflora en la zona que corresponde al proyecto Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV se definió con la estratigrafía del sector.

Figura 5.1-137 Corte Hidrogeológico generalizado con las Unidades Hidrogeológicas determinadas en el área de estudio.



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.7.3 Caracterización hidrogeológica del área de influencia del proyecto

En el área de influencia del proyecto Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV cuenta con dos sistemas acuíferos, que se describen a continuación:

5.1.7.3.1 Sedimentos y rocas con flujo intergranular

Se definen como sedimentos y rocas con flujo intergranular a los sistemas con una porosidad que permite el flujo del recurso, por lo general se debe a su bajo grado de consolidación y el tamaño de grano.

5.1.7.3.2 Sistemas acuíferos de mediana productividad, capacidad específica entre 1.0 y 2.0 l/s/m (UH1)

Corresponde a sistemas acuíferos discontinuos de extensión local a semiregional, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados, de ambiente fluvial, aluvial, que generalmente conforman acuíferos de tipo libre y semiconfinado. Almacenan aguas que requiere tratamiento para algunos usos. Dentro de este sistema hidrogeológico y aflorando en el área de estudio se encuentran sedimentos de los Depósito de Llanura Aluvial (Qlal), Depósito Coluvio Aluvial (Qcal) y Depósito Antropogénicos (Ase).

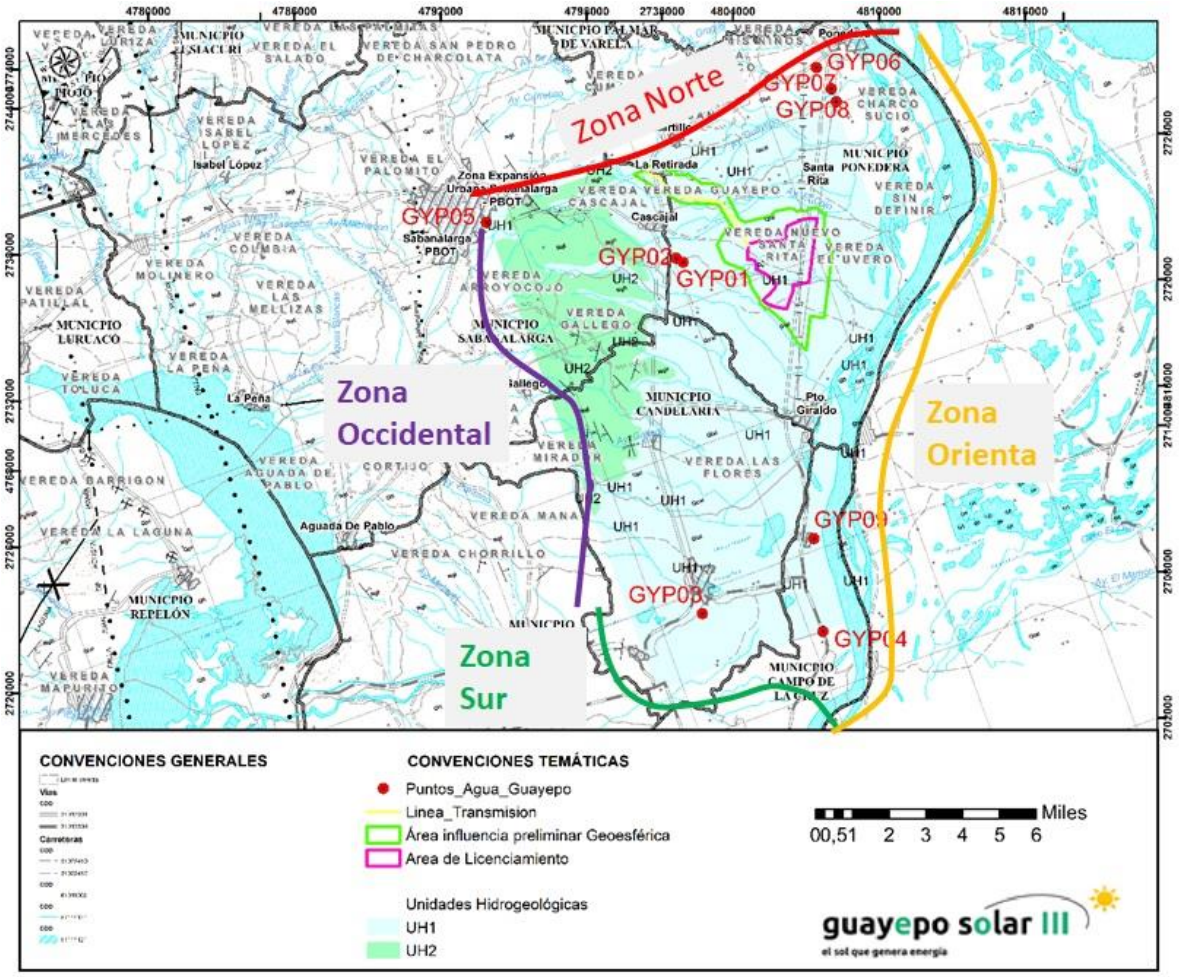
5.1.7.3.3 Rocas con flujo esencialmente a través de fracturas (rocas fracturadas y/o carstificadas)

Son acuíferos con media a baja productividad, por lo general son unidades sedimentarias de grano medio a fino que no permiten la conductividad y carecen de propiedades permeables por su alta compactación.

5.1.7.3.4 Sistemas con baja productividad, capacidad específica promedio entre 0.05 y 1.0 l/s/m, que se comportan como acuitardos (UH2)

Son sistemas acuíferos continuos de extensión regional, conformados por rocas consolidadas de ambiente continental y marino. Acuíferos generalmente de tipo confinado con aguas que requieren tratamientos previos para cualquier uso cuya capacidad específica está entre 0,05 y 1,0 l/s/m. A esta categoría corresponden los niveles limolíticos, lodolíticos y arcillosos de la Formación Tubará (Ngt) y de la Formación Hibácharo (Ngh). Estos materiales actúan como acuicludo, conteniendo agua en su interior incluso hasta la saturación, pero no transmitiéndolo. Estas unidades no afloran en el área del proyecto Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV y se encuentran por debajo de los depósitos cuaternarios correspondientes a los Depósito de Llanura Aluvial (Qlal), Depósito Coluvio-Aluvial (Qcal) y Depósito Antropogénicos (A).

Figura 5.1-138 Mapa de Unidades Hidrogeológicas Generales



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Tabla 5.1-79 Unidades Hidrogeológicas presentes en el área de influencia hidrogeológica preliminar

UNIDADES	CARACTERÍSTICAS	UNIDAD GEOLÓGICA	ÁREA DE INFLUENCIA HIDROGEOLÓGICA PRELIMINAR	ÁREA DE INFLUENCIA PRELIMINAR GEOSFÉRICA	%
UH1	Acuíferos de mediana productividad capacidad específica entre 1,0 y 2,0 l/s/m	Qcal – Qlal	23566 Ha	2690,25	81
UH2[25]	Acuíferos de mediana productividad capacidad específica entre 0,05 y 1,0 l/s/m	Ngt - Ngh	5564 ha	0	19

[25] *La unidad hidrogeológica 2, no se encuentra en el área de influencia preliminar geosférica, esta unidad solo sirve de referenciapara delimitar el área de estudio hidrogeológico.*

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.7.4 Inventario de aguas subterráneas

El inventario de aguas subterráneas 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; se utiliza para 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) y las fuentes o surgencias naturales (manantiales o nacimientos).

Para el proyecto Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV se identificaron 9 puntos de agua subterránea entre pozos y aljibes, para lograr definir un sistema hidrogeológico el cual incluyera sitios de recarga, tránsito y descarga hídrica con limites hidrogeológicos definidos por el sinclinal de Sabanalarga y el rio Magdalena el área que se utilizó para hacer el inventario de aguas subterráneas fue más amplio que el sector definido como preliminar para el proyecto Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV.

A continuación, se presenta el inventario de puntos de agua subterránea determinados y su mapa de localización con respecto a la zona de influencia del proyecto Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV, (Tabla 5.1-80).

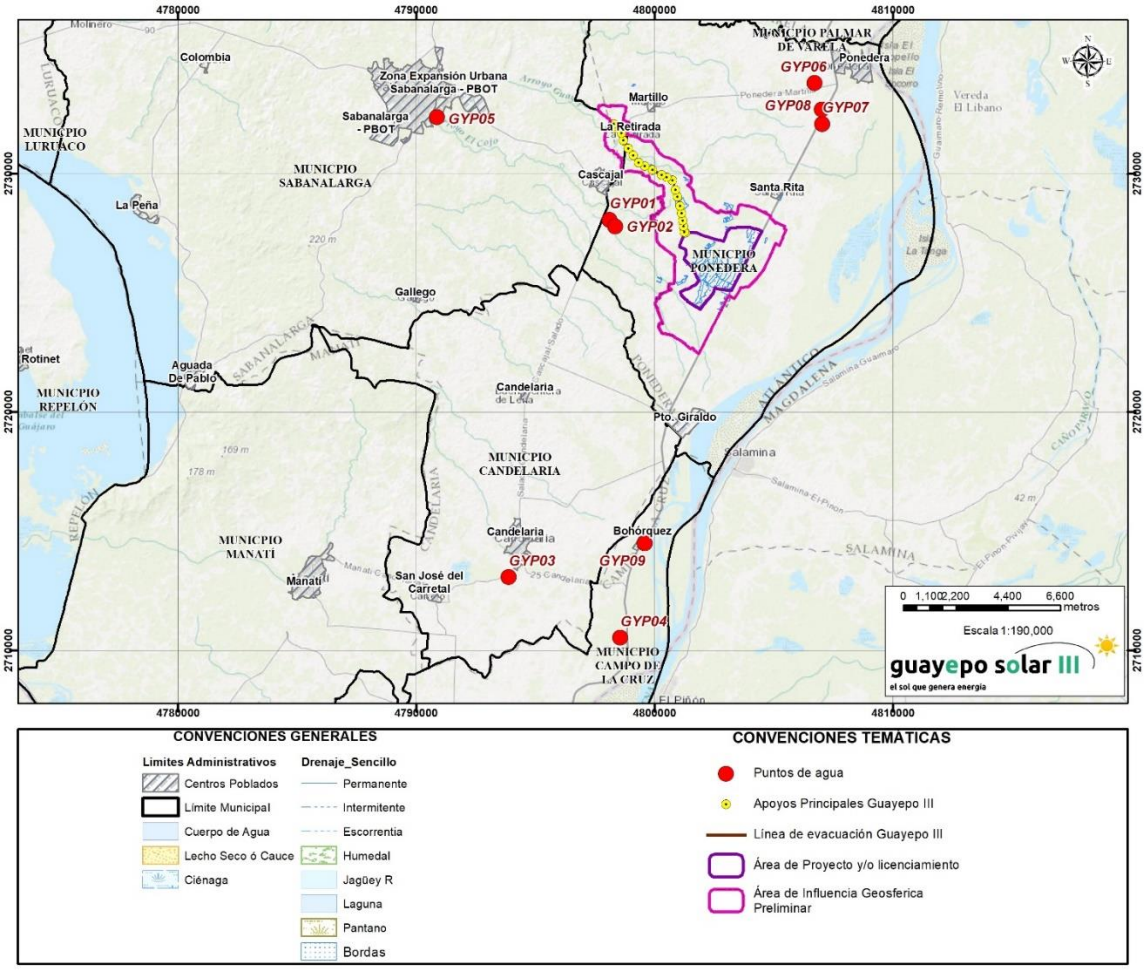
Tabla 5.1-80 Inventario de puntos de agua subterránea identificados

POZO	FOTOGRAFÍA	X	Y	Z	TIPO	PROF.	FECHA	N E
GYP01	IMG_20210420_120632	4798123	2728063	46	Aljibe	15	04/2021	34,49
GYP02	IMG_20210420_155018	4798359	2727787	45,85	Pozo	25	04/2021	33,13
GYP03	IMG_20210420_155018	4793899	2713077	15,35	Pozo	25	04/2021	14,48
GYP04	IMG_20210420_162711	4798579	2710541	0.65	Aljibe	25	04/2021	-1,15
GYP05	IMG_20210421_085447	4790878	2732372	89,77	Pozo	42	04/2021	78,78
GYP06	IMG_20210421_102854	4806726	2733798	88,76	Aljibe	20	04/2021	81,28
GYP07	IMG_20210421_105116	4807043	2732088	14	Aljibe	12	04/2021	9,11

POZO	FOTOGRAFÍA	X	Y	Z	TIPO	PROF.	FECHA	N E
GYP08	IMG_20210421_110347	4807029	2732695	14,80	Pozo	15	04/2021	9,87
GYP09	IMG_20210421_113224	4799601	2714494	9	Aljibe	15	04/2021	3,88

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Figura 5.1-139 Mapa de localización de puntos de agua



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

A continuación, se muestra las imágenes de los pozos inventariados:

Fotografía 5. 1 Imágenes de los sitios de pozos monitoreados en el proyecto Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV

	
Punto GYP01 Corregimiento Santa Rita Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12): E 4798123– N 2728063	Punto GYP02 Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12): E 4798359– N 2727787
	
Punto GYP03 Municipio de Candelaria Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12): E 4793899– N 2713077	Punto GYP04 Corregimiento Arroyo cojo Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12): E 4798579– N 2710541

	
Punto GYP05 Corregimiento Guayepo Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12): E 4790878– N 2732372	Punto GYP06 Corregimiento Charco Sucio Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12): E 4804324– N 2732627

	
Punto GYP07 Corregimiento Guayepo Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12): E 4807043– N 2732088	Punto GYP08 Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12): E 4807029– N 2732695



Punto GYP09
Corregimiento Santa Rita
Georreferencia: (Origen de Proyección Cartográfica CTM-12):
E 4799601– N 2714494

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

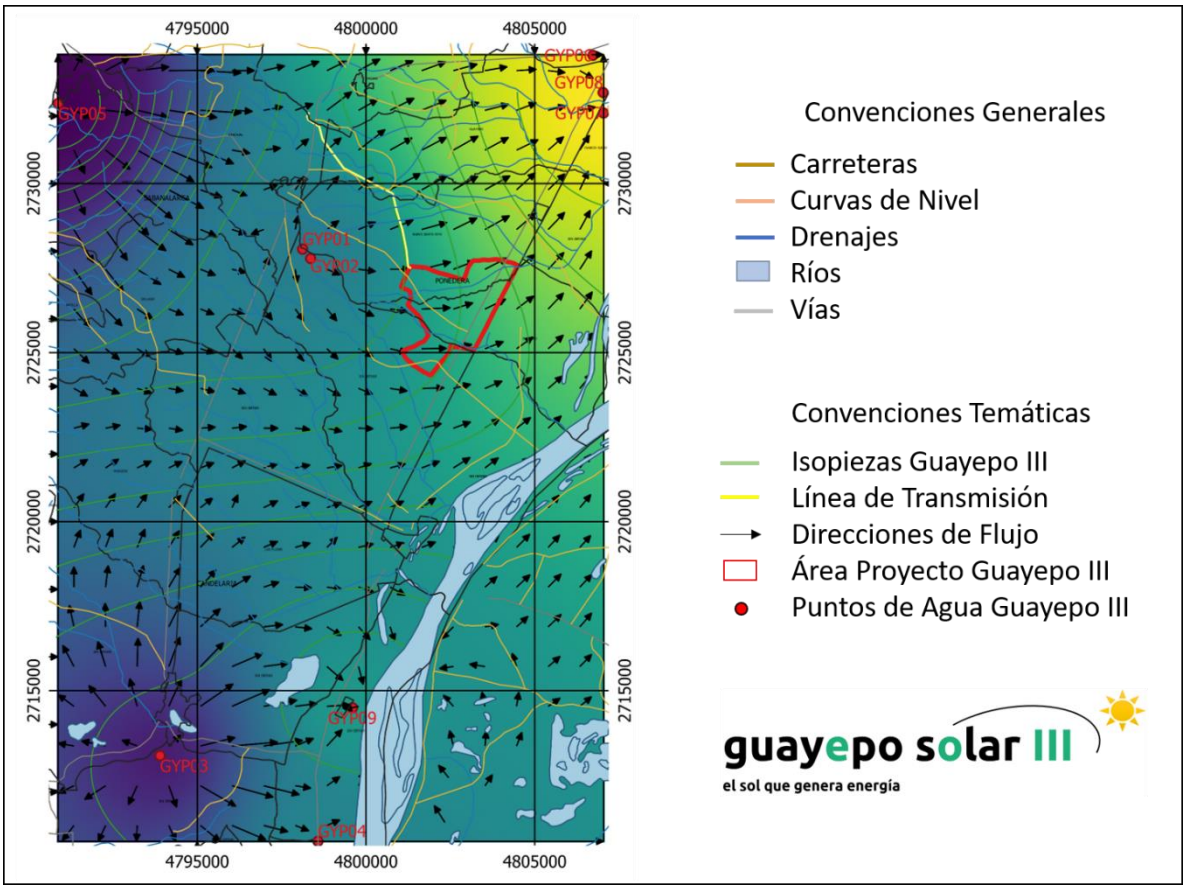
5.1.7.5 Dirección de Flujo

Consiste en la representación de 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 y somero, que se presenta en el área de influencia del proyecto Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV. fluye a través de acuíferos Cuaternario y la Formación Hibácharo.

Las direcciones de flujo en el presente estudio se identificaron teniendo en cuenta El mapa de isopiezas elaborado a partir de los niveles estáticos medidos con los datos recolectados en el inventario de puntos de agua subterráneos, además de lo anterior se tuvo en cuenta las características de porosidad primaria de las unidades cuaternarias y Formación Hibácharo, por último, las condiciones topográficas que controlan la región.

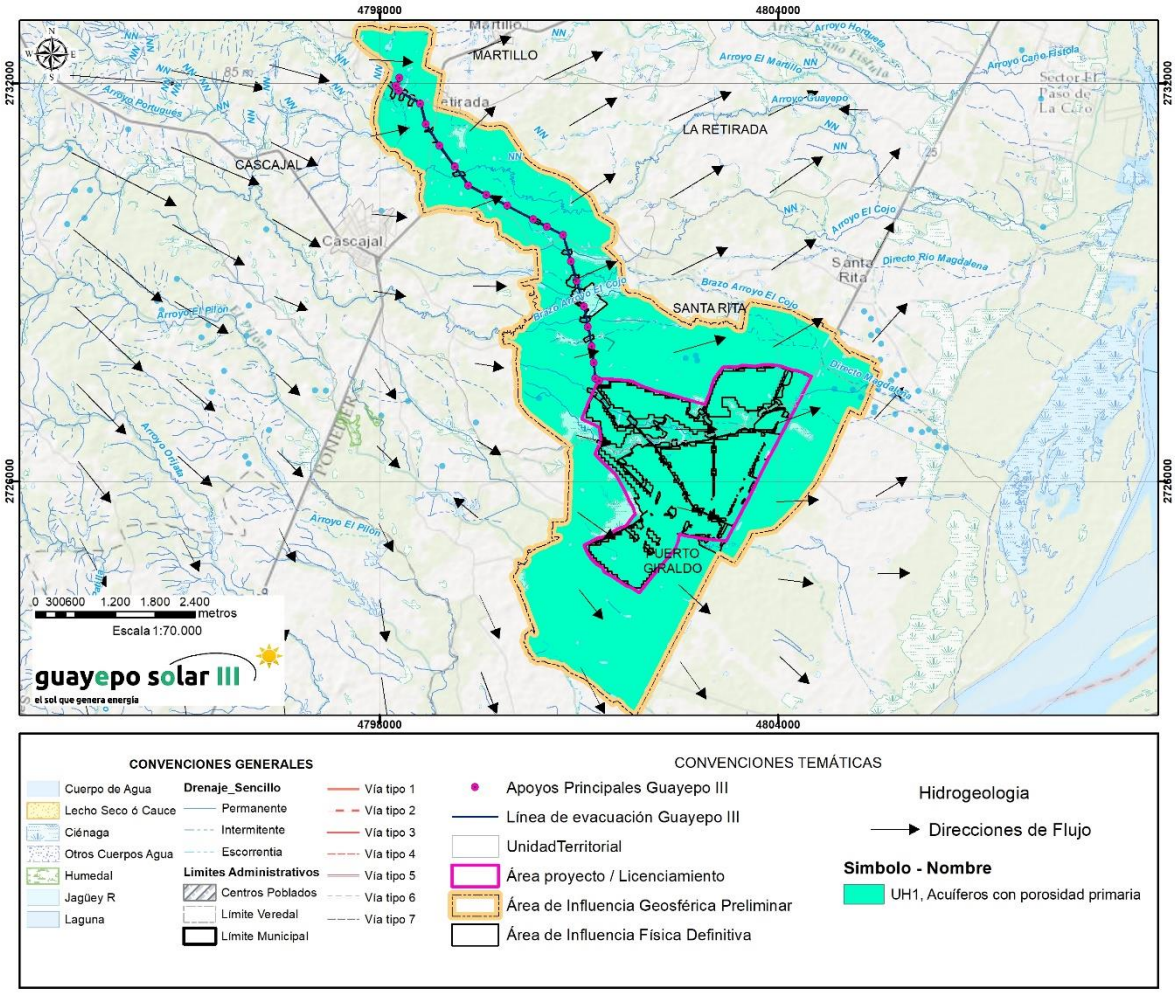
Teniendo en cuenta lo anterior se logró determinar que los flujos de aguas subterránea en la zona de estudio se mueven de oeste a este hacia el rio Magdalena. (Ver Figura 5.1-140).

Figura 5.1-140 Mapa de Isopiezas y direcciones de flujo en el área de influencia del proyecto



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Figura 5.1-141 Dirección de flujo y unidad Hidrogeológica Local en el área de Influencia preliminar y definitiva



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.7.6 Recarga y descarga

El principal mecanismo identificado para la recarga es la infiltración de agua que proveniente de las precipitaciones que después de saturar los espacios vacíos y poros de la superficie, da inicio a dos tipos de movimiento; uno superficial siguiendo las líneas de máximo gradiente de energía y otro a través de los espacios vacíos del suelo y subsuelo de acuerdo con el gradiente piezométrico y con la permeabilidad del medio (Muños, 1998). El agua cuando se infiltra en la superficie

terrestre y que no es retenida por la humedad se mueve hacia las corrientes subsuperficiales o se infiltra hacia el manto freático.

Para la determinación de la descarga se utilizó método APLIS el cual está altamente recomendado para zonas semiáridas y además permite establecer la distribución espacial de la tasa de recarga media anual en los acuíferos según las características de los mismos. Este aspecto es fundamental para una adecuada gestión y protección del agua subterránea, tanto de la cantidad como de la calidad.

El método APLIS a su vez permite estimar la recarga como porcentaje de la precipitación, a partir de la combinación de variables intrínsecas de los mismos como, Altitud (A), Pendiente (P), Litología (L), zonas de Infiltración preferente (I) y Suelo (S), las cuales se les asigna valores entre 1 (mínima influencia en la recarga) y 10 (máxima influencia). A continuación, se muestran las valoraciones de cada una de las variables utilizadas:

Tabla 5.1-81 Valoración de la Altitud

ALTITUD (A)	VALOR
<300	1
300-600	2
600-900	3
900-1200	4
1200-1500	5
1500-1800	6
1800-2100	7
2100-2400	8
2400-2700	9
>2700	10

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Tabla 5.1-82 Valoración de la pendiente

PENDIENTE (P-%)	VALOR
<3	10
3-8	9
8-16	8
16-21	7
21-31	5
31-46	4
46-76	3
76-100	2
>100	1

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Tabla 5.1-83 Valoración Unidades Geológicas

LITOLOGÍA (L)	VALOR
Depósitos aluviales	4
Depósitos fluviolacustres	1
Depósitos de Llanura Aluvial	4
Depósitos Coluvio - Aluviales	4
Gravas de Rotinet	4
Formación Tubará	4

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Tabla 5.1-84 Valoración de la Infiltración-Absorción

INFILTRACIÓN-ABSORCIÓN (I)	VALOR
Depósitos aluviales	10
Depósitos fluviolacustres	1
Depósitos de Llanura Aluvial	10
Depósitos Coluvio - Aluviales	10
Gravas de Rotinet	10
Formación Tubará	10
Formación Hibácharo	1

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

En el caso de la variable suelo se clasifican en función de las características de espesor y textura que están relacionadas con la permeabilidad de las unidades geológicas.

Tabla 5.1-85 Valoración de Suelos (S)

SUELO (S)	VALOR
Depósitos aluviales	3
Depósitos fluviolacustres	3
Depósitos de Llanura Aluvial	3
Depósitos Coluvio - Aluviales	3
Gravas de Rotinet	3
Formación Tubará	10
Formación Hibácharo	10

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Una vez calculadas estas tablas las capas se integran en formato raster, según la formula siguiente:

$$R\ (Recarga) = A + P + 3L + 2I + S/\ 0.9$$

Donde:

- R: Recarga
- A: Altitud

- P: Pendiente
- L: Litología
- I: Infiltración
- S: Suelo

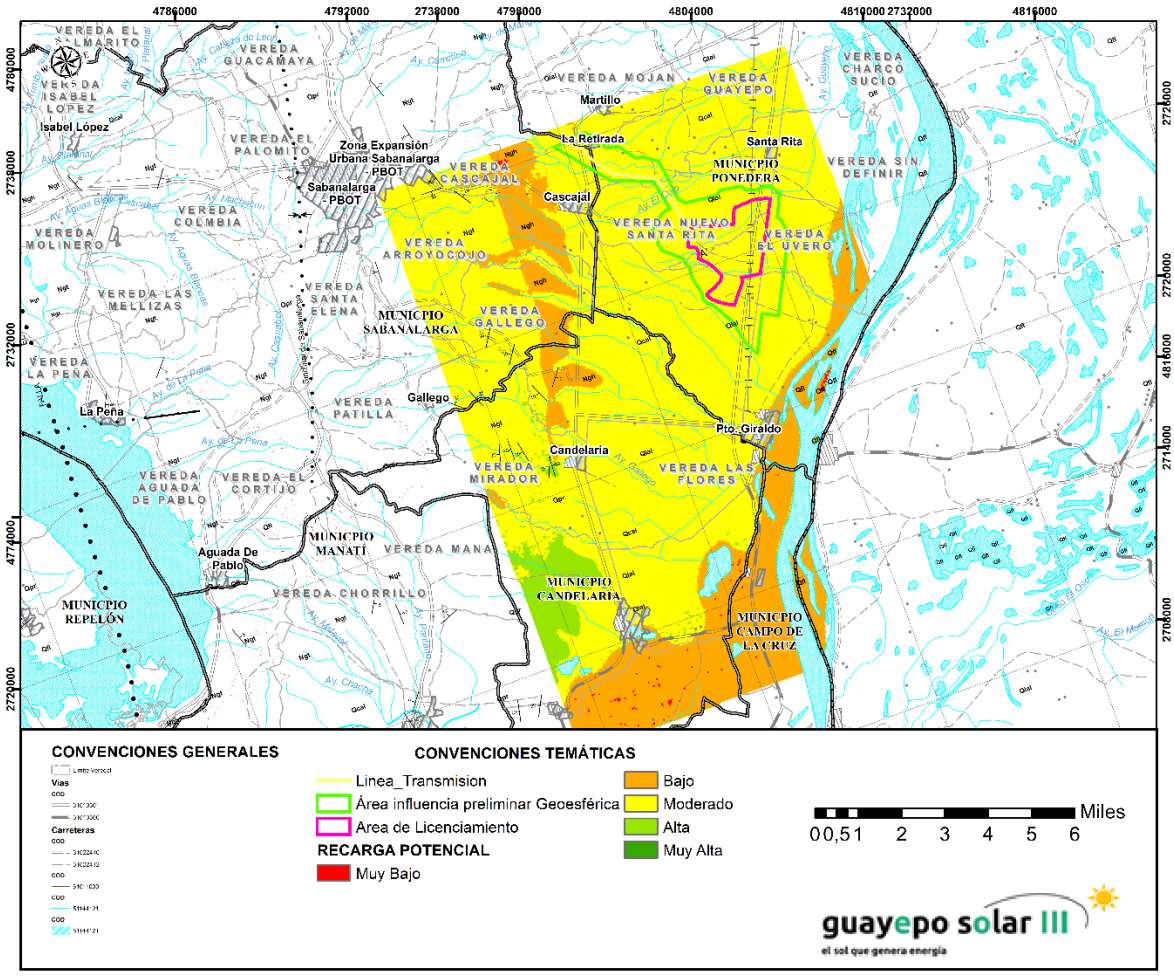
Los valores obtenidos de tasa de Recarga se expresan como porcentaje de la precipitación, estos se agrupan en intervalos regulares como se muestra en la Tabla 5.1-86.

Tabla 5.1-86 Valores para la clasificación de la variable recarga

VALOR DE RECARGA	INTERVALOS
Muy Baja	<25
Baja	25-35
Moderada	35-55
Alta	55-75
Muy Alta	>75

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Figura 5.1-142 Imagen correspondiente a la recarga potencial



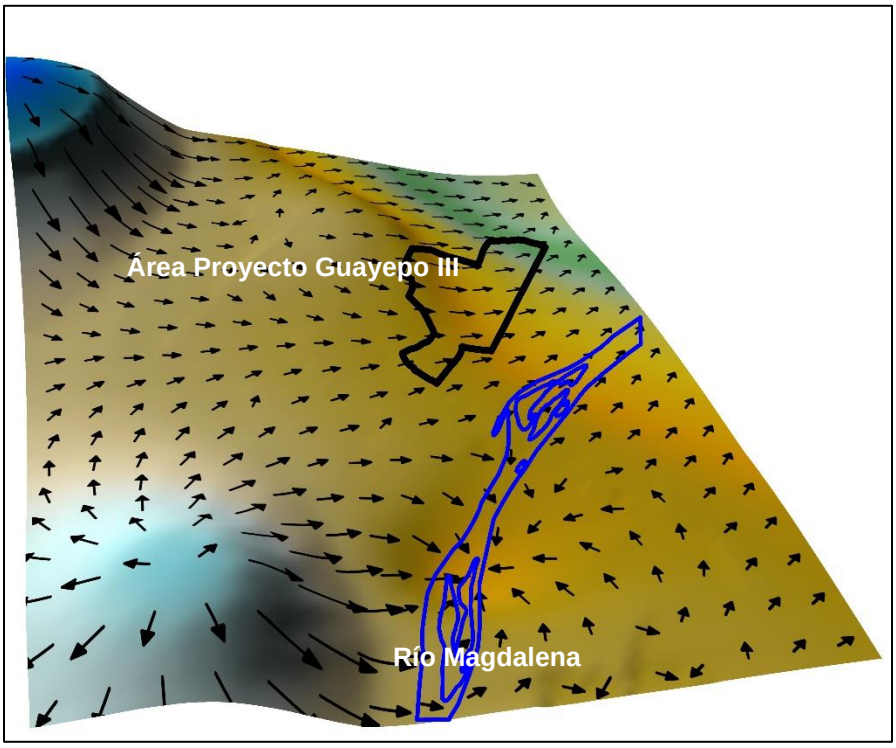
Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

El mapa muestra dos zonas potenciales de recarga las cuales están definidas por parámetros como altitud y tipo de roca. El primer parámetro corresponde a las zonas más altas al noroeste de la zona de estudio, desde este sector el agua empieza a transitar tanto por escorrentía como infiltración a zonas topográficamente más bajas. El segundo parámetro corresponde a los depósitos inconsolidados correspondientes a llanuras aluviales en donde la infiltración por ´precipitaciones se hace más rápidamente.

Complementando el método APLIS se generó un mapa de direcciones de flujo el cual muestra sectores de divergencia de líneas de flujo que representan zonas de

recarga hídrica y zonas de convergencia de líneas de flujo que corresponden a zonas de descarga hídrica.

Figura 5.1-143 Modelo que muestra zonas de recarga y descarga hídrica mediante la interpretación de líneas de flujo



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.7.7 Evaluación y clasificación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación

Con el fin de analizar de forma semicuantitativa, el posible impacto ambiental que pudiera causar las actividades antrópicas sobre los acuíferos de la zona de estudio, se decidió realizar un análisis de vulnerabilidad GOD.

La metodología GOD fue desarrollado por Foster (1987), es un método sencillo y fácil de aplicar y por su estructura simple es el utilizado en primer lugar para estimar la vulnerabilidad a la contaminación de un acuífero.

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 nula y uno (1) vulnerabilidad extrema a la contaminación.

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.

Tabla 5.1-87 Ocurrencia del Agua Subterránea "G"

TIPO DE CONFINAMIENTO	PONDERACIÓN
Ninguno	0
Surgente	0,1
Confinado	0,2
Semiconfinado	0,4
No Confinado (Cubierto)	0,6
Libre (No confinado)	1

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

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.

Tabla 5.1-88 Litología predominante sobre el acuífero "O"

NO CONSOLIDADOS	CONSOLIDADOS (ROCAS POROSAS)	CONSOLIDADOS (ROCAS MASIVAS)	PONDERACIÓN
Arcillas			0,4
Limos	Arcillolitas		0,5
	Lutitas		
Gravas con matriz arcillosa	Limolitas	Complejos Ígneos, Metamórficos Volcánicos antiguos	0,6
Arcilla/Grava y/o Arena (intercalaciones)	Areniscas		0,7
	Tobas volcánicas		
Arenas	Litoarenitas	Lavas Volcánicas Recientes	0,8
Gravas	Calcarenitas		0,9
	Calizas Blandas		
		Caliche	1
		Otras Calizas Duras	

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Parámetro "D"

Profundidad del nivel freático para los acuíferos libres, o el techo para los acuíferos de tipo semiconfinado o confinado.

Tabla 5.1-89 Profundidad del Agua “D”

PROFUNDIDAD	PONDERACIÓN
>100	0,4
50-100	0,5
20-50	0,6
10-20	0,7
5-10	0,8
2-5	0,9
0-2	1

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Tabla 5.1-90 Grado de Vulnerabilidad a La Contaminación “GOD”

/	BAJA	MODERADA	ALTA	EXTREMA
0 – 0,1	0,1-0,3	0,3-0,5	0,5-0,7	0,7 – 1

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

A continuación, se muestran las tablas con las ponderaciones para cada uno de los parámetros que componen el método de análisis de vulnerabilidad GOD.

Tabla 5.1-91 Valores asignados parámetro “G”

UNIDADES GEOLÓGICAS	VALOR PARÁMETRO “G”
Depósitos Aluviales	0,6
Depósitos de Cauce	0,6
Depósitos Coluvio-Aluviales	0,6
Terrazas Aluviales Erosiónales	0,6
Depósitos de Relleno Antrópico	0

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Tabla 5.1-92 Valores asignados parámetro “O”

UNIDADES GEOLÓGICAS	VALOR PARÁMETRO “O”
Depósitos Aluviales	0,7
Depósitos de Cauce	0,7
Depósitos Coluvio-Aluviales	0,7
Terrazas Aluviales Erosiónales	0,7
Depósitos de Relleno Antrópico	0,5

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Tabla 5.1-93 Valores asignados parámetro “D”

UNIDADES GEOLÓGICAS	VALOR PARÁMETRO “G”
Depósitos Aluviales	0,7
Depósitos de Cauce	0,7
Depósitos Coluvio-Aluviales	0,7
Terrazas Aluviales Erosiónales	0,7
Depósitos de Relleno Antrópico	1

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Como resultado final se obtiene el análisis de vulnerabilidad a la contaminación de los sistemas acuíferos por las actividades del proyecto en los sectores donde se prevé haya lugar a actividades que generen la probabilidad de afectación teniendo en cuenta los términos de referencia.

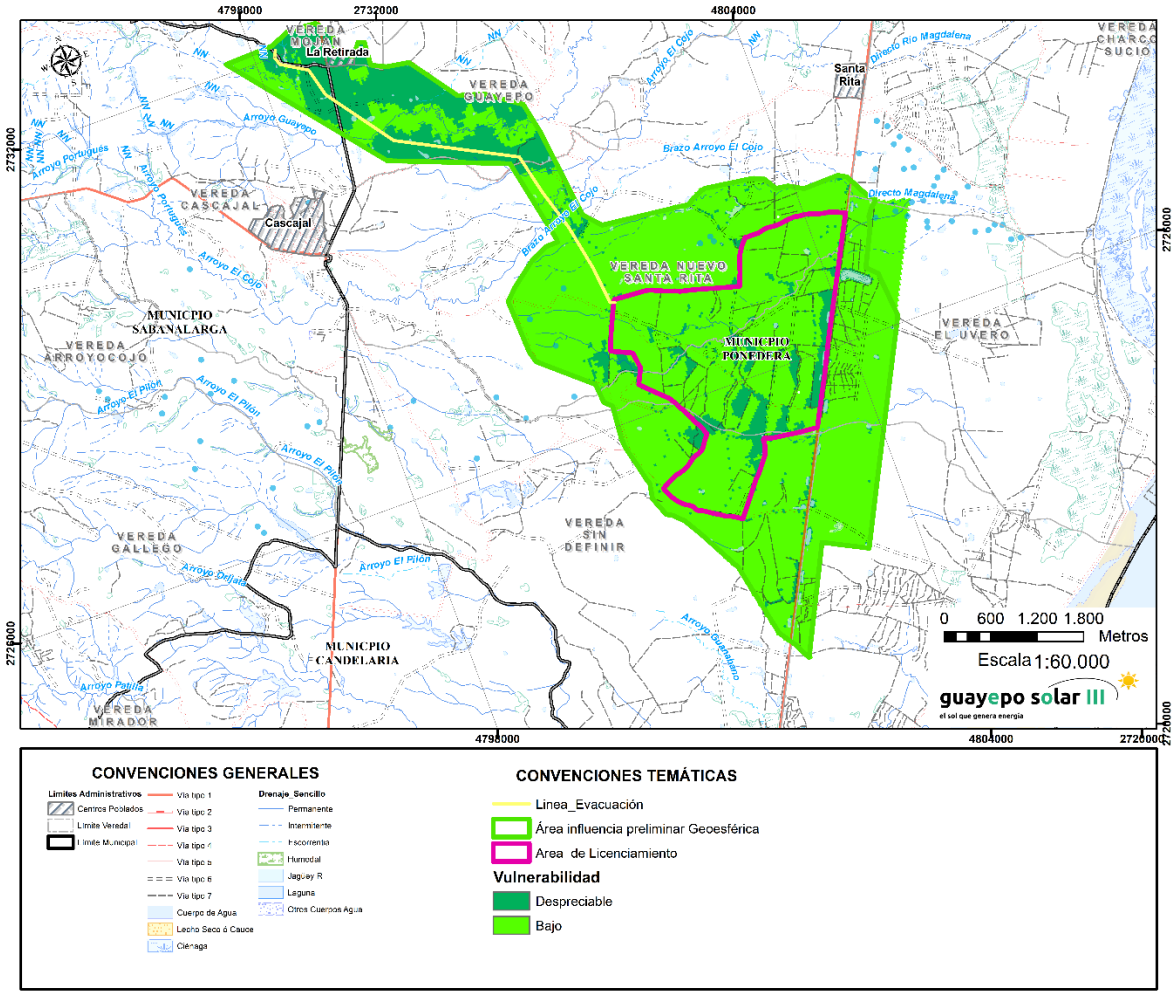
En la Tabla 5.1-94 muestra los resultados del análisis de vulnerabilidad utilizando el método GOD, en donde la susceptibilidad a la contaminación es baja o despreciable.

Tabla 5.1-94 Vulnerabilidad a la contaminación de sistemas acuíferos en el área de influencia del proyecto

UNIDADES GEOLÓGICAS	CALIFICACIÓN "GOD"
Depósitos Aluviales	0,245
Depósitos de Cauce	0,245
Depósitos Coluvio-Aluviales	0
Terrazas Aluviales Erosiónales	0,245
Depósitos de Relleno Antrópico	0

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Figura 5.1-144 Zonificación de la Vulnerabilidad a la contaminación de sistemas acuíferos en el área de influencia del proyecto



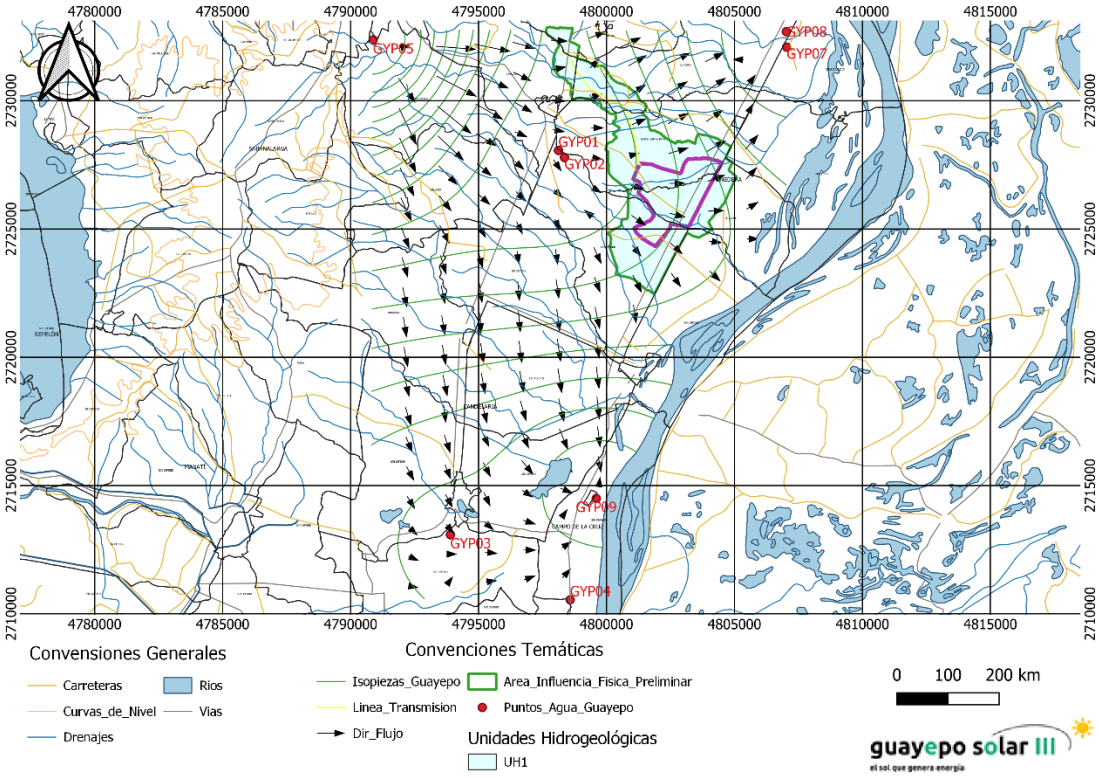
Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.7.8 Hidrogeología Local

El área de influencia del proyecto Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV se encuentra sobre la unidad hidrogeológica que se definió en la hidrogeología general como unidad UH1. La principal característica de esta unidad es la de ser un acuífero de mediana productividad capacidad específica entre 1,0 y 2,0 l/s/m, de igual forma corresponde a un sistema de acuíferos discontinuos de extensión local conformados por sedimentos de Depósitos Aluviales, Depósitos de Cauce, Depósitos Coluvio-Aluviales, Terrazas Aluviales Erosiónales y Depósitos de Relleno Antrópico, estos últimos pueden

actuar como pequeñas zonas artificiales de recarga de agua debido a la conformación de las estructuras hechas en la región.

Figura 5.1-145 Mapa Unidades hidrogeológicas locales



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.8 Geotecnia

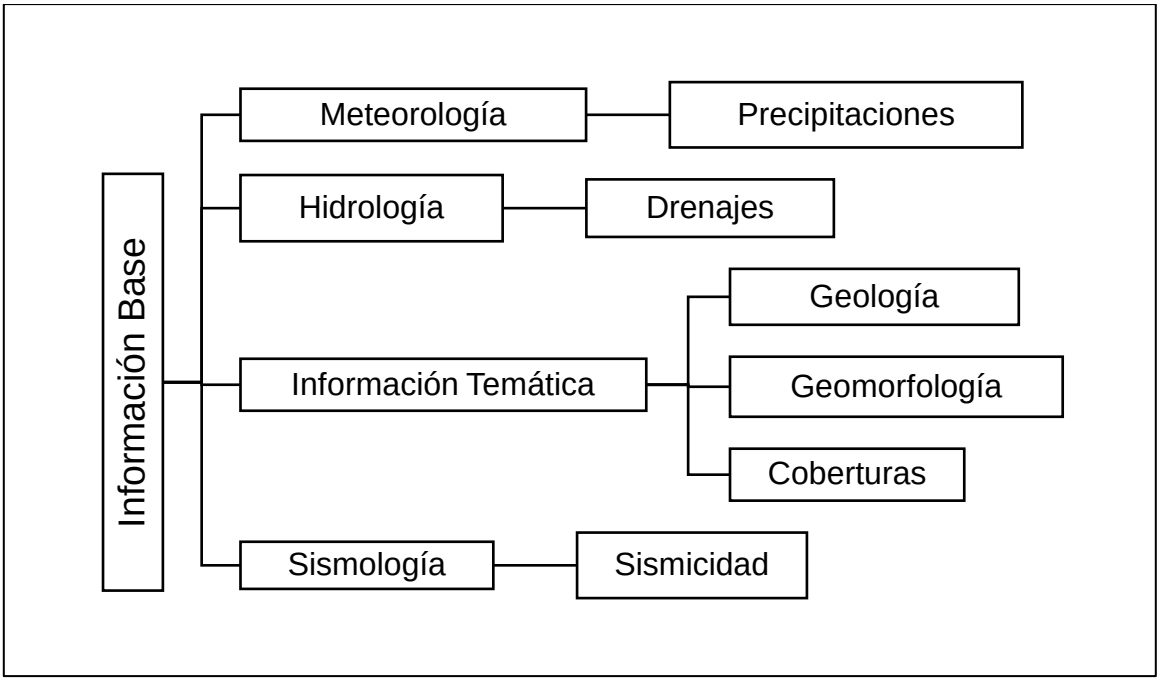
La zonificación geotécnica tiene como finalidad la identificación de áreas homogéneas que permitan evaluar las condiciones de estabilidad que pueden afectar la construcción y operación del proyecto Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV.

Se distinguen 5 etapas para la realización de la zonificación geotécnica:

5.1.8.1 Levantamiento de información base

La información base se obtiene mediante la recopilación de fuentes primarias y secundarias como meteorología, hidrología, geología, geomorfología, coberturas y sismicidad.

Figura 5.1-146 Elementos a recopilar dentro del levantamiento de información base



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.8.2 Evaluación de cartografía temática

La elaboración de la cartografía temática se realizó mediante la recopilación de información secundaria la cual fue validada en campo mediante visita técnica realizada entre octubre y diciembre de 2021, en donde se pudieron evaluar las condiciones desde el punto de vista de geología, geomorfología e hidrogeología en el proyecto Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV.

5.1.8.3 Generación de mapas índice

La generación de mapas índice procede de la evaluación cualitativa y semi cuantitativa de valores índice. Mediante el uso de los sistemas de información geográfica estas son llevadas a valores numéricos en evaluación de criterio experto de cada una de las alternativas que preceden de las características tales como litología, unidades hidrogeológicas subunidades geomorfológicas.

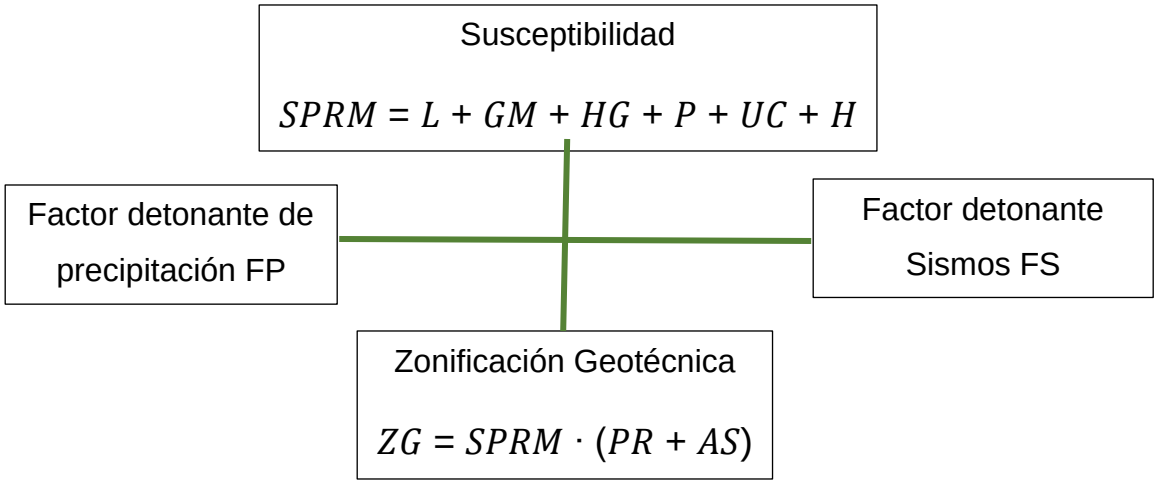
5.1.8.4 Análisis de Variables

Evaluadas cada una de las variables de interés dentro del análisis de la zonificación geotécnica, se procede al uso de los sistemas de información, con el fin de indicar dentro de las tablas de atributos el valor numérico para cada uno de los valores cualitativos indicados.

5.1.8.5 Cruce de la susceptibilidad geotécnica

Es sumatoria de cada uno de los valores determinados desde el mapa índice, son evaluados tanto el factor detonante de precipitación FP y factor detonante sismo FS, lo que conduce al cruce y calculo final de la zonificación geotécnica.

Figura 5.1-147 Construcción de la zonificación geotécnica



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

- Donde:

- $SPRM$: Susceptibilidad a procesos de remoción en masa
- L: Litología
- UC: Uso y cobertura
- H: Hidrología (densidad de drenajes)
- ZG: Zonificación Geotécnica
- PR: Precipitación
- AS: Amenaza sísmica

5.1.8.6 Valoración de las unidades cartográficas

5.1.8.6.1 Densidad de drenajes SD

Dentro del cálculo de esta variable se recurre al uso de los sistemas de información geográfica con el fin de establecer la densidad presentada por la delimitación de las redes de drenaje al interior del área de influencia.

La densidad de drenaje se realiza mediante asignación de pesos y delimitación de un área de influencia asociada al cauce. Lo anterior con el fin de ponderar mediante evaluación la incidencia de la concentración de lluvias debido a la presencia o no de cauces. Variable que condiciona la existencia u ocurrencia de fenómenos de remoción en masa, inestabilidad de laderas entre otros.

Tabla 5.1-95 Ponderación de cuerpos hídricos según su tipo

TIPO DE DRENAJE	PESO
Ríos	3
Quebradas	2
Drenajes Menores	1

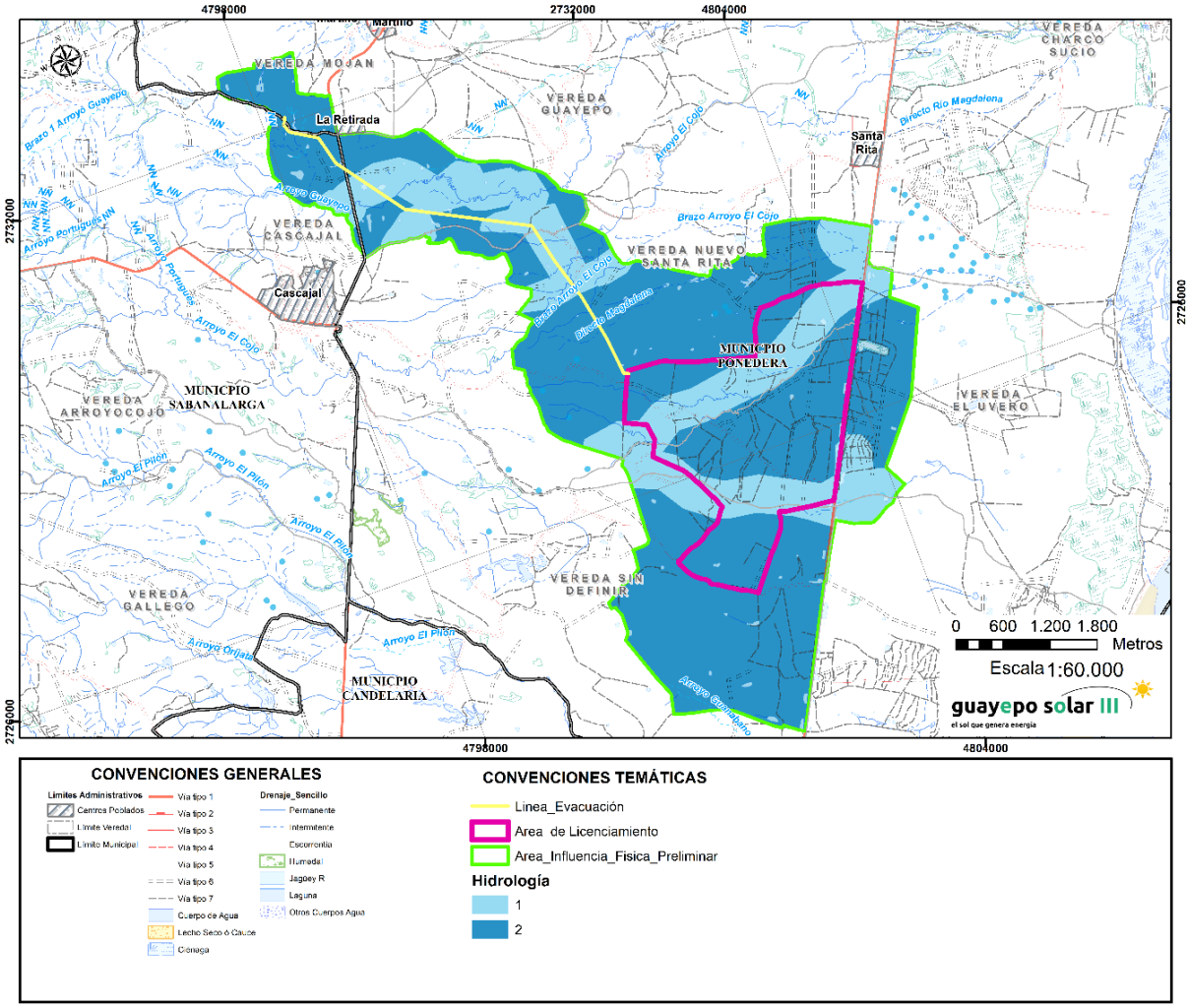
Fuente. (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Tabla 5.1-96 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. (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Figura 5.1-148 Hidrología Ponderada



Fuente. (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Las ponderaciones muestran las categorías 2 equivalente a quebradas y 1 a drenajes menores como la hidrología existente en la zona de estudio.

5.1.8.6.2 Densidad Estructural SES

Debido a que no se presentan fallas geológicas que afecten directamente la evaluación de procesos de remoción en masa, se excluye esta variable de los análisis efectuados para la zonificación geotécnica.

5.1.8.6.3 Litología SL

Este parámetro es el resultado de una evaluación cualitativa de forma numérica que describe el comportamiento geomecánico de estabilidad ante las diferencias genéticas de las unidades de roca aflorantes dentro del área de influencia, que para el caso muy homogéneo debido a la sola presencia de depósitos cuaternarios.

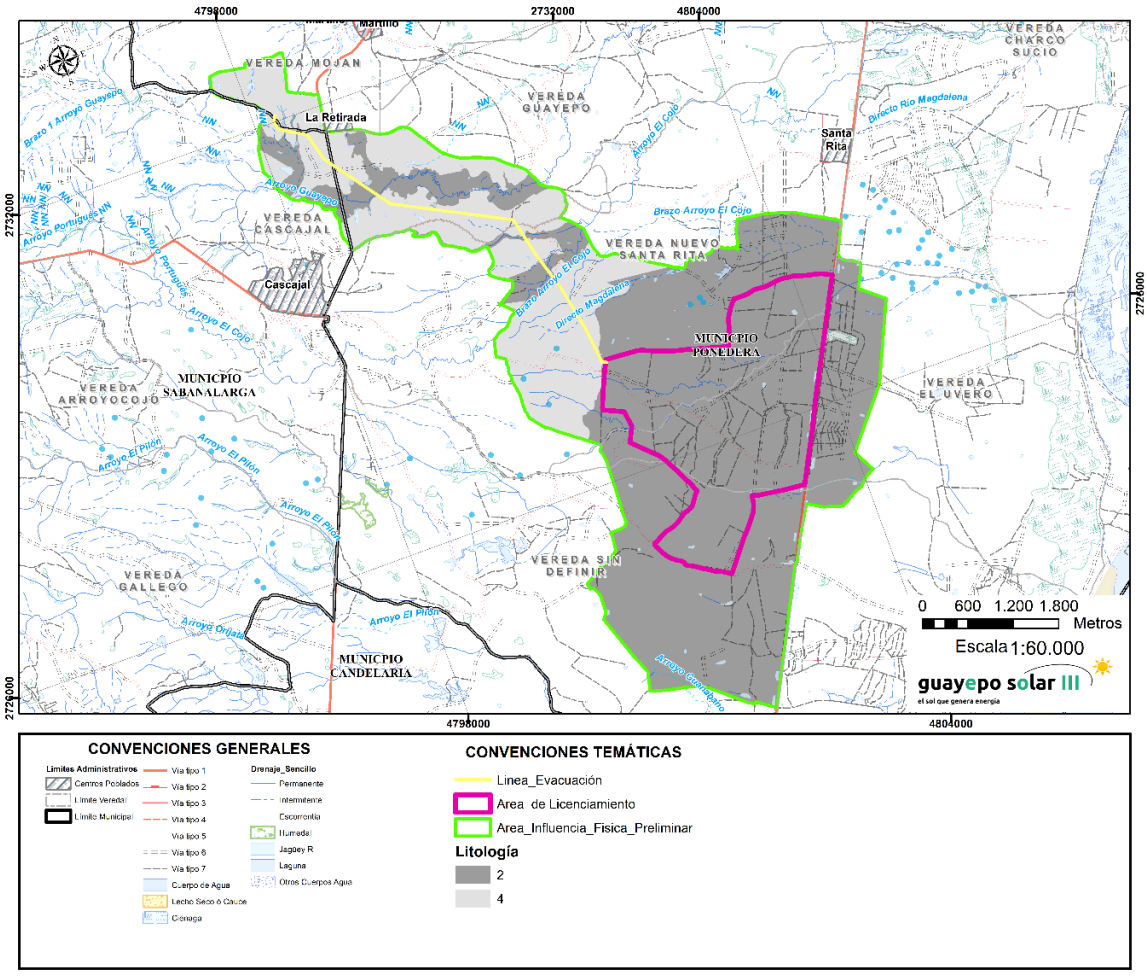
La evaluación se hace mediante la asignación del peso, para las rocas muy blandas no consolidadas, altamente fracturadas es muy alta (5), que en contra posición a este se asigna un valor de muy baja (1).

Tabla 5.1-97 Valores de susceptibilidad a la inestabilidad por litología

UNIDADES GEOLÓGICAS	PESO
Llanuras Aluviales (Qal)	2
Terrazas Aluviales Erosiónales (Qte)	2
Depósitos coluvio-aluviales (Qcal)	4
Depósitos de Cauce (Qc)	2
Rellenos Antrópicos (QAr)	4

Fuente. (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Figura 5.1-149 Litologías Ponderadas



Fuente. (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.8.6.4 Hidrogeología SH

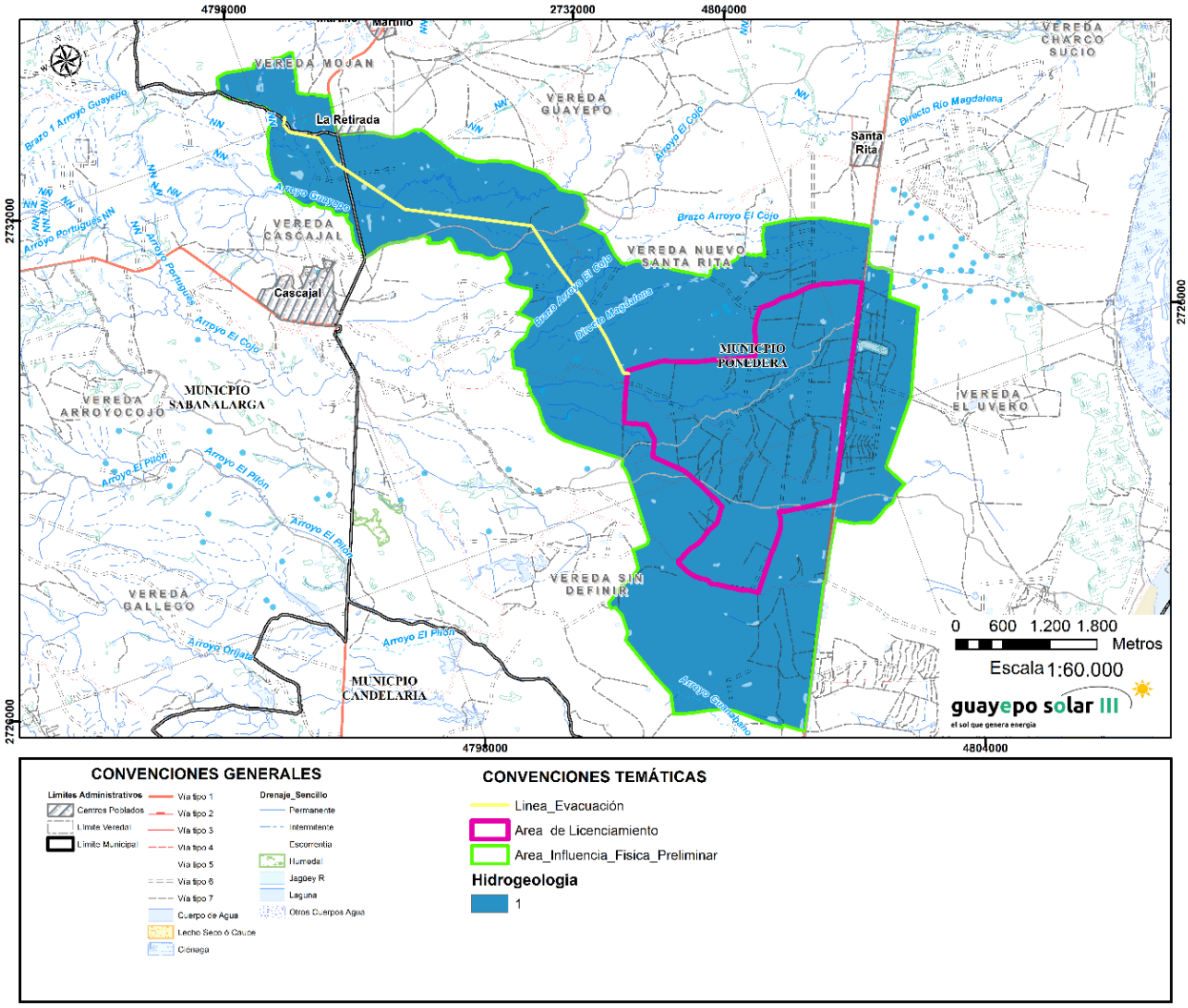
El parámetro de hidrogeología es una alternativa de evaluación que se relaciona directamente con el tipo de roca, tamaño de grano y geología estructural que afecta o dispone a las unidades lito estratigráficas aflorantes. Esta serie de atributos describe la cualidad de almacenar, retener o incomunicar el paso de agua desde superficie hacia profundidad.

Tabla 5.1-98 Valores de susceptibilidad a la inestabilidad por hidrogeología

UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS	PESO
UH1 - Acuíferos con porosidad primaria e intergranular	1

Fuente. (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Figura 5.1-150 Hidrogeología Ponderada



Fuente. (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.8.6.5 Coberturas y uso de Suelo SC

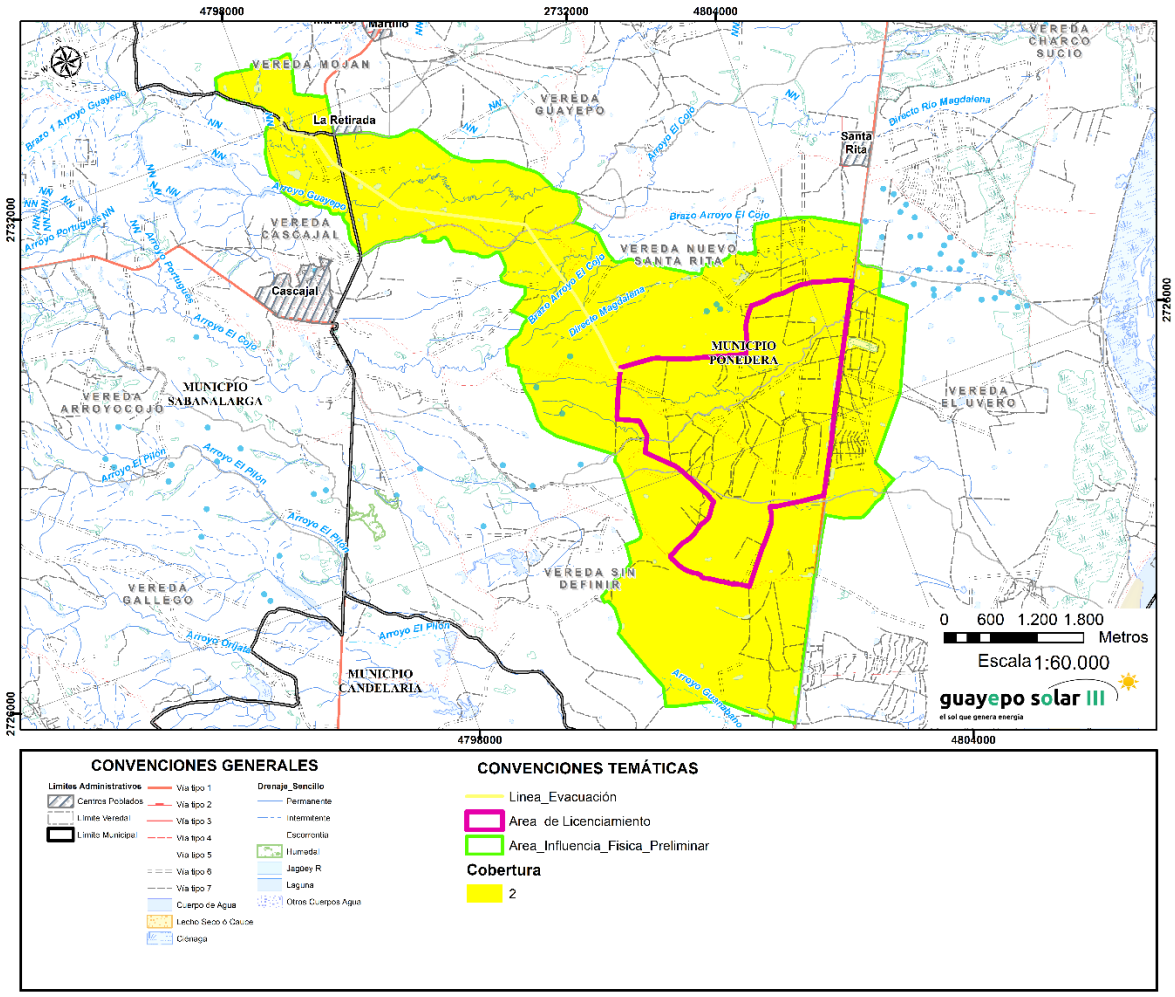
El parámetro de coberturas es la evaluación subjetiva según criterio que asocia cualidades basadas en la presencia o no de una cobertura vegetal sobre las unidades de suelo y roca según sea el caso en función de la capacidad de condicionar la ocurrencia presencia o delimitación de áreas geotécnicamente homogéneas.

Tabla 5.1-99 Valores de susceptibilidad a la inestabilidad por cobertura vegetal del suelo

COBERTURA	PESO
Zonas Húmedas	2
Zonas Agrícolas y Agropecuarias	2
Zonas Forestales Marginales de Cauce	2
Zonas Forestales Mixtas	2
Zonas Urbanizadas	1
Zonas con bajo desarrollo forestal	2

Fuente. (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Figura 5.1-151 Coberturas Ponderadas



Fuente. (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.8.6.6 Geomorfología SG

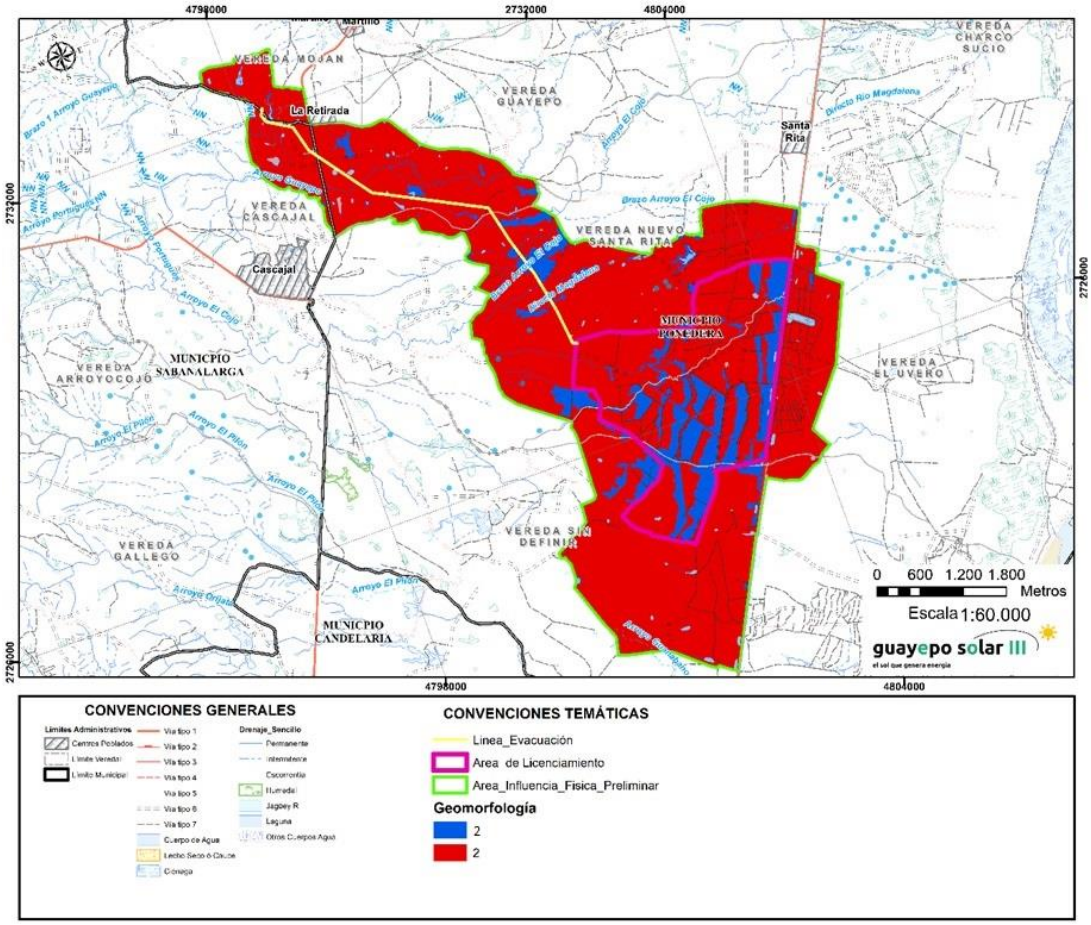
Las ponderaciones o peso asignado son realizado a geoformas que en evaluación de atributos ofrecen una mayor estabilidad bien sea el caso de superficies planas o poco inclinadas asociadas a depósitos de llanura, cimas, laderas estructurales a barras de longitudinales.

Tabla 5.1-100 Valores de susceptibilidad a la inestabilidad por geomorfología

UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	PESO
Terrazas de Acumulación Antigua (Ftan)	2
Planicie Ondulada (Dpo)	2
Planos de Inundación (Fpi)	2
Excavaciones (Ase)	2

Fuente. (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Figura 5.1-152 Geomorfología Ponderada



Fuente. (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.8.6.7 Pendientes

A partir del uso de modelos digitales de elevación son realizados análisis geoespaciales con el fin de extraer la variable pendiente.

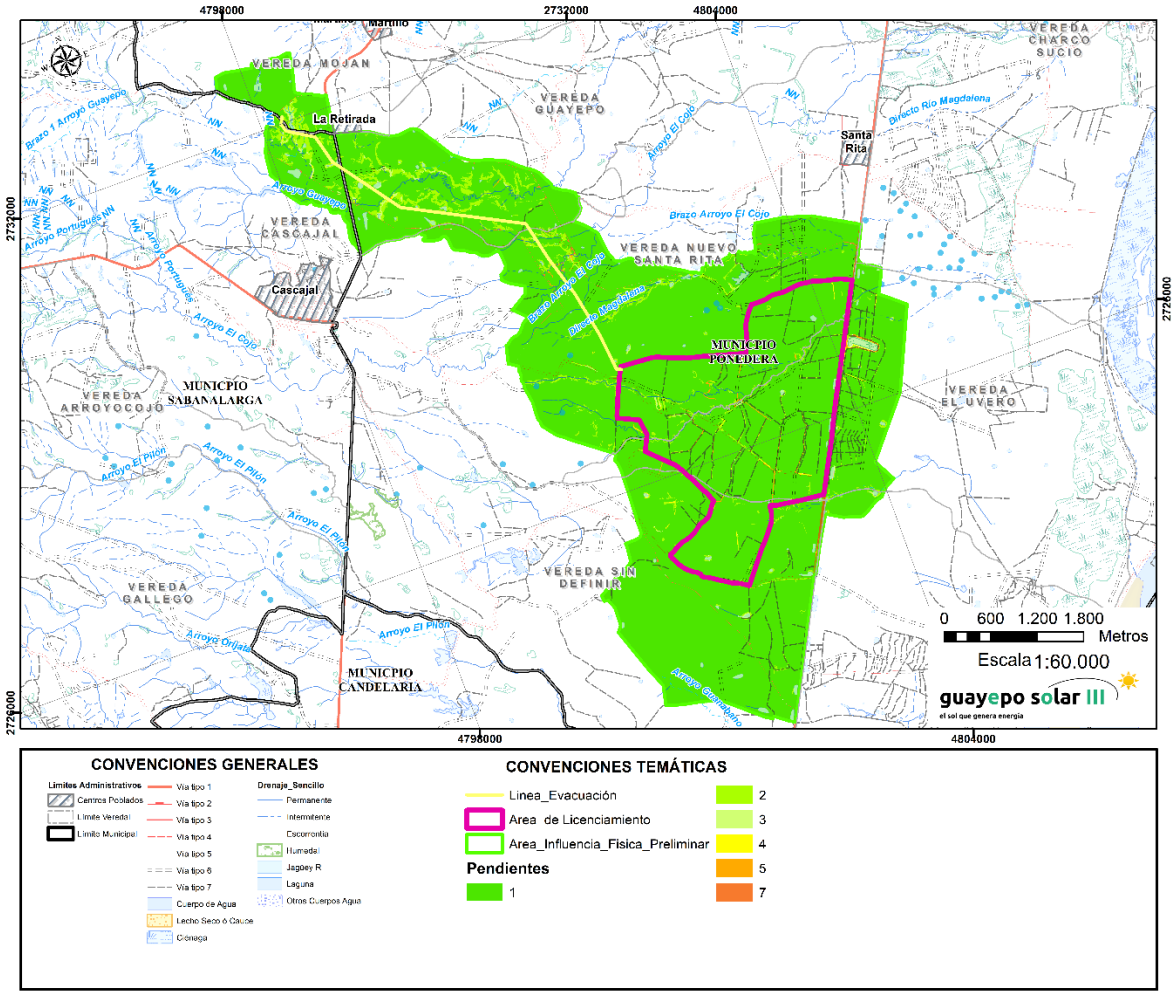
Dado lo anterior para pendiente bajas habrá menor susceptibilidad a la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa, en pendientes ligeras y ligeramente inclinadas, existirán valores intermedios y para superficies fuertemente escarpadas o totalmente escarpadas habrá valores altos de susceptibilidad.

Tabla 5.1-101 Valores de susceptibilidad a la inestabilidad por pendientes

RANGOS DE PENDIENTES (%)	PESO
0-3	1
3-7	2
7-12	3
12-25	4
12-50	4
50-75	5
> 75	5

Fuente. (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Figura 5.1-153 Pendientes Ponderadas



Fuente. (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.8.7 Susceptibilidad a procesos de remoción en masa

A partir de la evaluación de los parámetros relacionados con los factores intrínsecos, se elaboró el mapa de susceptibilidad a procesos de remoción en masa para el área de influencia preliminar y definitiva del medio abiótico. Este análisis consiste 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 herramientas SIG.

$$SPRM = L + GM + HG + P + UC + H$$

Donde,

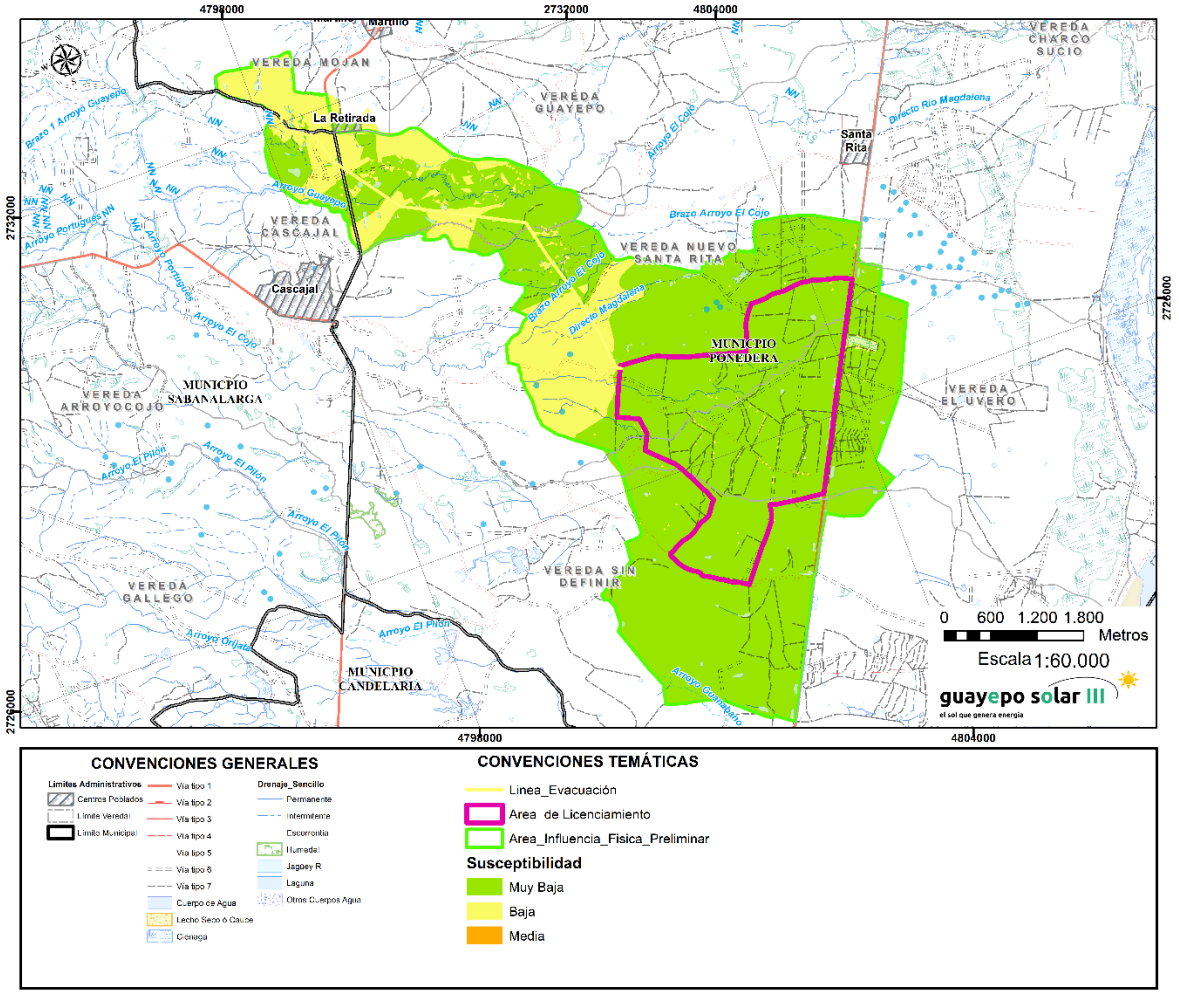
- SPRM: Susceptibilidad a procesos de remoción en masa,
- L: Litología,
- GM: Geomorfología,
- HG: Hidrogeología,
- P: Pendientes,
- UC: Uso y cobertura,
- H: Hidrología (densidad de drenajes).

Tabla 5.1-102 Intervalos para categorizar la susceptibilidad general del terreno a procesos de remoción en masa

RANGOS	CATEGORÍA	PESO
<12	Muy Baja	1
12-15	Baja	2
15-19	Media	3
19-24	Alta	4
>24	Muy Alta	5

Fuente. (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Figura 5.1-154 Mapa de Susceptibilidad a procesos de remoción en masa proyecto Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV.



Fuente. (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.8.8 Estabilidad en los sitios de cimentación de torres

En el proyecto se realizó una campaña de geotecnia en la cual se realizaron exploraciones (octubre a diciembre del 2021) tanto en el área del parque como en el área de la línea de evacuación, donde se determina y se justifica la cimentación tanto de las estructuras de paneles como la cimentación de los sitios de torre, allí se especifican la capacidad portante del terreno, tipo de materiales y posteriormente los análisis que demuestran la factibilidad de construcción de las estructuras. La

información soporte de cimentación en los sitios de torre se puede visualizar en el Anexo 3. Descripción del proyecto/3.3 Geotecnia. Zonificación geotécnica

La zonificación geotécnica del área de influencia proyecto Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV, se efectuó con base en la evaluación de los factores intrínsecos, a partir del mapa de susceptibilidad a la remoción en masa y su interacción con los factores detonantes, considerando la amenaza sísmica y la precipitación evidenciada en la zona. 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.

Para el desarrollo de la evaluación de la zonificación geotécnica, inicialmente se optó por evaluar los parámetros internos que se asocian a procesos de remoción en masa, conocidos factores contribuyentes, una vez caracterizados, éstos han sido cruzados con los factores detonantes de mayor influencia en la zona que corresponden a precipitación y sismicidad, obteniendo de esto las zonas geotécnicas de mayor riesgo ante eventos de inestabilidad.

Después del cruce de parámetros se realiza zonificación geotécnica teniendo en cuenta la siguiente tabla de valores:

Tabla 5.1-103 Intervalos para categorizar la zonificación geotécnica

RANGOS	CATEGORÍA DE AMENAZA	PESO	ESTABILIDAD GEOTÉCNICA
<52	Muy Baja	1	Muy Alta
52-95	Baja	2	Alta
95-170	Media	3	Media
170-240	Alta	4	Baja
>240	Muy Alta	5	Muy Baja

Fuente. (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.8.8.1 Amenaza Sísmica

Para la realización de este parámetro se recurrió al inventario de sismos que posee el Servicio Geológico Colombiano, se buscaron epicentros dentro de la zona de interés y puntos más cercanos del proyecto Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV, ver tabla 5.2. A continuación, se muestra valoración del parámetro de sismicidad.

Tabla 5.1-104 Valores asignados al parámetro de sismicidad para el proyecto.

MAGNITUD DEL SISMO	CATEGORÍA	PESO
1-3.5°	Bajo	1
3.5-5.5°	Medio	2
5.5-7.5°	Alto	3
>7.5°	Muy Alto	4

Fuente. (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021), Modificado del Servicio Geológico Colombiano.

5.1.8.8.2 Precipitación

La evaluación de la precipitación como uno de los factores que intervienen en el desempeño geomecánico de los suelos y rocas se efectuó a partir datos de IDEAM de Precipitación Media Total Anual Promedio Multianual de 1981 a 2010 y adicionando los valores a los años entre 2011 a 2017, de donde se elaboró la siguiente tabla de asignación de valores

Tabla 5.1-105 Valores de susceptibilidad a la inestabilidad por precipitación

PROMEDIO DE PRECIPITACIÓN (MM/AÑO)	PESO	NIVEL DE LA AMENAZA
<1500	1	Baja
1500-2500	2	Media
2500-3500	3	Alta
>3500	4	Muy Alta

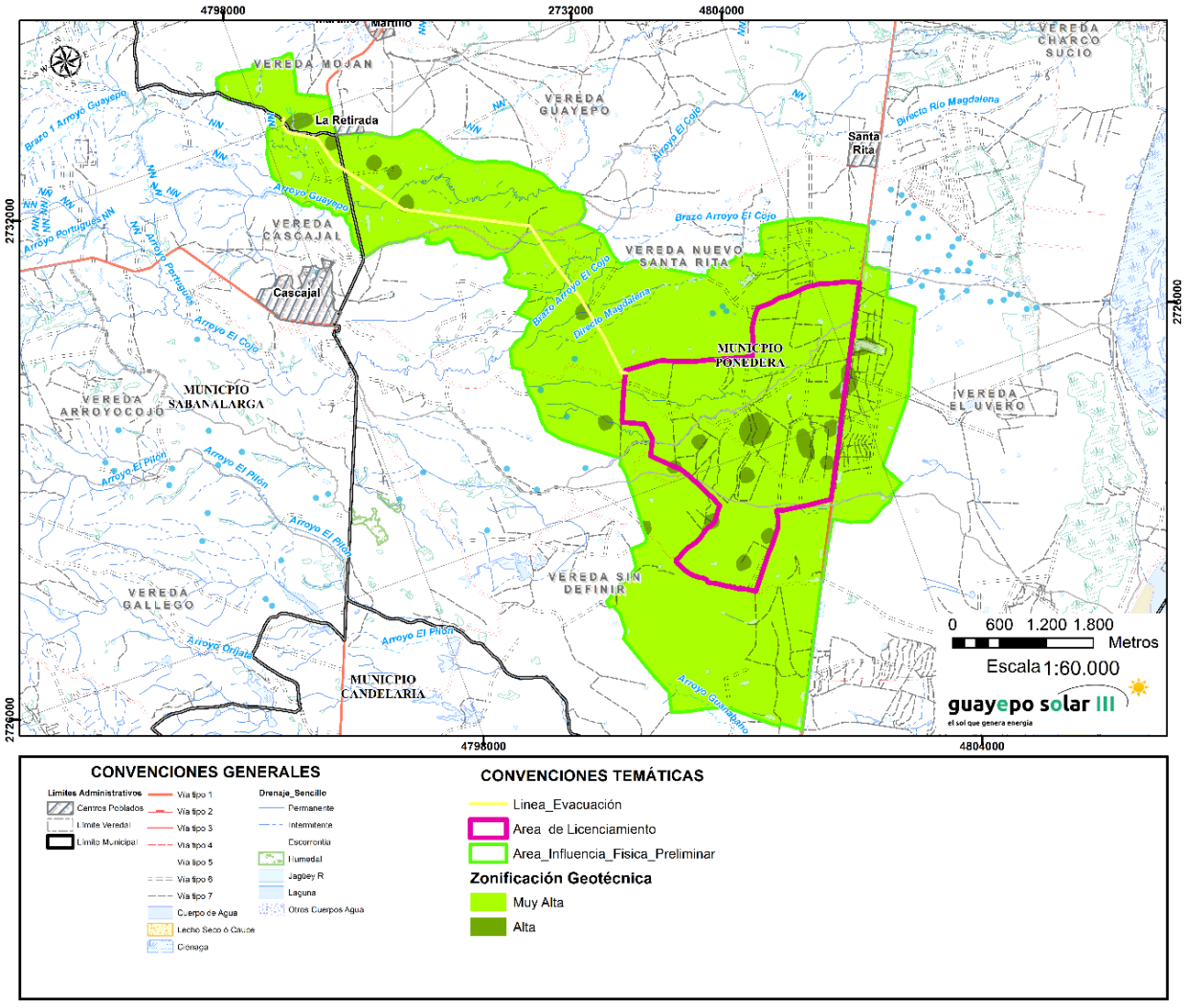
Fuente. (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.8.8.3 Resultados del proceso de zonificación

Con base en las ponderaciones y la evaluación de las diferentes variables determinadas, se establece la zonificación geotécnica del área de influencia del proyecto Parque Solar Fotovoltaico Guayepo III 200MV y su línea de evacuación de 500 kV en términos de estabilidad global se pudo determinar qué grado de amenaza es muy baja y la consecuente estabilidad es muy alta; en consecuencia, la zona se

caracteriza por la presencia de depósitos de pendiente plana a moderadamente inclinada, cuyos ambientes de formación son denudacionales y 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 que varían entre 1100 y 1300 mm/año y aceleraciones sísmicas de 0.10 g.

Figura 5.1-155 Mapa de Zonificación Geotécnica



Fuente. (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.9 Atmosfera

A continuación, se presentan las condiciones a nivel atmosférico con base en la red de calidad de monitoreo de calidad de aire establecido por el proyecto las cuales definen las características climáticas de la zona y el estado de la calidad del aire y ruido ambiental, siguiendo lo estipulado por 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.

Cabe aclarar que los términos de referencia TdR-17 no solicitan información meteorológica para este apartado, a diferencia de los términos de referencia TdR-015 que, si los solicita, por consiguiente, el presente Estudio de Impacto Ambiental acoge lo requerido por los términos de referencia TdR-015.

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 fuentes de emisión atmosférica

Se consultó la información de tipo oficial sobre fuentes de emisiones entregada por la Corporación Autónoma Regional del Atlántico – CRA Autónoma el día 4 de Junio de 2021, mediante el radicado 001693 el cual se encuentra en el Anexo 2.1.2.7.

CRA, en la Tabla 5.1-106 se relaciona el listado brindado por la CRA, cabe señalar que ninguna de estas fuentes se encuentra en el área de influencia del proyecto.

Tabla 5.1-106 Permisos de emisiones atmosféricas – CRA

TIPO DE AUTORIZACIÓN	USUARIO	EXPEDIENTE	No. ACTO ADMINISTRATIVO (Resolución)	MUNICIPIO
Permiso de emisiones atmosféricas	EKQ-091/ RAUL LOPEZ CAMACHO	1709-286	442 de 2017	17 SABANALARGA
Permiso de emisiones atmosféricas	A&T SOLUCIONES INTEGRALES SAS/ KARINA MARTINEZ	1715-048	86 de 2018	17 SABANALARGA
Permiso de emisiones atmosféricas	TRITURADOS Y AGREGADOS DEL PACIFICO SAS/ HERNAN GARCIA	1703-092	144 de 2019	17 SABANALARGA

Fuente: (Corporación Autónoma Regional del Atlántico, 2021)

Por otra parte, con el fin de identificar fuentes fijas de área autorizadas por la CRA-Autónoma, se consultó con la entidad los sitios facultados para la extracción de materiales de cantera y/o materiales de arrastre.

5.1.9.1.2 Inventario de fuentes de emisiones

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.

5.1.9.1.2.1 Fuentes de emisión fijas

Se evidenciaron fuentes fijas correspondientes a viviendas que cocinan con leña y realizan quema de residuos sólidos (orgánicos e inorgánicos) a cielo abierto, lo cual genera emisión de contaminantes como monóxido de carbono, dióxido de carbono,

óxidos de nitrógeno (NOx) y compuestos orgánicos volátiles (VOC), se evidencia también que entre los materiales que son quemados se encuentran plásticos, papeles tratados químicamente y sintéticos que al quemarse emiten sustancias químicas tóxicas al aire como dioxinas, furanos, hexaclorobenceno, plomo, mercurio, entre otros (Ver Fotografía 5.1-50 y Fotografía 5.1-51)

Adicionalmente la actividad económica predominante en el área de influencia corresponde a la ganadería extensiva de tipo bovino, la cual a gran escala es considerada como fuente de emisión principalmente de CO_2, metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O). (Ver Fotografía 5.1-49)

Donde se ubicó la Estación 3: A3-Divino Niño, la cual corresponde a una estación de red de monitoreo de calidad de aire propuesta en el proyecto y la cual se puede evidenciar en el numeral 5.1.9 Atmosfera/ 5.1.9.3 Monitoreo de aire (Tabla 5.1-111), se evidenció el acopio a cielo abierto de materiales pétreos y arenosos y obras de construcción, sin ningún tipo de protección. (Ver Fotografía 5.1-52)

Fotografía 5.1-49 Actividad de ganadería

	
Actividad ganadera Corregimiento de Cascajal Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12): E 915622,05 – N 1663640,36	Actividad ganadera Corregimiento de Cascajal Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12): E 915622,05 – N 1663640,36

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Fotografía 5.1-50 Quema de residuos y cocina a base de leña corregimiento de Santa Rita

	
Quema de residuos Corregimiento de Santa Rita Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12): E 4.804.639 – N 2.728.280	Cocina a base de leña a cielo abierto Corregimiento de Santa Rita Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12): E 4.804.636 – N 2.728.300

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

Fotografía 5.1-51 Quema de residuos y cocina a base de leña corregimiento de Puerto Giraldo

	
Quema de residuos Corregimiento de Puerto Giraldo Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12): E 4’802.575 – N 2’724.242	Cocina a base de leña Corregimiento de Puerto Giraldo Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12): E 4’802.646 – N 2’724.281

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

Fotografía 5.1-52 Acopio de materiales pétreos

	
Acopio de materiales Corregimiento de Cascajal Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12): E 4’798.558 – N 2’730.286	Obra de construcción Corregimiento de Cascajal Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12): E 4’798.530 – N 2’730.305

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

Se aclara que no se identificaron fuentes biogénicas relacionadas alguna actividad volcánica o presencia de áreas clasificadas como desérticas.

5.1.9.1.2.2 Fuentes de emisión móviles

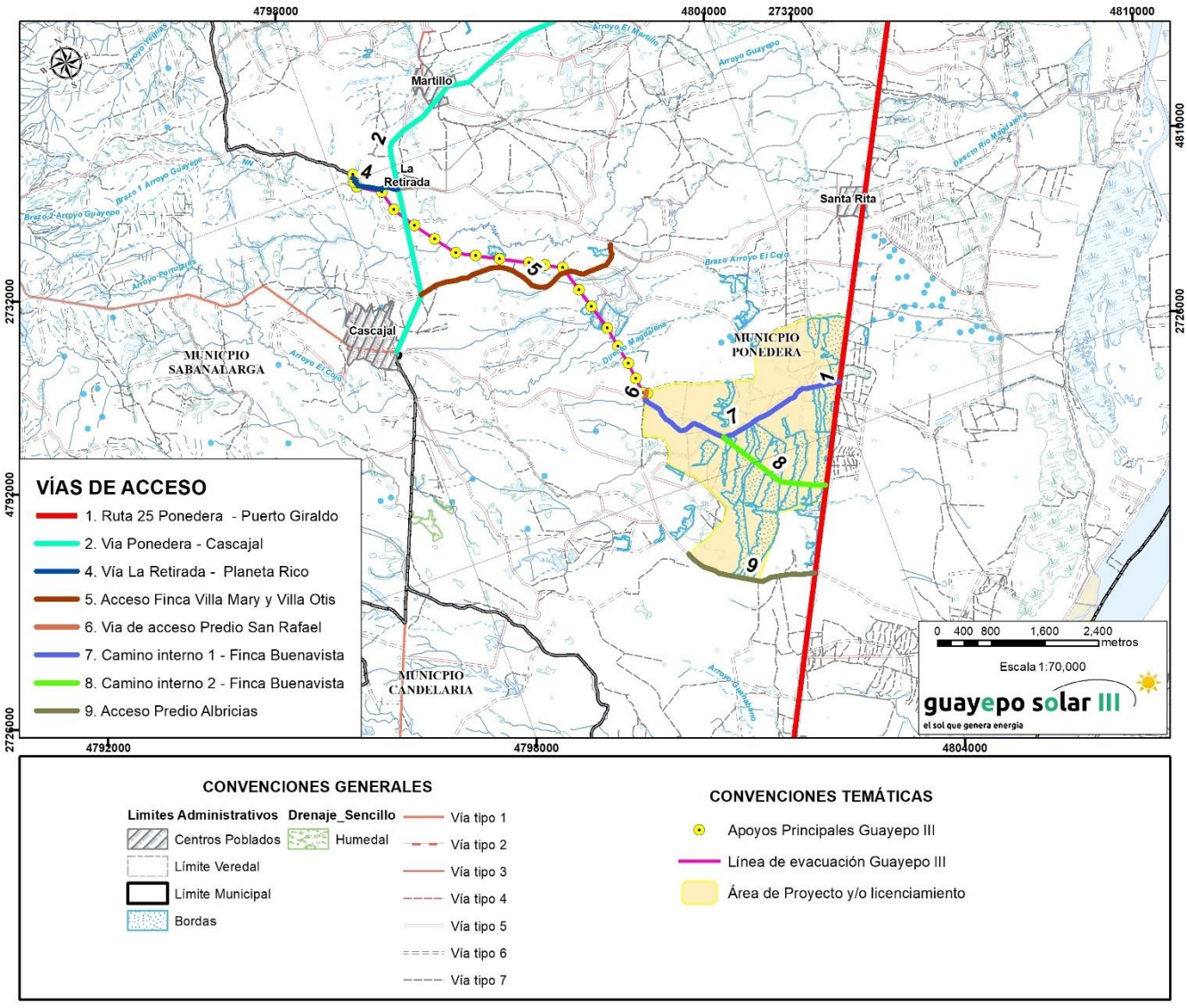
Las fuentes móviles son aquellas fuentes de emisión que, por razón de uso o propósito, es susceptible de desplazarse, como los automotores o vehículos de

transporte a motor de cualquier naturaleza y se clasifican en aéreas, terrestres y fluviales (Decreto 948 de 1995).

El área de estudio se encuentra sobre la vía de orden nacional Ruta 21-Troncal de Occidente, específicamente en el tramo que va de Ponedera a Puerto Giraldo, la cual se encuentra en perfectas condiciones y es una vía pavimentada, con constante tránsito vehicular. Otra de las vías a usar por el proyecto es la vía departamental que va de Sabanalarga-Ponedera, en el tramo que de Ponedera conduce a Cascajal, es una vía pavimentada la cual registra mayor tránsito de microbuses, automóviles, camiones y vehículos ligeros.

La vía que va de Santa Rita a La Retirada y el acceso a la finca Villa Mary son vías de carácter municipal que también serán usadas por el proyecto junto a las vías privadas o caminos internos de la finca Buenavista, son vías que no se encuentran pavimentadas, lo que genera que el tránsito vehicular produzca pulverización del material, levantando partículas que continúan en suspensión después del paso del vehículo. Para más información sobre las vías en el capítulo 3. Descripción del proyecto/ 3.2.4.1 Adecuación y construcción de vías de acceso, se puede encontrar a detalle las características de cada una de las vías que se encuentran en el área de influencia del proyecto.

Figura 5.1-156 Vías y accesos al proyecto



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

- Vía Ponedera - Santa Rita pertenece a la Ruta 25 – Troncal de Occidente, vía primaria administrada por la Agencia Nacional de Infraestructura ANI.
- Vía Ponedera - Cascajal pertenece al eje vial Sabanalarga y Ponedera.
- De las dos vías descritas anteriormente se derivan vías de carácter terciario que comunican las Corregimientos y permiten el acceso a los predios donde se localizará el proyecto.

- Vía Santa Rita y La Retirada: corresponde a una vía terciaria en afirmado que comunica los dos corregimientos.
- Vía La Retirada – Planeta Rico: Vía terciaria de acceso a los predios La Peggy y El Recuerdo, la vía es cruzada por la línea de evacuación entre la torre 19 y la conexión a la Línea de Guayepo 400MW.
- Vía de acceso a Fincas Villa Mary y Villa Otti: Vía terciaría que cruza la línea de evacuación entre las torres 7 y 8. Conecta las vías Ponedera - Cascajal con la vía Santa Rita – La Retirada.
- Vía de acceso a Finca La Bendición de Dios: Esta vía terciaria conecta el centro poblado de Cascajal con el acceso posterior de la Finca Buenavista (Predios donde se implantará el Parque Solar).
- Vía de acceso a Predio San Rafael: Este camino se deriva de la vía Santa Rita y permite aproximarse por el norte al predio San Rafael, conectándose con el camino que va a la finca La Bendición de Dios y al corregimiento de Cascajal.
- Vía de acceso Sector La montaña: Este camino se deriva de la vía Santa Rita y permite aproximarse por el norte al predio San Fernando 1 de la Finca Buenavista, más adelante se conecta con la vía denominada acceso a Predio San Rafael.
- Camino interno Finca Buenavista: Es un camino privado al interior de la Finca Buenavista donde se proyecta la construcción del Parque Solar Guayepo III.
- Vía de Acceso Predio Albricias: Es una vía terciaria en el extremo sur del Parque Solar y permite el acceso a los predios Albricias de la Finca Buenavista.

En el capítulo 3 en el numeral 3.3.1.1.5 Vías existentes en el área del proyecto, se encuentra la descripción detallada de las vías a usar por el proyecto.

5.1.9.1.2.2.1 Trazados de operación de fuentes móviles

En la Tabla 5.1-107 se presentan las dos (2) principales vías interceptadas por el proyecto y a continuación se presentan 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.

Cabe resaltar que para los aforos vehiculares realizados en las dos (2) vías principales inicialmente se tomó una codificación vial diferente a la que se expone en el Capítulo 3 del presente estudio, cuya relación se presenta en la Tabla 5.1-107.

Tabla 5.1-107 Vías principales aforadas

FUENTE EMISIÒN	IDENTIFICADOR DEL AFORO	NOMBRE VÌA CARACTERIZADA	COORDENADAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL			LOCALIZACIÓN
				ESTE	NORTE	
Fuentes móviles	AF Santa Rita	Ruta 25 - Troncal de Occidente, Tramo Ponedera – Puerto Giraldo.	Punto inicial	4807676	2733800	
			Punto final	4800543	2719548	
	AF Retirada	Vía Sabanalarga - Ponedera – Tramo Ponedera – Cascajal	Punto inicial	4807676	2733800	
			Punto final	4798011	2729374	

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

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.

Los aforos vehiculares se realizaron los días 17 y 18 de mayo de 2021, en Tabla 5.1-108 se presenta el resumen de aforos vehiculares realizados para las vías. En el Anexo 5.1.8.5 Aforos vehiculares, se encuentra el formato y registro fotográfico.

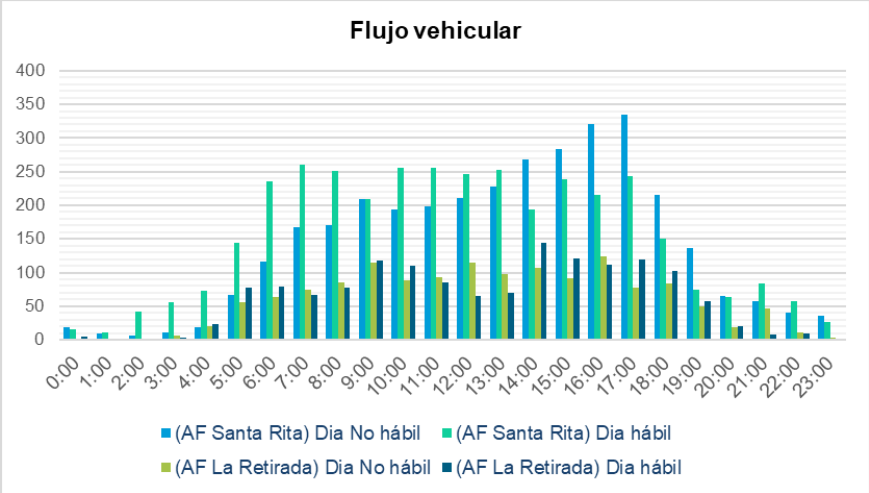
Tabla 5.1-108 Resumen aforos vehiculares

HORA	RUTA 25 - TRONCAL DE OCCIDENTE, TRAMO PONEDERA – PUERTO GIRALDO. (AF Santa Rita)		VÍA SABANALARGA - PONEDERA – TRAMO PONEDERA – CASCAJAL (AF La Retirada)	
	Dia No hábil (17/05/2021)	Dia hábil (18/05/2021)	Dia No hábil (17/05/2021)	Dia hábil (18/05/2021)
0:00	18	16	0	5
1:00	9	11	1	0
2:00	6	42	1	1
3:00	11	56	6	3
4:00	18	73	20	23
5:00	66	144	56	77
6:00	116	236	64	79
7:00	168	261	75	67
8:00	171	251	86	78
9:00	209	209	115	118
10:00	193	255	89	110
11:00	198	255	93	86
12:00	211	247	115	65
13:00	227	253	97	70
14:00	268	194	107	144
15:00	284	238	92	121
16:00	321	216	124	112
17:00	335	243	78	119
18:00	215	150	84	102
19:00	137	74	50	58
20:00	65	64	19	21
21:00	57	84	46	8
22:00	41	58	11	10
23:00	36	27	3	1

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

En la Figura 5.1-157 se puede observar que el mayor flujo vehicular se presenta en el horario diurno y disminuye considerablemente en el horario nocturno. Así mismo en el Anexo 5.1.8 Atmosfera/ 5.1.8.5 Aforos Vehiculares se encuentran registros fotográficos de los respectivos aforos vehiculares.

Figura 5.1-157 Franjas de tiempo de flujo vehicular

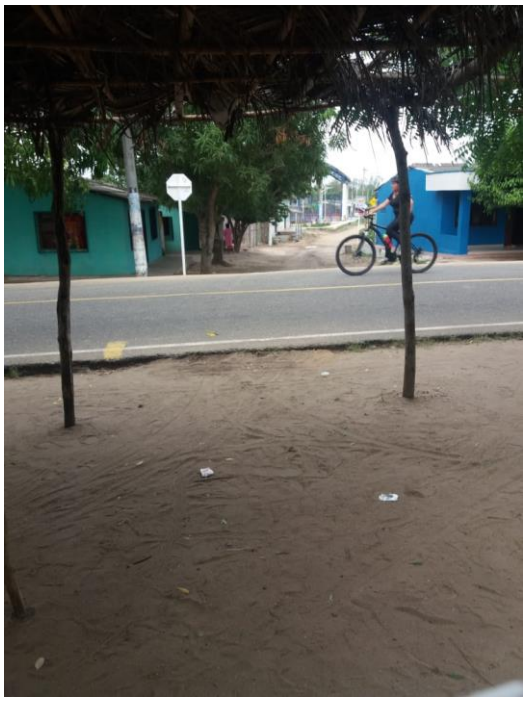


Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Fotografía 5.1-53 Aforos Vehiculares







Aforo Vehicular Corregimiento de Santa Rita Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12): E 4807676– N 2733800	Aforo Vehicular Corregimiento de Santa Rita Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12): E 4807676– N 2733800

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.9.1.2.2.2 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. Esto se encuentra aclarado en el capítulo 5.2 Biótico, componente fauna.

Los potenciales receptores de contaminación atmosférica en el área de influencia físico-biótica corresponden a los asentamientos aledaños al área definitiva del componente atmosférico, correspondientes a los asentamientos de los corregimientos de Santa Rita, Puerto Giraldo y La Retirada en el municipio de Ponedera y los asentamientos del corregimiento de Cascajal en el municipio de Sabanalarga.

5.1.9.2 Información meteorológica

En el presente numeral se realiza una caracterización climatológica realizada durante el tiempo de realización del monitoreo de calidad de aire. Las mediciones meteorológicas se realizaron mediante el uso de equipo portátil instalado en la estación 1 (Ver Tabla 5.1-111 para ver ubicación de la estación) , registrándose datos con intervalos de 30 minutos en los parámetros de presión atmosférica, temperatura, humedad relativa, precipitación, dirección y velocidad de viento.

Lo correspondiente a las condiciones meteorológicas medias y extremas mensuales multianuales del área se describen en el numeral 5.1.4 Hidrología sección clima según lo estipulado por los TdR-015 respecto a la información meteorológica como parte de la caracterización del área de influencia.

En la Tabla 5.1-109 se presenta el resumen de los datos arrojados durante el monitoreo para las variables meteorológicas monitoreadas.

- **Tabla 5.1-109 Resumen variables meteorológicas promedio diario**

FECHA	TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	PRESIÓN ATMOSFÉRICA PROMEDIO (MM HG)	HUMEDAD PROMEDIO (%)	DIRECCIÓN Y VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO (M/S)	PRECIPITACIÓN ACUMULADA (MM H_2O)
2021-04-24	27,30	755,78	80,20	0,73	0,0
2021-04-25	28,14	753,89	75,92	0,48	0,0
2021-04-26	27,65	753,95	77,90	0,13	1,9
2021-04-27	28,07	754,62	77,69	0,13	0,0
2021-04-28	26,67	754,94	82,50	0,23	5,1
2021-04-29	28,69	755,21	73,88	0,24	15,9
2021-04-30	26,48	755,73	81,17	0,30	5,7
2021-05-01	26,47	755,29	79,75	0,19	0,0
2021-05-02	28,99	755,30	71,50	0,80	0,0
2021-05-03	27,90	754,29	76,21	1,47	4,5
2021-05-04	26,65	753,64	79,29	1,29	0,0
2021-05-05	27,91	755,60	75,42	1,43	1,8
2021-05-06	27,43	755,80	79,10	1,47	16,8
2021-05-07	28,34	756,28	73,72	1,24	6,6
2021-05-08	25,27	756,91	89,83	0,25	4,8
2021-05-09	28,67	756,32	76,13	1,35	2,4
2021-05-10	29,06	754,91	72,67	1,25	0,0
2021-05-11	30,26	754,96	68,15	0,47	0,0
2021-05-12	29,98	755,24	68,90	1,40	0,0
2021-05-13	29,48	754,86	69,85	1,48	0,0
2021-05-14	29,75	754,72	68,60	2,30	0,0
2021-05-15	29,45	754,86	70,90	1,97	0,0
2021-05-16	29,43	755,61	71,17	1,94	0,0
2021-05-17	29,18	756,16	72,79	1,71	0,0
2021-05-18	27,78	756,72	76,00	1,46	0,0
2021-05-19	29,40	755,79	71,50	1,33	0,0
2021-05-20	29,78	754,94	70,85	1,65	0,9
2021-05-21	30,50	753,68	69,21	1,49	0,0
2021-05-22	29,92	753,34	71,80	1,08	0,0
2021-05-23	29,45	754,45	74,02	1,05	0,0
2021-05-24	29,70	755,28	73,73	1,24	0,6
2021-05-25	29,23	754,98	74,71	1,46	0,0
2021-05-26	29,89	754,73	68,85	1,92	0,0
2021-05-27	29,38	754,98	70,15	2,14	0,0
2021-05-28	28,64	755,80	711,81	1,69	0,0
Promedio	**28,60**	**755,13**	**474,45**	**1,16**	
Acumulado					**67,0**

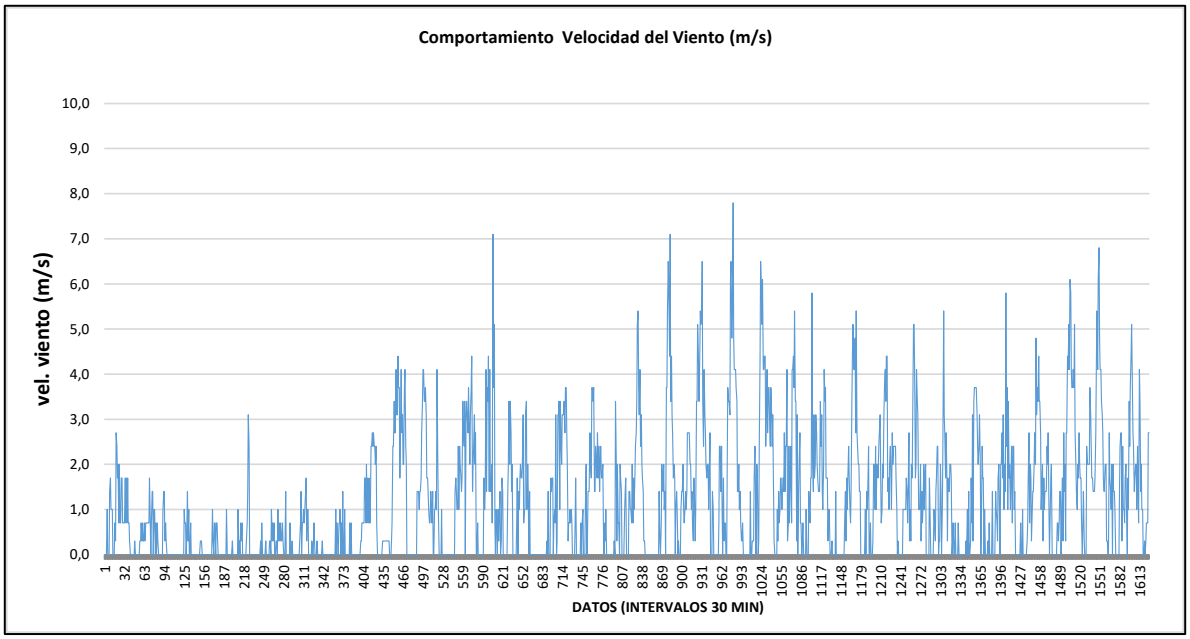
- *Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021).*

5.1.9.2.1 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 5.1-158 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 0,3 a 7,8 m/s.

Figura 5.1-158 Comportamiento de la velocidad del viento durante la campaña de monitoreo



Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021).

La mayor velocidad del viento registrada fue de 7,8 m/s, el día 15 de mayo de 2021 a las 17:00, la velocidad mínima fue 0,3 m/s y la velocidad promedio estuvo por el orden de 1,16 m/s que según la escala Beaufort (Ver Tabla 5.1-110) se clasifica en Ventolina por su velocidad media.

Tabla 5.1-110 Escala de Beaufort

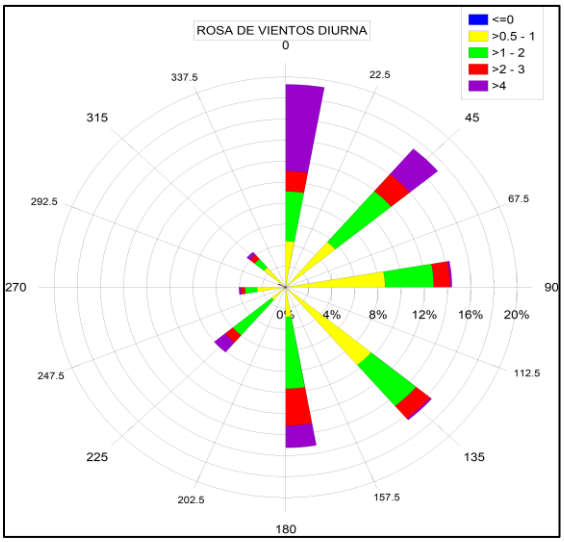
DEFINICIÓN	RANGO VELOCIDAD (m/s)	CONDICION EN TIERRA
F0-Calma	0-0,2	El humo sube verticalmente
F1 - Ventolina	0,3-1,5	La dirección del viento se define por la del humo, pero no por las veletas y banderas
F2 - Flojito (Brisa muy débil)	1,6-3,3	El viento se siente en la cara. Se mueven las hojas de los árboles, veletas y banderas
F3 - Flojo (Brisa débil)	3,4-5,4	Las hojas de los árboles se agitan constantemente. Se despliegan las banderas
F4 – Bonancible (Brisa moderada)	5,5 – 7,9	Se levanta polvo y papeles, se agitan las copas de los árboles
F5 – Fresquito (Brisa fresca)	8,0 – 10,7	Pequeños movimientos de los árboles, superficies de los lagos ondulados.

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM.

5.1.9.2.2 Dirección del viento

La Figura 5.1-159 muestra la rosa de vientos diurna para el periodo de monitoreo donde se resalta que los vientos alcanzaron velocidades de 7,8 m/s, los cuales provienen predominantemente desde el Norte (N) con una frecuencia cercana a 20%.

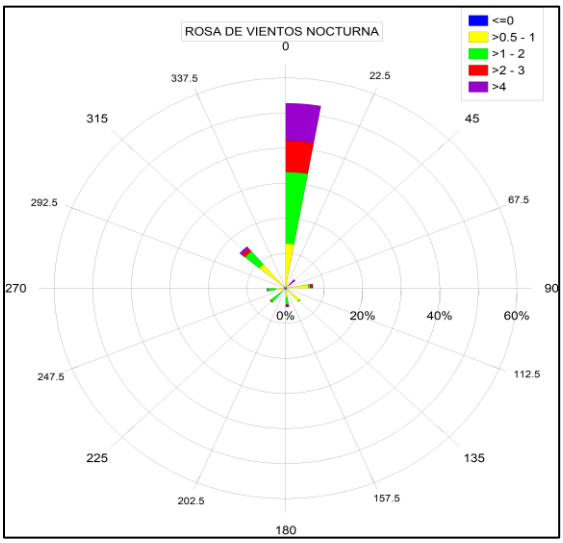
Figura 5.1-159 Rosa de viento diurna



Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

En la Figura 5.1-160 se presenta la rosa de vientos nocturna para el periodo de monitoreo donde se resalta que los vientos alcanzaron velocidades de 5,4 m/s y provienen predominantemente desde el Norte (N) con una frecuencia cercana a 51%.

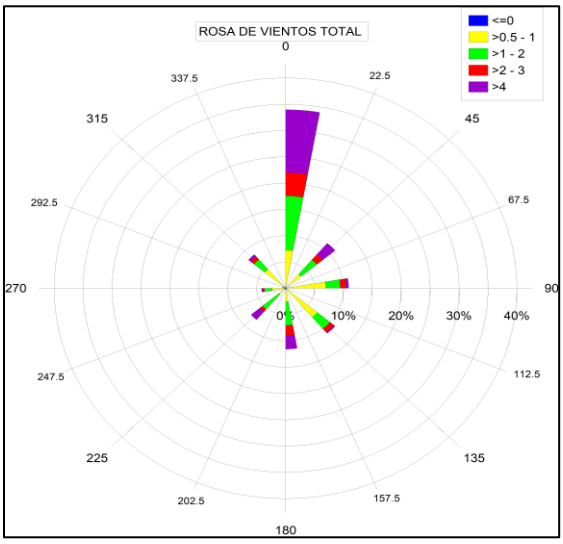
Figura 5.1-160 Rosa de viento nocturna



Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

Finalmente, en la Figura 5.1-161 se presenta la rosa de vientos total donde se observa que los vientos alcanzaron velocidades 7,8 m/s, los cuales provienen predominantemente desde el Norte (N) con una frecuencia cercana al 5%; se registraron ráfagas de viento con velocidades mayores 4 m/s en todas las direcciones.

Figura 5.1-161 Rosa de viento total



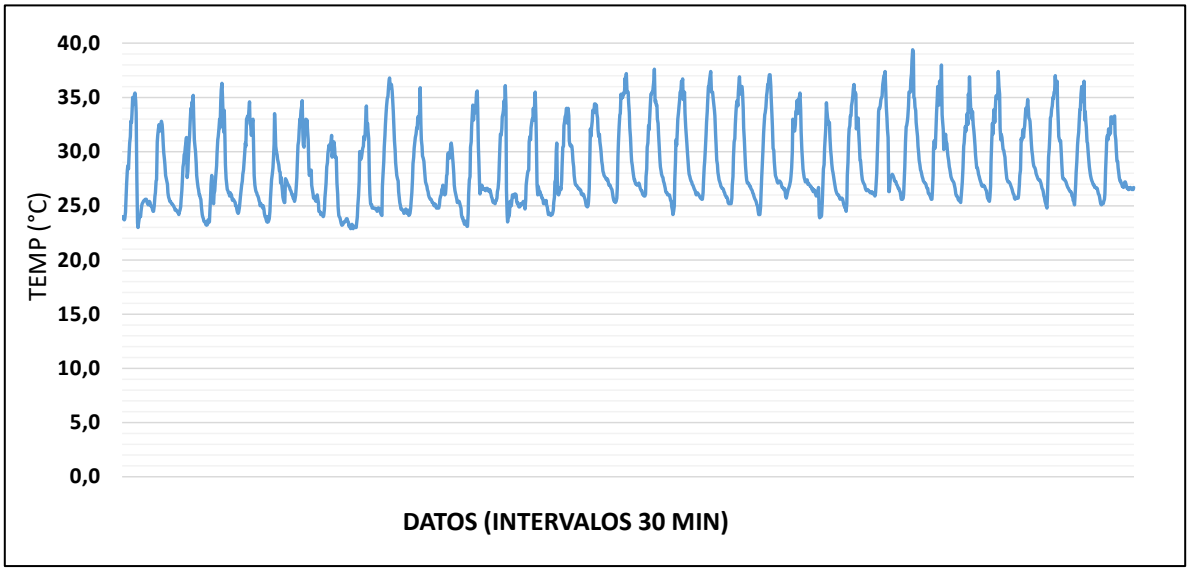
Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

5.1.9.2.3 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 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.

La temperatura máxima registrada fue de 39,4°C registrada el 21 de mayo de 2021 a las 14:00, la temperatura mínima fue de 22,9°C registrada el 01 de mayo de 2021 a la 04:00 a.m. y la temperatura media es de 28,60°C, en la Figura 5.1-162 se observa el comportamiento de la variable durante la medición llevada durante el tiempo de muestreo.

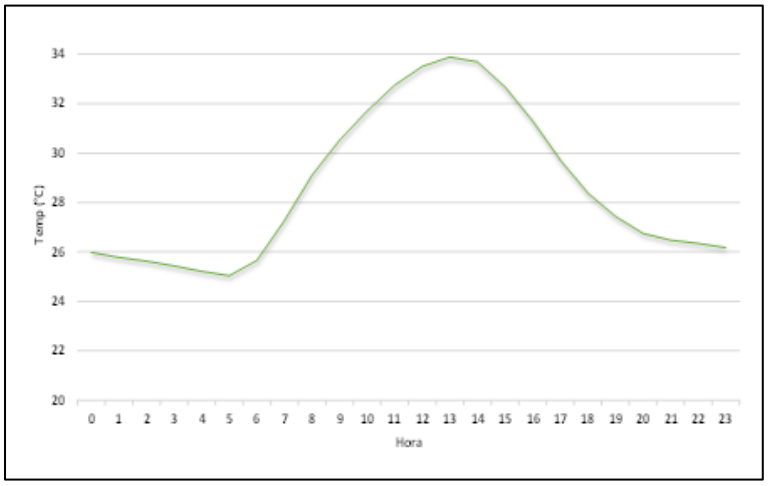
Figura 5.1-162 Temperatura ambiente en ºC durante el tiempo de muestreo



Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

La Figura 5.1-163 presenta el promedio multihorario 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, la figura evidencia un aumento de temperatura desde las 6:00 horas alcanzando su máximo de aproximadamente 33,88 °C a las 13:00 horas donde la temperatura inicia un descenso hacia valores cercanos a los 25,03°C.

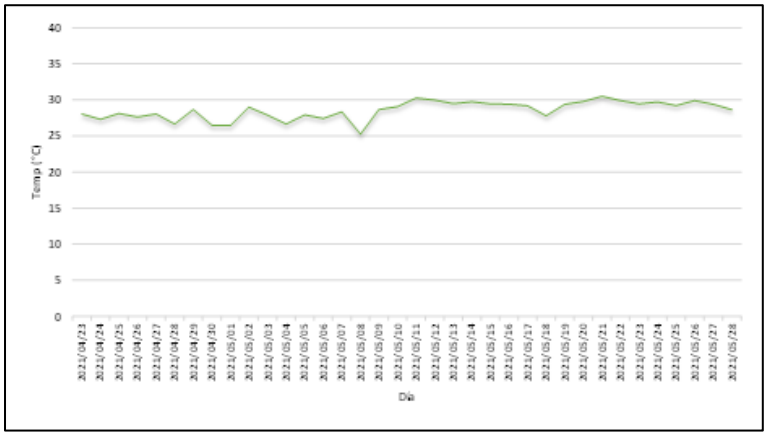
Figura 5.1-163 Temperatura promedio multihorario ºC



Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

En cuanto al promedio diario (ver Figura 5.1-164), se pueden resaltar que los días más calientes estuvieron por el orden de los 30,50°C.

Figura 5.1-164 Temperatura promedio diaria ºC



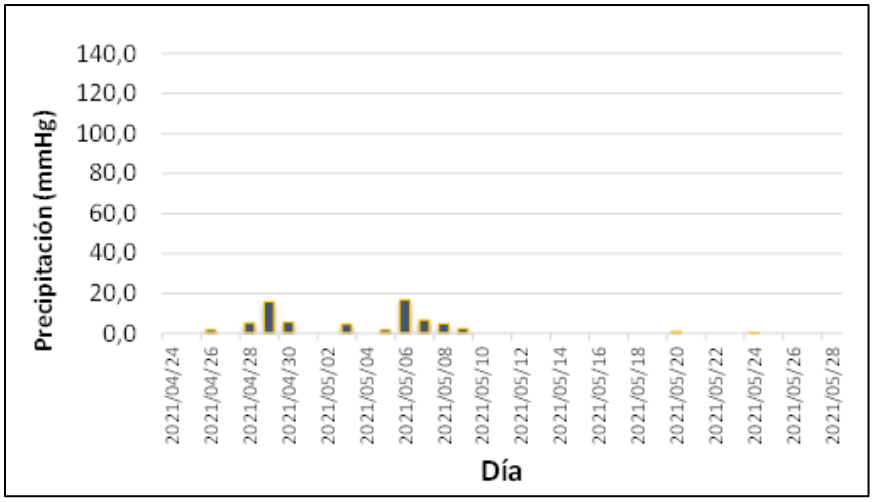
Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

5.1.9.2.4 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.

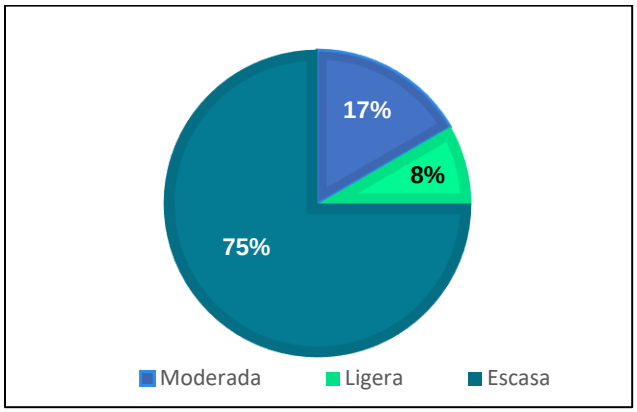
La Figura 5.1-165 presenta los registros acumulados diarios de precipitación comprendidos del 24 de abril al 28 de mayo de 2021. Se registraron precipitaciones durante 12 días de muestreo con clasificación moderada, ligera y escasa. Dentro de la distribución mostrada en la Figura 5.1-166 se observa que el mayor porcentaje se clasifico en un nivel de precipitación escasa y ligera (83%).

Figura 5.1-165 Precipitación acumulada diaria (mmH_2O)



Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

Figura 5.1-166 Distribución de lluvias por categoría



Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

5.1.9.3 Monitoreo de calidad del aire

Las mediciones de calidad del aire fueron desarrolladas por el laboratorio SIAM Ingeniería S.A.S, laboratorio acreditado 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, entre el 24 de abril y el 28 de mayo de 2021 en época húmeda. (Ver Anexo 5.1.8.3 Monitoreo Aire/ Mayo/ A4 ACREDITACIÓN).

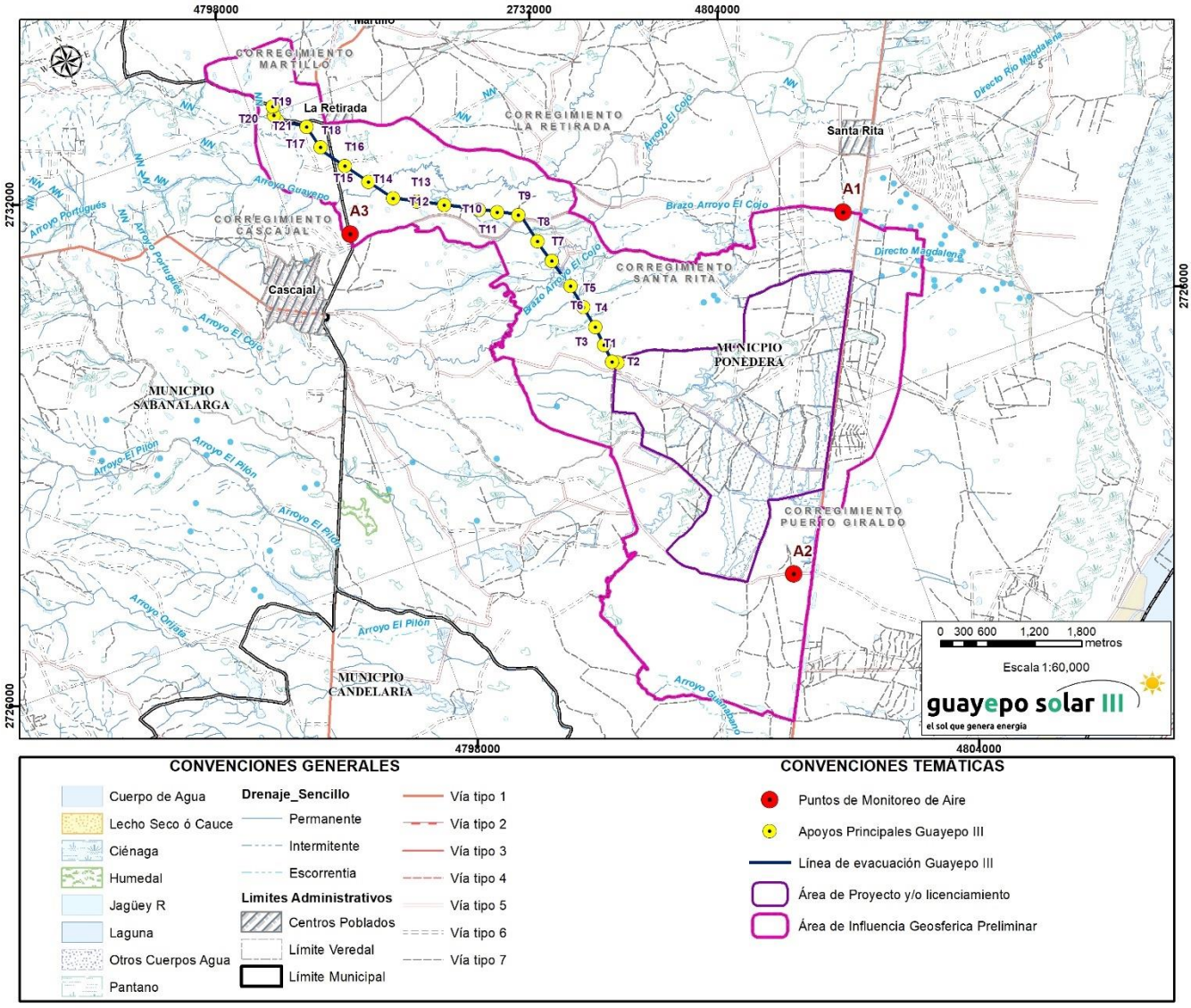
Se instalaron tres (3) puntos de monitoreo y control donde el punto A1 corresponde a la estación de vientos arriba el punto A2 corresponde a la estación vientos abajo y el punto A3 corresponde a la estación de fondo (ver Figura 5.1-167) allí se ubicaron equipos para medir los niveles de material particulado inhalable expresado como PM_{10}, $PM_{2.5}$, Dióxido de Nitrógeno NO_2 y Dióxido de Azufre SO_2.

Tabla 5.1-111 Coordenadas puntos de monitoreo de calidad del aire

Estación	Fecha		Coordenadas Geográficas (GCS_WGS_1984)		Coordenadas Origen Nacional (MAGNA_Colombia_CTM12)	
	Inicial	Final	Norte	Oeste	Norte	Este
A1-Las Marías	2021-04-24	2021-05-29	10°35'07.42"	74°47'08.57"	2’728.277	4’804.703
A2-La Antonisa	2021-04-24	2021-05-29	10°32'56.39"	74°48'13.41"	2’724.264	4’802.709
A3-Divino Niño	2021-04-24	2021-05-29	10°36'12.70"	74°50'32.79"	2’730.319	4’798.508

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

Figura 5.1-167 Localización de los puntos de monitoreo de calidad del aire



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

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.

Los resultados obtenidos se compararon 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).

5.1.9.3.1 Contaminantes monitoreados

Los contaminantes "criterio" son los contaminantes regularmente medidos en estaciones de monitoreo y controlados en las emisiones de fuentes antropogénicas, a través de normas de calidad del aire y normas de emisión. De ellos, el único contaminante que no es emitido directamente por las fuentes antropogénicas es el ozono troposférico, el cual es formado en la atmósfera a partir de reacciones químicas entre los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles, bajo la acción de la luz solar y es conocido comúnmente como smog fotoquímico. (Néstor Y. Rojas, 2012).

En la Tabla 5.1-112 se detallan los contaminantes monitoreados para el proyecto en el cual se destacan 2 grandes grupos de material particulado de los cuales hace parte el PM10 y PM2.5, mientras los dióxidos de nitrógeno y de azufre, los cuales hacen parte de los gases presentes en el estudio, (Santander, 2010).

Tabla 5.1-112 Contaminantes monitoreados

CONTAMINANTES		DESCRIPCIÓN
	Material particulado	**PM_{10}.** Son generalmente emitidas por fuentes tales como vehículos que se desplazan en carreteras, manipulación de materiales, operaciones de compactación y trituración, así como del polvo levantado por el viento. Algunas partículas son emitidas directamente por sus fuentes como chimeneas industriales y exostos de vehículos.
		**$PM_{2.5}$.** Son partículas mezcladas en suspensión, encontradas en el aire, con un diámetro aerodinámico de hasta 2.5 um. Son originadas por fuentes móviles y estacionarias, así como por fuentes naturales.

CONTAMINANTES		DESCRIPCIÓN
	Gases en aire	**NO_2**. Es el principal contaminante entre varios óxidos de nitrógeno dado que se forma como subproducto en todas las combustiones llevadas a cabo a altas temperaturas. El dióxido de nitrógeno es de color marrón amarillento, se forma de los procesos de combustión a altas temperaturas, como en los vehículos motorizados y es considerado también como un gas toxico, irritante y precursor de la formación de partículas de nitrato, las cuales llevan a la producción de ácido y elevados niveles de PM2,5 en el ambiente.
		**SO_2**. Es el principal causante de la lluvia ácida a que en la atmosfera es transformado en ácido sulfúrico. Es liberado en muchos procesos de combustión dado que los combustibles como el carbón, el petróleo, el diésel o el gas natural contienen ciertas cantidades de compuestos azufrados.

Fuente: (Santander, 2010).

5.1.9.3.2 Normatividad

5.1.9.3.2.1 Resolución 2254 de 2017

Establece la norma de calidad del aire o nivel de inmisión y adopta disposiciones para la gestión del recurso aire en el territorio nacional, con el objeto de garantizar un ambiente sano y minimizar el riesgo sobre la salud humana que pueda ser causado por la exposición a los contaminantes en la atmósfera.

De igual forma, incorpora un ajuste progresivo de los niveles máximos permisibles de contaminantes, incluye nuevos contaminantes y define elementos técnicos integrales para mejorar la gestión de la calidad del aire.

Esta resolución entró en vigor a partir del 01 de enero del 2018, la cual deroga la Resolución 601 de 2006 y la Resolución 610 de 2010, el anexo 2 “Procedimiento de cálculo para la determinación de área-fuente” del Manual de Diseño de Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire y los numerales 7.6.7 “Índice de Calidad del Aire”. 7.3.1.1 “Manejo y Presentación de las variables de Calidad del Aire” y 7.3.2.8 “Comparación de los valores de concentración con la norma “del Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire del Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire.

5.1.9.3.2.1.1 Niveles máximos permisibles

El artículo 2 de la resolución establece los niveles máximos permisibles para contaminantes criterio en condiciones de referencia (25 ºC y 760 mm Hg), los cuales se detallan en la Tabla 5.1-113.

Tabla 5.1-113 Límites máximos permitidos para parámetros de calidad de aire

Contaminante	Concentración (µg/m^3) Res 2254/2017			
	Diaria (N.D)	Anual (N.A)	Horaria (N.H)	Octohoraria (N.H)
$PM_{2.5}$	37	25	---	---
PM_{10}	75	50	---	---
SO_2	50	---	100	---
NO_2	---	60	200	---

Fuente: Resolución 2254 de 2017.

5.1.9.3.2.1.2 Índice de calidad del aire

El Índice de Calidad del Aire (ICA) permite comparar los niveles de contaminación de calidad del aire, de la estación de monitoreo. El ICA, se define como un valor representativo de los niveles de contaminación atmosférica y sus efectos en la salud, dentro de una región determinada. Para efectos del presente estudio, se tienen en cuenta los lineamientos del Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de Calidad de Aire.

El ICA permite establecer cómo se encuentra la calidad del aire con respecto a los efectos a la salud. El indicador es adimensional y posee una escala de 0 a 500 que depende del grado de contaminación presente en la atmósfera, tal como se describe en la Tabla 5.1-114.

Tabla 5.1-114 Índice de calidad del aire, ICA

ICA	DESCRIPCIÓN	COLOR
0 – 50	Bueno	
51 – 100	Aceptable	
101 – 150	Dañina para la salud de grupos sensibles	
151 – 200	Dañina para la salud	
201 – 300	Muy dañina para la salud	
301 – 500	Peligroso	

Fuente: Resolución 2254 de 2017.

El ICA es una herramienta importante en la determinación de indicadores que correlacionan las actividades propias del área y el impacto que éstas generan sobre

las condiciones de calidad de la atmósfera, que orienten decisiones sobre la base del conocimiento, para de esta forma, materializar condiciones sostenibles de ocupación y crecimiento económico y urbano de la región.

5.1.9.3.2.1.3 Cálculo de los índices de Calidad del Aire

El ICA se calculó a partir de la siguiente ecuación donde se reporta el mayor valor que se obtuvo del cálculo de cada uno de los contaminantes medidos:

En la cual:

$$ICA_p = \frac{I_{Alto} - I_{bajo}}{PC_{Alto} - PC_{bajo}} * (C_p - PC_{bajo}) + I_{bajo}$$

ICAp = Índice de calidad para el contaminante p.

Cp = Concentración medida para el contaminante p.

PC_{alto} = Punto de corte mayor o igual a Cp

PC_{bajo} = Punto de corte menor o igual a Cp

I_{alto} = Valor del ICA correspondiente a PC_{alto}

I_{bajo} = Valor del ICA correspondiente a PC_{bajo}

Para cada uno de los componentes evaluados se aplicó la fórmula anterior tomando los valores para los puntos de corte cada contaminante del artículo 20 de la Resolución 2254 de 2017, apoyados en un Macro en Excel (Ver Tabla 5.1-115).

Tabla 5.1-115 Puntos de corte del ICA

ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE			PUNTOS DE CORTE DEL ICA						
ICA	COLOR	CATEGORÍA	PM_{10}	$PM_{2,5}$	CO	SO_2	NO_2	O_3	O_3
			µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³
			24 horas	24 horas	8 horas	1 hora	1 hora	8 horas	1 hora
0-50	Verde	Buena	0-54	0-12	0-5094	0-93	0-100	0-106	……..
51-100	Amarillo	Aceptable	55-154	13-37	5095-10819	94-197	101-189	107-138	……
101-150	Naranja	Dañina a la Salud de Grupos Sensibles	155-254	38-55	10820-14254	198-486	190-677	139-167	245-323
151-200	Rojo	Dañina a la Salud	255-354	56-150	14255-17688	487-797	678-1221	168-207	324-401
201-300	Púrpura	Muy dañina a la salud	355-424	151-250	17689-34862	798-1583	1222-2349	208-393	402-794
301-500	Marrón	Peligrosa	425-604	251-500	34863-57703	1584-2629	2350-3853	394(2)	795-1185

Fuente: Resolución 2254 de 2017.

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 en el área de influencia del proyecto, con respecto a la normatividad actual vigente llevadas a las condiciones atmosféricas de referencia.

5.1.9.3.2.2 Resolución 2154 de 2010

La Resolución 2154 de 2010 “Por la cual se ajusta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire adoptado a través de la Resolución 650 de 2010 y se adoptan otras disposiciones”, dentro del citado protocolo se establecen dos documentos, el Manual de Diseño y el Manual de Operación para el establecimiento de red de monitoreo de calidad de aire en los proyectos que requiera un respectivo análisis.

5.1.9.3.2.2.1 Manual de Diseño

El Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire incorpora los lineamientos a tener en cuenta para llevar a cabo el diseño de los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire en el país. Contiene las generalidades sobre los sistemas de vigilancia de calidad del aire, la explicación de los sistemas de vigilancia de la calidad del aire en el marco de los planes de gestión de calidad del aire, las etapas generales para el diseño de un sistema de vigilancia de la calidad del aire y los pasos relacionados con la revisión inicial y la fase final de elaboración del diseño del sistema, dependiendo del sistema de vigilancia que se requiera instalar.

De igual manera, presenta los parámetros de diseño de un sistema de vigilancia de la calidad del aire y criterios para realizar modificaciones a los sistemas de vigilancia, así como los recursos necesarios para el montaje, operación y seguimiento de estos sistemas de vigilancia.

Finalmente, cuenta información relacionada con clasificación de áreas-fuente de contaminación y validez de la información recolectada en campañas de monitoreo.

5.1.9.3.2.2.2 Manual de Operación

El Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire incorpora los lineamientos a tener en cuenta para llevar a cabo la operación de los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire en el país. Contiene los tipos de sistemas de vigilancia de la calidad del aire según su tecnología y presenta en detalle los sistemas manuales, automáticos e híbridos de vigilancia de la calidad del aire. Así mismo, se presentan elementos comunes a todos los sistemas de vigilancia de la calidad del aire como el programa de control y aseguramiento de la calidad del aire, el análisis de la información generada y la generación de reportes.

5.1.9.3.3 Calidad del Aire

Los resultados presentados en este numeral fueron obtenidos del 24 de abril al 28 de mayo de 2021 y las concentraciones son expresadas a “Condiciones de referencia de 25 °C y 760 mmHg”.

El pesaje de filtros PM10 y PM2.5 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 5.1.8. Atmósfera).

Los tiempos de medición para PM10, PM2.5 y 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 muestras fueron válidas pues se mantuvieron en tiempo establecido en la normatividad de 1 hora.

Es preciso aclarar que el día 30 de abril de 2021, los equipos trabajaron 10 horas debido a que se registró corte de energía en la zona, por tal motivo la muestras de PM10, PM2.5 y SO2 se descartan. En cuanto a la medición directa de NO2, la

conexión de este equipo se realizó directamente a una UPS, lo que permitió que se cumpliera el tiempo de monitoreo.

5.1.9.3.3.1 Material Particulado inhalable PM_{10}

Los principales valores obtenidos según la medición realizada de PM_{10} se resumen de la Tabla 5.1-116 a la Tabla 5.1-118.

Tabla 5.1-116 Resultados de concentraciones y estadísticas de PM10 Estación 1: A1- Las Marías

FECHA	PM_{10} (MG/M³)	OPERACIÓN	SÍMBOLO	RESULTADO
2021-04-24	24,56			
2021-04-26	17,10	Numero de datos	n	17
2021-04-28	12,62	**Promedio Aritmético**	**X1**	**26,13**
2021-04-30	DESCARTADA	Mediana	m	26,16
2021-05-02	15,20	Coeficiente de Variación	Cv	46%
2021-05-04	26,16	Desviación estándar	S	11,92
2021-05-06	12,39	Intervalo de confianza	μ (10%)	6,48
2021-05-08	18,20	Intervalo de confianza	μ1 (5%)	19,65
2021-05-10	18,03	Intervalo de confianza	μ2 (2.5%)	28,92
2021-05-12	38,49	Percentil 25	25%	17,10
2021-05-14	30,20	Percentil 75	75%	34,06
2021-05-16	39,82	**Valor más alto registrado**	**Max**	**44,19**
2021-05-18	26,64	Día de registro	Date	2021-05-22
2021-05-20	15,12	Valor más bajo registrado	Min	12,39
2021-05-22	44,19	Día de registro	Date	2021-05-06
2021-05-24	38,52	Calificación valor máximo registrado respecto Norma diaria 75 (μg/m³)	**CUMPLE**	Calificación promedio registrado respecto Norma Anual 50 (μg/m³) **CUMPLE**
2021-05-26	32,93			
2021-05-28	34,06			

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

Tabla 5.1-117 Resultados de concentraciones y estadísticas de PM10 Estación 2: A2- La Antonisa

FECHA	PM_{10} (μg/m³)	OPERACIÓN	SÍMBOLO	RESULTADO
2021-04-24	41,33			
2021-04-26	21,90	Numero de datos	n	18
2021-04-28	11,61	**Promedio Aritmético**	**X1**	**25,89**
2021-04-30	13,41	Mediana	m	22,47
2021-05-02	11,67	Coeficiente de Variación	Cv	53%
2021-05-04	12,77	Desviación estándar	S	13,69
2021-05-06	12,97	Intervalo de confianza	μ (10%)	7,23
2021-05-08	23,19	Intervalo de confianza	μ1 (5%)	18,65
2021-05-10	23,04	Intervalo de confianza	μ2 (2.5%)	31,69
2021-05-12	32,45	Percentil 25	25%	13,18
2021-05-14	43,85	Percentil 75	75%	35,55
2021-05-16	45,38	**Valor más alto registrado**	**Max**	**54,38**
2021-05-18	32,54	Día de registro	Date	2021-05-22
2021-05-20	36,56	Valor más bajo registrado	Min	11,61
2021-05-22	54,38	Día de registro	Date	2021-04-28
2021-05-24	13,10	Calificación valor máximo registrado respecto Norma diaria 75 (μg/m³) **CUMPLE**	Calificación promedio registrado respecto Norma Anual 50 (μg/m³)	**CUMPLE**
2021-05-26	15,57			
2021-05-28	20,24			

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

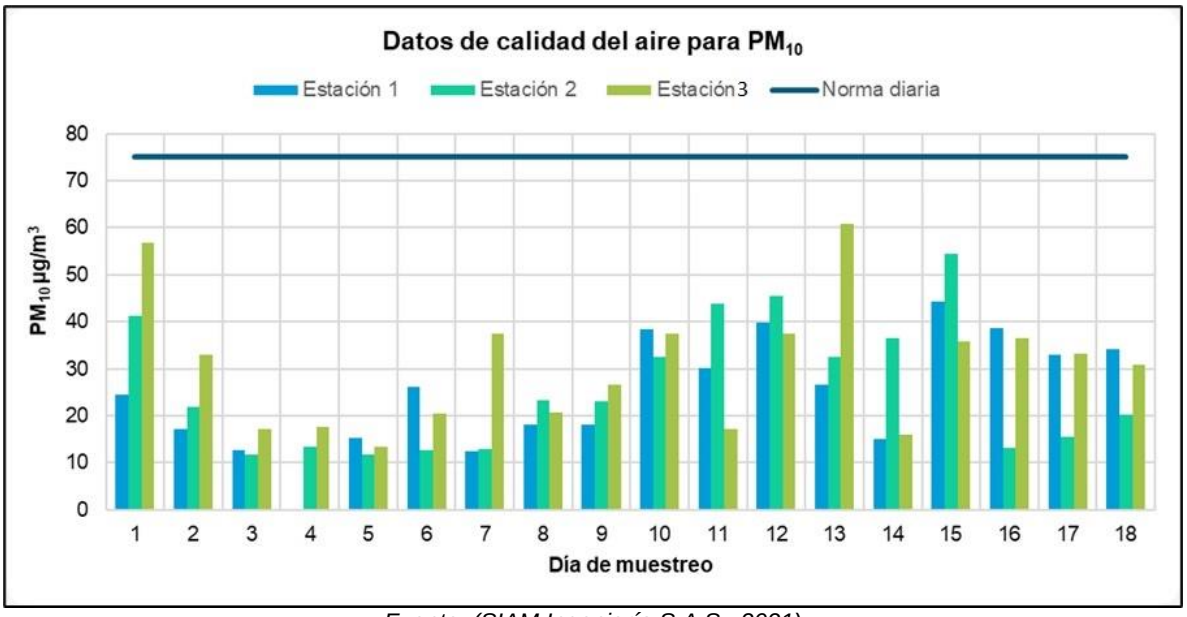
Tabla 5.1-118 Resultados de concentraciones y estadísticas de PM10 Estación 3: A3-Divino Niño

FECHA	PM_{10} (µg/m³)	OPERACIÓN	SÍMBOLO	RESULTADO
2021-04-24	56,73			
2021-04-26	32,86	Numero de datos	n	18
2021-04-28	17,25	**Promedio Aritmético**	**X1**	**30,45**
2021-04-30	17,61	Mediana	m	31,81
2021-05-02	13,33	Coeficiente de Variación	Cv	44%
2021-05-04	20,51	Desviación estándar	S	13,42
2021-05-06	37,35	Intervalo de confianza	µ (10%)	7,09
2021-05-08	20,69	Intervalo de confianza	µ1 (5%)	23,36
2021-05-10	26,61	Intervalo de confianza	µ2 (2.5%)	31,42
2021-05-12	37,54	Percentil 25	25%	18,34
2021-05-14	17,08	Percentil 75	75%	37,13
2021-05-16	37,40	**Valor más alto registrado**	**Max**	**60,79**
2021-05-18	60,79	Día de registro	Date	2021-05-18
2021-05-20	16,07	Valor más bajo registrado	Min	13,33
2021-05-22	35,70	Día de registro	Date	2021-05-22
2021-05-24	36,46	Calificación valor máximo registrado respecto Norma diaria 75 (µg/m³) **CUMPLE**	Calificación promedio registrado respecto Norma Anual 50 (µg/m³)	**CUMPLE**
2021-05-26	33,28			
2021-05-28	30,75			

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

En la Figura 5.1-168 se presentan los datos diarios de PM_{10} obtenidos en cada una de las estaciones y su comparación frente a los valores establecidos en la normatividad, Resolución 2254/2017 del MADS, para exposición diaria (75 µg/m^3). De acuerdo con el análisis estadístico efectuado para las concentraciones de PM_{10} en las estaciones de monitoreo, se evidencia no se presentaron valores superiores a la norma diaria (75 µg/m^3).

Figura 5.1-168 Datos de calidad del aire para PM_{10}

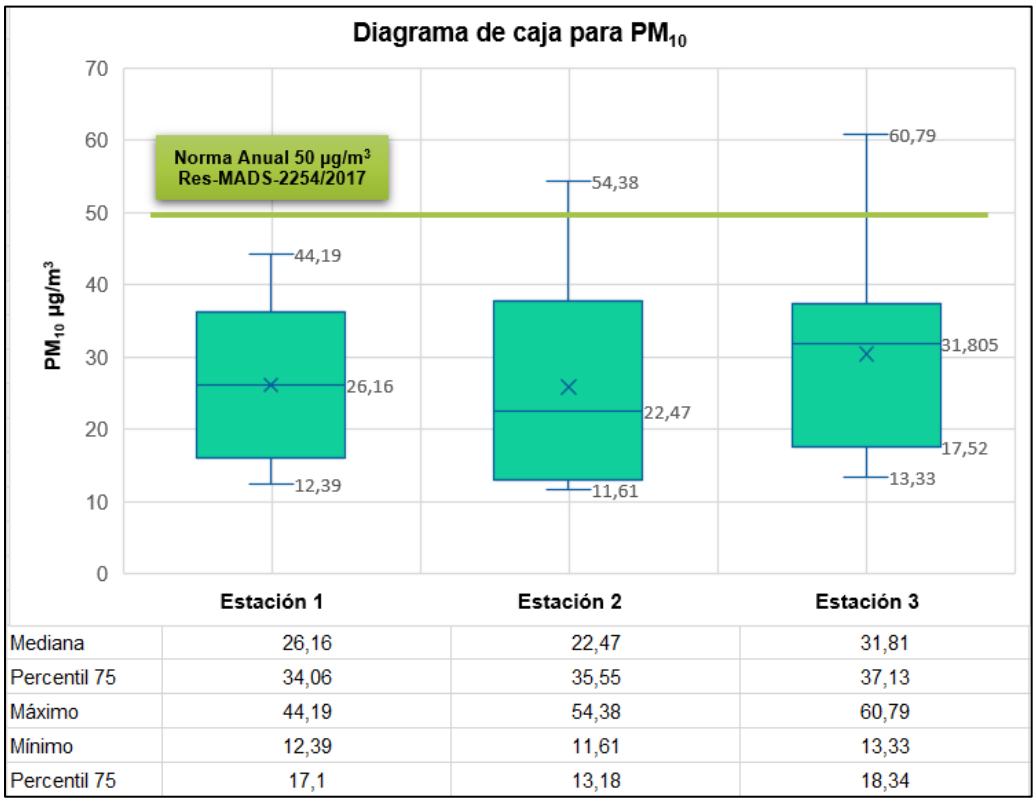


Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

En la Figura 5.1-169 se presenta el diagrama de cajas y bigotes para la concentración de PM_{10} de las tres estaciones, las medidas de tendencia central de los datos y su variabilidad con respecto al grupo de datos (mediana), comparado de forma indicativa es decir una proyección a nivel estadístico con la norma de exposición anual según se indica en el Protocolo de Monitoreo y Seguimiento de la Calidad de Aire en la sección 9.3.2.12.

El valor máximo presentado en el estudio fue 60,79 µg/m3 en la estación A3- Divino Niño y el valor mínimo fue de 11,61 µg/m3 en la estación A2-La Antonisa y al comparar de forma indicativa los valores de concentración promedio de PM10 se evidencia que no se presentaron valores superiores a la norma anual respectiva dada por la Resolución MADS 2254 de 2017.

Figura 5.1-169 Diagrama de caja para PM_{10}



Mediana	26,16	22,47	31,81
Percentil 75	34,06	35,55	37,13
Máximo	44,19	54,38	60,79
Mínimo	12,39	11,61	13,33
Percentil 75	17,1	13,18	18,34

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

5.1.9.3.3.2 Material Particulado inhalable fino $PM_{2.5}$

Los principales valores obtenidos según la medición realizada de $PM_{2.5}$ se resumen de la Tabla 5.1-119 a la Tabla 5.1-121.

Tabla 5.1-119 Resultados de concentraciones y estadísticas de $PM_{2.5}$ Estación 1: A1- Las Marías

FECHA	$PM_{2.5}$ (µg/m³)	OPERACIÓN	SÍMBOLO	RESULTADO
2021-04-24	9,91			
2021-04-26	9,52	Numero de datos	n	17
2021-04-28	5,84	**Promedio Aritmético**	**X1**	**11,45**
2021-04-30	DESCARTADA	Mediana	m	9,91
2021-05-02	9,83	Coeficiente de Variación	Cv	39%
2021-05-04	12,18	Desviación estándar	S	4,50
2021-05-06	6,21	Intervalo de confianza	µ (10%)	2,44
2021-05-08	7,90	Intervalo de confianza	µ1 (5%)	9,01
2021-05-10	8,74	Intervalo de confianza	µ2 (2.5%)	21,50
2021-05-12	15,63	Percentil 25	25%	8,83
2021-05-14	13,16	Percentil 75	75%	13,81
2021-05-16	17,07	**Valor más alto registrado**	**Max**	**17,43**
2021-05-18	8,83	Día de registro	Date	2021-05-28

FECHA	$PM_{2.5}$ (µg/m³)	OPERACIÓN		SÍMBOLO	RESULTADO
2021-05-20	9,31	Valor más bajo registrado		Min	5,84
2021-05-22	16,49	Día de registro		Date	2021-04-28
2021-05-24	13,81	Calificación Norma diaria 37 (µg/m³) respecto al valor máximo registrado	**CUMPLE**	Calificación Norma Anual 25 (µg/m³) respecto al promedio aritmético calculado	**CUMPLE**
2021-05-26	12,77				
2021-05-28	17,43				

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

Tabla 5.1-120 Resultados de concentraciones y estadísticas de $PM_{2.5}$ Estación 2: A2- La Antonisa

FECHA	$PM_{2.5}$ (µg/m³)	OPERACIÓN		SÍMBOLO	RESULTADO
2021-04-24	17,20				
2021-04-26	9,94	Numero de datos		n	18
2021-04-28	5,45	**Promedio Aritmético**		**X1**	**11,72**
2021-04-30	9,63	Mediana		m	9,78
2021-05-02	7,05	Coeficiente de Variación		Cv	44%
2021-05-04	8,52	Desviación estándar		S	5,11
2021-05-06	9,16	Intervalo de confianza		µ (10%)	2,70
2021-05-08	8,48	Intervalo de confianza		µ1 (5%)	9,02
2021-05-10	8,79	Intervalo de confianza		µ2 (2.5%)	23,11
2021-05-12	13,98	Percentil 25		25%	8,49
2021-05-14	18,28	Percentil 75		75%	14,52
2021-05-16	14,70	**Valor más alto registrado**		**Max**	**25,23**
2021-05-18	16,76	Día de registro		Date	2021-05-22
2021-05-20	12,22	Valor más bajo registrado		Min	5,45
2021-05-22	25,23	Día de registro		Date	2021-04-28
2021-05-24	7,38	Calificación Norma diaria 37 (µg/m³) respecto al valor máximo registrado	**CUMPLE**	Calificación Norma Anual 25 (µg/m³) respecto al promedio aritmético calculado	**CUMPLE**
2021-05-26	6,74				
2021-05-28	11,38				

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

Tabla 5.1-121 Resultados de concentraciones y estadísticas de $PM_{2.5}$ Estación 3: A3- Divino Niño

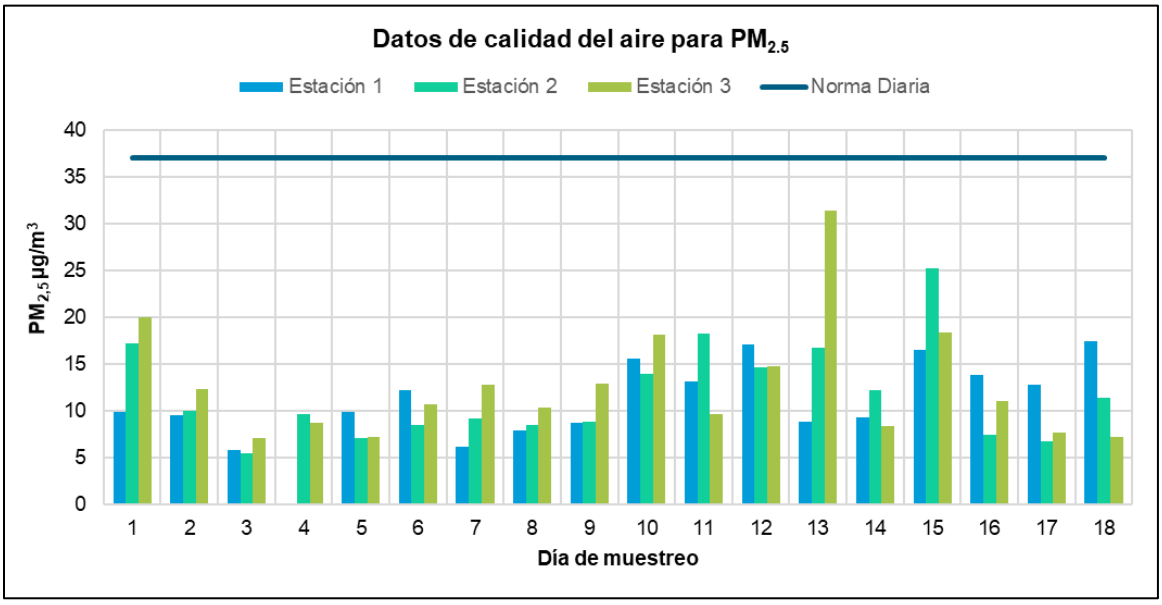
FECHA	$PM_{2.5}$ (µg/m³)	OPERACIÓN	SÍMBOLO	RESULTADO
2021-04-24	20,03			
2021-04-26	12,30	Numero de datos	n	18
2021-04-28	7,04	**Promedio Aritmético**	**X1**	**12,70**
2021-04-30	8,69	Mediana	m	10,88
2021-05-02	7,16	Coeficiente de Variación	Cv	48%
2021-05-04	10,71	Desviación estándar	S	6,15
2021-05-06	12,80	Intervalo de confianza	µ (10%)	3,25
2021-05-08	10,34	Intervalo de confianza	µ1 (5%)	9,45
2021-05-10	12,95	Intervalo de confianza	µ2 (2.5%)	24,15
2021-05-12	18,08	Percentil 25	25%	8,48
2021-05-14	9,70	Percentil 75	75%	14,29
2021-05-16	14,74	**Valor más alto registrado**	**Max**	**31,40**
2021-05-18	31,40	Día de registro	Date	2021-05-18
2021-05-20	8,42	Valor más bajo registrado	Min	7,04
2021-05-22	18,36	Día de registro	Date	2021-04-28
2021-05-24	11,05	**CUMPLE**		**CUMPLE**

2021-05-26	7,62	Calificación Norma diaria 37 (µg/m³) respecto al valor máximo registrado	Calificación Norma Anual 25 (µg/m³) respecto al promedio aritmético calculado
2021-05-28	7,21		

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

En la Figura 5.1-170 se presentan los datos individuales por día de $PM_{2.5}$ obtenidos en cada una de las estaciones y su comparación frente a los valores establecidos en la normatividad, Resolución 2254/2017 del MADS, para exposición diaria (37 µg/m^3). De acuerdo con el análisis estadístico efectuado para las concentraciones de $PM_{2.5}$ en las estaciones de monitoreo, se evidencia que no se presentaron valores superiores a la norma diaria (37 µg/m^3).

Figura 5.1-170 Datos de calidad del aire para $PM_{2.5}$

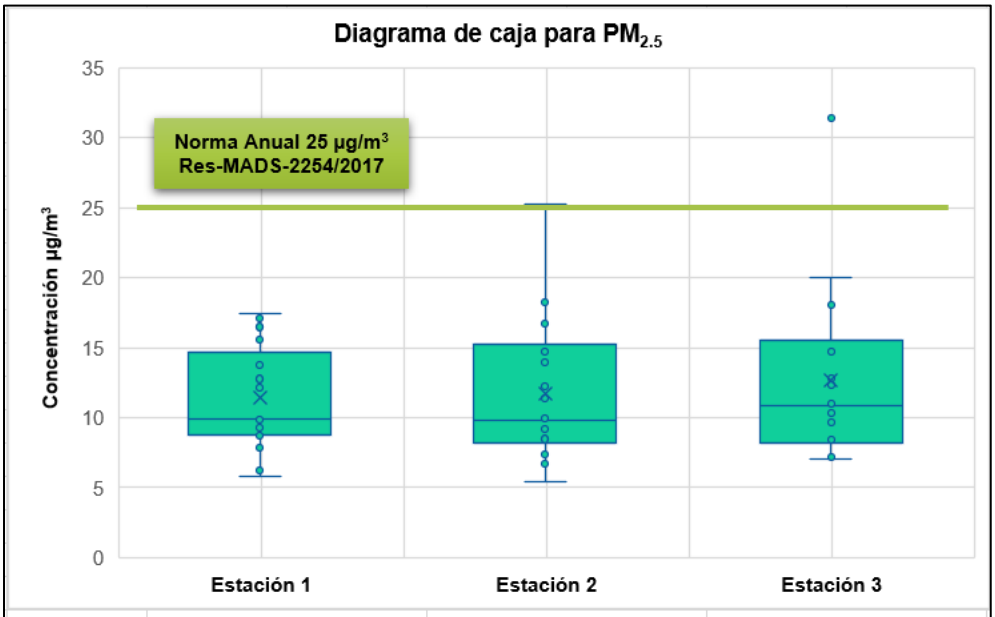


Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

En la Figura 5.1-171 se presenta el diagrama de cajas y bigotes para la concentración de PM2.5 para las tres estaciones, comparado de forma indicativa con la norma de exposición anual según se indica en el protocolo de monitoreo y seguimiento de la calidad de aire.

Muestra que el valor máximo presentado en el estudio fue 31,40 µg/m^3 en la estación A3- Divino Niño y al comparar de forma indicativa los valores de concentración promedio de $PM_{2.5}$ se evidencia que estos no son superiores a la norma anual respectiva dada por la Resolución MADS 2254 de 2017, por tanto, se puede inferir que en la zona se espera el cumplimiento de dicho estándar.

Figura 5.1-171 Diagrama de caja para $PM_{2.5}$



Mediana	9,91	9,78	10,88
Percentil 75	13,81	14,52	14,29
Máximo	17,43	25,23	31,4
Mínimo	5,84	5,45	7,04
Percentil 75	8,83	8,49	8,48

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

5.1.9.3.3.3 Dióxido de Nitrógeno (NO_2)

Los valores ***máximos horarios*** obtenidos según la medición realizada de NO_2 se resumen por día de la Tabla 5.1-122 a la Tabla 5.1-124.

Tabla 5.1-122 Resultados de concentraciones y estadísticas de NO_2 en la estación 1. A1- Las Marías

FECHA	NO_2 (µg/m^3)	OPERACIÓN	SÍMBOLO	RESULTADO
2021-04-24	25,02			
2021-04-26	31,66	Número de datos	n	18
2021-04-28	33,70	**Promedio Aritmético**	**X1**	**31,13**

FECHA	NO_2 (µg/m³)	OPERACIÓN	SÍMBOLO	RESULTADO
2021-04-30	35,43	Mediana	m	31,87
2021-05-02	24,36	Coeficiente de Variación	Cv	14%
2021-05-04	35,25	Desviación estándar	S	4,48
2021-05-06	24,01	Intervalo de confianza	µ (10%)	2,37
2021-05-08	29,34	Intervalo de confianza	µ1 (5%)	28,76
2021-05-10	24,64	Intervalo de confianza	µ2 (2.5%)	22,48
2021-05-12	32,08	Percentil 25	25%	28,41
2021-05-14	35,60	Percentil 75	75%	35,17
2021-05-16	34,01	**Valor más alto registrado**	**Max**	**37,48**
2021-05-18	29,61	Día de registro	Date	2021-05-26
2021-05-20	28,11	Valor más bajo registrado	Min	24,01
2021-05-22	34,94	Día de registro	Date	
2021-05-24	29,39	Calificación Norma Horaria 200 (µg/m³) con respecto al valor máximo registrado	**CUMPLE**	
2021-05-26	37,48			
2021-05-28	35,72			

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

Tabla 5.1-123 Resultados de concentraciones y estadísticas de NO_2 en la Estación 2: A2- La Antonisa

FECHA	NO_2 (µg/m³)	OPERACIÓN	SÍMBOLO	RESULTADO
2021-04-24	26,96			
2021-04-26	29,10	Número de datos	n	18
2021-04-28	29,24	**Promedio Aritmético**	**X1**	**29,12**
2021-04-30	28,88	Mediana	m	28,13
2021-05-02	21,92	Coeficiente de Variación	Cv	20%
2021-05-04	41,75	Desviación estándar	S	5,86
2021-05-06	21,09	Intervalo de confianza	µ (10%)	3,10
2021-05-08	23,42	Intervalo de confianza	µ1 (5%)	26,03
2021-05-10	27,39	Intervalo de confianza	µ2 (2.5%)	23,86
2021-05-12	24,51	Percentil 25	25%	25,12
2021-05-14	21,32	Percentil 75	75%	33,26
2021-05-16	35,93	**Valor más alto registrado**	**Max**	**41,75**
2021-05-18	27,22	Día de registro	Date	2021-04-21
2021-05-20	36,30	Valor más bajo registrado	Min	21,09
2021-05-22	27,25	Día de registro	Date	2021-05-06
2021-05-24	33,72	Calificación Norma Horaria 200 (µg/m³) con respecto al valor máximo registrado	**CUMPLE**	
2021-05-26	36,38			
2021-05-28	31,86			

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

Tabla 5.1-124 Resultados de concentraciones y estadísticas de NO_2 en la Estación 3: A3- Divino Niño

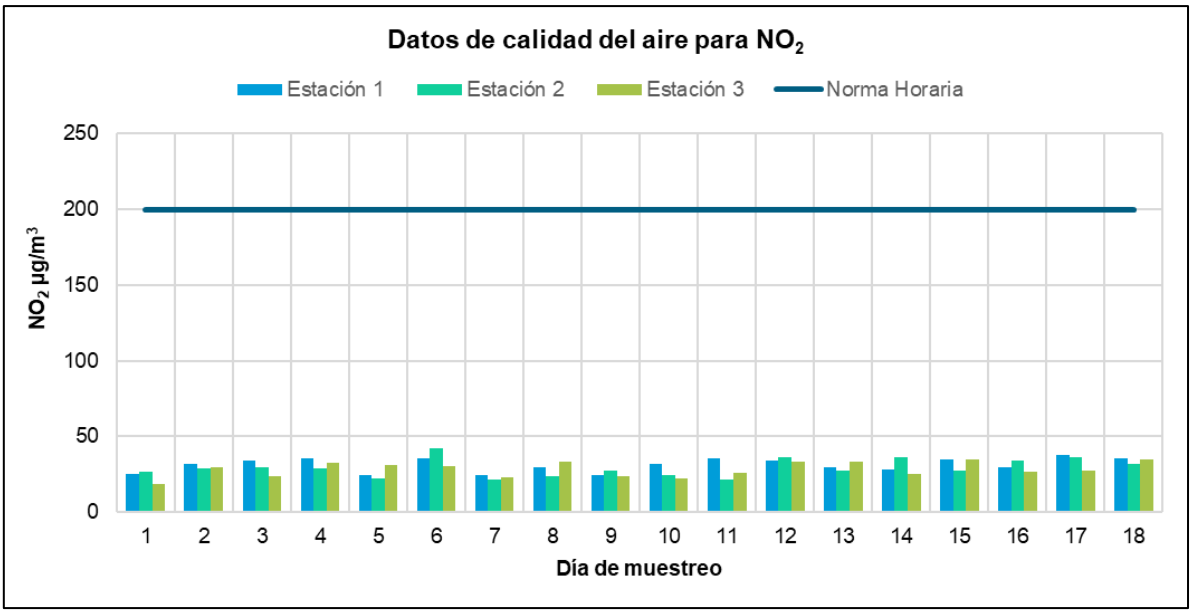
FECHA	NO_2 (µg/m³)	OPERACIÓN	SÍMBOLO	RESULTADO
2021-04-24	18,82			
2021-04-26	29,71	Número de datos	n	18
2021-04-28	23,85	**Promedio Aritmético**	**X1**	**28,26**
2021-04-30	32,49	Mediana	m	28,53
2021-05-02	30,78	Coeficiente de Variación	Cv	17%
2021-05-04	30,19	Desviación estándar	S	4,89
2021-05-06	22,93	Intervalo de confianza	µ (10%)	2,58
2021-05-08	32,90	Intervalo de confianza	µ1 (5%)	25,68
2021-05-10	23,56	Intervalo de confianza	µ2 (2.5%)	22,89
2021-05-12	21,88	Percentil 25	25%	24,24
2021-05-14	25,72	Percentil 75	75%	32,80
2021-05-16	33,24	**Valor más alto registrado**	**Max**	**34,94**
2021-05-18	33,58	Día de registro	Date	2021-05-22
2021-05-20	25,39	Valor más bajo registrado	Min	18,82

FECHA	NO_2 (µg/m³)	OPERACIÓN	SÍMBOLO	RESULTADO
2021-05-22	34,94	Día de registro	Date	2021-04-24
2021-05-24	26,85	Calificación Norma Horaria 200 (µg/m³) con respecto al valor máximo registrado	**CUMPLE**	
2021-05-26	27,35			
2021-05-28	34,53			

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

En la Figura 5.1-172 se presentan los *máximos valores horarios por día* de NO_2 obtenidos en cada una de las estaciones.

Figura 5.1-172 Datos de calidad del aire para NO_2



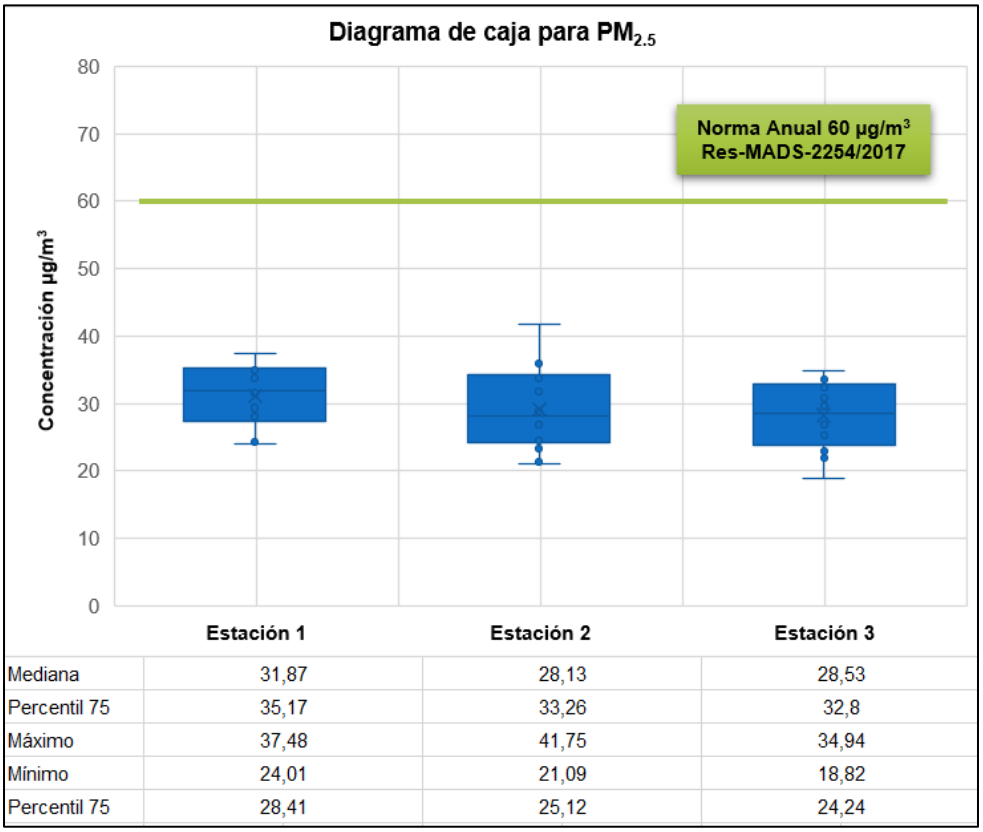
Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

En la Figura 5.1-173 se presenta el diagrama de cajas y bigotes para la concentración de NO_2 de los valores *máximos horarios por cada día* para las estaciones, comparado de forma indicativa con la norma de exposición anual según se indica en el protocolo de monitoreo y seguimiento de la calidad de aire en la sección 9.3.2.12.

La figura muestra que el valor *máximo horario por día* presentado en el estudio fue 41,75 µg/m^3 en la estación A2- la Antonisa y el valor promedio más alto fue 31,13 µg/m^3 en la estación A1-las Marías y al comparar de forma indicativa los valores de concentración de NO_2 se evidencia que no se supera la norma horaria de (200

µg/m^3) respecto al valor máximo y a su vez, no se supera la norma anual de (60 µg/m^3) respecto al valor promedio, dados por la Resolución MADS 2254 de 2017, por tanto, se puede inferir que en la zona se espera el cumplimiento de dicho estándar.

Figura 5.1-173 Diagrama de cajas para NO_2



	Estación 1	Estación 2	Estación 3
Mediana	31,87	28,13	28,53
Percentil 75	35,17	33,26	32,8
Máximo	37,48	41,75	34,94
Mínimo	24,01	21,09	18,82
Percentil 75	28,41	25,12	24,24

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

5.1.9.3.3.4 Dióxidos de azufre SO_2

Los principales valores obtenidos según la medición realizada de SO_2 se resumen de la Tabla 5.1-125 a la Tabla 5.1-127, donde de acuerdo con los resultados obtenidos se evidencia que se presentaron valores menores al límite de cuantificación mínimo (LCM) del método empleado.

Tabla 5.1-125 Resultados de concentraciones y estadísticas de SO2 Estación 1: A1-Las Marías

FECHA	SO_2 (µg/m³)	OPERACIÓN	SÍMBOLO	RESULTADO
2021-04-24	<LCM			
2021-04-26	<LCM	Numero de datos	n	-
2021-04-28	<LCM	**Promedio Aritmético**	**X1**	-
2021-04-30	DESCARTADA	Mediana	m	-
2021-05-02	<LCM	Coeficiente de Variación	Cv	-
2021-05-04	<LCM	Desviación estándar	S	-
2021-05-06	<LCM	Intervalo de confianza	µ (10%)	-
2021-05-08	<LCM	Intervalo de confianza	µ1 (5%)	-
2021-05-10	<LCM	Intervalo de confianza	µ2 (2.5%)	-
2021-05-12	<LCM	Percentil 25	25%	-
2021-05-14	<LCM	Percentil 75	75%	-
2021-05-16	<LCM	**Valor más alto registrado**	**Max**	-
2021-05-18	<LCM	Día de registro	Date	-
2021-05-20	<LCM	Valor más bajo registrado	Min	-
2021-05-22	<LCM	Día de registro	Date	-
2021-05-24	<LCM	Calificación respecto a la Norma diaria 50 (µg/m³) con respecto al valor máximo registrado (Res 2254/2017)	**CUMPLE**	
2021-05-26	<LCM			
2021-05-28	<LCM			

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

Tabla 5.1-126 Resultado de concentraciones y estadísticas de SO2 Estación 2: A2-La Antonisa

FECHA	SO_2 (µg/m³)	OPERACIÓN	SÍMBOLO	RESULTADO
2021-04-24	<LCM			
2021-04-26	<LCM	Numero de datos	n	-
2021-04-28	<LCM	**Promedio Aritmético**	**X1**	**-**
2021-04-30	<LCM	Mediana	m	-
2021-05-02	<LCM	Coeficiente de Variación	Cv	-
2021-05-04	<LCM	Desviación estándar	S	-
2021-05-06	<LCM	Intervalo de confianza	µ (10%)	-
2021-05-08	<LCM	Intervalo de confianza	µ1 (5%)	-
2021-05-10	<LCM	Intervalo de confianza	µ2 (2.5%)	-
2021-05-12	<LCM	Percentil 25	25%	-
2021-05-14	<LCM	Percentil 75	75%	-
2021-05-16	<LCM	**Valor más alto registrado**	**Max**	-
2021-05-18	<LCM	Día de registro	Date	-
2021-05-20	<LCM	Valor más bajo registrado	Min	-
2021-05-22	<LCM	Día de registro	Date	-
2021-05-24	<LCM	Calificación respecto a la Norma diaria 50 (µg/m³) con respecto al valor máximo registrado (Res 2254/2017)	**CUMPLE**	
2021-05-26	<LCM			
2021-05-28	<LCM			

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

Tabla 5.1-127 Resultado de concentraciones y estadísticas de SO2 Estación 3: A3-Divino niño

FECHA	SO_2 (µg/m³)	OPERACIÓN	SÍMBOLO	RESULTADO
2021-04-24	<LCM			
2021-04-26	<LCM	Numero de datos	n	-
2021-04-28	<LCM	**Promedio Aritmético**	**X1**	-
2021-04-30	<LCM	Mediana	m	-
2021-05-02	<LCM	Coeficiente de Variación	Cv	-
2021-05-04	<LCM	Desviación estándar	S	-
2021-05-06	<LCM	Intervalo de confianza	µ (10%)	-

FECHA	SO_2 (µg/m³)	OPERACIÓN	SÍMBOLO	RESULTADO
2021-05-08	<LCM	Intervalo de confianza	µ1 (5%)	-
2021-05-10	<LCM	Intervalo de confianza	µ2 (2.5%)	-
2021-05-12	<LCM	Percentil 25	25%	-
2021-05-14	<LCM	Percentil 75	75%	-
2021-05-16	<LCM	**Valor más alto registrado**	**Max**	-
2021-05-18	<LCM	Día de registro	Date	-
2021-05-20	<LCM	Valor más bajo registrado	Min	-
2021-05-22	<LCM	Día de registro	Date	-
2021-05-24	<LCM	Calificación respecto a la Norma diaria 50 (µg/m³) con respecto al valor máximo registrado (Res 2254/2017)	**CUMPLE**	
2021-05-26	<LCM			
2021-05-28	<LCM			

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

LCM: límite de cuantificación mínimo del método (LCM): 7,20 µg SO_2/m^3

5.1.9.3.3.5 Consolidado de los resultados

En la Tabla 5.1-128 se presentan los valores de las concentraciones promedio de los contaminantes evaluados a condiciones de referencia durante los días del 24 de abril al 28 de mayo de 2021 para la temporada de lluvias, comparados con el valor máximo permisible en la norma actual vigente para calidad del aire.

Tabla 5.1-128 Comparación de resultados concentración parámetros evaluados respecto al límite máximo permisible según tiempos de exposición

MONITOREO Y ANÁLISIS DE CALIDAD DE AIRE PARA EL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARQUE SOLAR FOTOVOLTAICO GUAYEPO III 200 MV	CONCENTRACIÓN PROMEDIO PERIODO		CONCENTRACIÓN MÁXIMA	
	PM10 (µg/m3)	PM2.5 (µg/m3)	NO2 (µg/m3)	SO2 (µg/m3)
Estación 1: A1- Las Marías	26,13	11,45	37,48	-
Estación 2: A2- La Antonisa	25,89	11,72	41,75	-
Estación 3: A3- Divino Niño	30,45	12,70	34,94	-
Norma Diaria (Res-MADS2254/2017)	75	37	-	50
Norma Anual (Res-MADS-2254/2017)	50	25	60	-
Norma Horaria (Res-MADS-2254/2017)	-	-	200	100
Norma Octohoraria (Res-MADS-2254/2017)	-	-	-	-

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

Así mismo, se presentan los resultados obtenidos para el monitoreo desde el 24 de julio hasta el 11 de agosto, que corresponde a la temporada de sequía.

Tabla 5.1-129 Comparación de resultados concentración parámetros evaluados respecto al límite máximo permisible según tiempos de exposición

MONITOREO Y ANÁLISIS DE CALIDAD DE AIRE PARA EL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARQUE SOLAR FOTOVOLTAICO GUAYEPO III 200 MV	Concentración Promedio Período		Concentración Máxima	
	PM10 (µg/m3)	PM2.5 (µg/m3)	NO2 (µg/m3)	SO2 (µg/m3)
Estación 1: A1- Las Marias	25,87	9,18	38,18	-
Estación 2: A2- La Antonisa	21,47	9,56	47,25	-
Estación 3: A3- Divino Niño	21,23	8,40	15,27	-
Norma Diaria (Res-MADS2254/2017)	**75**	**37**	**-**	**50**
Norma Anual (Res-MADS-2254/2017)	**50**	**25**	**60**	**-**
Norma Horaria (Res-MADS-2254/2017)	**-**	**-**	**200**	**100**
Norma Octohoraria (Res-MADS-2254/2017)	**-**	**-**	**-**	**-**

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

5.1.9.3.4 Índice de calidad del aire

En concordancia con los resultados obtenidos en la campaña de monitoreo por cada parámetro y por cada estación, se calculan los índices de calidad del aire, que permiten establecer el seguimiento de la calidad del aire del área de influencia, con respecto a la normatividad actual vigente llevadas a las condiciones atmosféricas de referencia.

De la Tabla 5.1-130 a la Tabla 5.1-132, se caracterizan los Índices de Calidad del Aire -ICA- de cada parámetro y se selecciona el mayor valor ICA que pueda generar una mayor incidencia en los grupos sensibles y población influenciada.

Tabla 5.1-130 Índices de Calidad del Aire en Estación 1: A1-Las Marías

ESTACIÓN 1 – A1-LAS MARIAS						
FECHA	ICA - PM_{10}	ICA–$PM_{2.5}$	ICA –	ICA - DÍA	PARÁMETRO	CALIDAD AIRE
2021-	22,74	41,31	12,51	41,31	$PM_{2.5}$	Bueno
2021-	15,83	39,65	15,83	39,65	$PM_{2.5}$	Bueno
2021-	11,68	24,35	16,85	24,35	$PM_{2.5}$	Bueno
2021-	Descartada	Descartada	17,71	17,71	NO_2	Bueno
2021-	14,08	40,97	12,18	40,97	$PM_{2.5}$	Bueno
2021-	24,22	51,35	17,62	51,35	$PM_{2.5}$	Aceptable
2021-	11,47	25,89	12,01	25,89	$PM_{2.5}$	Bueno
2021-	16,85	32,92	14,67	32,92	$PM_{2.5}$	Bueno
2021-	16,69	36,43	12,32	36,43	$PM_{2.5}$	Bueno
2021-	35,64	56,36	16,04	56,36	$PM_{2.5}$	Aceptable
2021-	27,96	51,32	17,80	51,32	$PM_{2.5}$	Aceptable
2021-	36,87	59,31	17,00	59,31	$PM_{2.5}$	Aceptable
2021-	24,67	36,81	14,81	36,81	$PM_{2.5}$	Bueno
2021-	14,00	38,78	14,05	38,78	$PM_{2.5}$	Bueno
2021-	40,92	58,13	17,47	58,13	$PM_{2.5}$	Aceptable

ESTACIÓN 1 – A1-LAS MARIAS						
FECHA	ICA - PM_{10}	ICA–$PM_{2.5}$	ICA –	ICA - DÍA	PARÁMETRO	CALIDAD AIRE
2021-	35,67	52,65	14,70	52,65	$PM_{2.5}$	Aceptable
2021-	30,49	50,54	18,74	50,54	$PM_{2.5}$	Aceptable
2021-	31,54	60,04	17,86	60,04	$PM_{2.5}$	Aceptable

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

Tabla 5.1-131 Índices de Calidad del Aire en Estación 2: A2-La Antonisa

ESTACIÓN 2 – A2- LA ANTONISA						
FECHA	ICA - PM_{10}	ICA– $PM_{2.5}$	ICA – NO_2	ICA - DÍA	PARÁMETRO	CALIDAD AIRE
2021-04-24	38,27	59,58	13,48	59,58	$PM_{2.5}$	Aceptable
2021-04-26	20,28	41,40	14,55	41,40	$PM_{2.5}$	Bueno
2021-04-28	10,75	22,72	14,62	22,72	$PM_{2.5}$	Bueno
2021-04-30	12,42	40,14	14,44	40,14	$PM_{2.5}$	Bueno
2021-05-02	10,81	29,38	10,96	29,38	$PM_{2.5}$	Bueno
2021-05-04	11,83	35,49	20,87	35,49	$PM_{2.5}$	Bueno
2021-05-06	12,01	38,15	10,54	38,15	$PM_{2.5}$	Bueno
2021-05-08	21,47	35,34	11,71	35,34	$PM_{2.5}$	Bueno
2021-05-10	21,33	36,62	13,69	36,62	$PM_{2.5}$	Bueno
2021-05-12	30,05	53,01	12,25	53,01	$PM_{2.5}$	Aceptable
2021-05-14	40,60	61,78	10,66	61,78	$PM_{2.5}$	Aceptable
2021-05-16	42,02	54,48	17,96	54,48	$PM_{2.5}$	Aceptable
2021-05-18	30,13	58,67	13,61	58,67	$PM_{2.5}$	Aceptable
2021-05-20	33,85	49,41	18,15	49,41	$PM_{2.5}$	Bueno
2021-05-22	50,70	75,98	13,62	75,98	$PM_{2.5}$	Aceptable
2021-05-24	12,13	30,75	16,86	30,75	$PM_{2.5}$	Bueno
2021-05-26	14,42	28,09	18,19	28,09	$PM_{2.5}$	Bueno
2021-05-28	18,74	47,43	15,93	47,43	$PM_{2.5}$	Bueno

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

Tabla 5.1-132 Índices de Calidad del Aire en Estación 2: A3-Divino niño

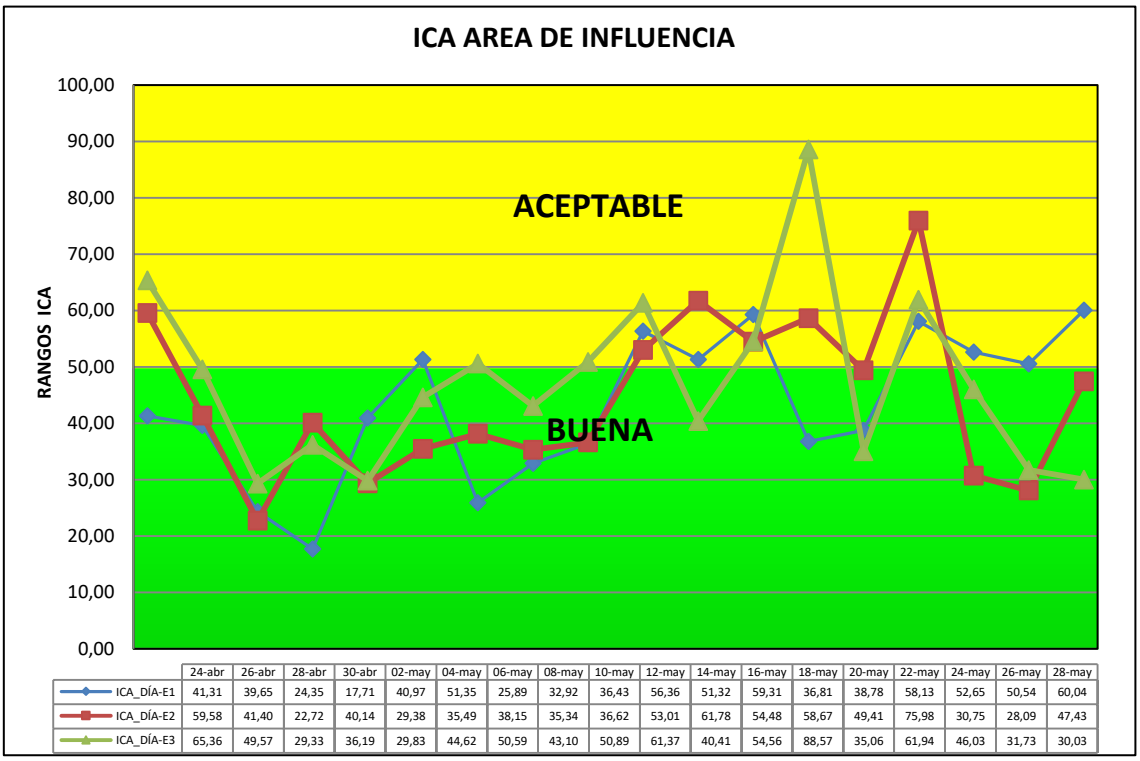
ESTACIÓN 3 – A3-DIVINO NIÑO						
FECHA	ICA - PM_{10}	ICA– $PM_{2.5}$	ICA – NO_2	ICA - DÍA	PARÁMETRO	CALIDAD AIRE
2021-04-24	51,86	65,36	9,41	65,36	$PM_{2.5}$	Aceptable
2021-04-26	30,43	49,57	14,86	49,57	$PM_{2.5}$	Bueno
2021-04-28	15,97	29,33	11,93	29,33	$PM_{2.5}$	Bueno
2021-04-30	16,31	36,19	16,25	36,19	$PM_{2.5}$	Bueno

ESTACIÓN 3 – A3-DIVINO NIÑO						
FECHA	ICA - PM_{10}	ICA– $PM_{2.5}$	ICA – NO_2	ICA - DÍA	PARÁMETRO	CALIDAD AIRE
2021-05-02	12,35	29,83	15,39	29,83	$PM_{2.5}$	Bueno
2021-05-04	18,99	44,62	15,10	44,62	$PM_{2.5}$	Bueno
2021-05-06	34,59	50,59	11,46	50,59	$PM_{2.5}$	Aceptable
2021-05-08	19,15	43,10	16,45	43,10	$PM_{2.5}$	Bueno
2021-05-10	24,64	50,89	11,78	50,89	$PM_{2.5}$	Aceptable
2021-05-12	34,76	61,37	10,94	61,37	$PM_{2.5}$	Aceptable
2021-05-14	15,81	40,41	12,86	40,41	$PM_{2.5}$	Bueno
2021-05-16	34,63	54,56	16,62	54,56	$PM_{2.5}$	Aceptable
2021-05-18	53,86	88,57	16,79	88,57	$PM_{2.5}$	Aceptable
2021-05-20	14,88	35,06	12,69	35,06	$PM_{2.5}$	Bueno
2021-05-22	33,06	61,94	17,47	61,94	$PM_{2.5}$	Aceptable
2021-05-24	33,76	46,03	13,42	46,03	$PM_{2.5}$	Bueno
2021-05-26	30,82	31,73	13,68	31,73	$PM_{2.5}$	Bueno
2021-05-28	28,47	30,03	17,26	30,03	$PM_{2.5}$	Bueno

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

En la Figura 5.1-174, se representan los ICA mediante escala de colores.

Figura 5.1-174 Índices de Calidad del aire en el área de influencia



	24-abr	26-abr	28-abr	30-abr	02-may	04-may	06-may	08-may	10-may	12-may	14-may	16-may	18-may	20-may	22-may	24-may	26-may	28-may
ICA_DÍA-E1	41,31	39,65	24,35	17,71	40,97	51,35	25,89	32,92	36,43	56,36	51,32	59,31	36,81	38,78	58,13	52,65	50,54	60,04
ICA_DÍA-E2	59,58	41,40	22,72	40,14	29,38	35,49	38,15	35,34	36,62	53,01	61,78	54,48	58,67	49,41	75,98	30,75	28,09	47,43
ICA_DÍA-E3	65,36	49,57	29,33	36,19	29,83	44,62	50,59	43,10	50,89	61,37	40,41	54,56	88,57	35,06	61,94	46,03	31,73	30,03

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

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_{10}, $PM_{2.5}$ y NO_2 es equivalente a los representados por los ICA.

Los ICA para los parámetros PM_{10}, $PM_{2.5}$ y NO_2 presentan el 61,1% del tiempo un estado de BUENA calidad del aire y un 38,9% un estado de ACEPTABLE calidad del aire, demostrándose que el área evaluada presenta un riesgo bajo en el estado de salud hacia personal expuesto y población del área de influencia. Es importante resaltar, que las estaciones 2 y 3 reportan mayores índices de calidad del aire aceptables respecto a la estación 1, esto puede atribuirse a la existencia de vías primarias de alto flujo vehicular, vías secundarias y terciarias sin pavimentar, quema de residuos, chimeneas domésticas y actividades constructivas en la zona. Y así mismo, el “ICA DÍA” se atribuyó la mayor parte del tiempo al parámetro $PM_{2.5}$.

5.1.9.3.5 Observaciones y conclusiones

Se determinó los niveles de inmisión de la calidad del aire, mediante la medición y determinación de las concentraciones de los contaminantes: PM_{10} y $PM_{2.5}$ (Material particulado inhalable), NO_2 (Óxidos de nitrógeno) y SO_2 (Dióxido de azufre), durante un periodo húmedo de 36 días comprendido entre el 24 de abril al 28 de mayo de 2021.

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 teniendo en cuenta los criterios definidos en los términos de referencia TdR-015 y TdR-017.

Meteorología

Durante el periodo de medición (24 de abril al 28 de mayo de 2021), la temperatura promedio fue de 28,60°C, la humedad relativa fue de 74,45%, la velocidad del viento promedio fue de 1,16 m/s, presentó una dirección que proviene predominantemente desde el Norte (N) y el viento alcanzó los 7,8 m/s.

Medición de parámetros PM_{10}, $PM_{2.5}$, NO_2 y SO_2

La máxima concentración diaria de PM_{10} con un valor de 60,79 µg/m^3 se presentó el día 18 de mayo de 2021 en la estación A3- Divino niño, 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/m^3; también el promedio aritmético de concentración de PM_{10} más alto fue de 30,45 µg/m^3 en la misma estación, este comparado indicativamente con la norma anual cumple con el límite máximo permisible de 50 µg/m^3.

La máxima concentración diaria de $PM_{2.5}$ se presentó el día 26 de abril de 2021 en la estación A3-Divino niño con un valor de 31,40 µg/m^3 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/m^3, por otra parte, el máximo

promedio aritmético de las concentraciones de $PM_{2.5}$ durante los 18 días fue de 12,70 µg/m^3 en la misma estación, este valor comparado indicativamente con la norma anual cumple con el límite máximo permisible de 25 µg/m^3.

La concentración de NO_2 presentó un máximo horario por día de 41,75 µg/m^3 el día 04 de mayo de 2021 en la estación A2-La Antonisa y estos valores 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 µg/m^3.

La concentración de SO_2 presentó valores inferiores al límite de cuantificación del método del laboratorio, por ende, cumple con la norma diaria para SO_2 de 50 µg/m^3 establecida por la Resolución 2254 del 2017 del ahora MADS y así mismo, para este parámetro no se realizan mapas de calidad del aire, basado en que no se cuenta con la información suficiente para efectuar la interpolación de datos.

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 las partículas respirables expresadas como PM_{10}, $PM_{2.5}$ y CO reportaron el 61,1% del tiempo de las ocasiones un nivel de concentración “BUENA” y el 38,9% del tiempo un estado de calidad del aire “ACEPTABLE”, es importante resaltar, que las estaciones 2 y 3 reportan mayores índices de calidad del aire aceptables respecto a la estación 1 y así mismo, el parámetro $PM_{2.5}$ representa en el 99% de los registros el “ICA DÍA”, esto puede atribuirse a la a la existencia de vías primarias de alto flujo vehicular, vías secundarias y terciarias sin pavimentar, quema de residuos, chimeneas domésticas y actividades constructivas en la zona, representando un riesgo bajo en el estado de salud hacia el personal expuesto y en un bajo porcentaje es posible esperar valores de concentración que produzcan síntomas respiratorios en pobladores sensibles.

5.1.9.4 Monitoreo de Ruido

El monitoreo de ruido busca medir los niveles de presión sonora para el estudio de impacto ambiental Parque Fotovoltaico Guayepo III 200 MW y su línea de

evacuación de 500Kv., a fin de caracterizar la zona de estudio de acuerdo con las metodologías establecidas en la Resolución 627 de 2006,en la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental.

Se desarrolló un plan de trabajo que consistió en establecer seis (6) puntos de medición de ruido ambiental (ver Figura 5.1-175 y Tabla 5.1-133), en horario diurno y nocturno para el día hábil y no hábil cuyas mediciones se realizaron del 7 al 10 de mayo del 2021, período en el cual se tomaron lecturas para caracterizar los Niveles de Presión Sonora (NPS). Lo anterior, con el fin de determinar los niveles de ruido ambiental en la zona de estudio, para tal efecto se llevaron a cabo veinticuatro (24) mediciones en horario diurno y nocturno (ver Tabla 5.1-134 y Tabla 5.1-135).

El monitoreo fue realizado por SIAM Ingeniería S.A.S., laboratorio acreditado por el IDEAM mediante Resoluciones 1742 del 30 de julio de 2018 y 195 del 19 de marzo de 2021 y bajo la norma NTC ISO 17025/2017, ajustado a la Resolución 627 de 2006 del Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial.

Es importante mencionar que en el área de influencia del proyecto no se identificaron Áreas importantes para la conservación de las aves (AICAS) para la definición de puntos de muestreo de presión sonora.

La información de las posibles fuentes de generación de ruido se puede encontrar en los informes de monitoreo realizados de ruido Anexo5.1/ 5.1.8 Atmosfera/ 5.1.8.1/ Monitoreo de ruido/ 5.1.8.1.5 Aforos Vehiculares. En el numeral 5.1.9.4.1 se describen los sitios donde se realizaron los monitoreos de ruido identificando y describiendo las áreas adyacentes, en algunos sitios no se identificaron los sitios sensibles cercanos pero el detalle de la información se puede ver en el anexo y numeral anteriormente citados.

Tabla 5.1-133 Ubicación geográfica de los puntos de medición

TIPO DE MEDICIÓN	CÓDIGO	NOMBRE DEL PUNTO DE MEDICIÓN	COORDENADAS ORIGEN NACIONAL		ALTURA (msnm)
			NORTE	ESTE	
Ruido Ambiental	RA-1	Las Marías	2'728.267	4'804.716	14
	RA-2	La Antonisa	2'724.261	4'802.726	19
	RA-3	Divino Niño	2'730.339	4'798.621	49
	RA-4	Buenavista	2'726.417	4'801.259	28
	RA-5	Villa Oti	2'729.510	4'801.196	34
	RA-6	La Retirada	2'731.558	4'798.859	51

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

Tabla 5.1-134 Información general de los puntos de medición, 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	2021-05-06	S951	12:40	13:40	2021-05-07	S955	22:51	23:51
RA-2	2021-05-06	S952	13:55	14:55	2021-05-07	S954	21:06	22:06
RA-3	2021-05-06	S949	09:53	10:53	2021-05-08	S960	02:50	03:50
RA-4	2021-05-07	S953	15:11	16:11	2021-05-10	S976	21:03	22:03
RA-5	2021-05-06	S950	11:15	12:15	2021-05-08	S956	00:15	01:15
RA-6	2021-05-06	S948	08:45	09:45	2021-05-08	S959	01:30	02:30

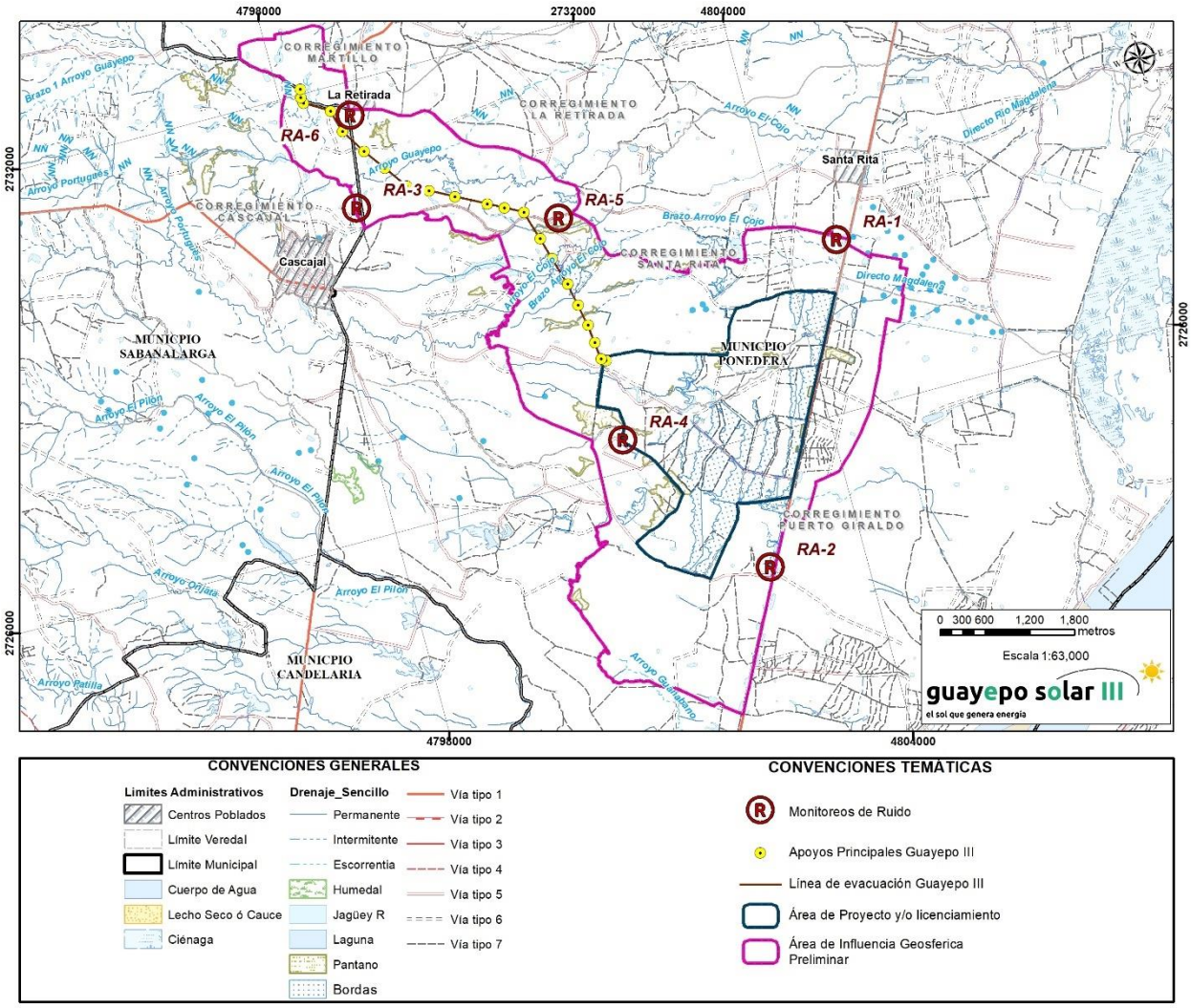
Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

Tabla 5.1-135 Información general de los puntos de medición, 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	2021-05-09	S963	11:08	12:08	2021-05-09	S970	23:30	00:30
RA-2	2021-05-09	S962	09:45	10:45	2021-05-09	S968	22:15	23:15
RA-3	2021-05-09	S966	15:15	16:15	2021-05-10	S974	03:30	04:30
RA-4	2021-05-09	S961	08:33	09:33	2021-05-09	S967	21:02	22:02
RA-5	2021-05-09	S964	12:30	13:30	2021-05-10	S972	00:50	01:50
RA-6	2021-05-09	S965	13:50	14:50	2021-05-10	S973	02:10	03:10

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

Figura 5.1-175 Localización puntos de monitoreo ruido ambiental



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.9.4.1 Descripción del área y puntos de medición

A continuación, de la Tabla 5.1-136 a la Tabla 5.1-141 se describen cada uno de los seis puntos de medición, con los respectivos registros fotográficos diurnos y nocturnos.

Tabla 5.1-136 Descripción punto de medición RA-1

CÓDIGO	PUNTO DE MEDICIÓN	DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MEDICIÓN
RA-1	Las Marías	Punto ubicado en zona rural en un potrero de la finca Las Marías, durante el monitoreo hubo influencia por parte del paso de vehículos y sonidos (pitos) al SURESTE del punto de muestreo, también se considera que el domingo en horas de la noche hubo influencia por parte del corregimiento Santa Rita por festividad del día la madre (música), de manera general se evidencia mediante audios la influencia de ruido animal.
REGISTRO FOTOGRÁFICO		
Registro fotográfico Ordinario	 Punto medición RA-1 diurno Ordinario Corregimiento Santa Rita Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12): E 4’804.716 – N 2’728.267	 Punto medición RA-1 nocturno Ordinario Corregimiento Santa Rita Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12): E 4’804.716 – N 2’728.267
Registro fotográfico Dominical	 Punto medición RA-1 diurno Dominical Corregimiento Santa Rita Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12): E 4’804.716 – N 2’728.267	 Punto medición RA-1 nocturno Dominical Corregimiento Santa Rita Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12): E 4’804.716 – N 2’728.267

- *Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)*

Tabla 5.1-137 Descripción punto de medición RA-2

CÓDIGO	PUNTO DE MEDICIÓN	DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MEDICIÓN
RA-2	La Antonisa	Punto ubicado en zona rural en un potrero de la finca La Antonisa, durante el monitoreo hubo influencia por parte del paso de vehículos y sonidos (pitos) al SURESTE del punto de muestreo y de manera general se evidencia mediante audios la influencia de ruido animal.
REGISTRO FOTOGRÁFICO		
Registro fotográfico Ordinario	 Punto medición RA-2 diurno Ordinario Corregimiento Puerto Giraldo Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12): E 4'802.726 – N 2'724.261	 Punto medición RA-2 nocturno Ordinario Corregimiento Puerto Giraldo Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12): E 4'802.726 – N 2'724.261
Registro fotográfico Dominical	 Punto medición RA-2 diurno Dominical Corregimiento Puerto Giraldo Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12): E 4'802.726 – N 2'724.261	 Punto medición RA-2 nocturno Dominical Corregimiento Puerto Giraldo Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12): E 4'802.726 – N 2'724.261

- *Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)*

Tabla 5.1-138 Descripción punto de medición RA-3

CÓDIGO	PUNTO DE MEDICIÓN	DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MEDICIÓN
RA-3	Divino Niño	Punto ubicado en zona rural en un potrero de la finca Divino Niño, durante el monitoreo hubo influencia por parte del paso de vehículos y sonidos (pitos) al ESTE del punto de muestreo, también se considera que hubo influencia por parte de obra de construcción al OESTE y de manera general se evidencia mediante audios la influencia de ruido animal.

CÓDIGO	PUNTO DE MEDICIÓN	DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MEDICIÓN
REGISTRO FOTOGRÁFICO		
Registro fotográfico Ordinario	 Punto medición RA-3 diurno Ordinario Corregimiento Cascajal Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12): E 4'798.621– N 2'730.339	 Punto medición RA-3 nocturno Ordinario Corregimiento Cascajal Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12): E 4'798.621– N 2'730.339
Registro fotográfico Dominical	 Punto medición RA-3 diurno Dominical Corregimiento Cascajal Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12): E 4'798.621– N 2'730.339	 Punto medición RA-3 nocturno Dominical Corregimiento Cascajal Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12): E 4'798.621– N 2'730.339

- *Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)*

Tabla 5.1-139 Descripción punto de medición RA-4

CÓDIGO	PUNTO DE MEDICIÓN	DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MEDICIÓN
RA-4	Buenavista	Punto ubicado en zona rural en un potrero de la finca Buenavista, durante el monitoreo se considera que hubo influencia en mayor parte por el paso de animales, en sus alrededores se evidencia que es una zona vegetal o despejada.
REGISTRO FOTOGRÁFICO		
Registro fotográfico Ordinario		

CÓDIGO	PUNTO DE MEDICIÓN	DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MEDICIÓN
	 Punto medición RA-4 diurno Ordinario Corregimiento Puerto Giraldo Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12): E 4'801.259 – N 2'726.417	 Punto medición RA-4 nocturno Ordinario Corregimiento Puerto Giraldo Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12): E 4'801.259 – N 2'726.417
Registro fotográfico Dominical	 Punto medición RA-4 diurno Dominical Corregimiento Puerto Giraldo Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12): E 4'801.259 – N 2'726.417	 Punto medición RA-4 nocturno Dominical Corregimiento Puerto Giraldo Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12): E 4'801.259 – N 2'726.417

- *Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)*

Tabla 5.1-140 Descripción punto de medición RA-5

CÓDIGO	PUNTO DE MEDICIÓN	DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MEDICIÓN
RA-5	Villa Otti	Punto ubicado en zona rural a un costado de la puerta principal y de acceso a la finca Villa Otti, durante el monitoreo hubo influencia por parte del paso de vehículos al NORTE del punto de muestreo, de manera general se evidencia mediante audios la influencia de ruido animal y de personas hablando y en sus labores diarias.
REGISTRO FOTOGRÁFICO		
Registro fotográfico Ordinario		

CÓDIGO	PUNTO DE MEDICIÓN	DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MEDICIÓN
		 Punto medición RA-5 diurno Ordinario Corregimiento Santa Rita Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12): E 4’801.196 – N 2’729.510
		 Punto medición RA-5 nocturno Ordinario Corregimiento Santa Rita Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12): E 4’801.196 – N 2’729.510
Registro fotográfico Dominical		 Punto medición RA-5 diurno Dominical Corregimiento Santa Rita Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12): E 4’801.196 – N 2’729.510
		 Punto medición RA-5 nocturno Dominical Corregimiento Santa Rita Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12): E 4’801.196 – N 2’729.510

- *Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)*

Tabla 5.1-141 Descripción punto de medición RA-6

CÓDIGO	PUNTO DE MEDICIÓN	DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MEDICIÓN
RA-6	La Retirada	Punto ubicado en zona suburbana a un costado de la vía secundaria pavimentada que conduce a los corregimientos de Cascajal y La Retirada, durante el monitoreo hubo influencia por parte del paso de vehículos al OESTE del punto de muestreo, también se considera que el domingo hubo influencia por parte del corregimiento La Retirada por festividad del día la madre (música), de manera general se evidencia mediante audios la influencia de ruido animal.
REGISTRO FOTOGRÁFICO		
Registro fotográfico Ordinario		

CÓDIGO	PUNTO DE MEDICIÓN	DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MEDICIÓN
		 Punto medición RA-6 día Ordinario Corregimiento La Retirada Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12): E 4’798.859 – N 2’731.558
		 Punto medición RA-6 nocturno Ordinario Corregimiento La Retirada Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12): E 4’798.859 – N 2’731.558
Registro fotográfico Dominical		 Punto medición RA-6 día Dominical Corregimiento La Retirada Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12): E 4’798.859 – N 2’731.558
		 Punto medición RA-6 nocturno Dominical Corregimiento La Retirada Georreferencia: (Origen Único Nacional CTM12): E 4’798.859 – N 2’731.558

- *Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)*

5.1.9.4.2 Fuentes generadoras de Ruido Ambiental

A continuación, se describe para cada uno de los puntos de muestreo las fuentes generadoras de ruido identificadas durante los días de monitoreo.

Tabla 5.1-142 Fuentes generadoras de ruido punto de medición RA-1

CÓDIGO	PUNTO DE MEDICIÓN	DESCRIPCIÓN FUENTES DE EMISIÓN DE RUIDO
RA-1	Las Marías	Estación ubicada en un potrero de la finca las Marías, con buena seguridad y limpieza, en los alrededores se encuentra las siguientes fuentes de emisión: Paso de vehículos y señales sonoras (pitos). Zona habitada (personas hablando, música). Motobomba en funcionamiento el domingo durante todo el día.

CÓDIGO	PUNTO DE MEDICIÓN	DESCRIPCIÓN FUENTES DE EMISIÓN DE RUIDO
REGISTRO FOTOGRÁFICO		



Predio Las Marías
Corregimiento Santa Rita-Mcpio. Ponedera



Paso vehicular y señales sonoras
Corregimiento Santa Rita-Mcpio. Ponedera



Motobomba en Jagüey
Corregimiento Santa Rita-Mcpio. Ponedera



Vivienda, zona habitada
Corregimiento Santa Rita-Mcpio. Ponedera

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

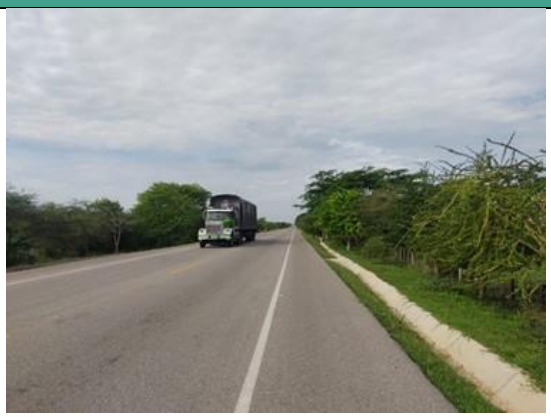
Tabla 5.1-143 Fuentes generadoras de ruido punto de medición RA-2

CÓDIGO	PUNTO DE MEDICIÓN	DESCRIPCIÓN FUENTES DE EMISIÓN DE RUIDO
RA-2	Las Antonisa	Estación ubicada en un potrero de la finca la Antonisa, con buena seguridad y limpieza, en los alrededores se encuentra las siguientes fuentes de emisión: Paso de vehículos y señales sonoras (pitos). •Zona habitada (personas hablando, música).
REGISTRO FOTOGRÁFICO		

CÓDIGO	PUNTO DE MEDICIÓN	DESCRIPCIÓN FUENTES DE EMISIÓN DE RUIDO



Predio La Antonisa
Corregimiento Puerto Giraldo
Municipio de Ponedera



Paso vehicular y señales sonoras
Corregimiento Puerto Giraldo
Municipio de Ponedera



Vivienda, zona habitada
Corregimiento Puerto Giraldo
Municipio de Ponedera

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

Tabla 5.1-144 Fuentes generadoras de ruido punto de medición RA-3

CÓDIGO	PUNTO DE MEDICIÓN	DESCRIPCIÓN FUENTES DE EMISIÓN DE RUIDO
RA-3	Divino Niño	Estación ubicada en un potrero de la finca Divino Niño, con buena seguridad y limpieza, en los alrededores se encuentra las siguientes fuentes de emisión: Paso de vehículos y señales sonoras (pitos) • Zona habitada (personas hablando, música)
REGISTRO FOTOGRÁFICO		

CÓDIGO	PUNTO DE MEDICIÓN	DESCRIPCIÓN FUENTES DE EMISIÓN DE RUIDO



Paso vehicular y señales sonoras
Corregimiento Cascajal
Municipio de Sabanalarga



Vivienda, Zonas habitada
Corregimiento Cascajal
Municipio de Sabanalarga

- *Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)*

Tabla 5.1-145 Fuentes generadoras de ruido punto de medición RA-4

CÓDIGO	PUNTO DE MEDICIÓN	DESCRIPCIÓN FUENTES DE EMISIÓN DE RUIDO
RA-4	Buenavista	Estación ubicada en un potrero de la finca Buenavista, con buena seguridad y limpieza, en los alrededores se encuentra las siguientes fuentes de emisión: • Influencia de ruido natural (zona despejada)
REGISTRO FOTOGRÁFICO		



Predio finca Buenavista
Corregimiento Puerto Giraldo
Municipio de Ponedera



Estación de monitoreo finca Buenavista
Corregimiento Puerto Giraldo
Municipio de Ponedera

- *Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)*

Tabla 5.1-146 Fuentes generadoras de ruido punto de medición RA-5

CÓDIGO	PUNTO DE MEDICIÓN	DESCRIPCIÓN FUENTES DE EMISIÓN DE RUIDO
RA-5	Villa Otti	Estación ubicada en un potrero de la finca Villa Otti, con buena seguridad y limpieza, en los alrededores se encuentra las siguientes fuentes de emisión: Paso de vehículos y señales sonoras (pitos) • Zona habitada (personas hablando, música)
REGISTRO FOTOGRÁFICO		



Zona habitada, finca Villa Otti
Corregimiento Santa Rita -Municipio de Ponedera

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

Tabla 5.1-147 Fuentes generadoras de ruido punto de medición RA-6

CÓDIGO	PUNTO DE MEDICIÓN	DESCRIPCIÓN FUENTES DE EMISIÓN DE RUIDO
RA-6	La Retirada	Estación ubicada en un potrero de la finca las Marías, con buena seguridad y limpieza, en los alrededores se encuentra las siguientes fuentes de emisión: Paso de vehículos y señales sonoras (pitos) • Zona habitada (personas hablando, música)
REGISTRO FOTOGRÁFICO		



Paso vehículos y señales sonoras
Corregimiento La Retirada
Municipio de Ponedera



Zona habitada
Corregimiento La Retirada
Municipio de Ponedera

- *Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)*

5.1.9.4.3 Información de los equipos de medición

En la Tabla 5.1-148 se especifican los equipos de medida utilizados durante las mediciones. Estos equipos están acordes a lo estipulado en el Capítulo IV de la Resolución 0627 del 2006 del MAVDT. En el Anexo 5.1.8.1 Monitore de Ruido/ Agosto se encuentra información más a detalle frente a las calibraciones y sus certificaciones.

Tabla 5.1-148 Información técnica de los equipos de campo

IMAGEN	ESPECIFICACIONES		CARACTERÍSTICAS
	Tipo	Sonómetro	Pantalla LCD de 5 posiciones Funciones Reporta SPL, MAX, MIN, Peak, Ln, Leq, Lavg, Sel, TWA, Taktm, Dose, PDOSE, Ldn, CNEL, Exposure Escala de ponderación: A, C, Z, Linear Tiempo de respuesta Fast, Slow, Impulse Frecuencia 1KHz Clase 2: 20Hz-8Khz; Filtros: 1/1 octava; 1/3 octava Amplitud 8 rangos de selección dinámico en 100dB Rango dinámico 0 – 140 dB Temperaturas de operación 0 ... +50 °C, < 80 % Hr
	Marca	3M-QUEST TECHNOLOGIES, MODELO SOUND PRO	
	Modelo	SoundPro DL	
	Serie	BJL060021	
	Fechas de Calibración	Periodo de Calibración	Bienal (Cada dos años)
		Fecha de Ultima Calibración	2020-11-12
	Tipo	Calibrador	**Frecuencia y Amplitud:** 1000 Hz - 114 dB **Exactitud:** +/- 0.3dB a 20ºC -760 mmHg **Distorsión:** Less than 1% within temperature and humidity operating ranges. 60 Hz: No measurable effect up to 5 Oersted (1 Oe = 80A/m) 400 Hz: No measurable effect up to 2 Oersted. **Especificación:** ANSI S1.40-1984 and IEC 942:1988 Class **Condiciones de calibración:** En Tolerancia (114.0 dB) **Ajuste del Instrumento** ±1.1% Acoustic (0.1 dB) ±0.012% Hz
	Marca	3M	
	Modelo	AC -300 CALIBRATOR	
	Serie	S/N AC 300001475	
	Fechas de Calibración	Periodo de Calibración	Anual (Una vez al año)
		Fecha de Ultima Calibración	2020-11-12
	Tipo	GPS	Reporta: navegador Brújula digital electrónica Medición Barométrica en mlB 500 waypoinst Rutas: 20 rutas reversibles de hasta 50 waypoints Tracks: Almacena hasta 10 caminos. Funciona de manera automática. Computador de viaje: Velocidad actual, Velocidad media, Tiempo de Salida y Puesta del sol, Velocidad Máxima con puesta a cero, Tiempo de viaje y distancia recorrida.
	Marca	Garmin	
	Modelo	GPS Map 64X	

IMAGEN	ESPECIFICACIONES		CARACTERÍSTICAS
	Serie	65j007229	
	Tipo	Estación Meteorológica	Velocidad y dirección del viento. (1 a 322km/h) / (0º a 360º) Temperatura y humedad interior y exterior. (-40 a +65ºC) / (1 a 100%) Temperatura de sensación y punto de rocío. Lluvia actual y acumulada diaria, mensual y anual. (0 a 999,8mm 24h) (res. 0,2mm) Intensidad de lluvia. (en mm/h) Presión atmosférica actual y tendencia. (en hPa/mmHg) (540 a 1100hPa) Pronóstico meteorológico. Fase lunar y hora de puesta y salida del sol. Gráficos en pantalla con datos de las últimas 24 horas, días o meses. Más de 80 gráficos diferentes en la propia consola. Configuración de más de 70 alarmas simultáneas para alertar de peligros meteorológicos.
	Marca	DAVIS	
	Modelo	VANTAGE VUE	
	Serie		

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

5.1.9.4.4 Metodología de muestreo

La metodología utilizada para la ejecución del estudio de ruido ambiental consta de cuatro etapas que se describen a continuación:

5.1.9.4.4.1 Etapa I, Identificación y selección de los puntos a evaluar

De acuerdo con la información suministrada, se estableció el área de interés de monitoreo, se definieron los puntos de medición, se procedió a identificar y a socializar con el técnico de campo cada uno de los puntos, de esta manera se realizó la medición de presión sonora dB (A).

5.1.9.4.4.2 Etapa II, Ejecución de las mediciones en campo

En la Tabla 5.1-149 se reflejan las especificaciones de campo para el monitoreo de ruido ambiental.

Tabla 5.1-149 Especificaciones de campo

ASPECTO	CARACTERÍSTICAS
Procedimiento de verificación de las Condiciones Meteorológicas	Según la condición meteorológica verificada en campo y adjunta en el Capítulo 7 del presente informe, se dio viabilidad y cumplimiento en las mediciones de cada punto de monitoreo de ruido ambiental, teniendo en cuenta lo descrito en el Artículo 20 del Capítulo IV Resolución 0627 de abril 7 de 2006 del MAVDT, ahora MADS. Procedimiento SIAM Ingeniería cuenta con una estación meteorológica con anemómetro la cual mide todos los parámetros requeridos por la normativa legal vigente. Este equipo se instala y opera teniendo en cuenta las características técnicas y/o las especificaciones del fabricante y los ítems de cumplimiento por parte de la autoridad ambiental para el procedimiento análisis y validación de la matriz ruido. Ubicada en el área de influencia del sitio de interés establecida por el cliente del actual proyecto, los datos son verificados en cada uno de los puntos con un equipo portátil para la verificación de la velocidad del viento durante la medición.
Configuración del Sonómetro	Medidor 1: Filtro de ponderación de frecuencia A modo respuesta exponencial lenta. **(Slow)** Intervalo de frecuencia: 1/3 octava Medidor 2: Filtro de ponderación de frecuencia A modo respuesta exponencial Impulso. **(Impulse)** Intervalo de frecuencia: 1/3 octava Configurado para registrar en memoria a los niveles integrados en cada medición.
Ubicación del Sonómetro	Mediciones de ruido ambiental: Micrófono ubicado sobre trípode a cuatro (4) metros de altura respecto al nivel de piso.
Calibración	Se realizó calibración acústica a una frecuencia de 1 kHz y a un nivel de presión sonora de 114,0 dB antes y después de las mediciones en cada punto de monitoreo. El Pistófono cuenta con certificado de calibración vigente (Ver anexo 3).
Intervalo Unitario de Tiempo de Medida	El intervalo unitario de tiempo de medida T, descrito en el Artículo IV de la Resolución 0627 de 2006, se establece en una hora, la cual puede ser medida en forma continua o con intervalos de tiempos distribuidos uniformemente hasta obtener como mínimo quince (15) minutos de captura de información, debe constar de 5 mediciones parciales distribuidas en tiempos iguales, cada una de las cuales debe tener una posición orientada del micrófono así: Norte, Sur, Este, Oeste y Vertical hacia arriba.
Desarrollo de las Mediciones	Para la ejecución de cada una de las mediciones de ruido, fueron implementados los procedimientos de medición de la Resolución 0627 de abril 7 de 2006 del MAVDT, ahora MADS, los cuales se describen a continuación en el numeral 5.3 Etapa III cálculos de ruido ambiental.

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

5.1.9.4.4.3 Etapa III, Cálculos de Ruido Ambiental

De acuerdo con los resultados obtenidos en la etapa II, se realizó en cada punto la medición de ruido durante una hora, con un tiempo mínimo de captura igual a 15 minutos (parciales de 3 minutos en cada una de las cinco (5) direcciones), según se estipula en el Artículo 5 de la Resolución 0627 de abril 7 de 2006 del MAVDT, ahora MADS. El resultado de esta medición fue obtenido mediante la siguiente fórmula:

$$LAeq = 10.\log((1/5).(10LN/10 + 10LO/10 + 10LS/10 + 10LE/10 + 10LV/10))$$

Dónde:

- LAeq= Nivel equivalente resultante de la medición.
- LN= Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientado en sentido norte.
- LO= Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientado en sentido oeste.
- LS= Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientado en sentido sur.
- LE= Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientado en sentido este.
- LV= Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientado en sentido vertical.

5.1.9.4.4.3.1 Determinación de los valores de ajuste K

Para corregir los niveles equivalentes de emisión total y residual por tonos y por impulsividad para ruido ambiental se procedió como se especifica en las premisas descritas a continuación:

- La corrección de nivel KS es un ajuste (positivo) para ciertas fuentes y situaciones, por ejemplo, bajas frecuencias (dB(A)) y se aplica de la siguiente manera:

Si el ruido proviene de las instalaciones de ventilación y climatización, bajas frecuencias:

5dB(A) en período diurno;

8dB(A) en período nocturno.

La corrección de nivel KR es un ajuste por la hora del día (dB(A)) y se aplica de la siguiente manera:

Si se desea calcular el nivel equivalente corregido ponderado por frecuencia A para el día y la noche LRAeq, efectúa la medición nocturna de ruido de la fuente

específica, si esta funciona durante la noche, para tener en cuenta el grado de molestia que pueda causar a las personas se hace una corrección por adición de 10 dB(A) para el período nocturno en el cual funcione la fuente específica.

La corrección de nivel KT es un ajuste por tono y contenido de información (dB(A)) se toma en consideración los componentes tonales del ruido en el lugar de la medición y durante el tiempo que estén presentes estos tonos.

- Por percepción nula de componentes tonales: 0 dB(A).
- Por percepción neta de componentes tonales: 3 dB(A).
- Por percepción fuerte de componentes tonales: 6 dB(A).

La corrección de nivel KI toma en consideración los componentes impulsivos en el lugar de la medición y durante el tiempo que estén presentes los respectivos impulsos.

- Por percepción nula de componentes impulsivos: 0 dB(A).
- Por percepción neta de componentes impulsivos: 3 dB(A).
- Por percepción fuerte de componentes impulsivos: 6 dB(A).
    - La manera detallada de evaluar la presencia de componentes tonales para ruido ambiental se presenta a continuación:

Se hace un análisis con resolución de 1/3 de octava.

Se calcula la diferencia:

L = Lt - Ls

Dónde:

Lt es el nivel de presión sonora de la banda f que contiene el tono puro;

Ls es la media de los niveles de las dos bandas situadas inmediatamente por encima y por debajo de f.

Se determina la presencia o ausencia de componentes tonales, entre 20 a 125 Hz:

Si L < 8 dB(A), no hay componentes tonales.

Si 8 dB(A) ≤ L ≤ 12 dB(A), hay componente tonal neto.

Si L > 12 dB(A), hay componente tonal fuerte.

Se determina la presencia o ausencia de componentes tonales, entre 160 a 400 Hz:

Si L < 5 dB(A), no hay componentes tonales.

Si 5 dB(A) ≤ L≤ 8 dB(A), hay componente tonal neto.

Si L > 8 dB(A), hay componente tonal fuerte.

Se determina la presencia o ausencia de componentes tonales a partir de 500 Hz:

Si L < 3 dB(A), no hay componentes tonales.

Si 3 dB(A) ≤ L ≤ 5 dB(A), hay componente tonal neto.

Si L > 5 dB(A), hay componente tonal fuerte.

El ruido que se evalúa tiene componentes impulsivos si se perciben sonidos de alto nivel de presión sonora y duración corta. Para evaluar de manera detallada la presencia de componentes impulsivos se establece el siguiente procedimiento:

Para una determinada fase de ruido de duración Ti en la cual se percibe un ruido impulsivo:

Se mide el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, durante Ti, LA, Ti.

Se mide el nivel de presión sonora ponderado A, determinado con la característica temporal Impulso (Impulse, en inglés), promediado en el tiempo Ti, LAI.

Se calcula la diferencia Li = LAI - LA,TI.

- Si LI < 3 dB(A), no hay componentes impulsivos.
- Si 3 dB(A) ≤ LI ≤ 6 dB(A), hay percepción neta de componentes impulsivos.
- Si LI > 6 dB(A), hay percepción fuerte de componentes impulsivos.

Incertidumbre de Mediciones[26]

Esta característica se calculó teniendo en cuenta los siguientes componentes de la incertidumbre típica:

I: Incertidumbre del instrumento

X: Incertidumbre por condiciones de operación o funcionamiento

Y: Incertidumbre por condiciones del clima y el terreno

Z: Incertidumbre por ruido de fondo

La incertidumbre del instrumento I para sonómetros tipo 1 tiene un valor nominal de 1,0 dBA. Para la incertidumbre por condiciones de operación **X**, se considera que el principal factor que introduce una incertidumbre en los resultados es el tránsito de vehículos cercano al punto de medición. Se determina la incertidumbre en cada punto por la expresión:

$$\mathbf{Xi} = 10 / \sqrt{(n)}$$

Donde n es el número de vehículos que transitan mientras se está tomando la lectura.

Se obtienen incertidumbres muy altas cuando el número de vehículos es pequeño, por lo cual se hace necesario descartar algunos valores altos. Así, para hallar **X** se toma el promedio solo de aquellos **Xi** que sean menores que la mediana de todos los **Xi.**

En cuanto a la incertidumbre por condiciones del clima y el terreno **Y**, solo aplica para mediciones realizadas en el tiempo, no aplica para mediciones puntuales. Si las mediciones son a largo plazo y el terreno es duro, las lecturas tomadas entre 2 y 50 metros de distancia de la fuente de ruido; se asigna un valor nominal de **Y**= 0,5 dB. En este caso se asigna **Y= 0 dB (A),** ya que las mediciones son puntuales.

[26] *Tomado de: Método y Evaluación de la Incertidumbre en Acústica Ambiental, Universidad Politécnica de Valencia, 2010.*

Para la incertidumbre por ruido de fondo **Z** se deben calcular los niveles corregidos por ruido de fondo si la diferencia entre Leq y L99 (o Lmin) está entre 3 y 10 dB (A). En caso contrario, el nivel se deja igual al neto que se leyó (Leq)

$$LR = 10 \log (10Leq/10 – 10Lmin/10)$$

Con los diferentes valores corregidos (LR), se obtienen las desviaciones estándar tanto de los valores netos como de los corregidos y se calcula:

$$Zi = \sqrt{} [\sigma(s)2 - \sigma (0)2]$$

Donde

σ(s) = desviación estándar de los niveles sonoros específicos o corregidos (LR)

σ (0) = desviación estándar de los niveles sonoros totales (Leq)

Se calcula para cada punto la sensibilidad residual, definida como:

$$C(res)i = – 10Lmin/10 / [10Leq/10 - 10Lmin/10]$$

El valor Z de incertidumbre por ruido de fondo queda determinado por:

$$Z = C(res)\ Zi$$

Donde

C(res) = Promedio de todos los C(res)i

Zi = promedio de todos los Zi

Una vez calculados los componentes de la incertidumbre típica se procede a calcular la incertidumbre típica combinada, definida como:

$$\sigma(t) = \sqrt{} (I2 + X2 + Y2 + Z2)$$

La Incertidumbre de Medición Expandida (IME) se define como:

$$\mathbf{IME = +/- 2\ \sigma(t)}$$

5.1.9.4.4.4 Etapa IV, Comparación de las condiciones actuales con normas

- De acuerdo con el Artículo 17 de la Resolución 0627 de 2006 del MAVDT, ahora MADS, en el Capítulo III se establecen los estándares máximos permisibles de niveles de Ruido Ambiental expresados en decibeles ponderados A (dB(A)), y se procedió a realizar una comparación entre los resultados de las condiciones acústicas actuales con los niveles de ruido expresados en decibeles (A).

5.1.9.4.5 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 0627 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 0627 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 0627 del 2006, emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial MAVDT, ahora MADS.

La Tabla 5.1-150 muestra los estándares máximos de ruido ambiental admitidos en la Resolución 0627 de 2006.

Tabla 5.1-150 Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental expresados en decibeles ponderados A db(A)

SECTOR	SUBSECTOR	DÍA 7:01 - 21:00	NOCHE 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	**55**	**45**
	Rural habitada destinada a explotación agropecuaria		
	Zonas de recreación y descanso como parques y reservas naturales		

- *Fuente: (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006)*

En la Tabla 5.1-151 se presenta la clasificación de los puntos monitoreados junto con los niveles máximos admitidos en la Resolución 0627 de 2006.

Tabla 5.1-151 Puntos de medición clasificados como sectores, subsectores inmersos y límites máximos permisibles.

Punto	Sector	Subsector Inmerso	Límite Máximo Permitido (7:01- 21:00)	Límite Máximo Permitido (21:01- 7:00)
RA-1	**Sector B. Tranquilidad y Ruido Moderado**	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelera y hospedajes.	**65**	**50**
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				

- *Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)*

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

- ƒ Anexo 2: Determinación de los valores de ajuste K
- ƒ 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.

5.1.9.4.6 Resultados

En el presente numeral se describen los resultados de las mediciones en general, 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 0627 de 2006.

5.1.9.4.6.1 Meteorología

Como se observa en la Tabla 5.1-152 y en la Tabla 5.1-153 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.

Tabla 5.1-152 Datos meteorológicos tomados en el área de estudio para las mediciones del día ordinario

Punto	Altura (msnm)	Día Ordinario											
		Velocidad del Viento (m/s)		Temperatura (ºC)		Pluviosidad (mm)		Dirección del Viento		Presión Atmosférica (mm Hg)		Humedad Relativa (%)	
		Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno
RA-1	14	1,3	1,6	33,5	24,3	0,0	0,0	SE	E	758.8	758.7	53	94
RA-2	19	0,9	1,3	34,7	24,6	0,0	0,0	NE	SE	758.3	758.3	47	91
RA-3	49	1,0	1,2	28,8	24,9	0,0	0,0	S	NE	755.7	755.7	76	97
RA-4	28	0,9	1,0	34,2	24,4	0,0	0,0	NW	N	757.6	757.5	47	80
RA-5	34	0,8	0,9	31,5	26,8	0,0	0,0	S	N	757.1	757.0	61	98
RA-6	51	1,5	1,4	26,6	26,1	0,0	0,0	E	N	755.5	755.5	86	97

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

Tabla 5.1-153 Datos meteorológicos tomados en el área de estudio para las mediciones del día dominical

Punto	Altura (msnm)	Día Dominical											
		Velocidad del Viento (m/s)		Temperatura (ºC)		Pluviosidad (mm)		Dirección del Viento		Presión Atmosférica (mm Hg)		Humedad Relativa	
		Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno
RA-1	14	1,2	1,6	33,2	26,5	0,0	0,0	SW	W	758.8	758.7	59	85
RA-2	19	0,9	1,0	30,5	26,6	0,0	0,0	W	NW	758.3	758.3	70	84
RA-3	49	0,7	1,2	30,6	25,8	0,0	0,0	NW	N	755.8	755.7	65	86
RA-4	28	0,6	1,0	27,3	26,8	0,0	0,0	S	N	757.5	757.5	86	83
RA-5	34	0,5	0,9	34,0	26,1	0,0	0,0	W	N	757.1	757.0	54	86
RA-6	51	1,1	1,4	34,0	26,1	0,0	0,0	S	W	755.6	755.5	56	86

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

5.1.9.4.6.2 Ruido Ambiental

De la Tabla 5.1-154 a la Tabla 5.1-157 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 5.1-154 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	
S951	RA-1	Las Marías	47,4	0	0	0	50,2	2,8	nulo	0	**0**	**47,4**
S952	RA-2	La Antonisa	53,3	0	0	0	54,9	1,6	nulo	0	**0**	**53,3**
S949	RA-3	Divino Niño	52,2	0	0	6	53,7	1,5	nulo	0	**6**	**58,2**
S953	RA-4	Buenavista	42,0	0	0	0	49,0	7,0	fuerte	6	**6**	**48,0**
S950	RA-5	Villa Oti	62,0	0	0	6	71,7	9,7	fuerte	6	**6**	**68,0**
S948	RA-6	La Retirada	58,7	0	0	3	61,4	2,7	nulo	0	**3**	**61,7**

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

Tabla 5.1-155 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	
S955	RA-1	Las Marías	56,7	0	0	6	58,2	1,5	nulo	0	**6**	**62,7**
S954	RA-2	La Antonisa	66,6	0	0	6	68,5	1,9	nulo	0	**6**	**72,6**
S960	RA-3	Divino Niño	46,7	0	0	6	51,9	5,2	neto	3	**6**	**52,7**
S976	RA-4	Buenavista	41,2	0	0	3	47,7	6,5	fuerte	6	**6**	**47,2**
S956	RA-5	Villa Otti	51,0	0	0	3	54,2	3,2	neto	3	**3**	**54,0**
S959	RA-6	La Retirada	46,5	0	0	6	55,4	8,9	fuerte	6	**6**	**52,5**

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

Tabla 5.1-156 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	
S963	RA-1	Las Marías	46,6	0	0	3	52,8	6,2	fuerte	6	**6**	**52,6**
S962	RA-2	La Antonisa	53,9	0	0	6	58,5	4,6	neto	3	**6**	**59,9**
S966	RA-3	Divino Niño	52,9	0	0	6	54,4	1,5	nulo	0	**6**	**58,9**
S961	RA-4	Buenavista	41,6	0	0	3	48,3	6,7	fuerte	6	**6**	**47,6**
S964	RA-5	Villa Oti	59,4	0	0	6	67,9	8,5	fuerte	6	**6**	**65,4**
S965	RA-6	La Retirada	61,4	0	0	3	68,7	7,3	fuerte	6	**6**	**67,4**

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

Tabla 5.1-157 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	
S970	RA-1	Las Marías	55,8	0	0	6	56,2	0,4	nulo	0	**6**	**61,8**
S968	RA-2	La Antonisa	61,0	0	0	6	61,5	0,5	nulo	0	**6**	**67,0**
S974	RA-3	Divino Niño	49,5	0	0	6	57,3	7,8	fuerte	6	**6**	**55,5**
S967	RA-4	Buenavista	57,1	0	0	6	65,3	8,2	fuerte	6	**6**	**63,1**
S972	RA-5	Villa Otti	44,7	0	0	6	50,4	5,7	neto	3	**6**	**50,7**

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	
S973	RA-6	La Retirada	49,3	0	0	6	54,9	5,6	neto	3	**6**	**55,3**

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

5.1.9.4.6.3 Incertidumbre expandida

En la Tabla 5.1-158 se muestra la incertidumbre expandida calculada para los días ordinario y dominical en la jornada diurna y nocturna.

Tabla 5.1-158 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	**47,4**	±2,0	**62,7**	±2,3	**52,6**	±2,0	**61,8**	±2,9
RA-2	**53,3**	±2,0	**72,6**	±2,6	**59,9**	±2,0	**67,0**	±2,0
RA-3	**58,2**	±2,0	**52,7**	±2,2	**58,9**	±2,0	**55,5**	±2,4
RA-4	**48,0**	±2,1	**47,2**	±2,4	**47,6**	±2,1	**63,1**	±2,2
RA-5	**68,0**	±2,0	**54,0**	±3,3	**65,4**	±2,0	**50,7**	±2,1
RA-6	**61,7**	±2,0	**52,5**	±2,0	**67,4**	±2,0	**55,3**	±2,0

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

5.1.9.4.6.4 Comparación de los resultados obtenidos con la normatividad aplicada

La Tabla 5.1-159 y la Tabla 5.1-160 muestran la comparación de los resultados obtenidos vs la norma actual vigente.

Tabla 5.1-159 Comparación niveles de ruido ambiental día ordinario diurno y nocturno 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	B	***47,4***	65	**CUMPLE**	***62,7***	50	**NO CUMPLE**
RA-2	D	***53,3***	55	**CUMPLE**	***72,6***	45	**NO CUMPLE**
RA-3	D	***58,2***	55	**NO CUMPLE**	***52,7***	45	**NO CUMPLE**
RA-4	D	***48,0***	55	**CUMPLE**	***47,2***	45	**NO CUMPLE**
RA-5	D	***68,0***	55	**NO CUMPLE**	***54,0***	45	**NO CUMPLE**

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-6	D	***61,7***	55	**NO CUMPLE**	***52,5***	45	**NO CUMPLE**

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

Tabla 5.1-160 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	B	***52,6***	65	**CUMPLE**	***61,8***	50	**NO CUMPLE**
RA-2	D	***59,9***	55	**NO CUMPLE**	***67,0***	45	**NO CUMPLE**
RA-3	D	***58,9***	55	**NO CUMPLE**	***55,5***	45	**NO CUMPLE**
RA-4	D	***47,6***	55	**CUMPLE**	***63,1***	45	**NO CUMPLE**
RA-5	D	***65,4***	55	**NO CUMPLE**	***50,7***	45	**NO CUMPLE**
RA-6	D	***67,4***	55	**NO CUMPLE**	***55,3***	45	**NO CUMPLE**

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

5.1.9.4.6.5 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 5.1-161 muestran los resultados del aforo vehicular llevado a cabo en los puntos de monitoreo del proyecto.

Tabla 5.1-161 Aforo vehicular según tamaño y utilidad, en el tiempo del registro día ordinario y dominical para los horarios diurno y nocturno.

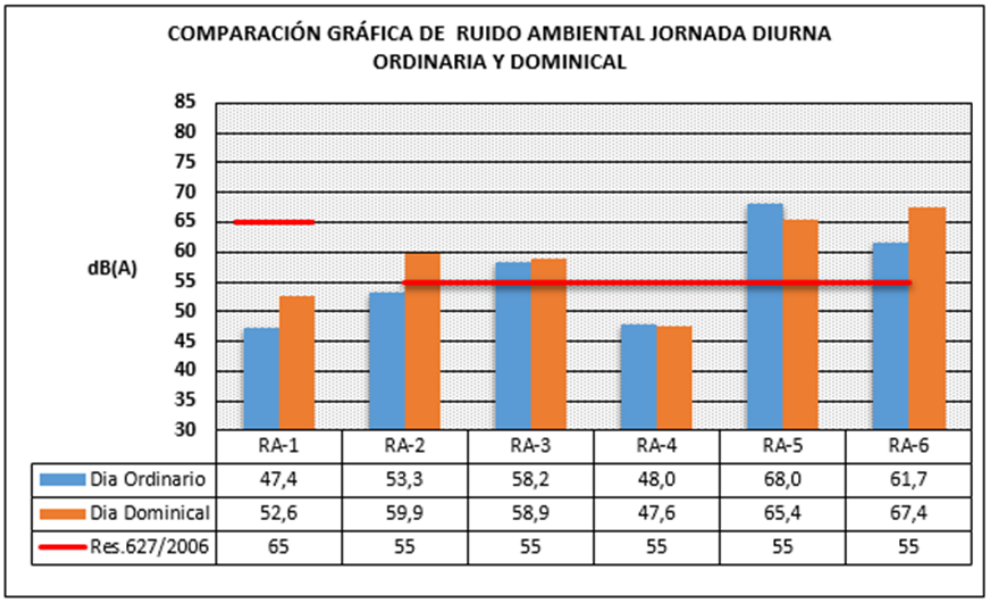
Código	Nombre de los Puntos de Medición	Ordinario (24 horas)						Dominical (24 horas)						Total, Vehículos
		Diurno			Nocturno			Diurno			Nocturno			
		M	L	P	M	L	P	M	L	P	M	L	P	
RA-1	Las Marías	3	8	7	0	3	2	3	5	4	0	1	3	39
RA-2	La Antonisa	2	9	4	1	3	4	5	6	4	0	3	3	44
RA-3	Divino Niño	7	3	4	0	0	0	4	2	2	0	0	0	22
RA-4	Buenavista	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RA-5	Villa Otti	7	10	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
RA-6	La Retirada	8	3	5	0	0	0	4	3	0	0	0	0	23
		22	**24**	**20**	**1**	**6**	**6**	**16**	**16**	**10**	**0**	**4**	**6**	**131**

- **M:** Motos, **L:** Vehículos livianos, **P:** Vehículos pesados

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

En la Figura 5.1-176 se muestran los resultados obtenidos en los puntos de medición, clasificados cada uno en el sector correspondiente para la jornada diurna ordinaria y dominical.

Figura 5.1-176 Resultados de Ruido Ambiental jornada diurna día dominical y ordinario



	RA-1	RA-2	RA-3	RA-4	RA-5	RA-6
Dia Ordinario	47,4	53,3	58,2	48,0	68,0	61,7
Dia Dominical	52,6	59,9	58,9	47,6	65,4	67,4
Res.627/2006	65	55	55	55	55	55

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

Diurno Ordinario y Dominical: Para el horario diurno ordinario (RA-1, RA-2 y RA-4) 3 de los 6 puntos clasificados en los sectores A y D, cumplieron con los límites máximos permisibles, para la jornada diurna dominical solo 2 puntos (RA-1 y RA-4) estuvieron por debajo de 65 dB(A) y 55 dB(A), los puntos no mencionados anteriormente sobrepasaron los límites. Las fuentes que pudieron aportar a las mediciones fueron:

- Paso de vehículos en cercanías al punto de medición
- Señales sonoras provenientes de vehículos
- Ruido natural (grillos, aves, ganado, caninos)
- Ruido de Zona Habitada

El punto más alto corresponde al RA-5 Villa Otti en la jornada diurna ordinaria donde se identificó el paso de vehículos y señales sonoras, el ruido de zona habitada también se identifica dentro del punto, personas hablando y algunos niños jugando.

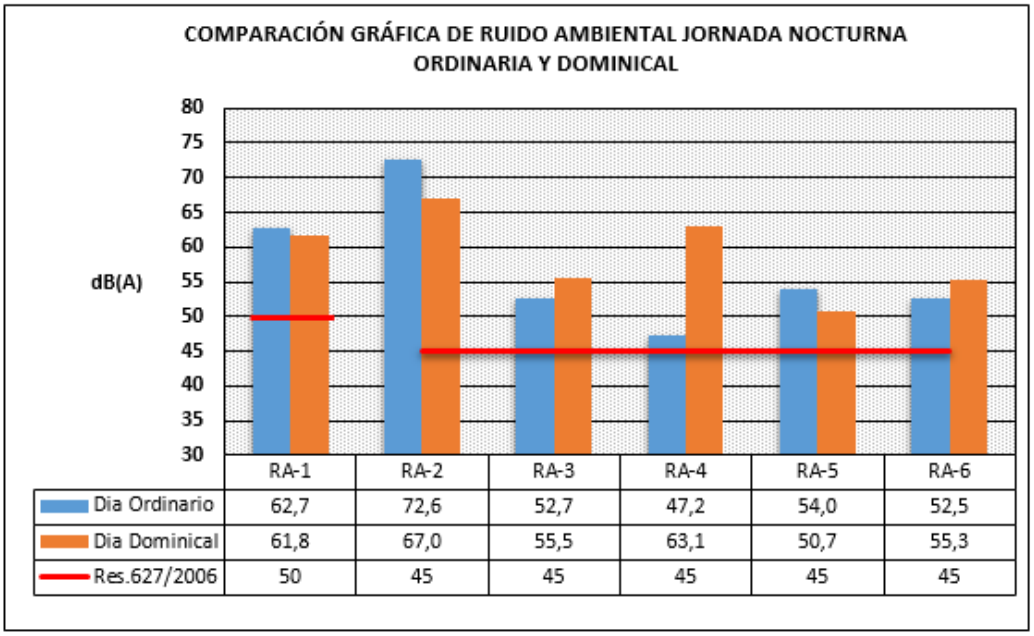
El nivel de presión sonora más bajo se evidencio en el punto RA-1 con 47,4 dB(A), valor que cumplió por con el límite máximo permisible 65 dB(A) que establece la normatividad para el sector A en ambas jornadas.

Los valores del día dominical fueron superiores con respecto al día ordinario, esto puede darse por las actividades cotidianas de los puntos de medición.

La percepción de ruido producto de las señales sonoras de los vehículos, también es un factor que incidió al momento de realizar la captura de los datos.

En la Figura 5.1-177 se muestran los resultados obtenidos en los puntos de medición, clasificados cada uno en el sector correspondiente para la jornada nocturna ordinaria y dominical.

Figura 5.1-177 Resultados de Ruido Ambiental jornada Nocturna día Dominical y Ordinario



	RA-1	RA-2	RA-3	RA-4	RA-5	RA-6
Dia Ordinario	62,7	72,6	52,7	47,2	54,0	52,5
Dia Dominical	61,8	67,0	55,5	63,1	50,7	55,3
Res.627/2006	50	45	45	45	45	45

Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

Nocturno Ordinario: Para el horario nocturno ordinario y dominical, todos los puntos clasificados en los sectores B y D excedieron el límite máximo permisible de

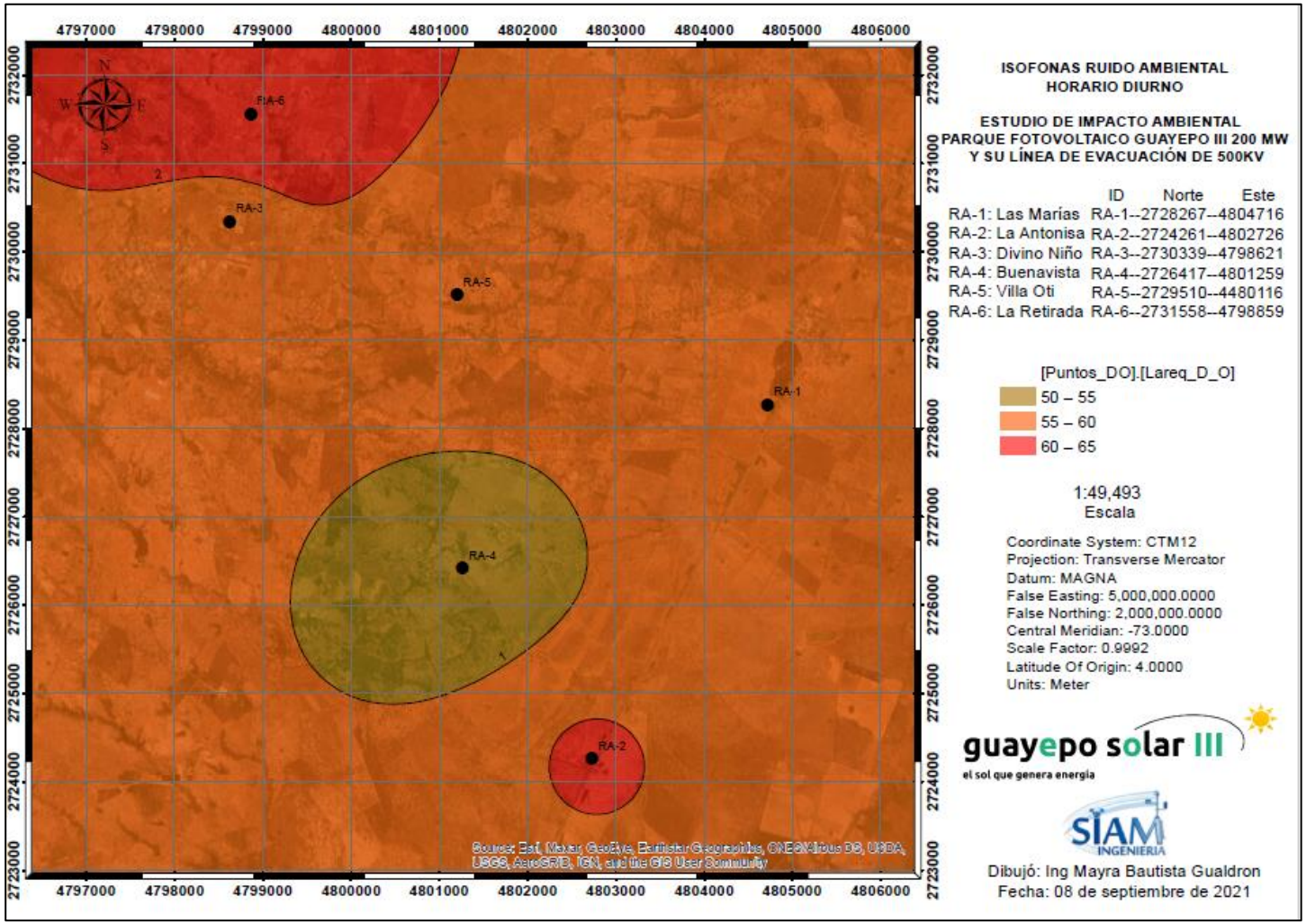
50 dB(A) y 45 dB(A) que asigna la resolución para los sectores correspondientes. Los factores externos más significativos durante las mediciones fueron:

- Paso de vehículos en cercanías al punto de medición
- Señales sonoras provenientes de vehículos
- Ruido natural
- Ruido de Zona Habitada
- Motobomba (RA-1)

El nivel de presión sonora más alto evidenciado corresponde al punto RA-2 en el horario nocturno ordinario con 72,6 dB(A) el cual excede el límite máximo permisible de 45 dB(A) para el sector D, cabe resaltar que el paso continuo de vehículos y la percepción de señales sonoras en el punto de medición.

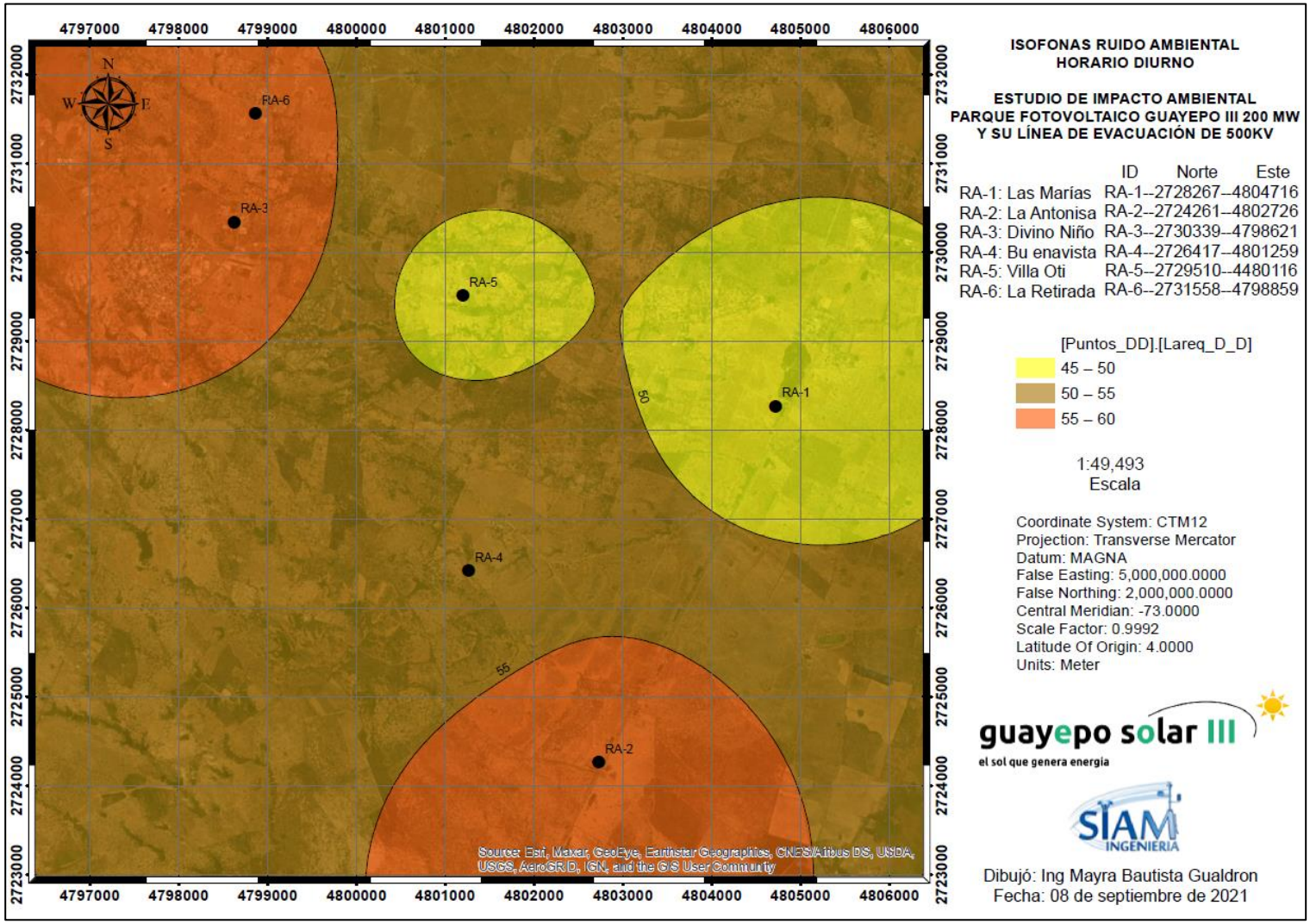
- El nivel de presión sonora más bajo se evidencio en el punto RA-4 con 47,2 dB(A), valor que se encuentra por encima del límite máximo permisible (45) dB (A) que establece la normatividad para el sector D.
- Los niveles de presión sonora del área de estudio estuvieron por el orden de los 47 dB a los 72 dB(A), siendo el valor máximo registrado mayor al límite estipulado por la norma respecto al sector de estudio.
- Con los resultados obtenidos de las mediciones se elaboraron las curvas de ruido que se muestran de la Figura 5.1-176 a la Figura 5.1-181. La altura del sonómetro utilizada fue de 4 m sobre el nivel del suelo para ruido ambiental.

- **Figura 5.1-178 Isófonas ruido ambiental horario diurno ordinario**



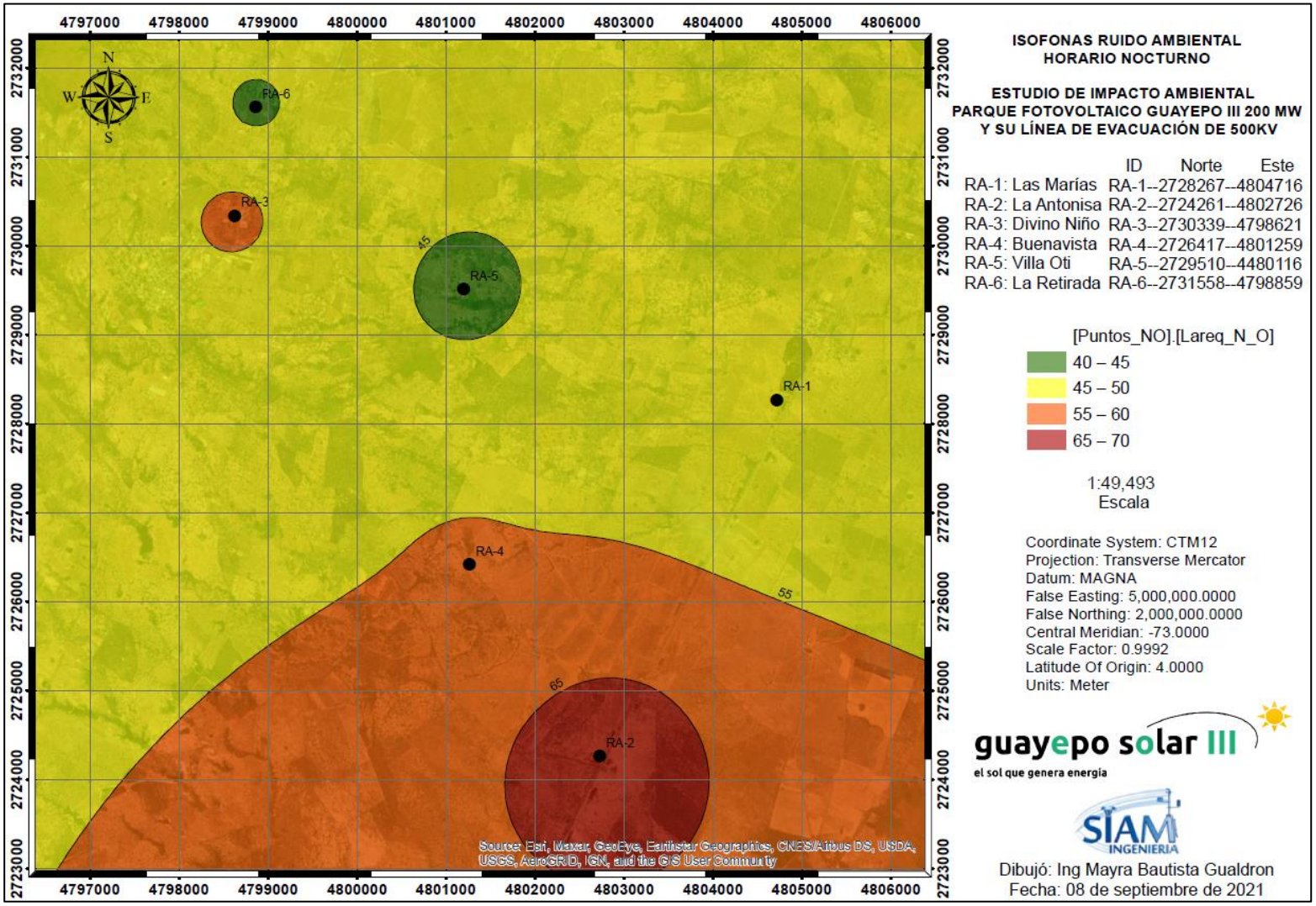
Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

Figura 5.1-179 Isófonas ruido ambiental horario diurno dominical



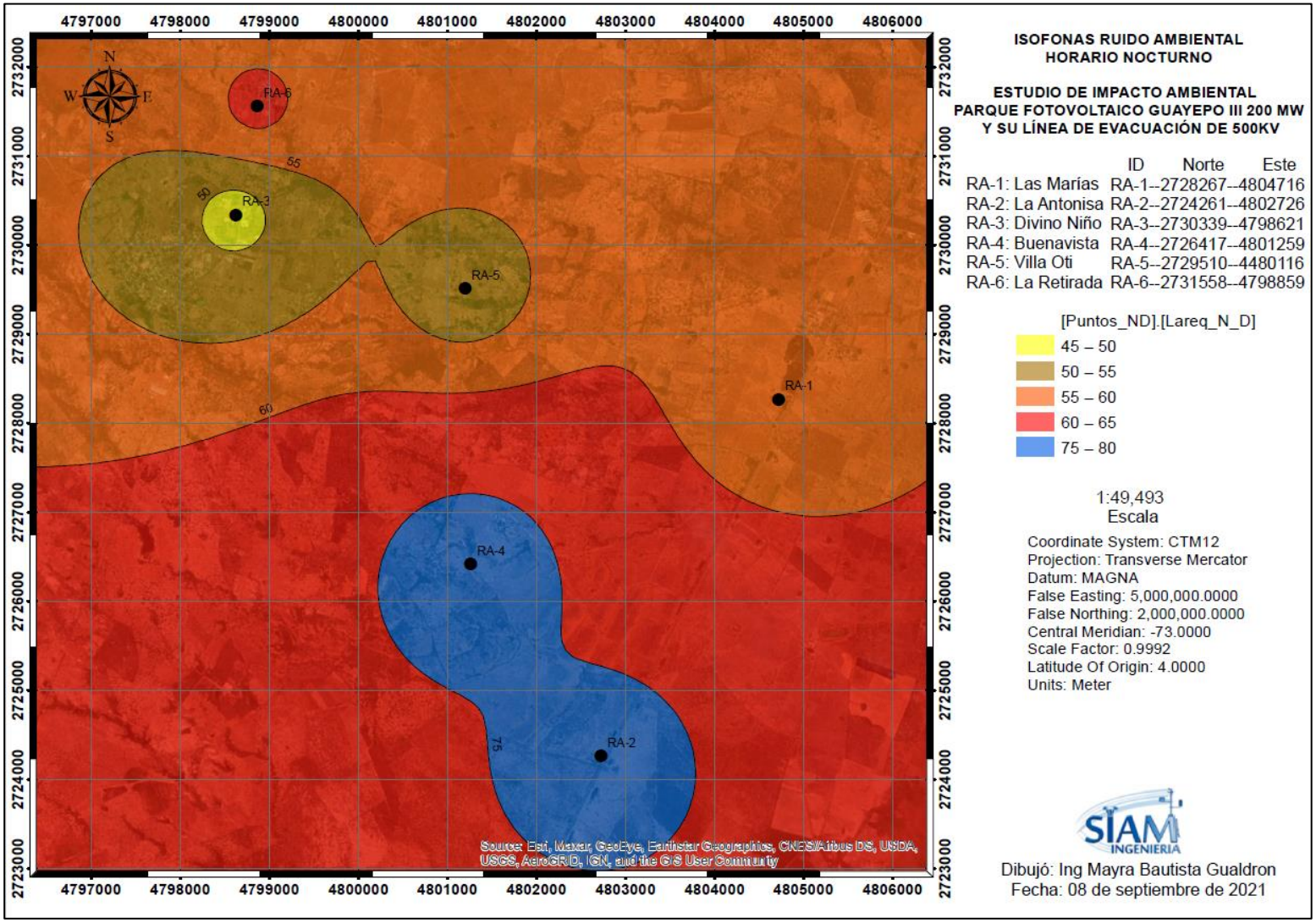
Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

Figura 5.1-180 Isófonas ruido ambiental horario nocturno ordinario



Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

Figura 5.1-181 Isófonas ruido ambiental horario nocturno dominical



Fuente: (SIAM Ingeniería S.A.S., 2021)

5.1.9.4.6.6 Observaciones y conclusiones

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 para la campaña de época de lluvias los días 6, 7, 8, 9 y 10 de mayo de 2021 y para la campaña en época seca del 8 al 10 de agosto del 2021 en el área de influencia proyecto PARQUE FOTOVOLTAICO GUAYEPO III 200 MW Y SU LÍNEA DE EVACUACIÓN DE 500KV.

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 0627 de 2006 del MAVDT, se consideraron como sectores representativos de la zona monitoreada el Sector B. Tranquilidad y Ruido Moderado y 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.

De los 6 puntos solo los puntos RA-1, RA-2 y RA-4 cumplieron con el límite en la jornada diurna ordinaria, los puntos RA-1 y RA-4 cumplieron solo para el horario diurno dominical, con respecto a la jornada nocturna ordinaria y dominical.

Los factores predominantes en los puntos de medición fueron:

- Paso de vehículos en cercanías al punto de medición
- Señales sonoras provenientes de vehículos
- Ruido natural
- Ruido de Zona Habitada

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, específicamente en este caso para el monitoreo y análisis de ruido

ambiental para la construcción del proyecto PARQUE FOTOVOLTAICO GUAYEPO III 200 MW Y SU LÍNEA DE EVACUACIÓN DE 500KV. Ubicado en el departamento del Atlántico.

5.1.9.5 Modelación matemática de Calidad del Aire

La evaluación se realizó mediante simulación asistida por computador, con la metodología de modelado matemático de la dispersión de contaminantes en la atmósfera, los cuales toman como insumo las tasas de emisión generadas por las actividades en las fases de línea base, construcción, operación y desmantelamiento del proyecto. La evaluación de la calidad del aire se realizó tomando como referencia la metodología establecida en el Protocolo para el Control y Seguimiento de la Calidad del Aire, del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS (Resolución 2154/2010).

La evaluación tiene como propósito determinar las características de dispersión de los contaminantes en el área de influencia, teniendo en cuenta el comportamiento del aporte de partículas y gases sobre los niveles típicos de concentración de fondo medidos en la zona de estudio, de modo que permita identificar los puntos críticos de recepción a nivel de suelo, tomando como referencia tiempos de exposición comparables con la Resolución 2254/2017 del MADS.

Para la valoración de las condiciones de dispersión se tomaron como fondo los niveles de contaminantes medidos en la zona de estudio mediante 3 estaciones indicativas ubicadas en la zona de influencia del proyecto, las cuales fueron instaladas por 18 días, cuya ejecución estuvo a cargo del laboratorio ambiental de SIAM Ingeniería S.A.S, entre el 24 de abril y el 29 de mayo del 2021 para la época de alta precipitación y entre el 24 de julio y el 11 de agosto de 2021 para época de bajas precipitaciones. En los resultados de este estudio se incluyen las condiciones típicas de calidad del aire medida del área de influencia en condiciones de época de alta y baja precipitación, los cuales permiten establecer la idoneidad del modelo para el desarrollo de planes de gestión adecuados.

El inventario de las emisiones de contaminantes generadas por las fuentes evaluadas se tomó de las actividades proyectadas en el área de estudio y reportadas en el Capítulo 3 del presente estudio, siendo insumo para la estimación de las tasas de

emisión mediante la metodología de factores de emisión a partir de los compilados US EPA AP-42 y EMEP EEA 2019, para fuentes de emisión asociadas a procesos de combustión y suspensión de polvo por obras civiles en la fase constructiva del proyecto. Los contaminantes evaluados fueron material particulado menor a 10 micras (PM_{10}), material particulado menor a 2.5 micras ($PM_{2.5)}$, dióxido de azufre (SO_2) y dióxido de nitrógeno (NO_2).

El algoritmo empleado fue el modelo gaussiano del tipo estado estable AERMOD v. 21112 original, avalado desde el año 2017 por la US EPA según el Apéndice W -40 CFR Parte 51 Guidelines on Air Quality Models como el modelo preferido y recomendado para evaluar el comportamiento de dispersión de contaminantes criterio a nivel local (hasta 50 km respecto a la fuente emisora) para fuentes fijas y fuentes móviles[27] (siendo el modelo acogido por el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire del actual MADS). El modelo permite evaluar el aporte a nivel de suelo de la concentración de contaminantes de las fuentes de emisión instaladas en el área de influencia, que en conjunto con las concentraciones de fondo medidas, muestran niveles considerados como típicos de la zona.

Los datos de elevación del terreno (DEM) se tomaron del proyecto ALOS Global Digital Surface Model de la Agencia Espacial Japonesa (JAXA), los cuales tienen una resolución de 12,5 metros, con dominio de modelado mediante una matriz de evaluación a escala 1:50.000, donde se incorporan de forma cartesiana 2.200 receptores de cálculo.

Dentro de esta matriz de receptores, se evaluaron las características meteorológicas de superficie y altura, las cuales fueron procesadas mediante reanálisis del modelo de mesoescala Weather Research and Forecasting (WRF-MMIF v.4.3.1) por Meteocolombia S.A.S., por un periodo de 1 año con datos hora a hora, con resolución 6 km.

Las condiciones de albedo y relación de Bowen se determinaron mediante análisis de la cobertura del suelo en un radio de 10 km, así como las características de rugosidad del suelo en un radio de 1 km vientos arriba según rosa de vientos del punto de

[27] *US EPA (2017) Appendix W CFR 40 Part 51. Revisions to the Guideline on Air Quality Models: Enhacements to the AERMOD Dispersion Modeling System. Federal Register. Vol 82. No. 10. January 17. pp. 5182.*

evaluación de la meteorología, a partir del modelo CORINE Land Cover adaptado para el territorio nacional cuya información se toma del Sistema de Información Geográfica de la Agencia Nacional de Licencia Ambientales (ANLA).

Los mapas de isoconcentración donde se muestran los resultados del modelo (ver Anexo 5.1.8.4 Modelo Aire), se desarrollaron mediante la interpolación de los datos obtenidos por AERMOD, empleando el algoritmo geoestadístico “Thin Plate Spline” con un porcentaje de determinación superior al 90%.

La presente modelación es una aproximación controlada del comportamiento de la dispersión de contaminantes por actividades en la zona de estudio, con el fin de dar seguimiento a la calidad del aire y el aporte de contaminantes por las operaciones del proyecto, de modo que se gestionen posibles episodios de riesgo ambiental y se garantice el cumplimiento normativo ambiental durante el desarrollo del proyecto.

La simulación del comportamiento de dispersión de contaminantes se muestra como un insumo de información valioso en la toma de decisiones para ejecutar actividades de mitigación de impactos no deseados, de modo que se controlen riesgos ambientales, económicos y sociales.

5.1.9.5.1 Modelo conceptual

El inventario de emisiones y el modelo de dispersión en la zona de estudio se desarrolla teniendo en cuenta las fuentes emisoras de la infraestructura operativa y equipamiento requerido para las actividades del proyecto en los siguientes escenarios:

- Línea base: Emisiones por fuentes existentes antes del desarrollo del proyecto.
- Construcción con medidas de control: Emisiones de fuentes prospectadas por el desarrollo del proyecto, incluyendo medidas de reducción de generación de contaminantes.
- Construcción sin medidas de control: Emisiones de fuentes prospectadas al desarrollo del proyecto, sin incluir medidas de reducción de generación de contaminantes.

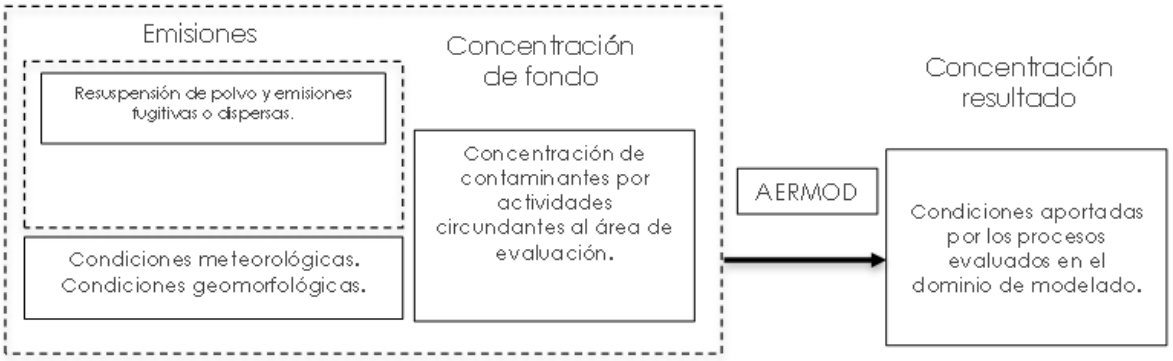
Las fuentes de emisión evaluadas corresponden a las actividades de construcción del proyecto. El aporte de contaminantes de otras fuentes no determinadas en estos

escenarios se estima por la diferencia entre las concentraciones aporte de las fuentes modeladas respecto a las concentraciones medidas en el monitoreo de calidad del aire realizado por el laboratorio ambiental SIAM Ingeniería S.A.S. en la zona de estudio durante el periodo comprendido entre el 24 de abril y el 29 de mayo de 2021 para época húmeda y del 24 de julio al 11 de agosto de 2021 para época seca, siendo esta última condición la más adecuada para determinar impactos acumulativos entre condiciones regionales y emisión local asociada al proyecto. Así, el análisis de resultados tiene en cuenta condiciones reales determinadas a partir de mediciones de campo.

La identificación y georreferenciación de fuentes puntuales externas (quemas de basuras o uso de leña para cocción, entre otros) no está incluida dentro del presente modelo, dadas las implicaciones de incertidumbre de operación de estas actividades a nivel anual.

Dado el alcance de la información disponible para la evaluación (transporte de contaminantes de sitios remotos, fuentes fugitivas no identificadas, fuentes no controlables), el modelo tiene como alcance mostrar el aporte de contaminantes asociados a las actividades operativas del proyecto ante posibles impactos asociados a las emisiones atmosféricas de las fuentes en consideración (ver Figura 5.1-182).

Figura 5.1-182 Proceso de estimación en la zona de estudio



Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

5.1.9.5.1.1 Inventario de emisiones

5.1.9.5.1.1.1 Caracterización de fuentes de emisión

- **Escenario línea base**

Fuentes móviles externas: Emisiones provenientes del tráfico vehicular de la vía Nacional Ruta 25, secundarias Via Martillo-Cascajal-La Retirada y terciarias de acceso a predios, de modo que sea posible determinar el aporte de contaminantes de fuentes externas no asociadas al proyecto, y de esta manera diferenciar la contribución de posibles problemas de contaminación en la zona de estudio a otras fuentes externas representativas.

- **Escenario de construcción del proyecto**

Fuentes de área: Resuspensión de material particulado generado en las actividades de movimiento de tierra en cada uno de los sitios de intervención (construcción de obras temporales y permanentes del proyecto), así como erosión eólica de puntos de acopio de materiales.

Fuentes móviles: Tráfico de vehículos de carga de material y cuadrillas de trabajadores para ingreso de material e insumos.

Para los escenarios descritos, las características de generación de contaminantes se pueden originar por los siguientes procesos:

- **Procesos de combustión:** con base en las características de la combustión de fuentes móviles y fuentes fijas, se hace la estimación de emisiones con base en datos medidos a través de la metodología normalizada de factores de emisión (US EPA AP-42, EMEP EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2019 y referencias de bibliografía especializada) y se verifican los valores estimados mediante referencias bibliográficas (inventarios de emisiones, estudios particulares nacionales, experiencia previa). Los contaminantes evaluados son PM_{10}, $PM_{2.5}$, SO_2, NO_2 y CO.

- **Procesos de resuspensión de polvo y erosión eólica:** siendo ésta una de las fuentes principales de emisión de material particulado en el ambiente, se hace la evaluación con base en factores de emisión (se da preferencia a la metodología US EPA AP-42 Capitulo 13 en la zona de acopio y EMEP/EEA 2019 – Capitulo 2.A.5.B Construction and demolition para obras civiles en el polígono de intervención de paneles y conversores), así como referencias de procesos documentados relacionados a la adecuación de instalaciones por manejo de

materiales y maquinaria del proyecto. Cabe resaltar que esta fuente aportante está vinculada al área intervenida, el contenido de sólidos finos en la superficie de estas áreas y las características del tipo de actividad constructiva. Los contaminantes evaluados son PM_{10} y $PM_{2.5}$.

De esta manera se simplifica el modelo teniendo en cuenta las características de complejidad del área de influencia evaluada.

5.1.9.5.1.1.2 Estimación de las emisiones

La cuantificación de las emisiones de contaminantes generados por las fuentes evaluadas se desarrolló a través de la metodología de factores de emisión (a partir de los compilados US EPA AP-42 y el compilado europeo EMEP/EEA 2019).

En este sentido, los datos de entrada asociados a las fuentes emisoras corresponden a las características de infraestructura operativa y equipamiento requerido para las actividades de construcción del proyecto. De acuerdo con dichas actividades, se realiza la selección del factor de emisión idóneo para la estimación de los contaminantes evaluados.

Un análisis de estas actividades mostrará los procesos emisores objeto de estudio y caracterización en términos de generación de contaminantes.

Tráfico de vehículos en vías → Partículas y gases de combustión.

Obras civiles dentro de área intervenida → Partículas y gases de combustión.

Resuspensión de polvo en vías → Partículas.

Erosión eólica en acopio → Partículas.

Para el análisis de generación de contaminantes en las actividades del proyecto, se utiliza la metodología de cálculo de la tasa de emisión nominal de emisión por factores de emisión. Esta metodología se basa en la proporcionalidad entre las emisiones de un contaminante especifico respecto a la cantidad y calidad de una actividad desarrollada, la cual puede ser expresada mediante la Ecuación 5.1-6:

Ecuación 5.1-6

$$E_{i,j} = AF_{i,j} * EF_{i,j} * \left(1 - \frac{ER}{100}\right)$$

Donde:

- E: son las emisiones por contaminante.
- AF: el factor de actividad asociado al proceso.
- EF: es el factor de emisión del contaminante.
- ER: es la eficiencia de control que tiene el contaminante en el proceso.
- j: es el tipo de fuente del que proviene el contaminante.
- I: es el contaminante evaluado.

5.1.9.5.1.1.3 Identificación y estimación de emisiones en escenario línea base

La información de entrada para estimar el comportamiento antes de intervención (línea base) del proyecto será del tipo primario para actividades de tráfico vehicular no asociado al proyecto, siendo utilizado información de aforos de 24 horas determinados en la zona, en 2 puntos de aforo.

Emisiones por procesos de combustión por tráfico vehicular externo al proyecto

Para la determinación de las emisiones de fuentes ajenas a la operación del proyecto, pero que pueden influenciar condiciones de fondo proyectadas, se toma como base el cálculo las tasas de emisión en función de la distribución de vehículos que transitan por la vía intermunicipal (R25 Ruta Ponedera- Puerto Giraldo). A partir de la distribución de vehículos, se toma en cuenta el inventario de factores de emisión propuestos en la guía EMEP/EEA 2019 de la Unión Europea (Tabla 5.1-162). En dicho inventario se proponen factores de emisión de acuerdo con el tipo de vehículo y el tipo de combustible usado (1.A.3.b. Passenger cars, light commercial trucks, heavy duty vehicles, included buses and motorcycles. Table 3.5 to Table 3.8 & Table 3.15). Para el presente estudio, se utiliza el algoritmo Tier 1 presentado por el inventario.

Tabla 5.1-162 Factores de emisión por combustión (en g contaminante/kg combustible)

ID	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	NO_2	CO
Carros	0,03	0,0036	10,0	8,73	84,7
Camión pequeño	1,52	0,0760	10,0	14,91	7,40

ID	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	NO_2	CO
Camión mediano	0,94	0,5170	10,0	33,37	7,58
Camión grande	0,94	0,4982	10,0	33,37	7,58
Buses	0,02	0,011	10,0	13,0	5,70
Motos	2,2	0,242	10,0	6,64	497,7

Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021) a partir de información de UE EMEP/EEA

Tabla 5.1-163 Consumo nominal de combustibles en vehículos

ID	Consumo	
Carros	70	g gasolina/km-veh
Camión pequeño	80	g diésel/km-veh
Camión mediano	240	g diésel/km-veh
Camión grande	240	g diésel/km-veh
Buses	240	g diésel/km-veh
Motos	35	g gasolina/km-veh

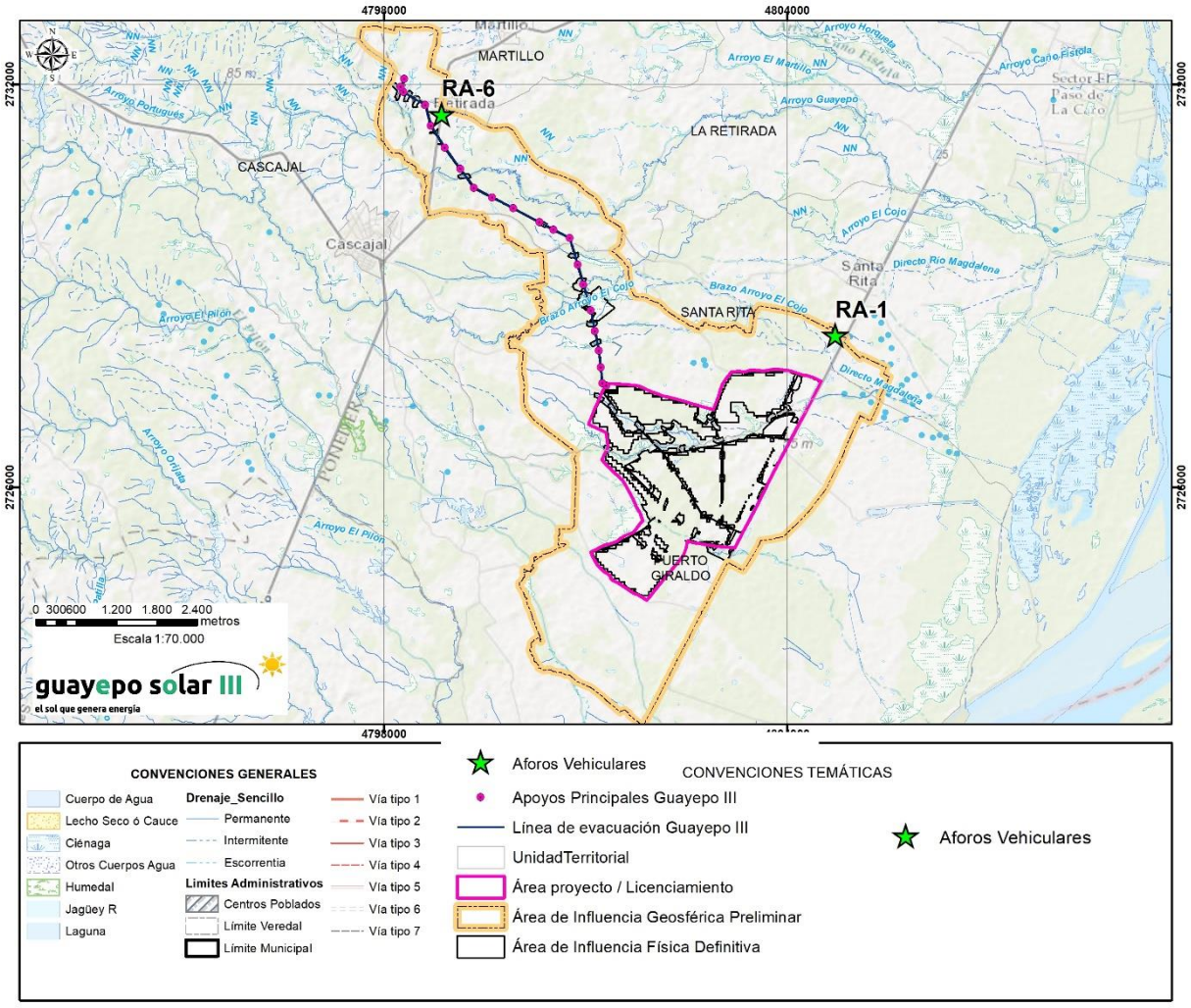
Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021) a partir de información de UE EMEP/EEA

Para el caso de la emisión de dióxido de azufre, se tiene en cuenta el nivel máximo permitido de azufre contenido en los combustibles de uso nacional, siendo según normatividad (50 ppm), aunque desde 2015 se puede encontrar combustibles con contenidos de azufre cercanos a 10 ppm en diésel.

Para la determinación de las condiciones de tráfico vehicular típicas de la zona de estudio, se toma como base el aforo vehicular desarrollado durante 24 horas continuas en 2 puntos aforados: AF Santa Rita y AF Retirada (Figura 5.1-183). Dicho aforo permite determinar las condiciones típicas esperadas según estado de vía y tipo de acceso (por ejemplo, vía pavimentada o vía sin pavimentar, vías afirmadas, vías en mal estado o caminos).

Para el ingreso de las emisiones en el modelo AERMOD las fuentes deben de ser registradas en función de su tasa de emisión y las condiciones físicas de la fuente (longitud, ancho, altura de emisión), se utiliza información técnica determinada en campo de demanda de tráfico normalizado en términos de TDP de vehículo siguiendo la clasificación por tipología INVIAS, (ver Figura 5.1-184 y Tabla 5.1-164).

Figura 5.1-183 Aforo vehicular zona de estudio



Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

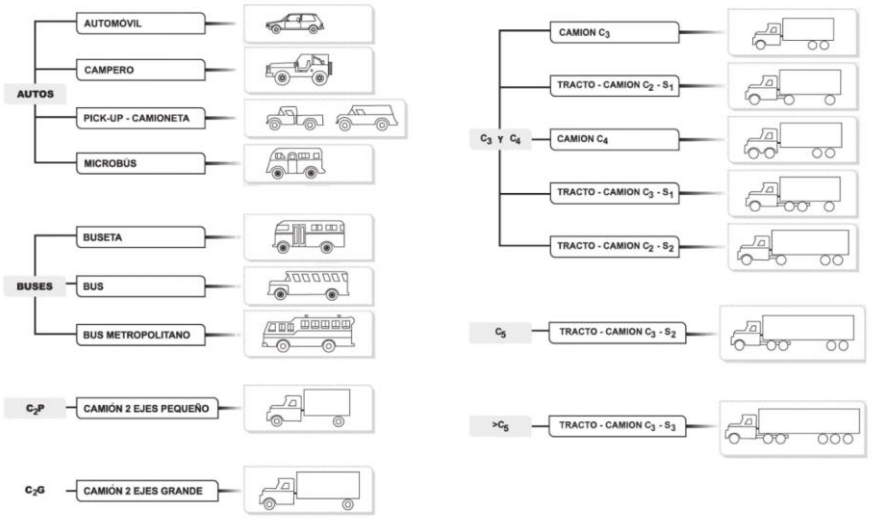
Tabla 5.1-164 Coordenadas de Aforos Vehiculares

VEREDA	MUNICIPIO	NOMBRE	ID[28]	Coordenadas CTM12 Origen Único Nacional	
				COOR_ESTE	COOR_NORTE
SANTA RITA	PONEDERA	Las Marías	RA-1	4804716	2728267
LA RETIRADA	PONEDERA	La Retirada	RA-6	4798859	2731558

Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

[28] *Son los mismos sitios dónde se realizaron los monitoreos de ruido*

Figura 5.1-184 Categoría de vehículos según clasificación nacional



Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021) a partir de información INVIAS, 2015.

Los resultados de la campaña de aforo, la cual consiste principalmente en el conteo visual directo hora a hora del número de vehículos y su clasificación según categoría INVIAS (siendo esta información registrada en formatos de campo), se presentan en el Anexo 5.1.8.5 Aforos Vehiculares, el resumen promedio del total de cada uno de los periodos contabilizados para los dos puntos de aforo. En este mismo, se observa en el informe “Evaluación de la calidad del aire mediante modelado matemático de la dispersión de contaminantes en el parque solar fotovoltaico Guayepo III 200MW y su línea de evacuación de 500kV” los resultados encontrados y presentados desde la Tabla 5.1-165 a la Tabla 5.1-174

Emisiones por combustión en vías

De acuerdo con la metodología propuesta, la tasa de emisión de los contaminantes evaluados se determina según la proporción de combustible utilizado por cada una de las categorías de vehículos evaluados. A continuación, se toma como ejemplo de base de cálculo el comportamiento de emisión en vehículos livianos correspondiente al punto de aforo AF Santa Rita.

Base de cálculo para emisiones de PM_{10} en vehículos livianos por combustión

Ecuación 5.1-7

$$E = FE_{PM10} * FA_{Carros}$$

Dado que el factor de emisión presentado por la referencia UE EMEP/EEA (2019) tiene unidades de g PM_{10}/kg Combustible, se utiliza el consumo nominal de la categoría para hacer la conversión a unidades de g PM_{10}/km-veh.

$$FE_{PM10} = 0{,}03\ \frac{g\ PM_{10}}{kg\ Gasolina} * 0{,}07\ \frac{kg\ Gasolina}{km\ -\ Veh} = 2{,}1x10^{-3}\ \frac{g\ PM_{10}}{km\ -\ Veh}$$

Tomando como referencia el aforo vehicular, se encuentra un tráfico promedio de 1.438 vehículos livianos por día (sin incluir motocicletas).

$$E = FE_{PM10} * FA_{Carros} = 2{,}1x10^{-3}\ \frac{g\ PM_{10}}{km\ -\ Veh} * 1.438\ \frac{Veh}{dia} * \frac{1\ dia}{24\ h} * \frac{1\ h}{3.600\ s} = 3{,}50x10^{-5}\ \frac{g\ PM_{10}}{km\ -\ s}$$

Con base en la anterior información se puede calcular la tasa de emisión de cada contaminante, por tipo de vehículo, por efecto de procesos de combustión en fuentes móviles para cada punto de aforo (se excluyen procesos de resuspensión de material particulado por erosión del suelo y/o abrasión de neumáticos, siendo evaluadas posteriormente) (ver Tabla 5.1-165 y Tabla 5.1-166).

Tabla 5.1-165 Tasa de emisión por combustión en punto de aforo AF Santa Rita

Emisión (g/km-s)	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	NO_2	CO
Livianos	$3{,}50x10^{-5}$	$4{,}19x10^{-6}$	$1{,}17x10^{-5}$	$1{,}02x10^{-2}$	$9{,}87x10^{-2}$
Camión pequeño	$9{,}36x10^{-4}$	$4{,}68x10^{-5}$	$1{,}23x10^{-6}$	$9{,}18x10^{-3}$	$4{,}56x10^{-3}$
Camión mediano	$5{,}48x10^{-5}$	$3{,}02x10^{-5}$	$1{,}17x10^{-7}$	$1{,}95x10^{-3}$	$4{,}42x10^{-4}$
Camión grande	$9{,}27x10^{-4}$	$4{,}91x10^{-4}$	$1{,}97x10^{-6}$	$3{,}29x10^{-2}$	$7{,}47x10^{-3}$
Buses	$4{,}20x10^{-5}$	$2{,}39x10^{-5}$	$4{,}20x10^{-6}$	$2{,}73x10^{-2}$	$1{,}20x10^{-2}$
Motos	$5{,}90x10^{-4}$	$6{,}49x10^{-5}$	$2{,}68x10^{-3}$	$1{,}78x10^{-3}$	$1{,}33x10^{-1}$
TOTAL	**$2{,}58x10^{-3}$**	**$6{,}61x10^{-4}$**	**$2{,}19x10^{-5}$**	**$8{,}33x10^{-2}$**	**$2{,}57x10^{-1}$**

Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

Tabla 5.1-166 Tasa de emisión por combustión en punto de aforo AF Retirada

Emisión (g/km-s)	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	NO_2	CO
Livianos	$4{,}50x10^{-6}$	$5{,}40x10^{-7}$	$1{,}50x10^{-3}$	$1{,}31x10^{-3}$	$1{,}27x10^{-2}$
Camión pequeño	$6{,}19x10^{-5}$	$3{,}10x10^{-6}$	$8{,}1x10^{-8}$	$6{,}07x10^{-4}$	$3{,}01x10^{-4}$
Camión grande	$2{,}87x10^{-5}$	$1{,}52x10^{-5}$	$6{,}11x10^{-8}$	$1{,}02x10^{-3}$	$2{,}32x10^{-4}$
Buses	$8{,}68x10^{-6}$	$4{,}95x10^{-6}$	$8{,}68x10^{-7}$	$5{,}64x10^{-3}$	$2{,}47x10^{-3}$
Motos	$9{,}79x10^{-4}$	$1{,}08x10^{-4}$	$4{,}45x10^{-6}$	$2{,}96x10^{-3}$	$2{,}22x10^{-1}$
TOTAL	**$1{,}08x10^{-3}$**	**$1{,}32x10^{-4}$**	**$6{,}96x10^{-6}$**	**$1{,}15x10^{-2}$**	**$2{,}37x10^{-1}$**

Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

Emisiones por resuspensión de polvo en vías pavimentadas

Las emisiones por resuspensión de polvo en vía pavimentada se calcularon mediante el uso de factores de emisión total de material particulado, con base en los modelos propuestos por la US-EPA, los cuales permiten determinar factores de emisión de material particulado en carreteras sin pavimentar (AP-42, Section 13.2.1 Paved roads

& Section 13.2.2, Unpaved Roads, Quinta edición). Es importante mencionar que estos modelos están diseñados para calcular un factor de emisión representativo para toda la muestra de vehículos que transitan en un tipo de vía.

El modelo para el cálculo de factores de emisión en carreteras pavimentadas se expresa según la Ecuación 3.

Ecuación 5.1-8

$$FE = k\ sL^{0,91} W^{1,02} * \left(1 - \frac{P}{4N}\right)$$

Donde:

E: Factor de emisión con unidades de k.

k: Multiplicador de tamaño de particulado (Vol. 1 AP-42, sección 13.2.1).

sL: Carga de sedimentos en la superficie del camino (g/m2).

W: Peso promedio de vehículos que transitan por la vía (Ton).

P: Número de días con lluvias (precipitaciones mayores 0,254 mm= 284 días/año).

N: Número de días del periodo analizado (365 días/año).

La Ecuación 5.1-8 tiene los siguientes rangos de aplicación:

Carga de sedimentos en el terreno: 0,03-400 g/m2

Peso promedio de vehículos: 1,8 – 38 Ton

Velocidad promedio vehicular: 1 – 88 km/h

Así mismo, los multiplicadores por tipo tamaño de partícula son los siguientes:

PM_{10}: 0,62 g/VKT

$PM_{2.5}$: 0,15 g/VKT

La carga de sedimentos (sL) en vías pavimentadas, se define como la cantidad de sólidos finos que pasan por malla 200, presente en un área de un metro cuadrado. Este parámetro es crítico en la estimación del factor de emisión de las partículas sólidas, ya que reproduce una alta variabilidad al valor de emisión total calculado. De forma conservadora, el modelo AP-42 plantea una caracterización base de acuerdo

con el flujo vehicular típico de la vía evaluada[29], siendo categorizado según se muestra en la Tabla 5.1-167.

Tabla 5.1-167 Carga de finos (sL) de acuerdo con tipología de flujo vehicular – AP-42

FLUJO VEHICULAR	SL (G/M^2)
< 500	0,6
500 – 5.000	0,2
5.000 – 10.000	0,06
> 10.000	0,03 (0,015 para vías de acceso limitado)

Fuente: US EPA AP-42, 2011.

Según AP-42, se esperan condiciones dentro de un intervalo de confianza del 95 cuando se evalúa la Ecuación 3 con valores de sL entre 0,677 y 1,14 g/m^2. Por otro lado, el Consejo Para Recursos del Aire de California (CARB) ha sugerido otros valores, de acuerdo con la tipología presentada en la Tabla 5.1-168.

Tabla 5.1-168 Carga de finos (sL) de acuerdo con tipología vial – CARB

CATEGORÍA	SL (G/M^2)
Zona rural (población menor a 5.000 habitantes)	
Autopista	0,015
Vía principal	0,032
Vía secundaria	0,032
Vía terciaría	0,32
Zona urbana (población mayor a 5.000 habitantes)	
Autopista	---
Vía principal	0,013
Vía secundaria	0,080
Vía terciaría	0,135 (1,6 de acuerdo con promedio AP-42)

Fuente: CARB, 2016

Con base en el anterior análisis, los valores presentados, se pueden considerar como más adecuados para vías en regular estado, como es el caso de las evaluadas en el presente estudio, luego el valor tomado será de 0,2 g/m2.

Teniendo en cuenta el número de vehículos aforados, se determinan los factores de emisión de material particulado por resuspensión de polvo como 2,01x10-2 g PM_{10}/veh-km y 4,87x10-3 g $PM_{2.5}$/veh-km para la vía de intermunicipal AF1 Santa Rita y 2,01x10-2 g PM_{10}/veh-km y 4,87x10-3 g $PM_{2.5}$/veh-km para la vía de intermunicipal AF2 Retirada. Posteriormente se determinan las tasas de emisión según TDP_{eq}

[29] *AP-42. Fifth Edition, Section 13.2.1 Paved Roads. Table 13.2.1-2. Ubiquitous Silt Loading Default Values with Hot Spot Contributions.*

horario, bajo un supuesto de tráfico homogéneo (es decir, sin restricciones de tráfico en el tiempo con el fin de tener la distribución más crítico posible).

Base de cálculo para emisiones de PM_{10} en la vía intermunicipal AF1 Santa Rita:

$$E = FE_{PM10} * FA_{veh} = 2{,}01x10^{-2}\ \frac{g\ PM_{10}}{veh - km} *\ 266\ \frac{VKT}{h} * \frac{1\ h}{3.600\ s} = 1{,}49x10^{-3}\ \frac{g\ PM_{10}}{km\ -\ s}$$

Tabla 5.1-169 Tasas de emisión por resuspensión de polvo en vía pavimentada

EMISIONES (G/KM-S)	PM_{10}	$PM_{2.5}$
Vía intermunicipal AF1 Santa Rita	$8{,}83x10^{-2}$	$2{,}14x10^{-2}$
Vía intermunicipal AF2 Retirada	$1{,}02x10^{-2}$	$2{,}46x10^{-3}$

Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

De esta manera, las emisiones totales asociadas al tráfico vehicular en las vías pavimentadas se calculan como la suma entre las emisiones por combustión y las emisiones por resuspensión de polvo Tabla 5.1-170.

Tabla 5.1-170 Emisiones totales por fuentes móviles en vía pavimentada

Aforo (g/km-s)	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	NO_2	CO
AF1 Santa Rita	$9{,}09x10^{-2}$	$2{,}20x10^{-2}$	$2{,}19x10^{-5}$	$8{,}33x10^{-2}$	$2{,}57x10^{-1}$
AF2 Retirada	$1{,}12x10^{-2}$	$2{,}59x10^{-3}$	$6{,}96x10^{-6}$	$1{,}15x10^{-2}$	$2{,}37x10^{-1}$

Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

Por lo tanto, Los valores ingresados al modelo de dispersión corresponderán, en función del área de vía teniendo en cuenta ancho por tramo evaluado y tipología de vía evaluada, así como condiciones de emisión (Tabla 5.1-171).

Tabla 5.1-171 Emisiones totales en vías pavimentadas

Aforo	Ancho de vía (m)	PM_{10} (g/m²-s)	$PM_{2.5}$ (g/m²-s)	SO_2 (g/m²-s)	NO_2 (g/m²-s)	CO (g/m²-s)
AF1 Santa Rita	7	$1{,}30x10^{-5}$	$3{,}15x10^{-6}$	$3{,}12x10^{-9}$	$1{,}19x10^{-5}$	$3{,}67x10^{-5}$
AF2 Retirada	7	$1{,}61x10^{-6}$	$3{,}70x10^{-7}$	$9{,}94x10^{-10}$	$1{,}65x10^{-6}$	$3{,}39x10^{-5}$

Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

Para la determinación de las condiciones de altura de emisión (H_R) y coeficiente inicial de dispersión vertical (α_{zo}), se toma como referencia las consideraciones indicadas en el documento EPA-420-B-10-040. En este sentido, el coeficiente de dispersión vertical se determina como la dimensión vertical inicial de la pluma (He pluma) dividido por

2,15. He pluma se determina como 1,7 veces la altura promedio vehicular, de modo que se tenga en cuenta condiciones de turbulencia inducidas por los vehículos.

Para el caso de la altura de emisión, esta se determina como el punto medio vertical de las fuentes emisoras. En este sentido, US EPA sugiere un valor de 1,3 metros para vehículos livianos (carros y motos) y 3,4 m para vehículos pesados (camiones y buses). La Tabla 5.1-172 muestra los valores en mención, en función al tipo de vehículos aforados, tomando como referencia una altura de 1,53 metros para vehículos livianos y 4,0 metros para vehículos pesados.

Tabla 5.1-172 Determinación de α_{zo} y HR para las vías aforadas pavimentadas

AFORO	VEHÍCULOS LIVIANOS (%)	VEHÍCULOS PESADOS (%)	$H_{VEHICULAR}$ (M)	$H_{E\ PLUMA}$ (M)	S_{ZO} (M)	H_R (M)
AF1 Santa Rita	60	40	2,52	4,28	1,99	2,14
AF2 Retirada	91	9	1,76	2,99	1,39	1,49

Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

Condiciones temporales de emisión

Teniendo en cuenta los datos de aforo vehicular levantados en campo se determina el aporte horario según flujo vehicular. En este caso, una fracción horaria cercana a 1,0 representa el mayor movimiento vehicular registrado en dicha vía mientras que un valor cercano a 0,0 representa un movimiento nulo (Tabla 5.1-173). Este comportamiento se calcula con base en la Ecuación 4.

$$FH = 1 - \frac{max(R) - H_n}{max(R)}$$ Ecuación 4

Donde:

FH: Fracción horaria.

R: Registros horarios del aforo vehicular.

Hn: Registro de la hora n de aforo vehicular

Tabla 5.1-173 Fracción de actividad relativa horario para fuentes móviles

HORA	FRACCIÓN AF – SANTA RITA	FRACCIÓN AF – RETIRADA
0:00	0,05	0,02
1:00	0,03	0,00
2:00	0,12	0,00
3:00	0,15	0,02
4:00	0,20	0,15
5:00	0,45	0,52

HORA	FRACCIÓN AF – SANTA RITA	FRACCIÓN AF – RETIRADA
6:00	0,75	0,55
7:00	0,86	0,50
8:00	0,85	0,58
9:00	0,77	0,86
10:00	0,87	0,78
11:00	0,89	0,66
12:00	0,88	0,58
13:00	0,91	0,57
14:00	0,80	1,00
15:00	0,93	0,84
16:00	0,91	0,87
17:00	1,00	0,80
18:00	0,62	0,73
19:00	0,33	0,41
20:00	0,23	0,14
21:00	0,27	0,14
22:00	0,19	0,07
23:00	0,09	0,01

Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

5.1.9.5.1.1.4 Identificación y estimación de emisiones en escenario de obras civiles

En el caso de escenario de construcción, la información de entrada respecto a emisiones de fuentes de área es determinada mediante el uso de factores de emisión en función del área, lo que permite establecer las tasas de emisión por área intervenida en las zonas donde se desarrollarán actividades de remoción, movilización y adecuación de materiales para obras civiles (con el fin de reducir sobreestimación de emisiones asociadas a procesos constructivos, teniendo en cuenta que dichas actividades se ejecutan de forma secuencial tanto en infraestructura y zona de acopio). Así mismo, en el caso de posibles emisiones por erosión eólica, se determinan de acuerdo con el método sugerido por AP-42 usando condiciones típicas de viento en la zona de estudio.

En la Tabla 5.1-174 se lista el inventario de fuentes de emisión en el escenario de construcción.

Tabla 5.1-174 Ubicación fuentes de emisión escenario de construcción – Coordenada inicial AERMOD

Infraestructura	ID	Coordenadas CTM12 Origen Nacional		Cota (msmn)
		Este (m)	Norte (m)	
Panel	PAN_1	4.801.942	2.724.399	15
Panel	PAN_2	4.801.825	2.725.340	15
Panel	PAN_3	4.802.342	2.724.994	15
Panel	PAN_4	4.801.298	2.726.500	15
Panel	PAN_5	4.801.565	2.726.509	15
Panel	PAN_6	4.801.336	2.727.399	15
Panel	PAN_7	4.801.905	2.726.478	15
Panel	PAN_8	4.802.993	2.725.490	15
Panel	PAN_9	4.803.040	2.726.630	15
Panel	PAN_10	4.802.959	2.726.967	15

Infraestructura	ID	Coordenadas CTM12 Origen Nacional		Cota (msmn)
		Este (m)	Norte (m)	
Acopio	ACOP_1	4.801.258	2.727.580	15
Acopio	ACOP_2	4.801.233	2.727.815	15
Acopio	ACOP_3	4.801.206	2.728.065	15
Acopio	ACOP_4	4.801.145	2.728.358	15
Acopio	ACOP_5	4.801.079	2.728.624	15
Acopio	ACOP_6	4.800.982	2.729.013	15
Acopio	ACOP_7	4.800.884	2.729.348	15
Acopio	ACOP_8	4.800.770	2.729.725	15
Acopio	ACOP_9	4.800.504	2.729.861	15
Acopio	ACOP_10	4.800.329	2.729.952	15
Acopio	ACOP_11	4.799.901	2.730.177	15
Acopio	ACOP_12	4.799.587	2.730.342	15
Acopio	ACOP_13	4.799.332	2.730.490	15
Acopio	ACOP_14	4.799.107	2.730.795	15
Acopio	ACOP_15	4.798.896	2.731.085	15
Acopio	ACOP_16	4.798.708	2.731.379	15
Acopio	ACOP_17	4.798.596	2.731.716	15
Acopio	ACOP_18	4.798.294	2.731.921	15
Acopio	ACOP_19	4.798.289	2.731.998	15
Acopio	ACOP_20	4.800.413	2.729.897	15
Acopio	ACOP_21	4.801.159	2.727.151	15
Acopio	ACOP_22	4.801.766	2.727.003	15
Acopio	ACOP_23	4.801.647	2.726.350	15
Acopio	ACOP_24	4.801.905	2.726.478	15
Acopio	ACOP_25	4.802.155	2.726.551	15
Acopio	ACOP_26	4.801.704	2.726.820	15
Acopio	ACOP_27	4.803.445	2.726.771	15
Acopio	ACOP_28	4.803.175	2.727.701	15
Acopio	ACOP_29	4.802.112	2.726.648	15
Acopio	ACOP_30	4.802.219	2.725.607	15
Acopio	ACOP_31	4.802.224	2.724.993	15
Acopio	ACOP_32	4.804.301	2.727.375	15
Acopio	ACOP_33	4.803.954	2.726.729	15
Acopio	ACOP_34	4.803.765	2.726.350	15
Acopio	ACOP_35	4.803.619	2.726.082	15
Acopio	ACOP_36	4.803.411	2.725.673	15
Acopio	ACOP_37	4.803.244	2.725.350	15
Acopio	ACOP_38	4.801.636	2.725.192	15
Estación elevadora	EST_ELV	4.801.462	2.727.450	15
ZODME	ZODME	4.804.086	2.727.032	15
Motorgenerador	MOT_1	4.801.774	2.727.251	15
Motorgenerador	MOT_2	4.801.691	2.724.925	15
Motorgenerador	MOT_3	4.803.504	2.727.448	15
Motorgenerador	MOT_4	4.801.722	2.727.225	15
Motorgenerador	MOT_5	4.801.510	2.726.671	15
Motorgenerador	MOT_6	4.802.468	2.727.033	15
Línea de evacuación	LT_1	4.798.300	2.732.081	47
Vías internas	VIA_INT	4.803.339	2.725.325	10

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Emisiones por movimiento de materiales en actividades de obras civiles

Para la determinación de las emisiones relacionadas con obras civiles (bien sea en plataformas, torres, campamentos o vías), se toma como base el método planteado por EMEP/EEA[30], el cual permite determinar tasas de emisión en función del área

[30] *EMEP/EEA Air pollutant emission inventory guidebook - 2016. Section 2.A.5.b. Tabla 3.3 emission factors for uncontrolled fugitive emissions for construction and demolition – Non-residential construction*

intervenida, reduciendo sobredimensionamiento por doble contabilidad en las emisiones de procesos secuenciales.

El método planteado para la determinación especifica de las emisiones de la zona de estudio, tiene en cuenta correcciones por humedad del suelo y contenido de finos durante el levantamiento de masas de tierra, para lo cual se usa el comportamiento meteorológico típico mensual de la región según registros del modelo WRF. La determinación de las tasas de emisión se basa en la Ecuación 5.

$$E_{cons} = EF_{PM}\, d\, (1 - CE) \left(\frac{24}{PE}\right) \left(\frac{sL}{9\%}\right) \qquad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

Econs: Tasa de emisión de particulado (g/m2-s)

EFPM: Factor de emisión (kg PM/m2-año)

d: Tiempo de operación (construcción no residencial)

CE: Coeficiente de eficiencia por tipo de actividad de control.

PE: Índice de evapotranspiración de Thornthwaite.

sL: Contenido de finos en material (%).

Tabla 5.1-175 Factor de emisión para obras civiles

	PLATAFORMAS / TORRES	VÍAS
Contaminante	kg/ (m^2 - año)	kg/ (m^2 - año)
PM_{10}	1,0	2,30
PM_{25}	0,1	0,23

Fuente: EMEP/EEA, 2019

Para la determinación del contenido de finos del material en obras civiles, se tiene en cuenta un contenido de 16% para tierras arcillosas y arenosas, con un CE de 0,5 por humectación (con medidas de control) y 0,0 sin humectación (sin medidas de control) y un factor d = 10, de acuerdo como sugiere EMEP EEA (2019). Finalmente, para la determinación del índice PE, se usa el método sugerido por la referencia en mención (Ecuación 6).

EMEP/EEA Air pollutant emission inventory guidebook - 2016. Section 2.A.5.b. Tabla 3.1 emission factors for uncontrolled fugitive emissions for Construction and demolition – Road construction

$$PE_{index} = 3{,}16 \sum_{i=0}^{12} \left(\frac{P_i}{1{,}8T_i + 22}\right)^{\frac{10}{9}}$$ Ecuación 6

Donde:

P_i: Precipitación mensual (mm).
T_i: Temperatura media (ºC).

La categorización de las condiciones de evapotranspiración se muestra en la Tabla 5.1-176.

Tabla 5.1-176 Categoría climática en función con el índice PE

CLIMA	PE
Muy húmedo	> 128
Húmedo	64 – 127
Subhúmedo	32 – 63
Semiárido	16 – 31
Árido	< 16

Fuente: EMEP/EEA, 2019

Tabla 5.1-177 Características de precipitación y temperatura

MES	PRECIPITACIÓN (MM/MES)	TEMPERATURA MEDIA (ºC)
Enero	5,5	28,27
Febrero	0,3	28,69
Marzo	0,2	27,81
Abril	61,8	28,73
Mayo	150,9	29,07
Junio	282,5	27,95
Julio	217,7	27,53
Agosto	325,3	27,61
Septiembre	143,8	27,46
Octubre	290,6	27,15
Noviembre	116,1	26,53
Diciembre	89,2	27,24

Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

Para el caso en mención, se determina el comportamiento mensual climático como PE = 83,6 (Húmedo), con base en la información meteorológica determinada en la zona (ver Tabla 5.1-177). En la Tabla 5.1-178 se presentan las tasas de emisión asociadas a obras civiles en las áreas intervenidas.

Tabla 5.1-178 Tasas de emisión en obras civiles

CONTAMINANTE	ZONA INTERVENIDA (G/(M²-S))	
	CON MEDIDAS DE CONTROL	SIN MEDIDAS DE CONTROL
PM_{10}	$8{,}20 \times 10^{-6}$	$1{,}64 \times 10^{-5}$
PM_{25}	$8{,}20 \times 10^{-7}$	$1{,}64 \times 10^{-6}$

Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

Para el caso de obras civiles con medidas de control, se proyecta la humectación de vías (que de acuerdo con la referencia AP-42 sugeriría una eficiencia de remoción máxima del 80%, pero dadas las condiciones de operación sobre la misma área, se

toma con fines de modelación un factor de 50%), así como control de horario exclusivo en periodo diurno (desde las 7:00 am hasta las 6:00 pm).

Emisiones por erosión eólica en acopio de materiales

Las emisiones asociadas a perdida de material durante el movimiento cobertura de descapote, rocas y tierra por acción erosiva del viento se determinan a través de las Ecuación 7.

$$FE = k \sum_{i=1}^{N} P_i \qquad \text{Ecuación 7}$$

Dónde:

FE: Factor de emisión con unidades de g/m^2-año.

k: Factor de tamaño de partícula (0,5 para PM_{10}, 0,075 para $PM_{2.5}$)

N: Número de disturbancias al año (las pilas tienen movimiento diario).

P_i: Potencial de erosión por picos en velocidad de viento (g/m^2).

En este caso, para determinar las condiciones de potencial de erosión, se utiliza la Ecuación 8.

$$P_i = \begin{cases} 58(u^* - u_t^*)^2 + 25(u^* - u_t^*) & cuando\ u^* \geq u_t^* \\ 0 & cuando\ u^* \leq u_t^* \end{cases} \qquad \text{Ecuación 8}$$

Dónde:

U*: Velocidad de fricción (m/s)

U*$_T$: Velocidad de fricción limite (m/s, 1,02 m/s para sobrantes de construcción)

De acuerdo con la referencia AP-42, la velocidad de fricción límite para pilas de material mixto no compactado es de 0,75 m/s31. Para determinar el valor diario de la velocidad de fricción, se utiliza la Ecuación 9.

$$u^* = 0{,}053\ u_{10}^+ \qquad \text{Ecuación 9}$$

[31] *AP-42. Chapter 13. Miscellaneous sources. Section 13.2.5. Industrial Wind Erosion. Table 13.2.5-2.*

Siendo U10+ la velocidad más alta diaria corregida a una altura de anemómetro de 10 metros. Esta corrección se determina mediante la Ecuación 10.

$$u_{10}^{+} = u^{+} \frac{ln(10/R)}{ln(z/R)}$$ Ecuación 10

Donde u+ corresponde al valor diario más alto y z a la altura (en metros) de medida del anemómetro hipotético en el sitio de análisis asociados a la información meteorológica utilizada por el modelo de dispersión, siendo en este caso 10 metros en un perfil de longitud de rugosidad (R) de 0,003 m según sugiere US EPA AP-42 para pilas de material sobrante de construcción.

De acuerdo con la anterior metodología, el potencial de erosión total P es 3,7 g/m2. Teniendo en cuenta condiciones de control de materiales de disposición mediante humectación, lo que de acuerdo con AP-42 se puede considerar como una medida con una eficiencia de control de 80% (siendo un área sin movimiento constante de equipamiento y maquinaria), se calculan las tasas de emisión en acopio (ver Tabla 5.1-179).

Tabla 5.1-179 Emisiones por erosión eólica en zonas de acopio

CONTAMINANTE	TASA DE EMISIÓN SIN CONTROL (G/S-M^2)	TASA DE EMISIÓN CON CONTROL (G/S-M^2)
PM_{10}	$1{,}16 \times 10^{-7}$	$2{,}32 \times 10^{-8}$
$PM_{2.5}$	$1{,}74 \times 10^{-8}$	$3{,}48 \times 10^{-7}$

Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

Emisiones en caliente por maquinaria asociada al proyecto

Para el cálculo de las emisiones en caliente de contaminantes por maquinaria amarilla se tienen en cuenta los siguientes supuestos.

Las operaciones en cada uno de los puntos de intervención son secuenciales.

Las emisiones de resuspensión de polvo por tráfico de vehículos y maquinaria en vías durante obras civiles están contabilizadas por la tasa de emisión por obras civiles sugerida por EMEP EEA (2019), con el fin de evitar doble contabilidad de emisiones.

Las emisiones de SO2, NO2 y CO se deben exclusivamente por actividades de combustión interna de los automotores (emisiones en caliente de exosto).

Las emisiones asociadas a actividades no asociadas a la operación del proyecto (quemas de biomasa en inmediaciones, resuspensión de polvo por acción del viento, tráfico de vehículos externos al proyecto, entre otros) solo se tienen en cuenta de forma indirecta mediante las concentraciones de fondo establecidas en la zona de estudio durante campaña de medición 18 días.

En la Tabla 5.1-180 se describe la maquinaria y equipos a utilizar en las actividades de construcción del proyecto.

Tabla 5.1-180 Maquinaria y equipo a utilizar durante actividades constructivas del proyecto

ACTIVIDAD	MAQUINARIA	CANTIDAD (máxima en obra Unidad/días)	POTENCIA (KW)	DURACIÓN DE LA ACTIVIDAD (en días)	TIEMPO DE OPERACIÓN DURANTE LA FASE (en meses) *
Conformación de vías de acceso	Vibro-Compactador	4	28	90	3
Preparación y movimiento de Tierras	Retroexcavadora de ruedas	6	187	180	6
	Excavadora de Oruga	4	200		6
	Volquetas	10	201		6
Obras Civiles Configuración Del Parque y línea eléctrica	Camión Grúa	3	191	300	11
	Camión Carrotanque	3	201		
	Camión	2	201		
	Camión Pluma	3	201		
	Volquetas	5	201,07		
	Camión porta contenedor	40	201		
	Camión Mixer	6	402		
Sistema de respaldo	Generador portátil 6 kVA	6	4	360	12
	Generador instalación de Faenas de 10 kVA	1	8		12

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Se conceptualiza el modelo tomando un total de 14 unidades de maquinaria y 10 unidades de camiones por hora en la conformación de vías de acceso, y 17 unidades de maquinaria y 20 unidades de camiones por hora en las obras civiles de configuración del parque solar. Siendo este el total de equipos máximo a utilizar para todo el proyecto, el modelo conceptualiza las operaciones de cada una de las áreas

de forma simultánea por cada área intervenida (tomando un ancho de 5 m por cada equipo operativo). De esta forma se distribuye el uso de equipos según disponibilidad de área (el modelo tiene en cuenta una operación sobre área finita).

Así mismo, el modelo asume que las actividades de obras civiles se desarrollan de forma global paralela, siendo este el escenario de construcción más conservador esperado. La tasa de emisión se determina con base en los estimativos de consumo de combustible por equipos móviles no rodantes sugeridos por EMEP EEA (2019), (ver Tabla 5.1-181).

Tabla 5.1-181 Consumo nominal de combustible

EQUIPO	FACTOR DE CONSUMO DE COMBUSTIBLES	
Camiones	0,24	kg Comb/km
Maquinaria	0,08	kg Comb/km

Fuente: EMEP/EEA, 2019

Para el caso de PM_{10} por uso de maquinaria pesada:

$$E_{maq} = FE_{PM10} * FA_{maq}$$
$$= 0{,}1\ \frac{g\ PM_{10}}{kg\ Comb} * \left(8{,}0x10^{-2}\ \frac{g\ Comb}{m\ transitado} * \frac{1}{5\ m\ ancho\ equipo} * \frac{1\ kg}{1.000\ g} * 14\ \frac{unid}{h}\right)$$
$$* \left(\frac{1\ h}{3.600\ s}\right) = 6{,}10x10^{-9}\ \frac{g\ PM_{10}}{m^2\ s}$$

Para el caso de PM_{10} por uso de camiones:

$$E_{maq} = FE_{PM10} * FA_{maq}$$
$$= 1{,}0\ \frac{g\ PM_{10}}{kg\ Comb} * \left(0{,}24\ \frac{g\ Comb}{m\ transitado} * \frac{1}{5\ m\ ancho\ equipo} * \frac{1\ kg}{1.000\ g} * 10\ \frac{unid}{h}\right)$$
$$* \left(\frac{1\ h}{3.600\ s}\right) = 1{,}27x10^{-7}\ \frac{g\ PM_{10}}{m^2\ s}$$

Tabla 5.1-182 Tasas de emisión combustión para maquinaria pesada

.	FACTOR DE EMISIÓN	TASA DE EMISIÓN EN VÍAS	TASA DE EMISIÓN EN PARQUE
	g/kg Comb[32]	g/(m^2-s)	g/(m^2-s)
PM_{10} / $PM_{2.5}$	0,1	6,10x10^{-9}	7,40x10^{-9}
SO_2	0,02	1,24x10^{-9}	1,51x10^{-9}
NO_2	11,9	7,42x10^{-7}	9,02x10^{-7}
CO	6,4	4,01x10^{-7}	4,87x10^{-7}

Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021) a partir de EMEP/FEA, 2019

Tabla 5.1-183 Tasas de emisión combustión para camiones

Contaminante	Factor de emisión	Tasa de emisión en vías	Tasa de emisión en parque
	g/kg Comb	g/(m^2-s)	g/(m^2-s)
PM_{10} / $PM_{2.5}$	1,0	1,27x10^{-7}	2,53x10^{-7}

[32] *EMEP/EEA Air pollutant emission inventory guidebook - 2019. Section 1.A.2.g. Table 3.1 Tier1 emission factors for off-road machinery (vii. Construction machinery).*

SO_2	0,02	$2,67x10^{-9}$	$5,33x10^{-9}$
NO_2	15,7	$2,09x10^{-6}$	$4,17x10^{-6}$
CO	6,8	$9,10x10^{-7}$	$1,82x10^{-6}$

Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021), a partir de EMEP/EEA, 2019

De esta manera, se determinan las emisiones totales por obras civiles como la suma entre las emisiones por movimiento de cargas (Econs) y emisiones por combustión (Emaq y Ecam).

Emisiones de PM10 en obras civiles parque con medida de control (base de cálculo aplicable a otros contaminantes):

$$E_{PM10} = E_{PM10}|_{cons} + E_{PM10}|_{maq} + E_{PM10}|_{cam}$$
$$= 8,20x10^{-6}\ \frac{g\ PM_{10}}{m^2\ s} + 7,40x10^{-9}\ \frac{g\ PM_{10}}{m^2\ s} + 2,53x10^{-7}\ \frac{g\ PM_{10}}{m^2\ s}$$
$$= 8,47x10^{-6}\ \frac{g\ PM_{10}}{m^2\ s}$$

Tabla 5.1-184 Emisiones totales por obras civiles

EMISIONES (G/M^2-S)	CONTROL	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	NO_2	CO
Obras en zonas intervenidas	Con control	$1,06x10^{-5}$	$1,41x10^{-6}$	$8,89x10^{-9}$	$6,79x10^{-6}$	$3,02x10^{-6}$
	Sin control	$1,01x10^{-6}$	$1,55x10^{-7}$	$8,89x10^{-9}$	$6,79x10^{-6}$	$3,02x10^{-6}$
Operación acopio	Con control	$2,08x10^{-5}$	$2,43x10^{-6}$	$8,89x10^{-9}$	$6,79x10^{-6}$	$3,02x10^{-6}$
	Sin control	$5,03x10^{-6}$	$7,58x10^{-7}$	$8,89x10^{-9}$	$6,79x10^{-6}$	$3,02x10^{-6}$
Actividades en línea de evacuación	Con control	$8,34x10^{-6}$	$9,53x10^{-7}$	$3,91x10^{-9}$	$2,83x10^{-6}$	$1,31x10^{-6}$
	Sin control	$8,34x10^{-6}$	$9,53x10^{-7}$	$3,91x10^{-9}$	$2,83x10^{-6}$	$1,31x10^{-6}$
Conformación de vías	Con control	$1,90x10^{-5}$	$2,02x10^{-6}$	$3,91x10^{-9}$	$2,83x10^{-6}$	$1,31x10^{-6}$
	Sin control	$3,79x10^{-5}$	$3,91x10^{-6}$	$3,91x10^{-9}$	$2,83x10^{-6}$	$1,31x10^{-6}$

Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

Para el caso de obras civiles con medidas de control, se considera la ejecución de todas las actividades constructivas exclusivamente en horario diurno (7:00 a.m. – 6:00 p.m.) con actividades de humectación dentro de los polígonos intervenidos, siendo esta condición más realista para desarrollar en el proyecto, mientras que el desarrollo de obras civiles sin medidas de control plantea una operación continua 24/7, sin tener en cuenta actividades de humectación.

5.1.9.5.1.2 Condiciones iniciales y de frontera

5.1.9.5.1.2.1 Concentraciones de fondo

Para la ejecución del modelo, se deben establecer las condiciones de fondo del sitio, de modo que se pueda calcular el aporte de las concentraciones de contaminantes

asociadas a fuentes aledañas al proyecto y que son típicas de la zona de estudio, de modo que las concentraciones resultantes sean congruentes para el análisis de proyección.

En este sentido, el modelo tiene en cuenta los resultados del monitoreo de calidad del aire realizado por el laboratorio ambiental de SIAM Ingeniería S.A.S. en la zona de estudio durante el periodo comprendido entre el 24 de abril y el 29 de mayo de 2021 para época húmeda y del 24 de julio al 11 de agosto de 2021 para época seca, en tres estaciones. Los contaminantes evaluados en cada una de las estaciones fueron PM_{10}, $PM_{2.5}$, SO_2 y NO_2. En la Tabla 5.1-185 se describe la ubicación de las estaciones de calidad del aire de la campaña en mención.

Tabla 5.1-185 Ubicación de estaciones de calidad del aire

PUNTO	ESTACIÓN	COORDENADAS CTM 12 ORIGEN NACIONAL	
		ESTE (M)	NORTE (M)
1	A1 -Las Marías	4.804.703	2.728.277
2	A2 - La Antonisa	4.802.709	2.724.264
3	A3 - Divino Niño	4.798.508	2.730.319

Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

De acuerdo con los resultados de la campaña de monitoreo ejecutada por el laboratorio ambiental, se tienen los resultados para las condiciones locales en época seca, siendo estos los más representativos para caracterizar las condiciones críticas de dispersión de contaminantes para evaluación de impactos y definición de área de influencia directa del proyecto asociada al componente atmosférico.

Tabla 5.1-186 Concentraciones PM_{10} diarias a nivel del suelo en época seca

DÍA	PM_{10} (□G/M^3)		
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
1	12,60	34,25	14,74
2	11,25	10,93	11,31
3	15,21	11,11	11,41
4	33,37	18,14	10,32
5	24,81	27,16	23,64
6	26,44	19,51	19,38
7	50,74	40,16	44,17
8	28,78	19,69	21,46
9	18,61	16,72	18,10
10	14,55	12,31	18,00
11	20,97	20,24	23,52
12	59,42	30,41	29,51
13	25,42	25,22	23,12
14	23,57	20,58	21,03
15	23,09	18,46	20,15
16	36,58	28,95	35,64
17	19,03	17,39	17,67

DÍA	PM10 (G/M3)		
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
18	21,28	15,29	19,04

Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

Tabla 5.1-187 Concentraciones PM_{10} diarias a nivel del suelo en época húmeda

DÍA	PM10 (G/M3)		
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
1	24,56	41,33	56,73
2	17,10	21,90	32,86
3	12,62	11,61	17,25
4	DESCARTADA	13,41	17,61
5	15,20	11,67	13,33
6	26,16	12,77	20,51
7	12,39	12,97	37,35
8	18,20	23,19	20,69
9	18,03	23,04	26,61
10	38,49	32,45	37,54
11	30,20	43,85	17,08
12	39,82	45,38	37,40
13	26,64	32,54	60,79
14	15,12	36,56	16,07
15	44,19	54,38	35,70
16	38,52	13,10	36,46
17	32,93	15,57	33,28
18	34,06	20,24	30,75

Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

Tabla 5.1-188 Concentraciones $PM_{2.5}$ diarias a nivel del suelo en época seca

DÍA	PM2.5 (G/M3)		
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
1	9,27	15,86	5,74
2	5,39	6,92	5,74
3	6,58	8,52	7,55
4	6,41	9,22	7,66
5	17,78	13,81	6,71
6	6,13	6,89	6,31
7	12,09	8,57	19,6
8	7,04	5,47	6,46
9	7,68	5,44	8,96
10	5,54	9,60	5,51
11	20,01	7,99	21,9
12	7,18	19,93	6,49
13	7,82	15,10	9,87
14	7,71	5,29	9,35
15	7,51	5,75	5,23
16	15,64	11,85	5,59
17	6,77	8,42	6,65
18	8,65	7,50	5,8

Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

Tabla 5.1-189 Concentraciones $PM_{2.5}$ diarias a nivel del suelo en época de lluvia

DÍA	PM2.5 (G/M3)		
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
1	9,91	17,20	20,03
2	9,52	9,94	12,30
3	5,84	5,45	7,04
4	DESCARTADA	9,63	8,69

DÍA	PM2.5 (□G/M3)		
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
5	9,83	7,05	7,16
6	12,18	8,52	10,71
7	6,21	9,16	12,80
8	7,90	8,48	10,34
9	8,74	8,79	12,95
10	15,63	13,98	18,08
11	13,16	18,28	9,70
12	17,07	14,70	14,74
13	8,83	16,76	31,40
14	9,31	12,22	8,42
15	16,49	25,23	18,36
16	13,81	7,38	11,05
17	12,77	6,74	7,62
18	17,43	11,38	7,21

Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

Tabla 5.1-190 Concentraciones NO2 media horaria a nivel del suelo en época seca

DÍA	NO_2 (µg/m3)		
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
1	25,67	33,0	13,12
2	34,65	39,14	12,95
3	31,71	35,35	12,28
4	34,81	39,58	13,69
5	29,18	37,12	13,14
6	35,83	42,32	13,17
7	24,83	30,66	12,35
8	33,11	41,91	14,65
9	27,92	34,28	12,8
10	29,01	36,07	12,35
11	31,62	33,10	13,30
12	38,18	47,25	14,18
13	32,58	41,24	14,26
14	33,32	41,85	14,61
15	37,83	45,01	13,76
16	34,06	40,75	15,27
17	34,14	42,78	14,28
18	34,53	39,43	12,94

Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

Tabla 5.1-191 Concentraciones NO2 media horaria a nivel del suelo en época de lluvia

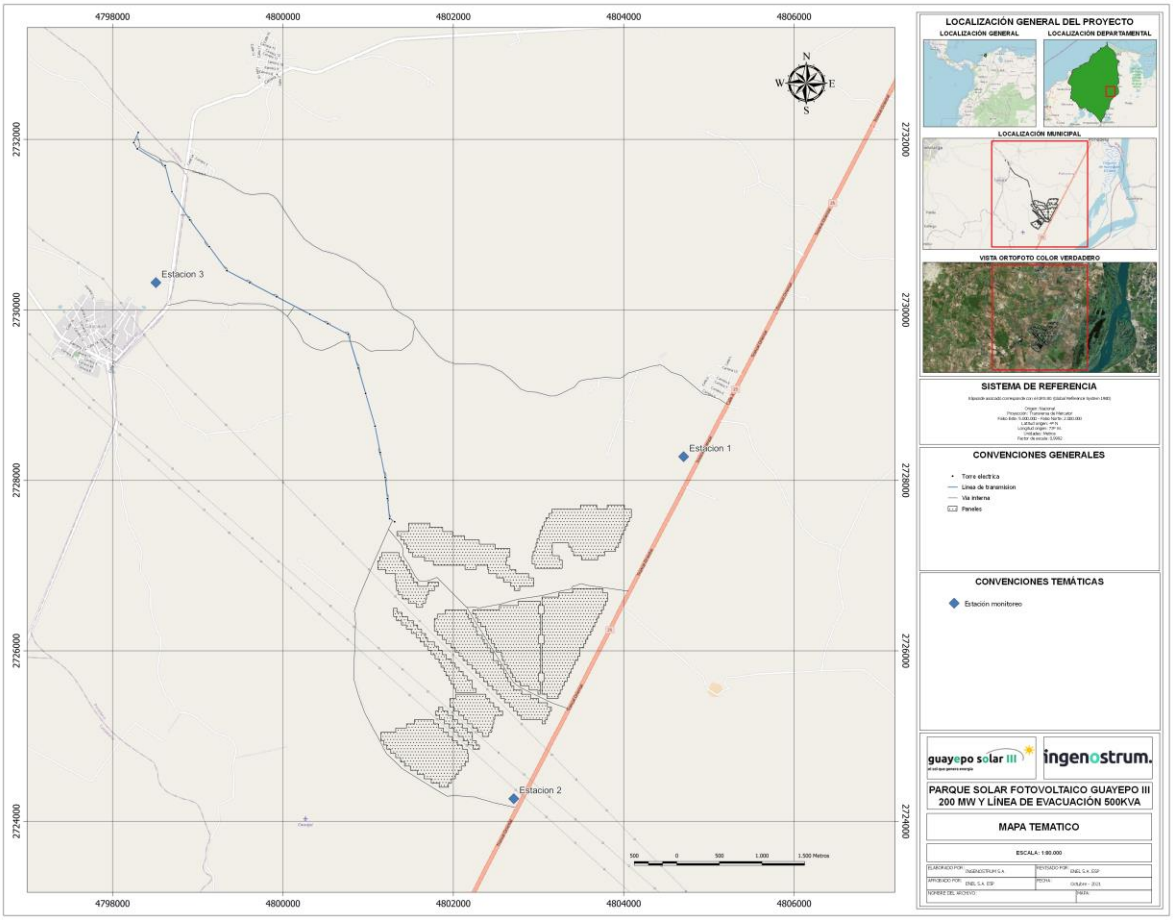
DÍA	NO_2 (µg/m3)		
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
1	25,02	26,96	18,82
2	31,66	29,10	29,71
3	33,70	29,24	23,85
4	35,43	28,88	32,49
5	24,36	21,92	30,78
6	35,25	41,75	30,19
7	24,01	21,09	22,93
8	29,34	23,42	32,90
9	24,64	27,39	23,56
10	32,08	24,51	21,88
11	35,60	21,32	25,72
12	34,01	35,93	33,24

DÍA	NO_2 (µg/m^3)		
	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
13	29,61	27,22	33,58
14	28,11	36,30	25,39
15	34,94	27,25	34,94
16	29,39	33,72	26,85
17	37,48	36,38	27,35
18	35,72	31,86	34,53

Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

Con base en estos resultados, se toman las concentraciones medias de cada contaminante evaluado (con el único fin de calcular niveles de fondo estadísticamente representativos a la zona de estudio dentro del modelo de dispersión), como referencia al comportamiento esperado en el escenario de línea base, es decir, antes de cualquier intervención asociada al proyecto. En este sentido, la concentración para PM_{10}, $PM_{2.5}$ y NO_2 es de 20,4 µg/m3, 7,5 µg/m3 y 32,8 µg/m3 respectivamente. Para el contaminante SO2 se obtuvieron resultados inferiores al límite de cuantificación mínimo del método (LCM), el cual corresponde a un valor de *7,20 µg SO_2/m^3*, es por esto que no se presentan tablas con resultados de SO2. En la Figura 5.1-185 se presenta la ubicación de las estaciones de monitoreo en el área de estudio.

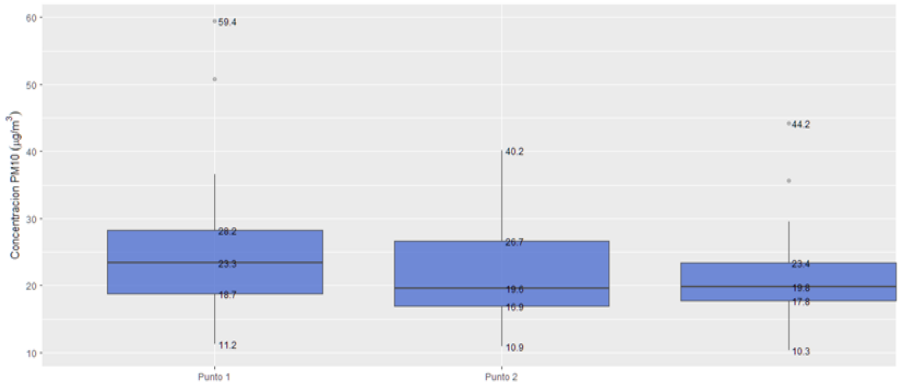
Figura 5.1-185 Localización estaciones de calidad del aire



Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

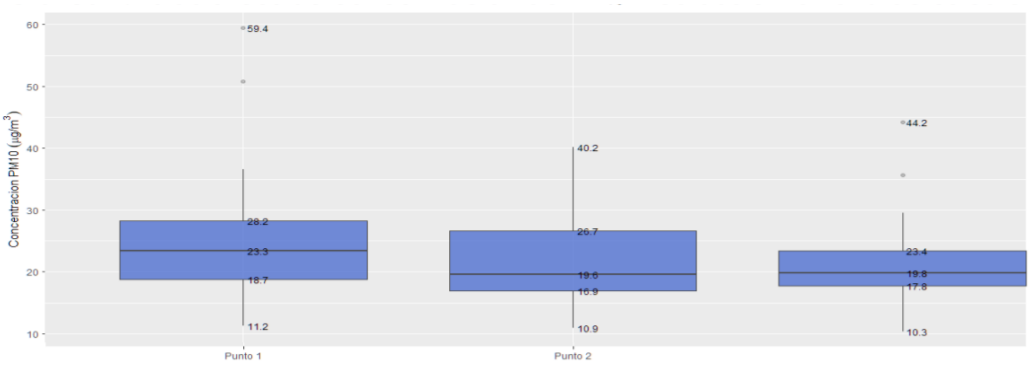
De la Figura 5.1-186 a la Figura 5.1-190 se muestran las estadísticas para las concentraciones de PM_{10}, $PM_{2.5}$ y NO_2.

Figura 5.1-186 Estadísticos de concentración de PM10 medidas en la zona de estudio en época de sequía



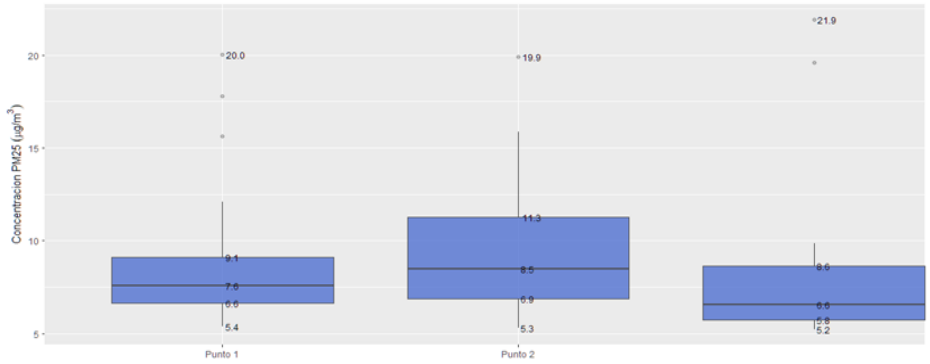
Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

Figura 5.1-187 Estadísticos de concentración de PM10 medidas en la zona de estudio en época de lluvia



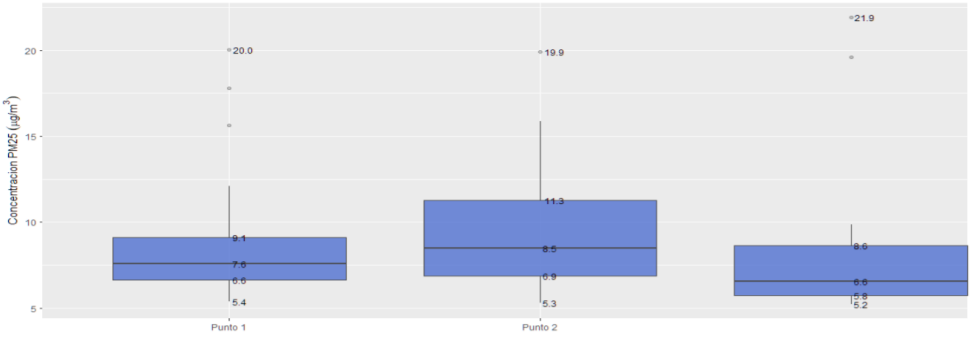
Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

Figura 5.1-188 Estadísticos de concentración de PM2.5 medidas en la zona de estudio



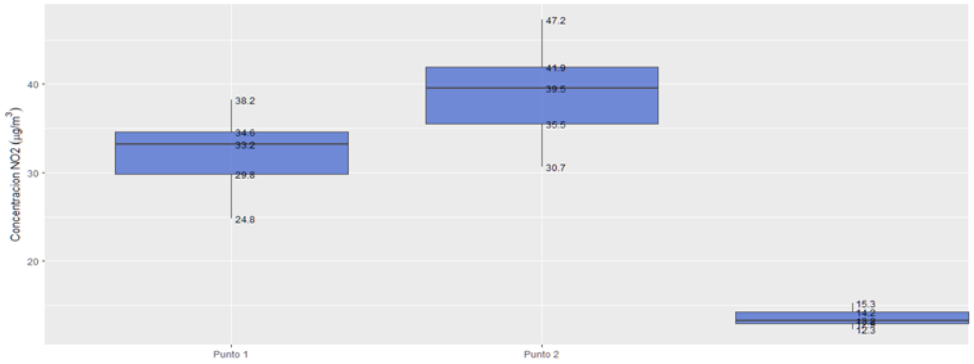
Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

Figura 5.1-189 Estadísticos de concentración de PM 2.5 medidas en la zona de estudio en época de lluvia



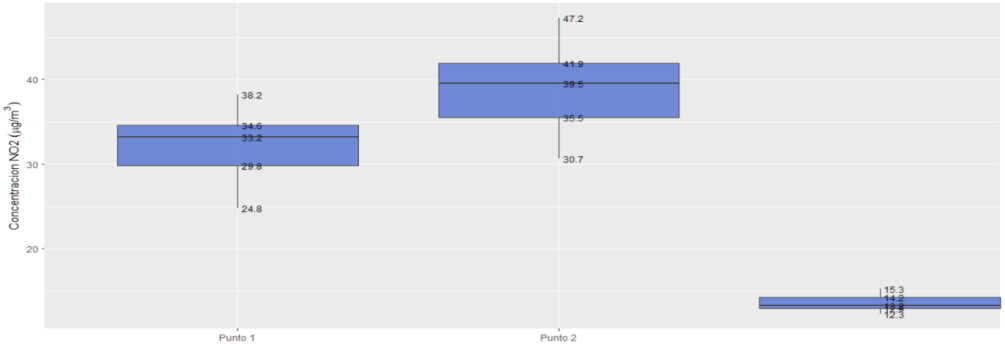
Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

Figura 5.1-190 Estadísticos de concentración de NO2 medidas en la zona de estudio



Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

Figura 5.1-191 Estadísticos de concentración de NO2 medidas en la zona de estudio en época de lluvia



Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

5.1.9.5.1.2.2 Características de superficie y elevación de terreno

Para facilitar el análisis de las condiciones del suelo asociadas a la micrometeorología de la zona de estudio, se construyó una matriz de análisis de 11x11 km alrededor del trazado del proyecto (entre las coordenadas 4.796.790 m Este – 2.722.390 m Norte y 4.807.390 m Este – 2.734.090 m Norte), de modo que se pudieran determinar las fuentes de emisión más representativas de la zona y los receptores con mayor riesgo de afectación según las características del proyecto.

Para el análisis de las características del sitio evaluado, se usa la información de cobertura del suelo mediante el modelo CORINE Land Cover adaptado para el territorio nacional, disponible a través del Sistema de Información Geográfica del

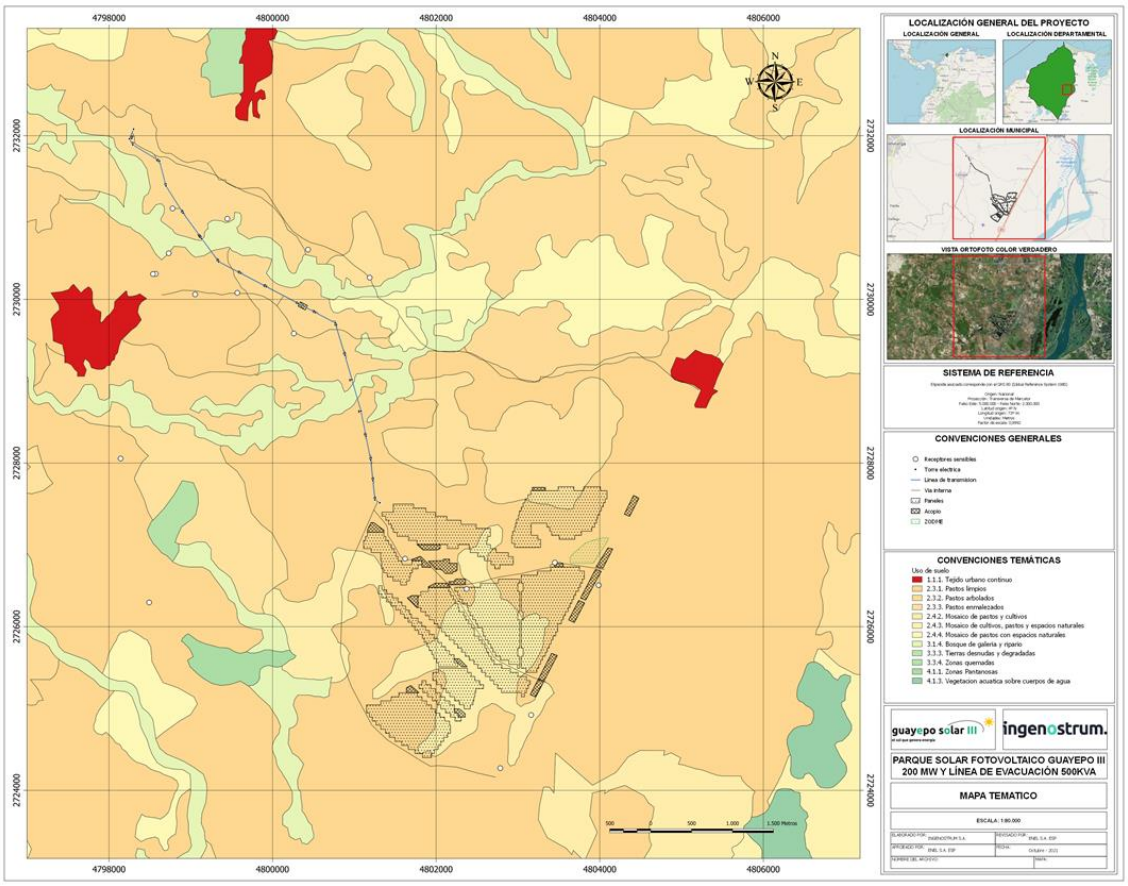
Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC) alojado en la Agencia Nacional de Licencias Ambientales (ANLA)[33] (Figura 5.1-192).

El modelo digital de terreno (DEM) utilizado para el análisis tiene una resolución de aproximadamente 12,5 m (0,5 arc-segundo). El error vertical del archivo DEM es de menos de 4 metros. Este modelo determina la altura del suelo, incluyendo la profundidad de cuerpos de agua a partir del proyecto ALOS Global Digital Surface Model de la Agencia Espacial Japonesa (JAXA)[34]. De acuerdo con el modelo, la elevación media es de 20 msnm, con un máximo de 66 msnm. (Figura 5.1-193). Para la ejecución del modelo, se utiliza una malla de 2.200 puntos distribuidos de forma cartesiana con una distancia mínima de 300 metros entre punto malla gruesa y 50 metros malla fina alrededor de vías y polígonos[35] (Figura 5.1-194).

De esta manera se evalúan las concentraciones de forma objetiva sobre la malla de receptores, de modo que la interpolación de los datos permita establecer el comportamiento global asociado a las actividades de la zona de estudio.

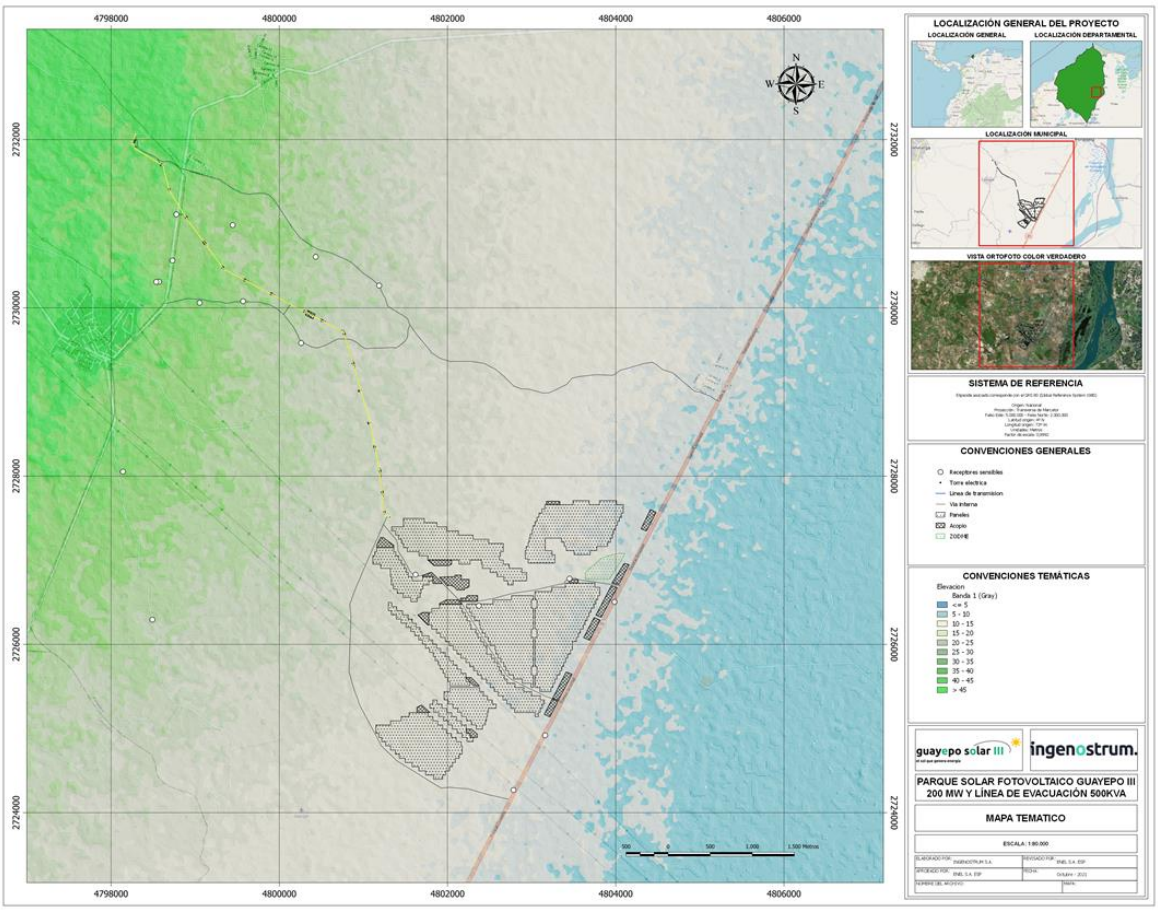
[33] *Sistema de Información Geográfica de Colombia (SIAC). En línea. http://sig.anla.gov.co:8083/. Producto SIG en WMS: http://geoapps.ideam.gov.co:8080/geoserver/Estado_Coberturas_Tierra/wms?*
[34] *Disponible en Anexos\3. Código fuente del modelo\3. AERMAP\1. Input\REC.dem*
[35] *Disponible en Anexos\3. Código fuente del modelo\3. AERMAP\1. Input\aermap.inp*

Figura 5.1-192 Estructura de cobertura de suelo año 2010-2020



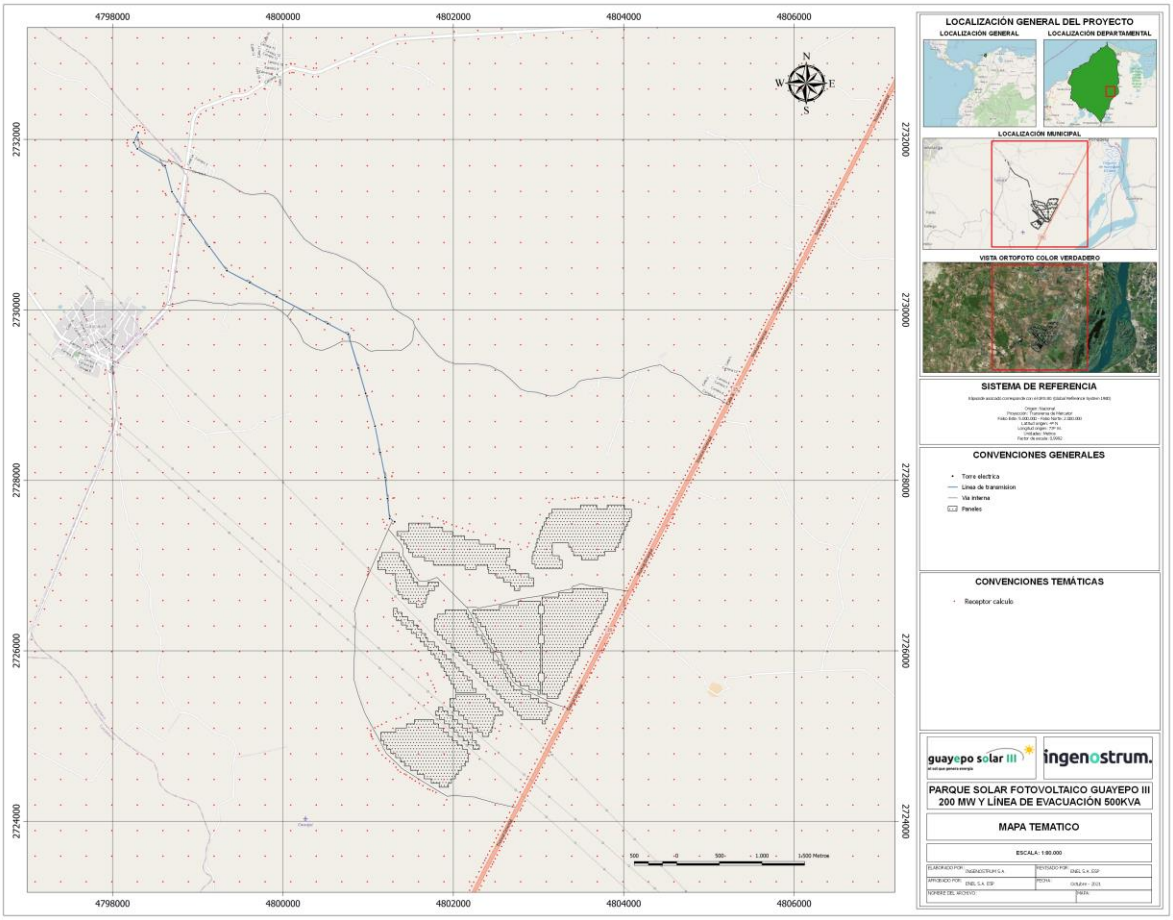
Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021), a partir de información del SIAC., 2021

Figura 5.1-193 Altura de terreno características en la zona de influencia



Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

Figura 5.1-194 Malla de receptores discretos hipotéticos de cálculo



Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

5.1.9.5.1.2.3 Condiciones meteorológicas

La evaluación de la dispersión de contaminantes en la atmósfera en una región debe considerar el comportamiento de la masa de aire en la troposfera, siendo ésta la región donde ocurren los principales fenómenos fisicoquímicos. Este análisis permite conocer tendencias de comportamiento de la contaminación del aire y generar planes de acción congruentes a las características de una zona específica.

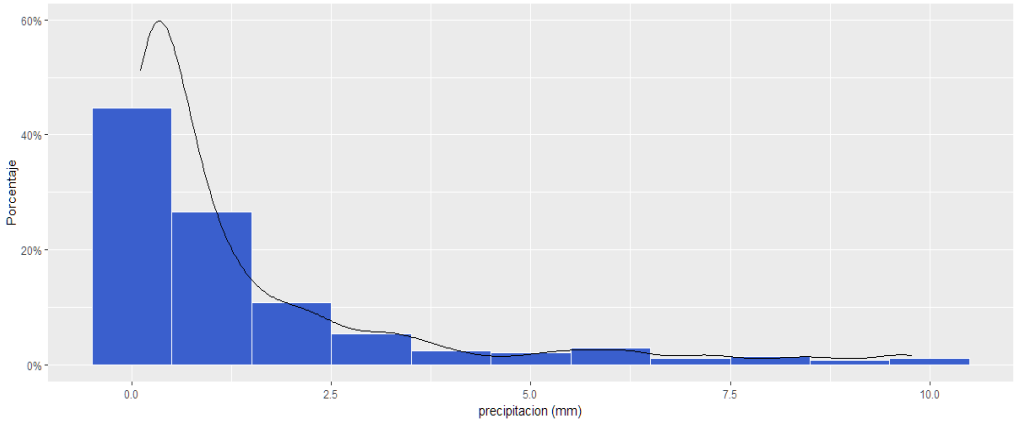
A continuación, se muestran las tendencias de las principales variables meteorológicas reportadas por el modelo meteorológico WRF-MMIF para el periodo 2020 en la zona de estudio, siendo este tomado como base para la estimación de las condiciones de superficie y altura requeridas por el modelo AERMOD.

5.1.9.5.1.2.3.1 Intensidad en precipitaciones

La frecuencia de precipitación acumulada en el sitio es media con un 60% de registros sin lluvias (Figura 5.1-195). Se encuentra que los periodos con mayor precipitación son los meses de mayo y junio con un máximo acumulado de 40 mm en mayo (Figura 5.1-196).

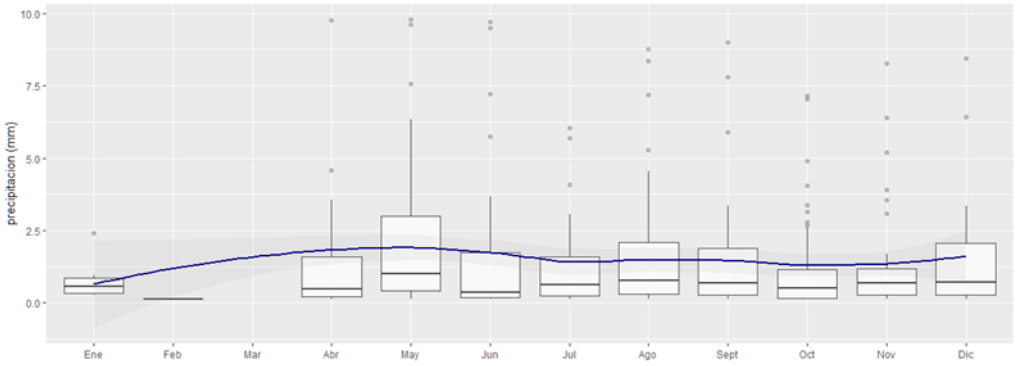
Debido a que la proporción de ocurrencia de lluvias es cercana al 40% (lluvias poco frecuentes), se proyecta la posibilidad de registrar concentraciones de partículas en cercanías a las fuentes de emisión por condiciones regionales, aunque este resultado será dependiente de otras condiciones características relacionadas a la estabilidad atmosférica (Figura 5.1-195).

Figura 5.1-195 Precipitaciones – Frecuencia acumulada



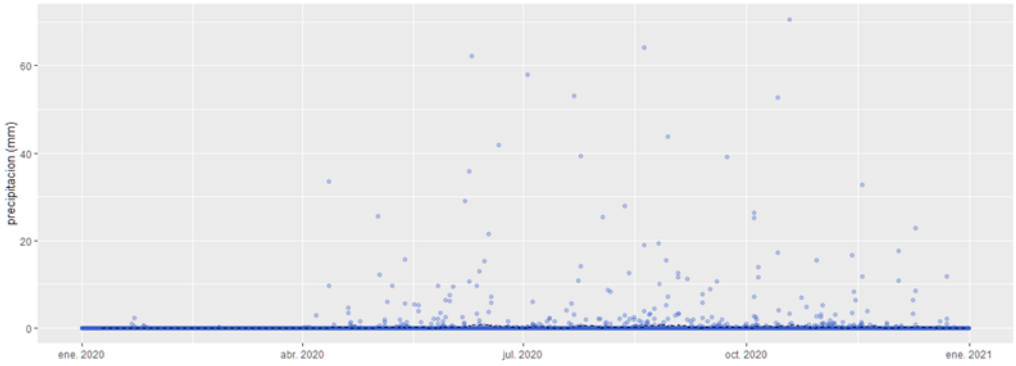
Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021). WRF Climate model, 2021

Figura 5.1-196 Precipitaciones – Comportamiento típico mensual



Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021). WRF Climate model, 2021

Figura 5.1-197 Precipitaciones – Comportamiento histórico

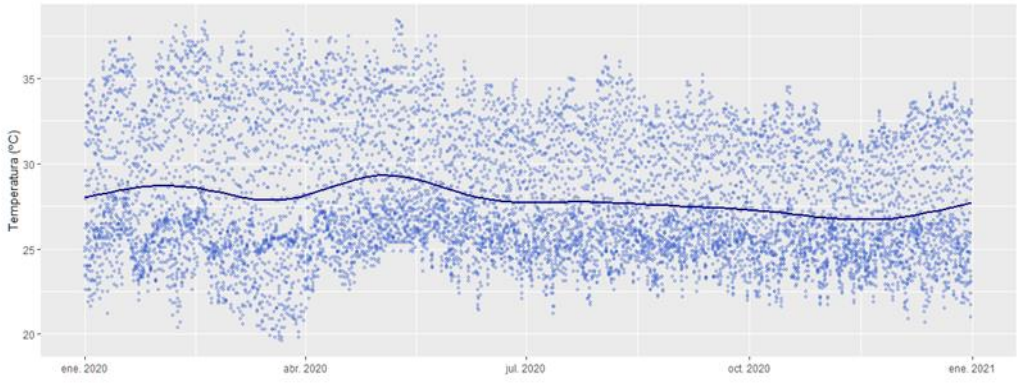


Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021). WRF Climate model, 2021

5.1.9.5.1.2.3.2 Temperatura atmosférica

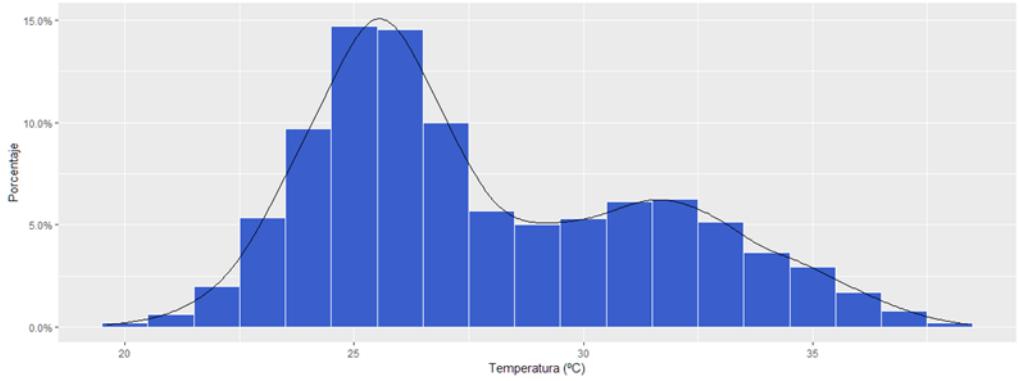
Según el análisis de la temperatura atmosférica, los registros tienden a un valor medio de 27,8 ºC y un rango típico entre 26,6 y 29,1 ºC. El comportamiento mensual de la temperatura presenta poca variabilidad, con un mínimo promedio en el mes de noviembre hasta un valor de 26,6 ºC y un máximo promedio de 29,1 ºC en el mes de mayo.

Figura 5.1-198 Temperatura atmosférica histórica



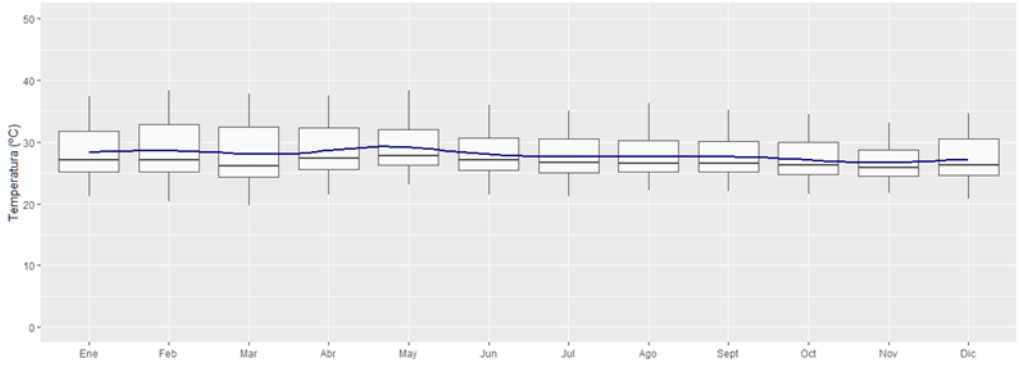
Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021). WRF Climate model, 2021

Figura 5.1-199 Temperatura – Frecuencia acumulada



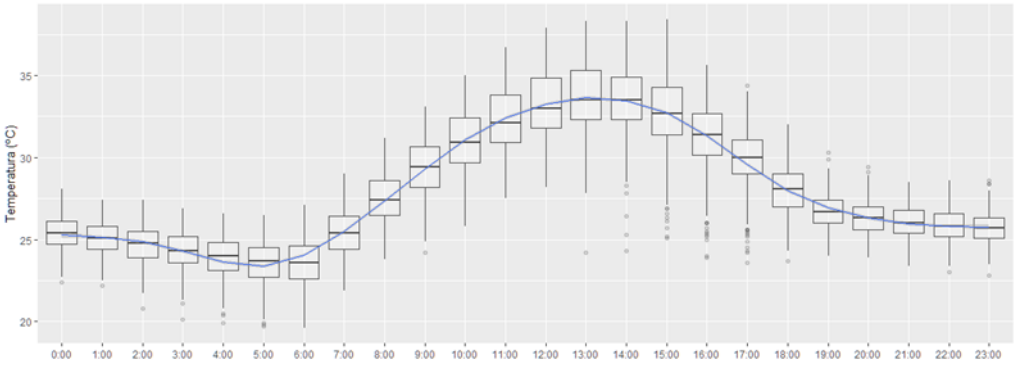
Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021). WRF Climate model, 2021

Figura 5.1-200 Temperatura – Comportamiento mensual



Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021). WRF Climate model, 2021

Figura 5.1-201 Temperatura – Comportamiento horario



Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021). WRF Climate model, 2021

5.1.9.5.1.2.3.3 Humedad relativa

La humedad relativa de la región muestra registros entre 73 – 100%, con un valor medio de 84% y datos típicos mínimos y máximos de 73% y 89%, respectivamente, siendo el periodo con menor humedad el mes de febrero.

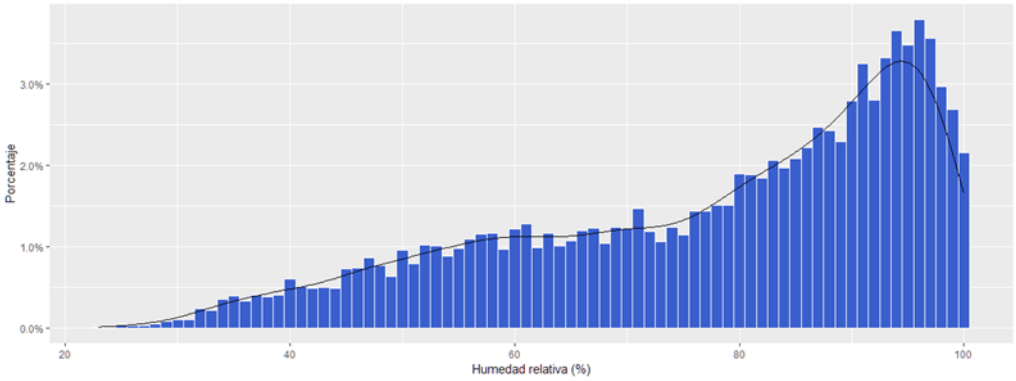
Los registros horarios muestran que los niveles de humedad se incrementan en las horas de la mañana (después de las 1:00 a.m.) hasta un valor promedio cercano a 84,0%, se presenta una disminución hasta 51% de humedad en horas de la tarde.

Figura 5.1-202 Humedad relativa histórica



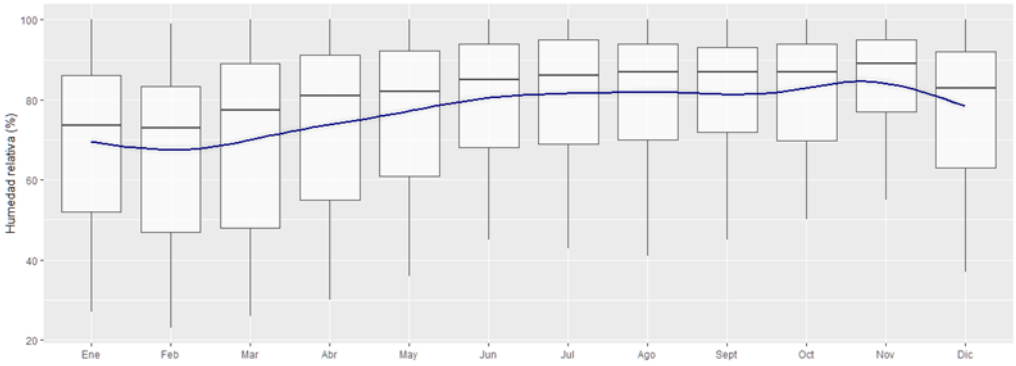
Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021). WRF Climate model, 2021

Figura 5.1-203 Humedad relativa – Frecuencia acumulada



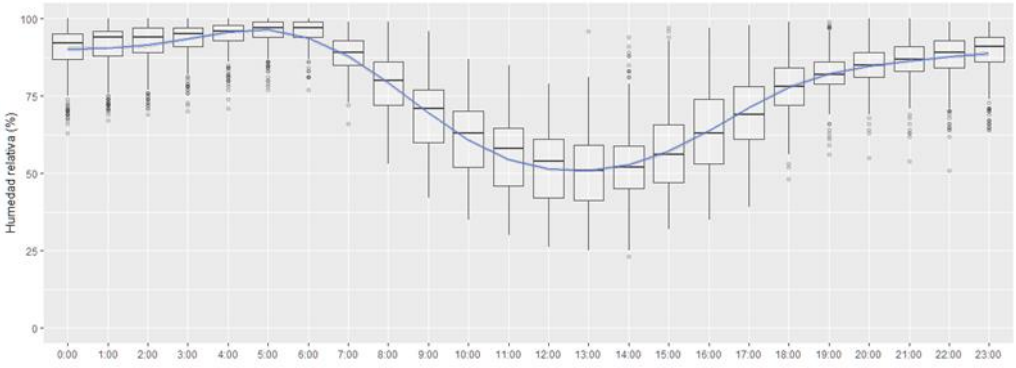
Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021). WRF Climate model, 2021

Figura 5.1-204 Humedad relativa – Comportamiento mensual



Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021). WRF Climate model, 2021

Figura 5.1-205 Humedad relativa – Comportamiento horario



Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021). WRF Climate model, 2021

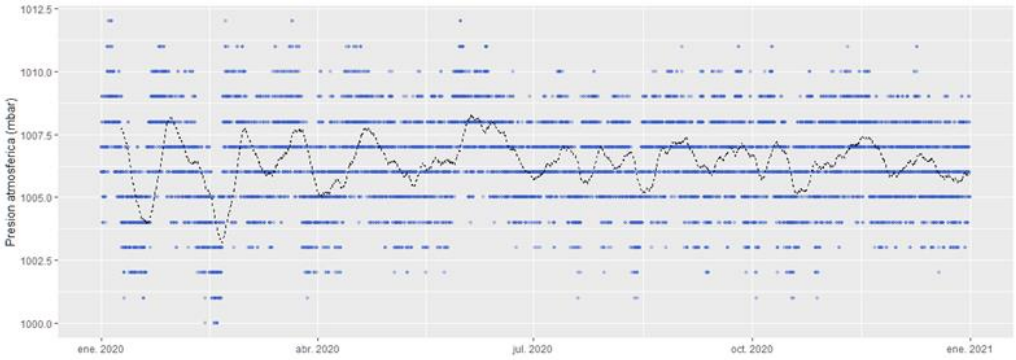
Este proceso es importante para tener en cuenta como un mecanismo natural para la absorción de gases en el ambiente cuando se alcanzan condiciones que propician la

precipitación, y así mismo permite proyectar la capacidad de dilución del aire frente a la presencia de contaminantes.

5.1.9.5.1.2.3.4 Presión atmosférica

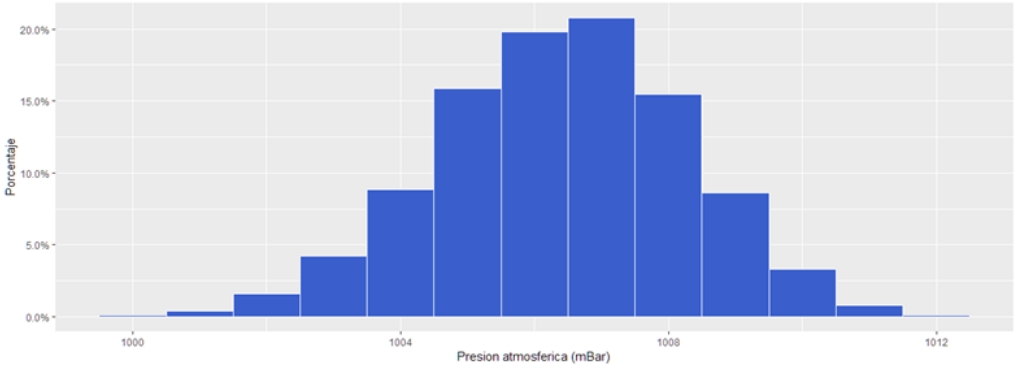
La presión atmosférica presenta un valor medio de 1.007 ± 3 mBar. El comportamiento diario muestra un aumento de 2 mBar después de las 7:00 a.m. y una reducción de 3 mBar en horas de la tarde.

Figura 5.1-206 Presión atmosférica histórica



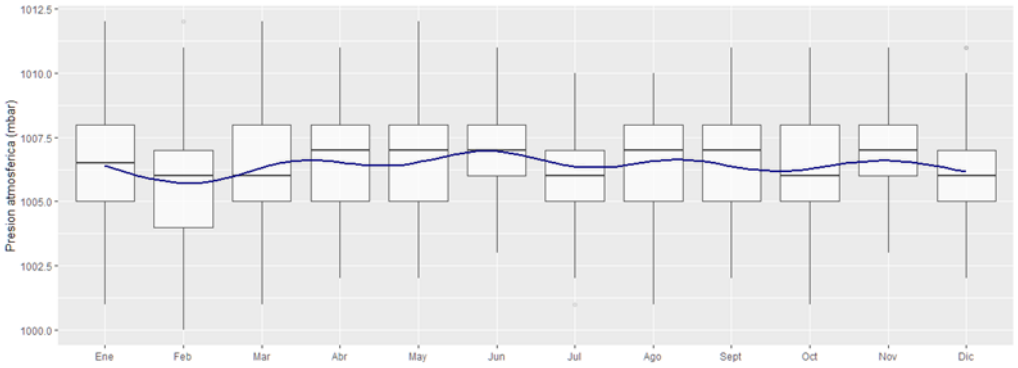
Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021). WRF Climate model, 2021

Figura 5.1-207 Presión atmosférica – Frecuencia acumulada



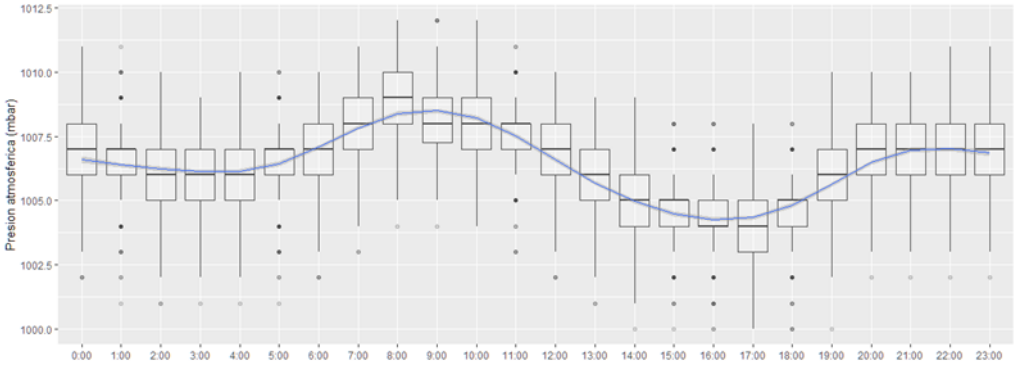
Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021). WRF Climate model, 2021

Figura 5.1-208 Presión atmosférica – Comportamiento mensual



Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021). WRF Climate model, 2021

Figura 5.1-209 Presión atmosférica – Comportamiento horario

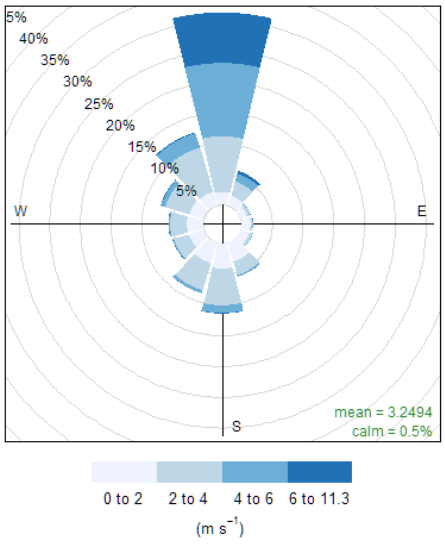


Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021). WRF Climate model, 2021

5.1.9.5.1.2.3.5 Vientos

El viento es uno de los parámetros relevantes al verificar el comportamiento de la dispersión de contaminantes siendo una variable activa en la predicción de las zonas que tendrán mayor o menor afectación, dada su relación con la estabilidad atmosférica del aire: una mayor velocidad mejora la dispersión de los contaminantes (inestabilidad atmosférica), bien sea esta del tipo mecánico o del tipo convectivo. Pero, por otro lado, dependiendo de las características del sitio puede incidir en un aumento de ciertos contaminantes, como es el caso de las partículas sólidas por erosión del suelo en zonas de baja cobertura vegetal.

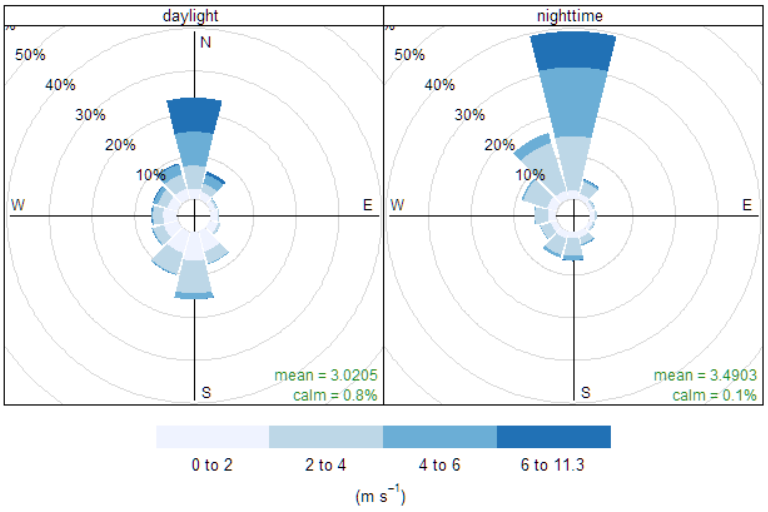
Figura 5.1-210 Rosa de vientos general



Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021). WRF Climate model, 2021

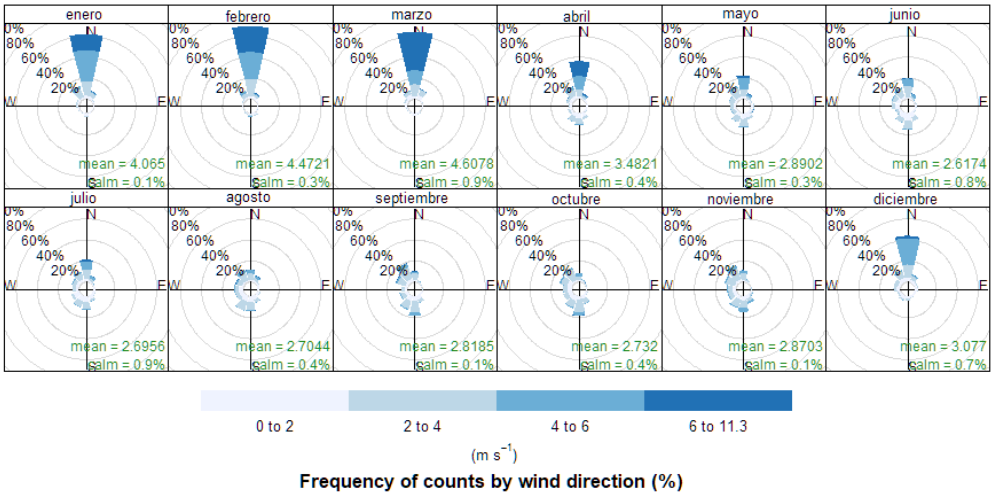
De acuerdo con la información de los registros de viento, se observa que la dirección global del viento tiene mayor procedencia desde el componente norte de la zona, con un valor medio de 3,2 m/s (Figura 5.1-211).

Figura 5.1-211 Rosa de vientos diurna - nocturna



Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021). WRF Climate model, 2021

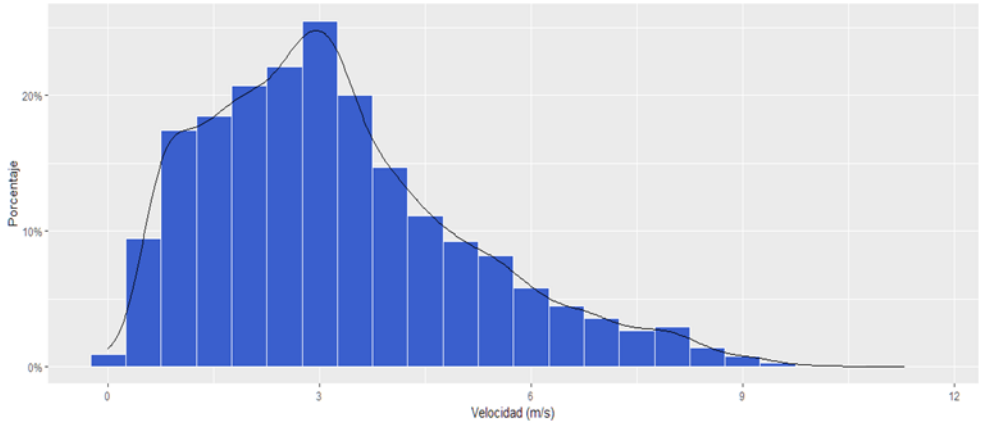
Figura 5.1-212 Rosa de vientos mensual



Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021). WRF Climate model, 2021

El régimen de vientos se puede clasificar como brisa floja (entre 2,2 - 3,3 m/s, según la escala de Beaufort), con posibilidad de ráfagas de viento fuerte (por encima de 6 m/s). De acuerdo con la Figura 5.1-213 se puede observar que el comportamiento histórico de la dirección del viento presenta poca variabilidad, siendo predominante el flujo en el componente Norte.

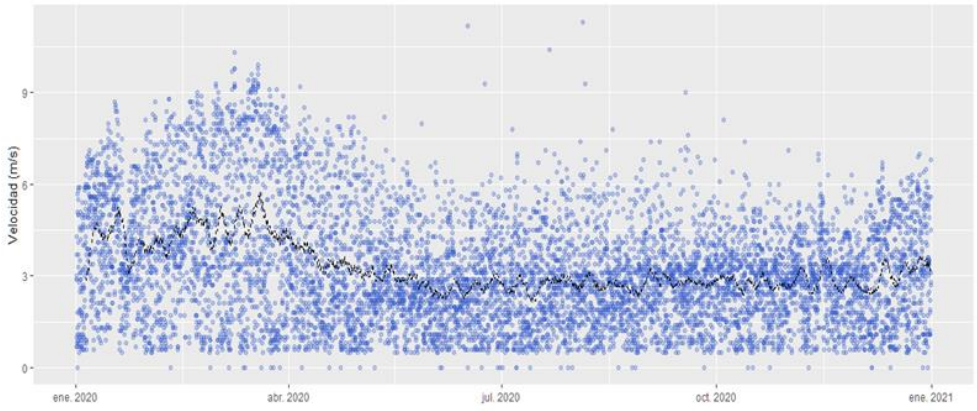
Figura 5.1-213 Rosa de vientos mensual



Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021). WRF Climate model, 2021

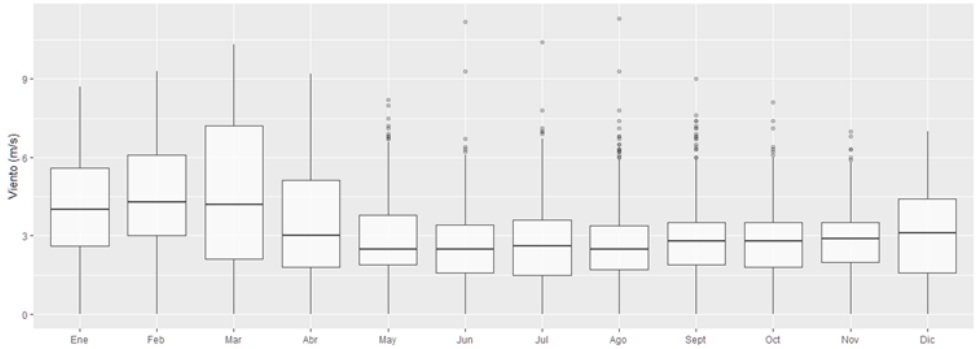
La velocidad del viento presenta una condición variable en el año con una desviación estándar cercana a 2,2 m/s. La mayor tendencia a brisas moderadas puede encontrarse en la mañana con respecto a brisas fuertes al final de la tarde.

Figura 5.1-214 Velocidad del viento histórica



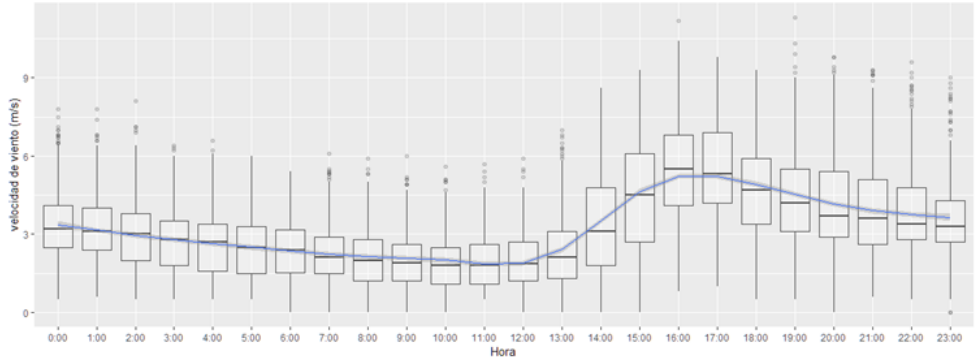
Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021). WRF Climate model, 2021

Figura 5.1-215 Velocidad del viento – Comportamiento mensual



Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021). WRF Climate model, 2021

Figura 5.1-216 Velocidad del viento – Comportamiento horario

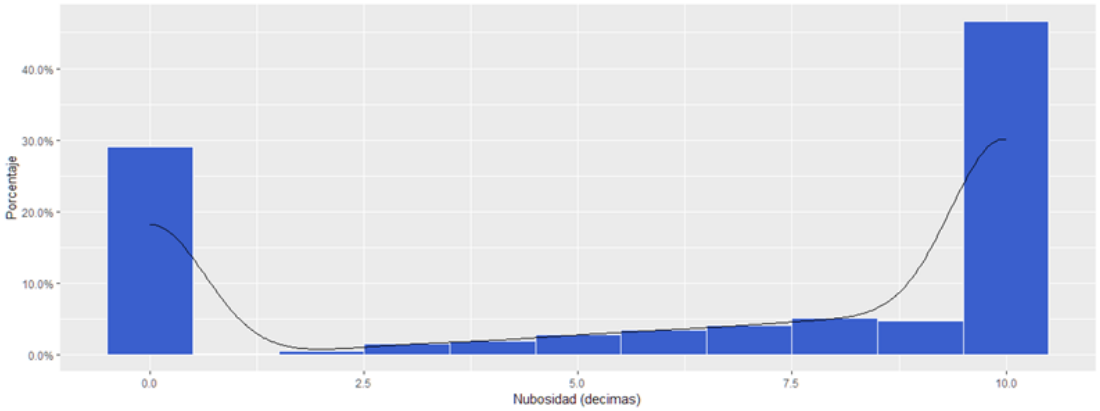


Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021). WRF Climate model, 2021

5.1.9.5.1.2.3.6 Nubosidad

Según registros, la nubosidad tiende a un valor 0 y 10 décimas con clasificación de cielo despejado y nuboso respectivamente (Figura 5.1-217).

Figura 5.1-217 Velocidad del viento – Comportamiento horario

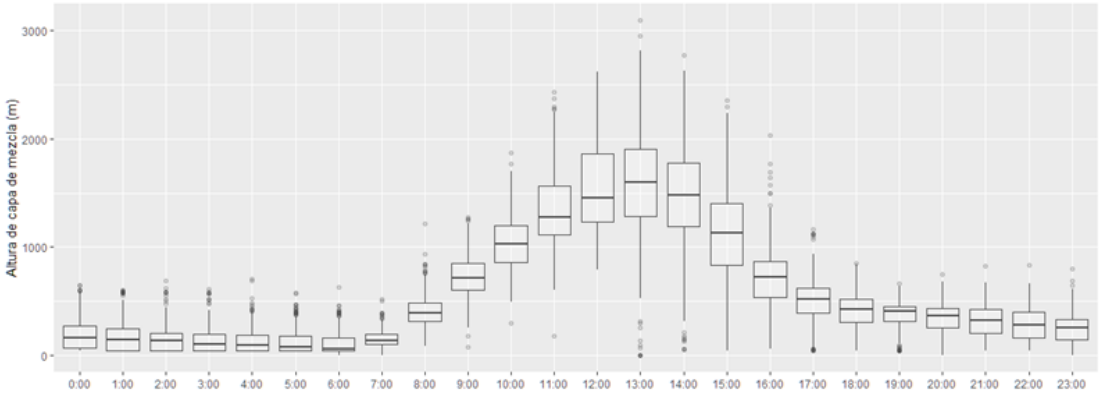


Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021). WRF Climate model, 2021

5.1.9.5.1.2.3.7 Capa de mezcla atmosférica

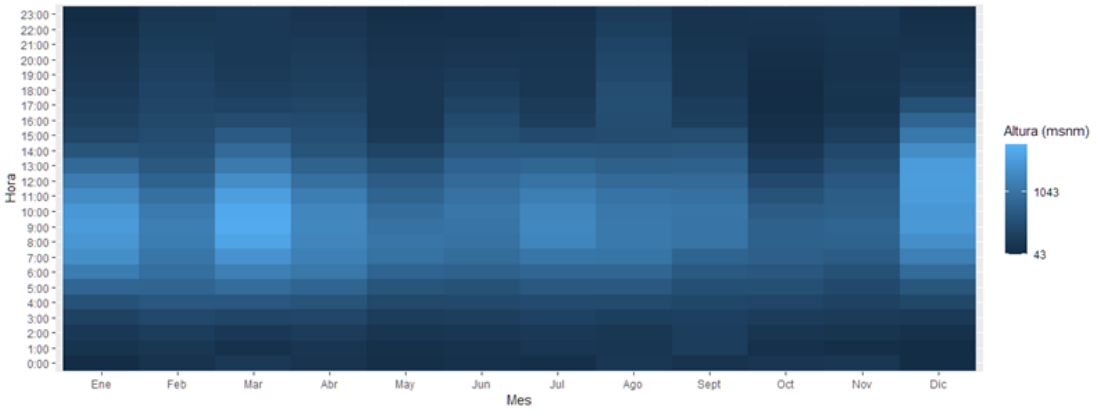
- El espesor de la troposfera indica la capacidad de dilución de un contaminante: a mayor altura, mayor será la dilución pues habrá una mayor proporción de aire respecto al contaminante. Una menor altura confinará la mezcla aire-contaminante más cerca al suelo, aumentando su concentración.

- **Figura 5.1-218 Altura de capa de mezcla global típica horaria**



- *Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021). WRF Climate model, 2021*

- **Figura 5.1-219 Altura de capa de mezcla mensual típica**

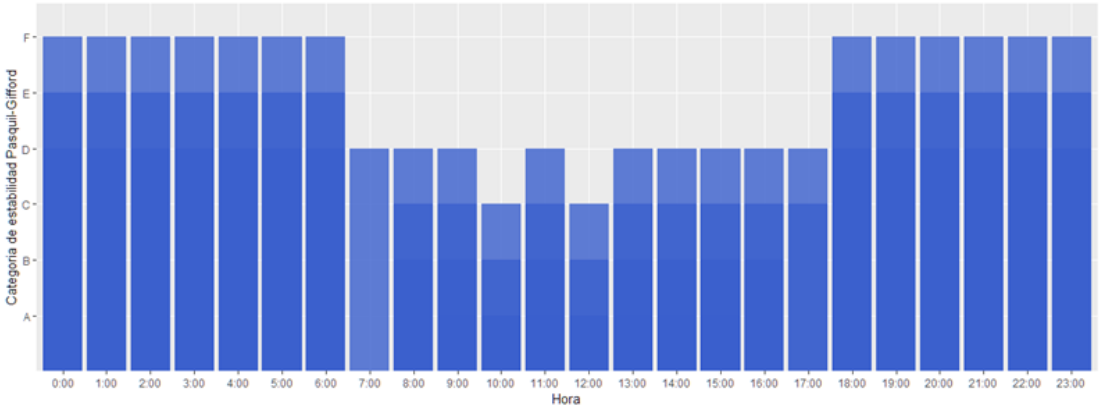


- *Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021). WRF Climate model, 2021*

- El análisis de la distribución de la altura de capa de mezcla atmosférica típica de la zona presenta un pico máximo medio de 1.598 m sobre el nivel del suelo a la 1:00 pm, y un pico mínimo medio de 64 m sobre el nivel del suelo a las 6:00 am, lo que sugiere una dependencia fuerte de la altura de capa de mezcla a condiciones convectivas con respecto a condiciones mecánicas.
- Según la información calculada[36], el comportamiento de estabilidad de la zona de acuerdo con la categoría Pasquill-Guilford en horario diurno es C - D (inestable convectivo y estable adiabático), mientras que en horario nocturno alcanza a ser D - F (estable adiabático, moderado estable y altamente estable). Según la Figura 5.1-220, el comportamiento se puede leer como: (A) altamente inestable convectivo, (B) moderadamente inestable convectivo, (C) inestable convectivo, (D) estable adiabático, (E) moderado estable y (F) altamente estable (Turner, 1969).

[36] *Se utilizó el método propuesto por Ruiz & Pabón (2002), adaptado de Sozzi & Ruiz (1998).*

- **Figura 5.1-220 Distribución horaria de la estabilidad atmosférica anual promedio**



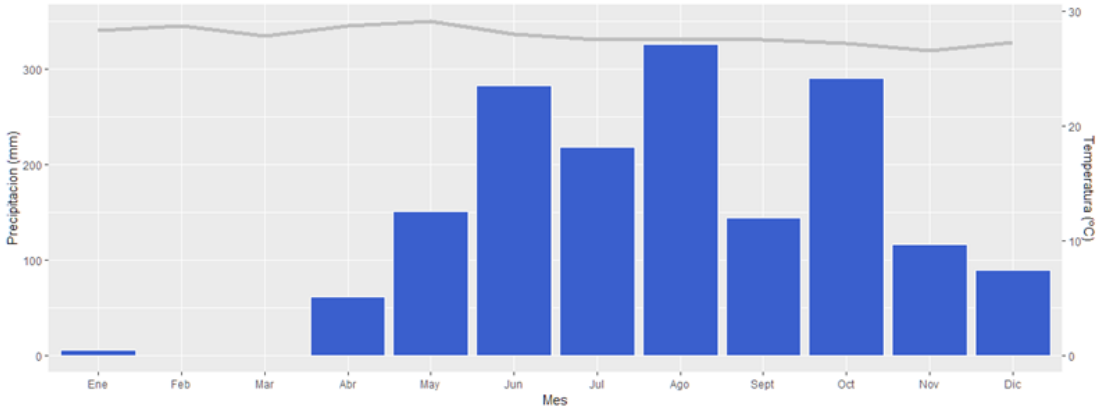
- *Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021). WRF Climate model, 2021*

- Lo anterior indica que las actividades que tendrían mayor afectación por concentraciones excesivas se darían en horas donde la capa de mezcla es más baja y la estabilidad atmosférica es mayor, permitiendo establecer recomendaciones de reducción y control de la contaminación en el momento de operación del proyecto.

5.1.9.5.1.2.3.8 Estacionalidad climática

Dado que se requiere determinar la estacionalidad en términos de temporada húmeda y temporada seca típicos de la zona de estudio, se evalúa esta característica mediante el climograma de Gaussen, del cual se determinan los meses de junio, agosto y octubre como época húmeda (Figura 5.1-221).

Figura 5.1-221 Distribución horaria de la estabilidad atmosférica anual promedio



Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021). WRF Climate model, 2021

5.1.9.5.1.2.3.9 Parametrización de condiciones de frontera

Con base en las características de uso del suelo y las condiciones meteorológicas del sitio, se determinan el albedo, la longitud de rugosidad y la relación de Bowen según los lineamientos sugeridos por la U.S. EPA[37] (Tabla 5.1-192), para cada uno de los sectores de evaluación según características de cobertura de la zona de estudio (Figura 5.1-222).

- La longitud de rugosidad se evalúa en un radio de 1 km vientos arriba de la localización de la estación meteorológica.
- El albedo se determina para un área de 10x10 km, tomando la ubicación de la estación meteorológica como centro.
- La relación de Bowen se determina para un área de 10x10 km, tomando la ubicación de la estación meteorológica como centro.

Tabla 5.1-192 Condiciones de uso del suelo

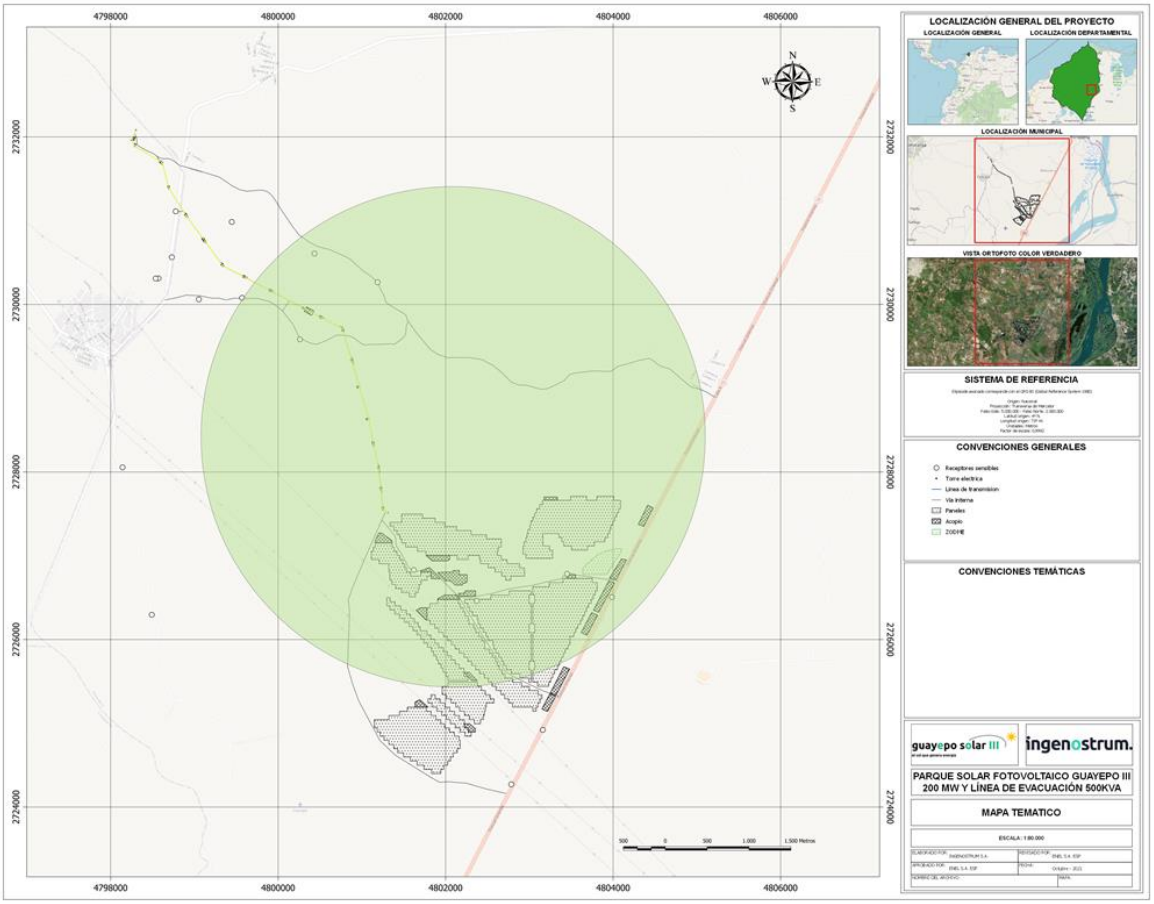
MES	ALBEDO	RELACIÓN DE BOWEN	RUGOSIDAD (M)
Enero	0,2	2,6	0,2
Febrero	0,2	4,2	0,1
Marzo	0,2	4,6	0,1
Abril	0,2	4,0	0,1
Mayo	0,2	1,1	0,2
Junio	0,2	0,3	0,1
Julio	0,2	0,4	0,2
Agosto	0,2	0,3	0,1
Septiembre	0,2	0,3	0,1
Octubre	0,2	0,3	0,1

[37] *U.S. Environmental Protection Agency, AERSURFACE USER'S GUIDE, Office of Air Quality Planning and Standards, Air Quality Assessment Division, Air Quality Modeling Group, Research Triangle Park, North Carolina 27711. EPA-454/B-08-001, January 2008.*

MES	ALBEDO	RELACIÓN DE BOWEN	RUGOSIDAD (M)
Noviembre	0,2	0,3	0,1
Diciembre	0,2	0,5	0,2

Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

Figura 5.1-222 Determinación de sectores de modelación meteorológica



Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

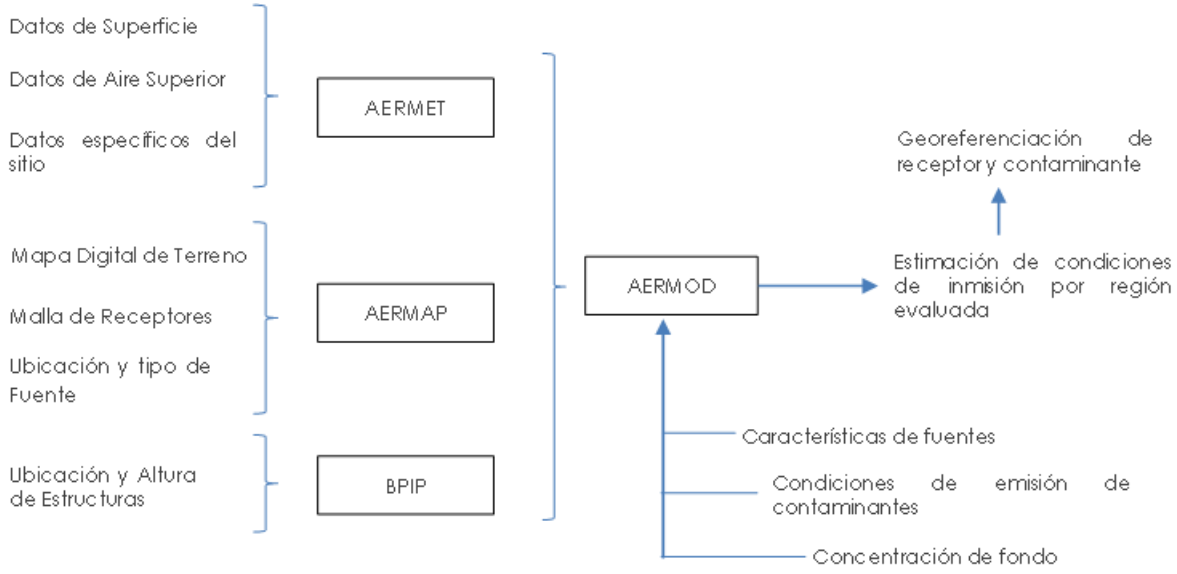
5.1.9.5.2 Descripción del modelo

Para evaluar el comportamiento de dispersión de contaminantes en la zona de influencia del proyecto, se utilizó el modelo AERMOD, considerado como un modelo refinado para estimar concentraciones de contaminantes a nivel de suelo. El algoritmo empleado fue el modelo gaussiano del tipo estado estable AERMOD v.21112 original, avalado desde el año 2017 por la US EPA según el Apéndice W -40 CFR Parte 51 Guidelines on Air Quality Models como el modelo preferido y recomendado para evaluar el comportamiento de dispersión de contaminantes criterio a nivel local (hasta

50 km respecto a la fuente) para fuentes fijas y fuentes móviles[38] (siendo el modelo acogido por el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire del actual MADS).

AERMOD realiza estimaciones estadísticas con base en una pluma hipotética con distribución gaussiana, teniendo en cuenta la teoría de la capa límite planetaria y el modelo de ascenso de pluma para evaluar zonas de impacto por turbulencia sobre edificaciones, relieve geográfico y zonas de cavitación. De forma general, el proceso de modelación con AERMOD funciona bajo el esquema mostrado en la Figura 5.1-223.

Figura 5.1-223 Determinación de sectores de modelación meteorológica



Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

AERMOD trabaja en conjunto con dos procesadores: AERMAP y AERMET. En el procesador AERMAP se establece el dominio del modelo según el sistema de coordenadas deseado (el presente modelo se desarrolla en el sistema CM12 – Origen Colombia), la matriz de receptores, la localización de las fuentes emisoras, entre otros, que en conjunto con un modelo DEM identifica la altura de cada receptor y cada fuente respecto al nivel del mar.

[38] *US EPA (2017) Appendix W CFR 40 Part 51. Revisions to the Guideline on Air Quality Models: Enhacements to the AERMOD Dispersion Modeling System. Federal Register. Vol 82. No. 10. January 17. pp. 5182.*

El procesador AERMET procesa los datos meteorológicos del modelo WRF, suministrado por Meteocolombia S.A.S., de modo que AERMOD pueda reconocer las características micrometeorológicas de la zona de estudio, tanto a nivel de superficie como en el perfil vertical del punto meteorológico de cálculo. AERMET está diseñado para ser ejecutado en un proceso de tres etapas: extracción de datos - verificación de calidad, combinación de datos en periodos de tiempos y construcción de datos finales para ingreso al modelo, teniendo en cuenta las características del sitio de trabajo (albedo, índice de Bowen y rugosidad).

La descripción de las características del modelo, la formulación de las ecuaciones y los fenómenos que tiene en cuenta, se extraen de la referencia primaria del algoritmo original US EPA AERMOD[39], los cuales se resumen a continuación.

5.1.9.5.2.1 Modelo Gaussiano AERMOD

La ecuación general de concentración, la cual se aplica para condiciones estables o convectivas estada dada por la Ecuación 12.

$$C_T\{x_r, y_r, z_r\} = f * C_{c,s}\{x_r, y_r, z_r\} + (1 - f) * C_{c,s}\{x_r, y_r, z_p\} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

C_T: Concentración total en la coordenada (x, y, z).

$C_{C,S}$: Contribución horizontal de la pluma de contaminante en (x, y, z).

C, S: Contribución en condiciones convectivas y estables a nivel del terreno.

f: Es una función de ponderación del estado de la pluma.

z_p: Altura de elevación del receptor sobre el suelo.

En este sentido, el modelo AERMOD tiene en cuenta las condiciones de terreno que pueden contribuir de forma positiva o no los cambios de concentración del contaminante evaluado en un punto receptor especifico. Para esto, AERMOD usa un

[39] *Disponible en línea en: https://www.epa.gov/scram/air-quality-dispersion-modeling-preferred-and-recommended-models#aermod. Tomado de la última versión aprobada 18081.*

preprocesador de terreno (AERMAP), que le permite computarlas características de elevación de la zona de interés para determinar un valor de escala de influencia por altura de terreno (h_c) en términos de un factor de ponderación de altura sobre el receptor (H_c), según se muestra en la Ecuación 13.

$$1/2\ u^2\{H_C\} = \int_{H_C}^{h_c} N^2(h_C - z)\ dz \qquad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

U $\{H_c\}$: Velocidad del viento a la altura H_c.

h_c: Altura de escala del terreno alrededor del receptor evaluado.

N: Función de frecuencia Brunt-Vaisala.

En este sentido, el modelo tiene en cuenta la posible contribución por condiciones de elevación de terreno en la trayectoria de dispersión de la pluma de contaminante, asociada a la dirección de transporte del viento en un momento dado, según se presenta en la Ecuación 14.

$$C\{x, y, z\} = \left(\frac{Q}{\tilde{u}}\right) P_y\{y; x\} P_z\{z; x\} \qquad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

Q: Tasa de emisión de contaminante desde la fuente emisora.

Û: Velocidad efectiva del viento.

P_y P_z: Funciones de densidad de probabilidad de las distribuciones laterales y verticales, respectivamente.

AERMOD tiene en cuenta una función de densidad de probabilidad (pdf) tradicional para las condiciones de dispersión laterales y verticales cuando la capa limite tiene un comportamiento estable, y en condiciones convectivas laterales. La distribución convectiva vertical es tomada como no gaussiana, asumiendo un comportamiento de reflexión de la pluma de contaminante. En este sentido, la forma de computación del

modelo es dependiente de las características de estabilidad atmosféricas propias de la zona de estudio.

En este sentido, el modelo AERMOD puede ser descrito en términos de las condiciones atmosféricas que caracterizan la zona de estudio.

Función de concentración en condiciones estables en la capa limite (SBL):

$$C_s\{x,y,z\} = \left(\frac{Q}{\sqrt{2\pi}\tilde{u}\sigma_{zs}}\right) F_y \sum_{m=-\infty}^{\infty} \left[e^{\left(-\frac{(z-h_{es}-2mz_{eff})^2}{2\sigma_{zs}^2}\right)} + e^{\left(-\frac{(z+h_{es}+2mz_{eff})^2}{2\sigma_{zs}^2}\right)} \right]$$

Función de concentración en condiciones convectivas en la capa limite (CBL):

$$C_c\{x_r,y_r,z_r\} = C_d\{x_r,y_r,z_r\} + C_r\{x_r,y_r,z_r\} + C_p\{x_r,y_r,z_r\}$$

Siendo:

Contribución directa de la fuente:

$$C_d\{x,y,z\} = \left(\frac{Q\, f_p}{\sqrt{2\pi}\tilde{u}}\right) F_y \sum_{j=1}^{2} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \frac{\lambda_j}{\sigma_{zj}} \left[e^{\left(-\frac{(z-\Psi_{dj}-2mz_i)^2}{2\sigma_{zj}^2}\right)} + e^{\left(-\frac{(z+\Psi_{dj}+2mz_i)^2}{2\sigma_{zj}^2}\right)} \right]$$

$$\Psi_{dj} = h_s + \Delta h_d + \frac{\overline{wx}}{u}$$

Contribución indirecta de la fuente:

$$C_r\{x,y,z\} = \left(\frac{Q\, f_p}{\sqrt{2\pi}\tilde{u}}\right) F_y \sum_{j=1}^{2} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \frac{\lambda_j}{\sigma_{zj}} \left[e^{\left(-\frac{(z-\Psi_{rj}-2mz_i)^2}{2\sigma_{zj}^2}\right)} + e^{\left(-\frac{(z+\Psi_{rj}+2mz_i)^2}{2\sigma_{zj}^2}\right)} \right] \therefore \Psi_{rj} = \Psi_{dj} + \Delta h_i$$

Contribución por penetración de la fuente:

$$C_p\{x,y,z\} = \left(\frac{Q\ (1-f_p)}{\sqrt{2\pi}\tilde{u}\sigma_{zp}}\right) F_y \sum_{m=-\infty}^{\infty} \left[e^{\left(-\frac{(z-h_{ep}-2mz_{eff})^2}{2\sigma_{zp}^2}\right)} + e^{\left(-\frac{(z+h_{ep}+2mz_{eff})^2}{2\sigma_{zp}^2}\right)} \right]$$

Donde:

Z_{eff}: Altura de capa de mezcla efectiva

$\square_y$ $\square_z$: Coeficientes de dispersión lateral y vertical, respectivamente.

□h: Altura de elevación de la pluma de contaminante.

En este sentido, AERMOD utiliza el preprocesador AERMET para determinar las condiciones que caracterizan la atmosfera a nivel de superficie y a diferentes alturas con respecto al suelo, para determinar las condiciones de dispersión que mejor describen el comportamiento de transporte. Para esto, se toma como información de entrada registros horarios mediante sondeos a 10 metros del suelo, suministrados por el modelo WRF MMIF 4.0, tanto a nivel de superficie como a nivel de altura (los sondeos utilizan como información de entrada los registros horarios del modelo GFS de la NOAA). Debido a que en la zona de estudio no se encuentra una estación meteorológica cercana (a menos de 50 km con respecto a la zona de estudio), se realiza una verificación cualitativa de la información disponible en referencias nacionales tales como el Atlas Climatológico de Colombia para asegurar que las condiciones generales de transporte son adecuadas.

En el caso de la parametrización de las condiciones de escala por elevación de terreno con el preprocesador AERMAP se utiliza como información de referencia los registros del modelo digital de terreno (DEM) con resolución de aproximadamente 30 m (1,0 arc-segundo), corregido a 12,5 m por el Proyecto ALOS PALSAR Alaska Setellite Facility. El error vertical del archivo DEM es de menos de 4 metros. Este modelo determina la altura del suelo desnudo (incluyendo la profundidad de cuerpos de agua) a partir del proyecto ALOS Global Digital Surface Model de la Agencia Espacial Japonesa (JAXA). El comportamiento de coberturas de suelo se verifica con información del proyecto UE ESA Sentinel 2B, según los registros más recientes disponibles, teniendo en cuenta un nivel de nubosidad menor a 10% y con corrección atmosférica.

El modelo se configura mediante la etiqueta BACKGRND, con las concentraciones medias de cada contaminante monitoreado, asumiendo una condición anual cercana a la mediana de los registros medidos en campo (se realiza esta suposición teniendo en cuenta que para la época de lluvias fueron 36 días y para temporada seco 18 días, y en este caso, la distribución de probabilidad de las muestras presenta una tendencia sesgada, más no gaussiana normal). Para el caso de NO_2, dado que se tiene la posibilidad de contar con datos horarios, se ingresan los datos medios horarios.

En términos de representatividad temporal, el modelo tiene en cuenta la variabilidad de las tasas de emisión de las fuentes evaluadas a través de la ficha EMISFACT, teniendo en cuenta los lineamientos indicados en el Capítulo 4 del presente documento. Así mismo, en el caso de fuentes externas al proyecto (tráfico vehicular según resultados de aforo), el comportamiento de las emisiones varía en función del tiempo (emisiones no homogéneas por hora del día). Dicha variación se incluye mediante la ficha HROFDY como un ponderado de operación en función de la hora del día, teniendo en cuenta restricciones de control y de operación nominal.

5.1.9.5.3 Escenarios del modelo

5.1.9.5.3.1 Descripción de los escenarios

Teniendo en cuenta los requerimientos normativos asociados al proyecto, se ejecuta el modelo de dispersión para los escenarios línea base y construcción del proyecto (teniendo en cuenta condiciones sin y con medidas de control).

5.1.9.5.3.2 Evaluación de los escenarios

Dado que el modelo de dispersión en escenario de construcción adiciona fuentes de emisión con respecto a las determinadas en línea base, se espera un aumento de la concentración de los contaminantes evaluados en cercanía a las zonas de intervención, en función de la operación horaria de dichas emisiones.

De acuerdo con esto, se toman como referencia para valoración de las condiciones de inmisión los límites normativos estipulados por la Resolución 2254 de 2017 del MADS, Artículo 2, Parágrafo 1 (Tabla 5.1-193). Esta proyección no tiene en cuenta condiciones exógenas al proyecto, tales como condiciones de emisión desfavorables en actividades de fuentes móviles o fuentes fijas contiguas al área intervenida y que no pueden ser objetivo de caracterización, o condiciones regionales/continentales desfavorables con incidencia en la zona de estudio.

Tabla 5.1-193 Niveles máximos permisibles para los contaminantes criterio evaluados

CONTAMINANTE	NIVEL PERMISIBLE (µG/M^3)	TIEMPO DE EXPOSICIÓN
PM_{10}	50	Anual

CONTAMINANTE	NIVEL PERMISIBLE (µG/M^3)	TIEMPO DE EXPOSICIÓN
$PM_{2.5}$	75	24 horas
	25	Anual
	37	24 horas
SO_2	50	24 horas
	100	1 hora
NO_2	60	Anual
	200	1 hora
CO	5.000	1 hora
	35.000	8 horas

Fuente: (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017)

5.1.9.5.3.3 Contraste de escenarios

Debido a que los resultados presentados por el modelo de dispersión en forma gráfica a modo de mapas tipo ráster, se refiere a las concentraciones más altas presentadas (en el presente estudio se configura mediante la etiqueta TENTH a presentar lo que se consideraría como el percentil 98[40] de los valores resultantes en función del tiempo de exposición evaluado menor a un año, siendo un valor más refinado que el presentado por la etiqueta FIRST) en el periodo estadístico de 1 año de información meteorológica, el comportamiento de los mapas de isoconcentración en los tiempos de exposición más cortos puede presentar una alta variación, bien sea por la cercanía de los receptores de cálculo a las fuentes de emisión o condiciones meteorológicas específicas que promueven sobreestimaciones en los cálculos.

En tal caso, los resultados en tiempos de exposición anuales presentan la información más cercana a la media estadista del grupo de datos calculado (teniendo en cuenta que es poco probable encontrar un comportamiento de “campana de Gauss” en este

[40] *Se utiliza el percentil 98 en los tiempos de exposición cortos (1 hora y 24 horas) teniendo en cuenta las siguientes razones:*

- *El uso del máximo absoluto (percentil 100) es tendiente a reportar las condiciones de estabilidad más atípicas y menos probables (concentraciones superiores a P_{100} tienden al 0% siendo poco realistas frente a datos medidos), mientras que el percentil 98 mostraría un escenario más conservador con una probabilidad menor al 2% (siendo un valor máximo atípico más probable y realista de acuerdo con la literatura).*
- *En términos de precedentes, dado que Colombia no cuenta con una guía de modelación de calidad del aire se toman como guía de referencia los manuales de modelación y reporte para comparación normativa estadounidenses, los cuales usan el percentil 98 para valoración de $PM_{2.5}$ y NO_2 en tiempos menores a un año (24 horas y una 1 hora, respectivamente). Así mismo, a nivel nacional existe el precedente de modelación indicado por la Resolución 1541 de 2013 MADS, que, para el caso de mezcla olorosa, para establecer condiciones máximas criticas (condición más restrictiva de comparación en términos de gestión de riesgo) utiliza el percentil 98 de todas las horas modeladas.*
- *Teniendo en cuenta estos elementos y para mantener homogeneidad en la información, se toma la comparación de la condición más alta estimada (condición menos favorable) por el modelo en los tiempos más cortos con el mismo criterio de P_{98}. Esto no implica modificaciones en las concentraciones modeladas por cuanto la información ingresada al modelo no cambia, sino un reporte más acorde a un escenario conservador de gestión de riesgo. Igualmente, cabe recordar que la valoración de cumplimiento basa su descripción mediante el promedio aritmético o el promedio geométrico (dependiendo el caso). Dicho descriptor se valora con la concentración simulada a tiempo de exposición anual, aunque también puede ser descrita mediante la mediana de los valores modelados, siendo correspondiente a P_{50}. Así mismo, es usual revisar condiciones de rangos típicos mediante los descriptores P_{25} y P_{75} y su correspondiente rango IQR.*
- *Se elimina la posibilidad de usar otros valores percentiles de forma arbitraria.*

tipo de variables), y por tanto pueden ser tomados como referencia para evaluar posibles cambios en el tiempo respecto a incrementos o no de niveles de concentración esperados.

5.1.9.5.4 Análisis de resultados

5.1.9.5.4.1 Mapas de dispersión

Al finalizar los cálculos de modelo de dispersión de contaminantes, AERMOD puede ser programado para presentar los resultados en cada uno de los receptores establecidos, de modo que se puedan presentar y analizar de forma gráfica. Para este estudio, AERMOD fue programado para mostrar las concentraciones en el percentil 98 para tiempos de exposición cortos (1 hora, 8 horas, y 24 horas) y concentración promedio anual de los parámetros PM10, PM2.5, SO2, NO2 y CO, según corresponda de acuerdo con normatividad, con el fin de verificar las condiciones de inmisión tomando como referencia de análisis la norma de calidad del aire, Resolución 2254 de 2017 MADS.

Para esto se crean archivos de texto plano en los cuales se especifica la ubicación espacial de cada uno de los receptores, y su resultado correspondiente. Para la elaboración de los mapas de dispersión, se interpolan los resultados de cada uno de los receptores utilizando el método “Thin plate spline” a través del software SAGA 2.3.2, para finalmente exportar los resultados en formato shapefile mediante el software de Sistema de Información Geografía QGIS 3.16.

5.1.9.5.4.2 Resultados por escenario

De acuerdo con la información suministrada por el modelo de dispersión, se presentan los resultados (Tabla 5.1-194, Tabla 5.1-195 y Tabla 5.1-196) correspondientes a las máximas concentraciones para tiempos de exposición menores a 24 horas (percentil 98) y concentración promedio anual, según los tiempos de exposición establecidos por la norma nacional de calidad del aire, para los parámetros PM_{10}, $PM_{2.5}$, SO_2, NO_2 y CO. En el Anexo 5.1.8.4 Modelo Aire se encuentran los mapas de isoconcentración de cada uno de los parámetros correspondientes según la normatividad nacional.

Tabla 5.1-194 Niveles máximos de inmisión (percentil 98) – Línea base

Parámetro	Concentración diaria (µg/m³)	Este (m)	Norte (m)	Concentración anual (µg/m³)	Este (m)	Norte (m)	Concentración 1 hora (µg/m³)	Este (m)	Norte (m)	Concentración 8 horas (µg/m³)	Este (m)	Norte (m)
PM_{10}	24,9	4.804112	2.726.713	22,9	4.804.112	2.726.713	---	---	---	---	---	---
$PM_{2.5}$	8,74	4.803.780	2.726.079	8,9	4.804.112	2.726.713	---	---	---	---	---	---
SO_2	0,011	4.804.507	2.727.466	---	---	---	0,08	4.804.112	2.726.713	---	---	---
NO_2	---	---	---	35,2	4.804.112	2.726.713	64,9	4.804.112	2.726.713	---	---	---
CO	---	---	---	---	---	---	99,5	4.804.112	2.726.713	20,3	4.804.112	2.726.713

Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

Tabla 5.1-195 Niveles máximos de inmisión (percentil 98) – Etapa de construcción con medidas de control

Parámetro	Concentración diaria (µg/m³)	Este (m)	Norte (m)	Concentración anual (µg/m³)	Este (m)	Norte (m)	Concentración 1 hora (µg/m³)	Este (m)	Norte (m)	Concentración 8 horas (µg/m³)	Este (m)	Norte (m)
PM_{10}	94,1	4.802.490	2.726.290	62,4	4.803.090	2.726.290	---	---	---	---	---	---
$PM_{2.5}$	25,1	4.803.390	2.727.490	12,9	4.803.090	2.726.290	---	---	---	---	---	---
SO_2	2,25	4.802.490	2.726.290	---	---	---	24,9	4.802.490	2.725.690	---	---	---
NO_2	---	---	---	57,8	4.802.790	2.726.290	519,1	4.802.490	2.725.690	---	---	---
CO	---	---	---	---	---	---	223,6	4.803.309	2.727.774	41,6	4.802.490	2.726.290

Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

Tabla 5.1-196 Niveles máximos de inmisión (percentil 98) – Etapa de construcción sin medidas de control

Parámetro	Concentración diaria (µg/m³)	Este (m)	Norte (m)	Concentración anual (µg/m³)	Este (m)	Norte (m)	Concentración 1 hora (µg/m³)	Este (m)	Norte (m)	Concentración 8 horas (µg/m³)	Este (m)	Norte (m)
PM_{10}	492,8	4.802.490	2.725.690	283,1	4.803.090	2.726.290	---	---	---	---	---	---
$PM_{2.5}$	61,4	4.802.490	2.725.690	37,3	4.803.090	2.726.290	---	---	---	---	---	---
SO_2	7,42	4.802.490	2.725.690	---	---	---	62,8	4.803.090	2.726.290	---	---	---
NO_2	---	---	---	112,8	4.802.490	2.725.690	1.263	4.803.090	2.726.290	---	---	---
CO	---	---	---	---	---	---	571,6	4.803.090	2.726.290	149,8	4.802.790	2.726.290

Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

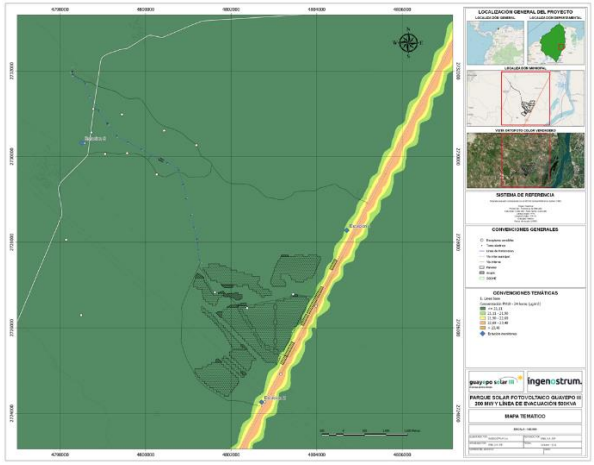
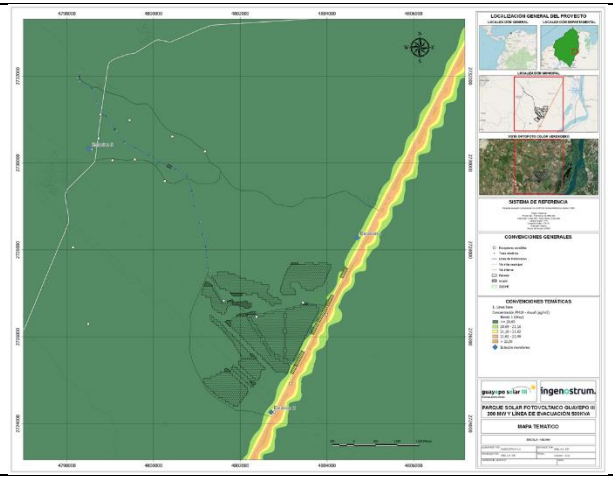
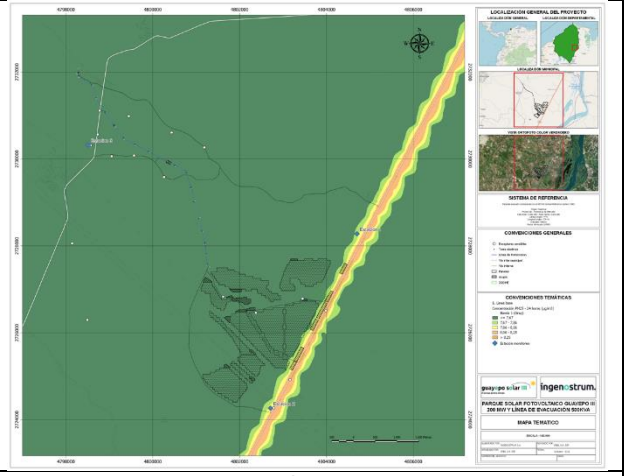
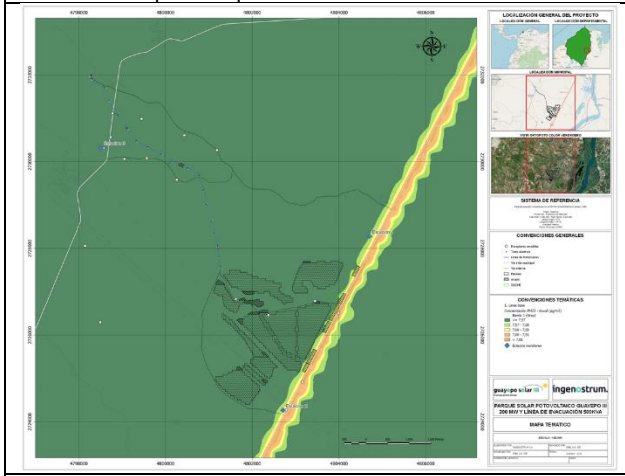
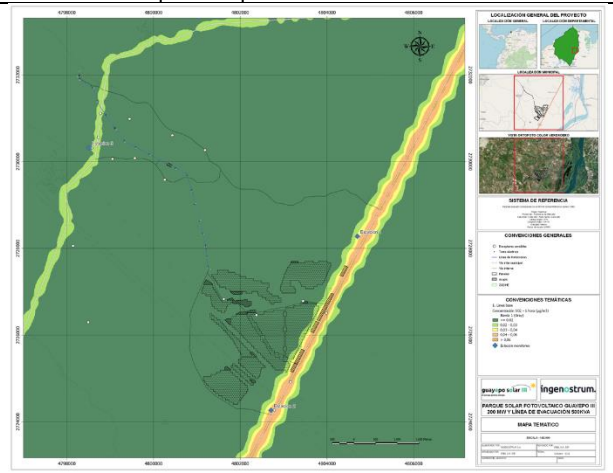
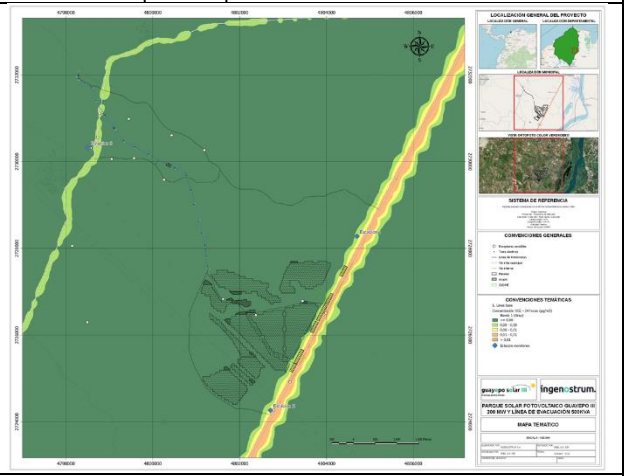
De acuerdo con los resultados del modelo, el punto con mayor concentración de contaminantes en la etapa de obras civiles corresponde a la coordenada 4.803.090 m Este - 2.726.290 m Norte, ubicado al interior del parque solar. Los niveles de concentración de PM_{10} con exposición 24 horas máximos (98 percentil) y anual sin medidas de control sugieren un valor por encima de los límites permisibles, mientras que las condiciones con medidas de control sugieren condiciones máximas 24 horas y anual promedio por debajo del límite normativo.

Lo anterior sugiere, para las condiciones con control, que el valor máximo 24 horas determinado por el modelo para material particulado tiende a ser un valor atípico, frente al valor promedio anual el cual tiende a ser un descriptor cercano a la media estadística en dicho punto (teniendo en cuenta un comportamiento sesgado de la función de probabilidad de la de concentración en este tipo de parámetros).

Los contaminantes SO_2 y CO evaluados no presentan valores máximos o promedio superiores a los limites normativos nacionales para obras civiles con medidas de control. En el caso de NO_2 en tiempos de exposición cortos muestra un valor máximo por encima de la norma, que en contraste al valor promedio anual sugieren ser un valor atípico. El modelo sugiere que los mayores aportantes de gases de combustión son fuentes de emisión externas al proyecto (tráfico vehicular con predominancia de motos).

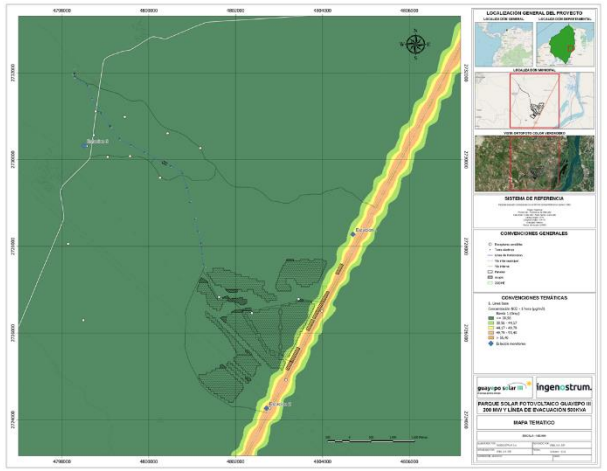
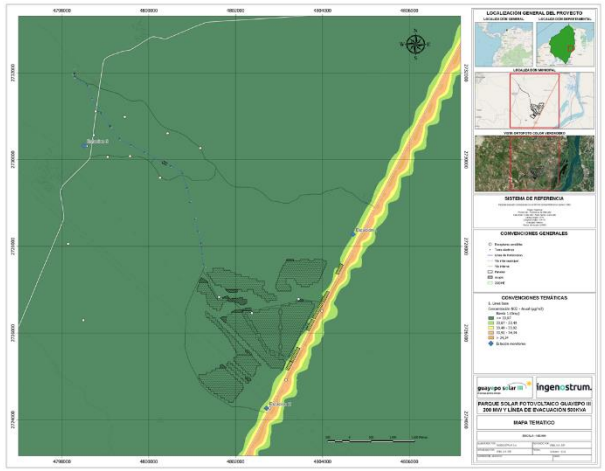
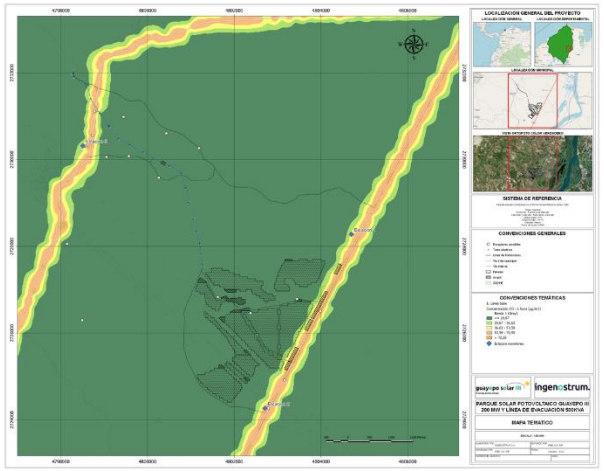
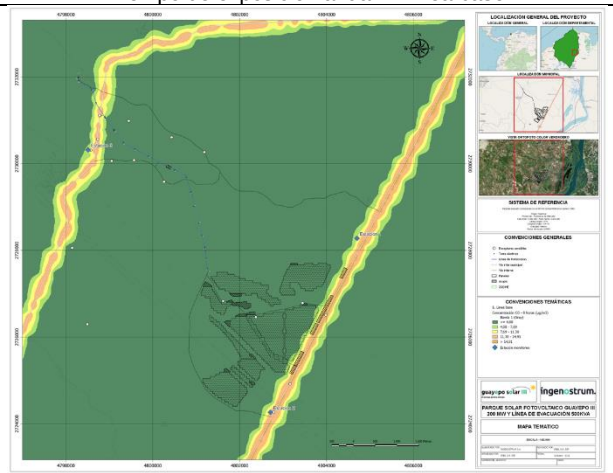
En la Tabla 5.1-197 y la Tabla 5.1-198 (línea base), Tabla 5.1-199 y Tabla 5.1-200 (etapa de construcción sin medidas de control) y Tabla 5.1-201 y Tabla 5.1-202 (etapa de obras civiles con medidas de control) se presentan los resultados gráficos del comportamiento global de la dispersión de los contaminantes criterio evaluados en el presente estudio, con los tiempos de exposición indicados según normatividad para cada uno de los parámetros evaluados, teniendo como base de cálculo el valor estimado por el modelo (calculado en el percentil 98 para los tiempos de exposición menores a un año y promedio aritmético para tiempos de exposición anual), con el fin de determinar las áreas que pudiesen ser afectadas por condiciones de dispersión poco favorables.

Tabla 5.1-197 Resultados gráficos del comportamiento global de la dispersión de los contaminantes criterio evaluados escenario Línea base

		
Mapa Isoconcentración de PM_{10} (percentil 98) – Tiempo de exposición 24 horas – Línea base	Mapa Isoconcentración de PM_{10} – Tiempo de exposición anual – Línea base	Mapa de isoconcentración de PM2.5 (percentil 98) – Tiempo de exposición 24 horas – Línea base
		
Mapa de isoconcentración de $PM_{2.5}$ – Tiempo de exposición anual – Línea base	Mapa de isoconcentración de SO_2 (percentil 98) – Tiempo de exposición 1 hora – Línea base	Mapa de isoconcentración de SO_2 (percentil 98) – Tiempo de exposición 24 horas – Línea base

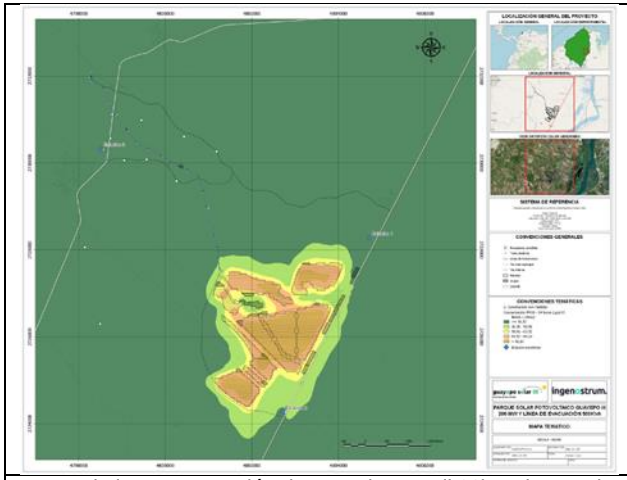
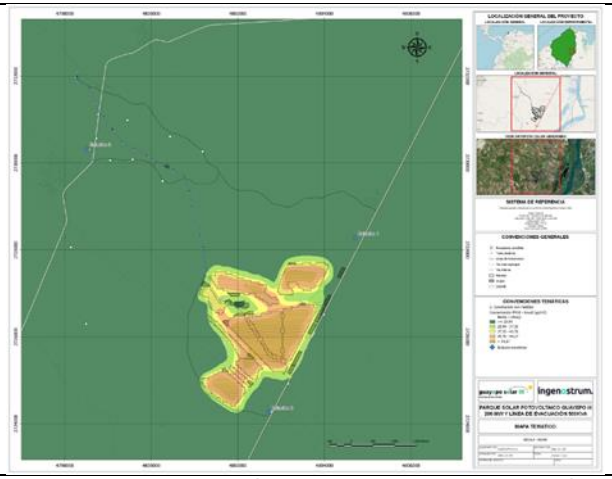
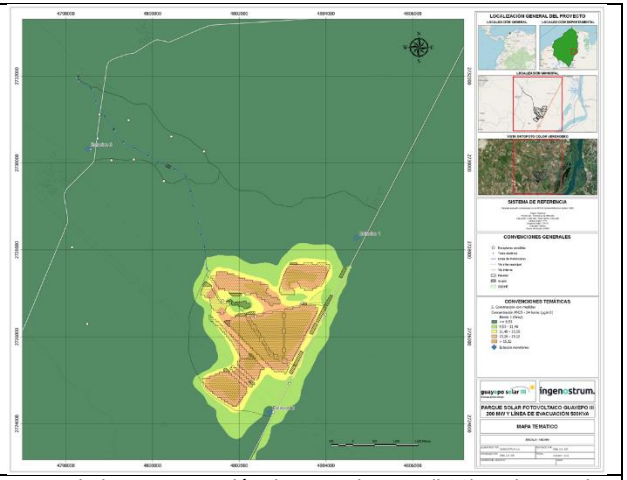
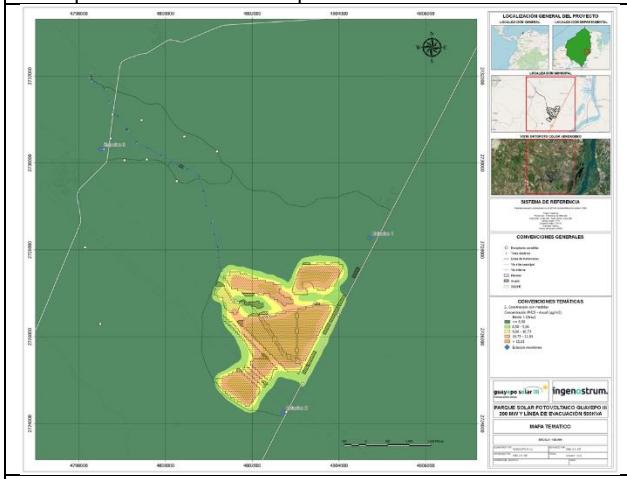
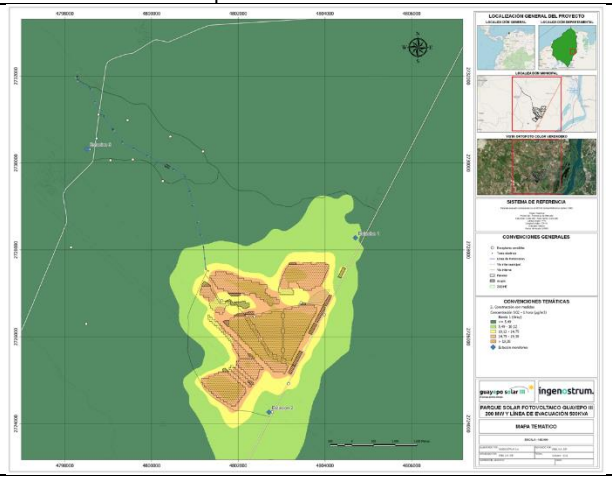
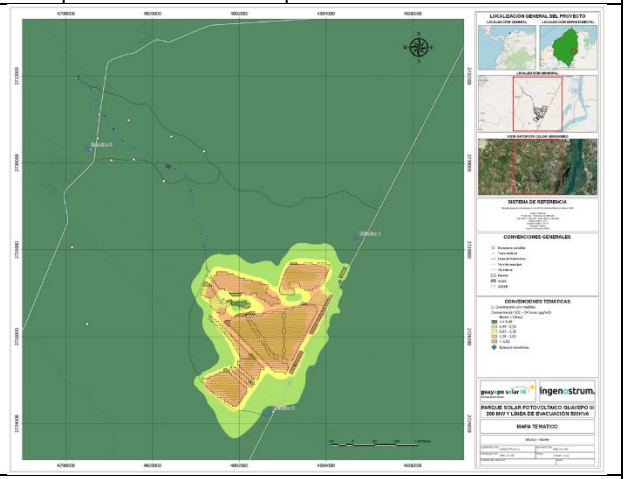
¡Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

Tabla 5.1-198 Resultados gráficos del comportamiento global de la dispersión de los contaminantes criterio evaluados escenario Línea base

		
Mapa de isoconcentración de NO_2 (percentil 98) – Tiempo de exposición 1 hora – Línea base	Mapa de isoconcentración de NO_2 – Tiempo de exposición anual – Línea base	Mapa de isoconcentración de CO (percentil 98) – Tiempo de exposición 1 hora – Línea base
		
	Mapa de isoconcentración de CO (percentil 98) – Tiempo de exposición 8 horas – Línea base	

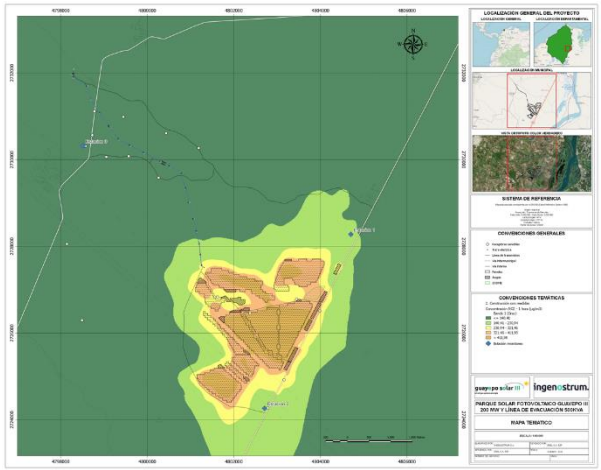
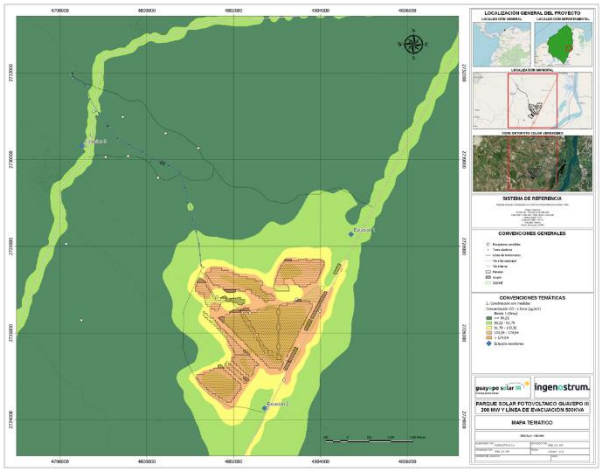
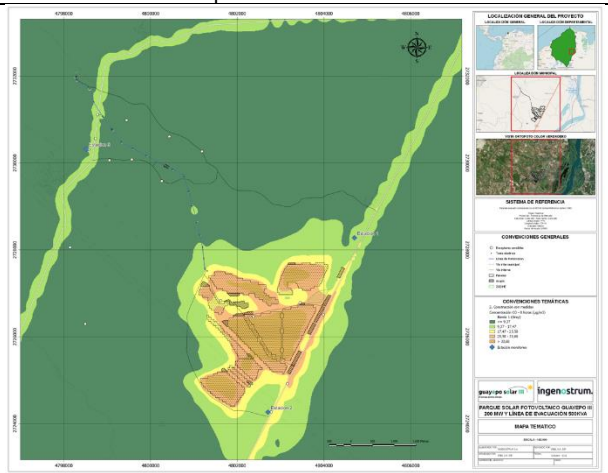
¡Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

Tabla 5.1-199 Resultados gráficos del comportamiento global de la dispersión de los contaminantes criterio evaluados escenario Obras civiles con control

		
Mapa de isoconcentración de PM_{10} (percentil 98) – Tiempo de exposición 24 horas – Etapa de Obras civiles con control	Mapa de isoconcentración de PM_{10} – Tiempo de exposición anual – Etapa de Obras civiles con control	Mapa de isoconcentración de $PM_{2.5}$ (percentil 98) – Tiempo de exposición 24 horas – Etapa de Obras civiles con control
		
Mapa de isoconcentración de $PM_{2.5}$ – Tiempo de exposición anual – Etapa de Obras civiles con control	Mapa de isoconcentración de SO_2 (percentil 98) – Tiempo de exposición 1 hora – Etapa de Obras civiles con control	Mapa de isoconcentración de SO_2 (percentil 98) – Tiempo de exposición 24 horas – Etapa de Obras civiles con control

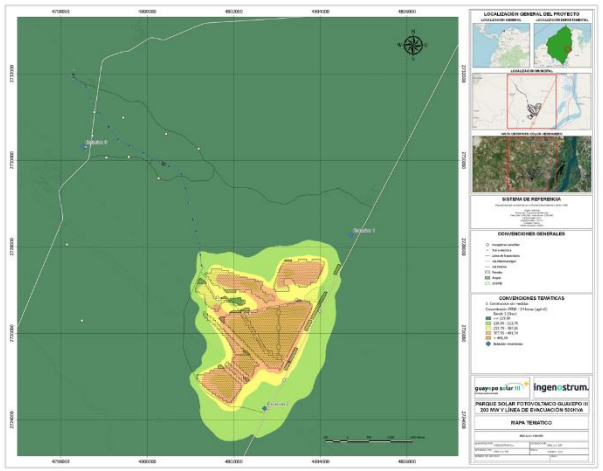
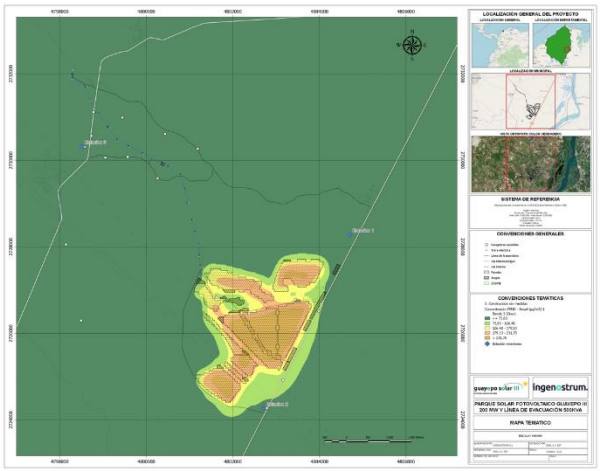
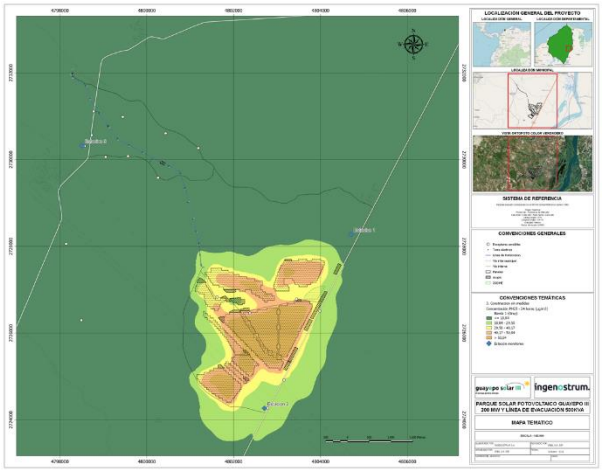
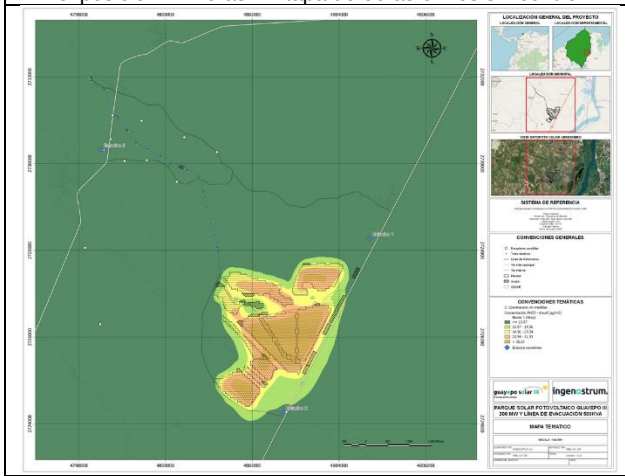
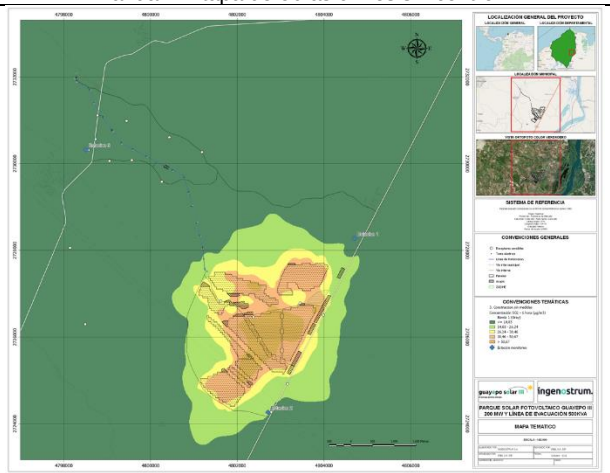
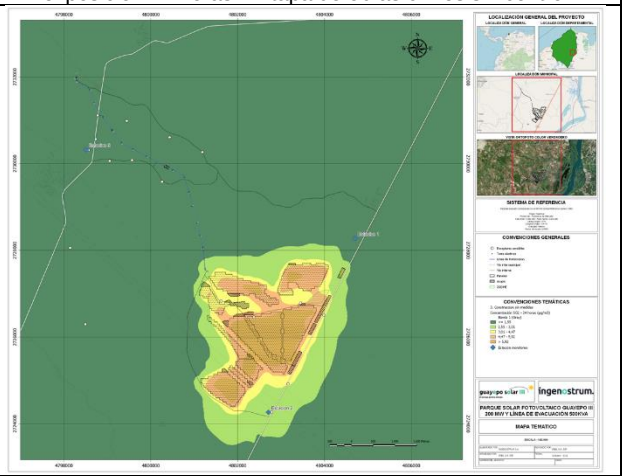
Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

Tabla 5.1-200 Resultados gráficos del comportamiento global de la dispersión de los contaminantes criterio evaluados escenario Obras civiles con control

		
Mapa de isoconcentración de NO_2 (percentil 98) – Tiempo de exposición 1 hora – Etapa de Obras civiles con control	Mapa de isoconcentración de NO_2 – Tiempo de exposición anual – Etapa de Obras civiles con control	Mapa de isoconcentración de CO (percentil 98) – Tiempo de exposición 1 hora – Etapa de Obras civiles con control
		
	Mapa de isoconcentración de CO (percentil 98) – Tiempo de exposición 8 horas – Etapa de Obras civiles con control	

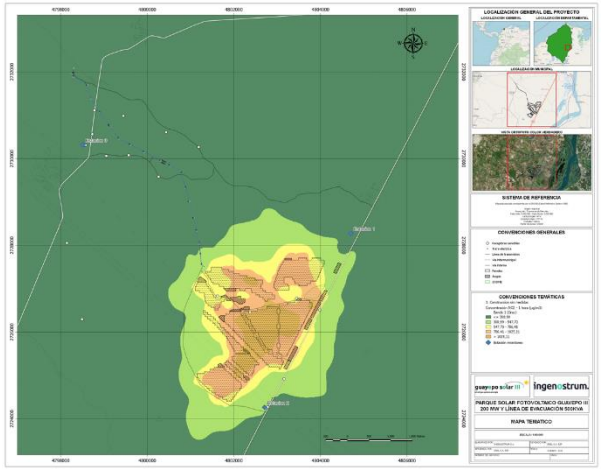
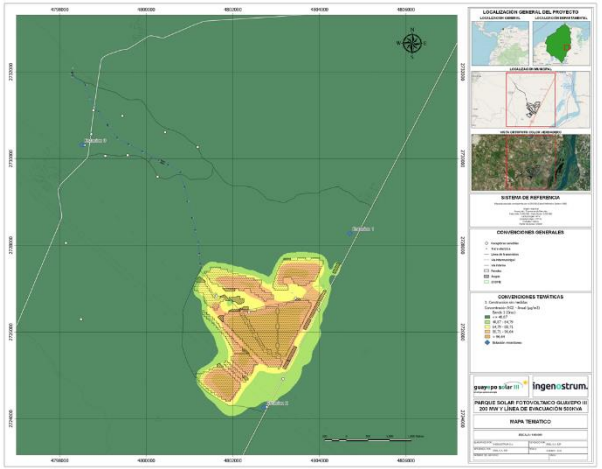
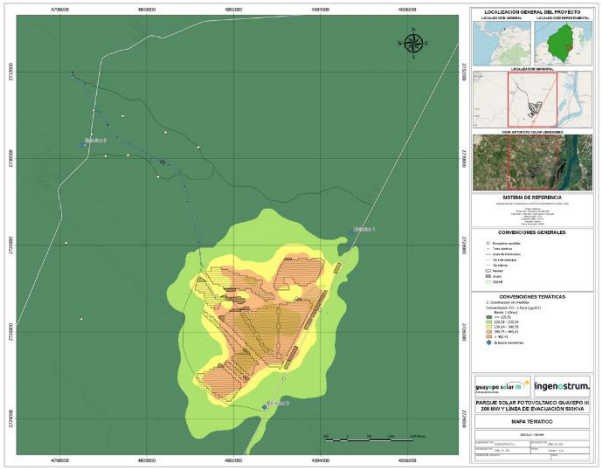
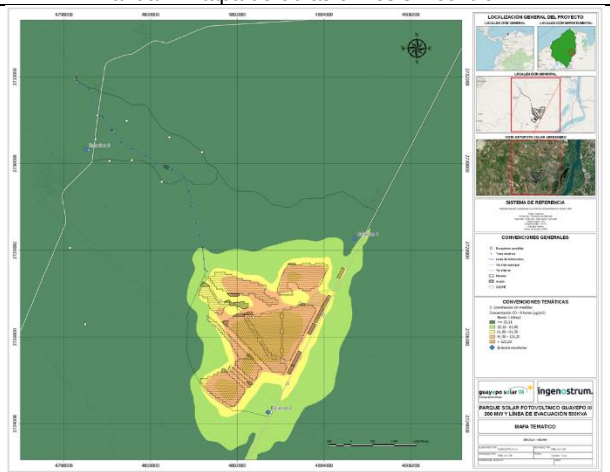
¡Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

Tabla 5.1-201 Resultados gráficos del comportamiento global de la dispersión de los contaminantes criterio evaluados escenario Obras civiles sin control

		
Mapa de isoconcentración de PM_{10} (percentil 98) – Tiempo de exposición 24 horas – Etapa de obras civiles sin control	Mapa de isoconcentración de PM_{10} – Tiempo de exposición anual – Etapa de obras civiles sin control	Mapa de isoconcentración de $PM_{2.5}$ (percentil 98) – Tiempo de exposición 24 horas – Etapa de obras civiles sin control
		
Mapa de isoconcentración de $PM_{2.5}$ – Tiempo de exposición anual – Etapa de obras civiles sin control	Mapa de isoconcentración de SO_2 (percentil 98) – Tiempo de exposición 1 hora – Etapa de obras civiles sin control	Mapa de isoconcentración de SO_2 (percentil 98) – Tiempo de exposición 24 horas – Etapa de obras civiles sin control

¡Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

Tabla 5.1-202 Resultados gráficos del comportamiento global de la dispersión de los contaminantes criterio evaluados escenario Obras civiles sin control

		
Mapa de isoconcentración de NO_2 (percentil 98) – Tiempo de exposición 1 hora – Etapa de obras civiles sin control	Mapa de isoconcentración de NO_2 – Tiempo de exposición anual – Etapa de obras civiles sin control	Mapa de isoconcentración de CO (percentil 98) – Tiempo de exposición 1 hora – Etapa de obras civiles sin control
		
	Mapa de isoconcentración de CO (percentil 98) – Tiempo de exposición 8 horas – Etapa de obras civiles sin control	

Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

Según los resultados calculados, los valores encontrados en el modelo tienden a ser mayores en cercanías a los puntos de operación de la infraestructura del proyecto (en especial para las emisiones de partículas en tiempos de exposición cortos sin medidas de control). Dichas concentraciones tienden a estar enfocadas dentro del predio intervenido, mientras que las concentraciones fuera del predio se reducen a condiciones por debajo de norma a distancias mayores a 100 metros con respecto al límite predial, siendo el escenario de obras civiles con medidas de control el que más se acercaría a una operación realista del proyecto.

De acuerdo con los resultados, la concentración promedio 24 horas de material particulado presentaría niveles menores al límite normativo fuera del polígono de intervención, con una condición de índice de calidad del aire promedio del tipo “buena” (tomando concentración de corte de 52 □g/m3 para PM10, según lo indicado por la Resolución 2254 de 2017 MADS).

5.1.9.5.5 Conclusiones

A partir de la evaluación de los escenarios de simulación de la dispersión de contaminantes, se determina que el aporte de contaminantes fuera de los polígonos de intervención del proyecto presentaría concentraciones promedio cercanas y menores a los límites permisibles nacionales de calidad del aire indicados en la Resolución 2254 de 2017/MADS.

De acuerdo con los resultados del modelo, las concentraciones de contaminantes tienden a estar por debajo de los límites permisibles para los escenarios de obras civiles con medidas de control para los diferentes contaminantes evaluados en tiempos de exposición promedio, teniendo presente que la evaluación desarrollada tiene en cuenta una condición crítica esperada (operación paralela de actividades en toda la región de análisis). En el desarrollo del proyecto se esperan condiciones más conservadoras (y por ende con un aporte menor de contaminantes), teniendo en cuenta la secuencialidad de las operaciones en cada una de las áreas de intervención del proyecto.

Se desarrollaron los mapas de dispersión de contaminantes para cada uno de los tiempos de exposición indicados según normatividad vigente, los cuales muestran un comportamiento de dispersión predominante hacia el sur del proyecto, con una mayor concentración de contaminantes en el escenario de obras civiles sin medidas de control, frente al escenario con medidas de control.

La evaluación de las concentraciones de contaminantes hacia el exterior del polígono del proyecto sugiere concentraciones promedio de material particulado por debajo de los límites permisibles, lo que sugiere un bajo impacto del proyecto sobre poblaciones cercanas.

5.1.9.6 Modelación matemática de Ruido

Se desarrolló la modelación de las condiciones de aporte de ruido ambiental a partir de estimativos de emisión de las actividades del proyecto sobre el área de influencia, en los periodos diurno – nocturno, para los escenarios línea base antes de intervención del proyecto, construcción de la infraestructura del proyecto con medidas de control y sin medidas de control, con el fin de verificar el comportamiento de los niveles de presión sonora aportados alrededor de puntos críticos de recepción de ruido en la zona de intervención, teniendo en cuenta dentro del análisis las condiciones de fondo típicas, las cuales son evaluadas mediante campaña de monitoreo en campo.

Los mapas donde se muestran los resultados del modelo industrial se realizaron con la referencia ISO 9613-2 a una octava, la cual permite establecer el comportamiento de atenuación durante la propagación de las ondas sonoras una vez son generadas por una fuente específica industrial. El modelo permite incorporar dentro del área de influencia la presencia de obstáculos, elevación del terreno y condiciones meteorológicas generales que puedan afectar la propagación y atenuación de las ondas sonoras.

5.1.9.6.1 Modelo de la propagación y atenuación sonora

Los modelos de propagación y atenuación permiten establecer el comportamiento espacial y temporal de la generación de impactos frente a determinadas condiciones de presencia o no de actividades acústicas contaminantes, así como su comportamiento frente a la presencia de obstáculos, fenómenos de refracción y reflexión de las ondas sonoras, siendo una herramienta adecuada para generar escenarios soporte de planes de acción a riesgos negativos.

Bajo este contexto, a continuación, se muestra el proceso de modelación del comportamiento de propagación y atenuación de las ondas sonoras, basado en un análisis de las fuentes de generación de ruido en la zona de estudio.

En este sentido, los modelos de propagación y atenuación de ruido (a través de mapas de ruido), permiten establecer curvas indicativas de la intensidad del sonido que se genera y se dispersa sobre el área de influencia de una fuente, permitiendo conocer que estructuras y que zonas tendrán mayor afectación por aumento de presión sonora.

5.1.9.6.1.1 Descripción del método

5.1.9.6.1.1.1 Modelo de propagación y atenuación sonora

Para determinar el comportamiento de propagación y atenuación del sonido usa el método ISO 9613-2:1996 (fuentes industriales), el cual consiste en un algoritmo (con evaluación de frecuencias medias entre 31 Hz y 8 kHz) para calcular la atenuación del sonido que se origina desde una fuente emisora con respecto a un receptor. En este sentido, la metodología tiene en cuenta los siguientes elementos:

- Divergencia geométrica.
- Absorción atmosférica.
- Efecto del suelo.
- Reflexión sobre superficies.

- Proyección a través de obstáculos.

Este método es aplicable a una variedad de fuentes de ruido y entornos, entre los que se encuentran fuentes industriales, actividades de construcción y otras actividades a nivel del suelo. Para su aplicación, se requiere conocer diferentes parámetros respecto a la geometría de la fuente y del ambiente, las características del suelo, y la fuerza de emisión de la fuente en términos de niveles de potencia a un octavo de banda para las direcciones relevantes de propagación.

El nivel de presión sonora en la ubicación de un receptor debe ser calculado para cada fuente puntual, para cada frecuencia en 1/3 de octava de banda (entre 31 Hz a 8 kHz), teniendo en cuenta la Ecuación 5.1-9.

Ecuación 5.1-9

$$L = L_W + D_C + C_B - A$$

Donde:

- L_W Potencia sonora de la fuente a un octavo de banda, en decibeles.
- C_B Corrección por tiempo de actividad de las fuentes emisoras.
- D_C Corrección por directividad de la fuente por posibles desviaciones sobre la dirección de propagación del sonido, en decibeles. Toma como referencia un índice de directividad D_i y un índice de propagación D_Ω en ángulos menores a 4π radianes. Para fuentes omnidireccionales en espacios abiertos, D_C = 0 dB.
- A Atenuación a un octavo de banda que ocurre durante la propagación desde una fuente hasta un receptor, en decibeles.

El componente de atenuación se calcula en términos de la Ecuación 5.1-10

Ecuación 5.1-10

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc}$$

Donde:

- A_{div} Es la atenuación debido a divergencias geométricas A_{atm} Es la atenuación debido a absorción atmosférica.
- A_{gr} Es la atenuación por efecto del suelo.
- A_{bar} Es la atenuación debido a barreras.
- A_{misc} Es la atenuación debido a otros efectos (follaje, estructuras, entre otros).

El valor del nivel de presión sonora equivalente continúo ponderado en la banda A debe ser obtenido mediante la suma de las contribuciones de cada una de las fuentes de emisión y para cada octavo de banda, de acuerdo con la Ecuación 5.1-11.

Ecuación 5.1-11

$$L_{AT} = 10\,log_{10}\left\{\sum_{i=1}^{n}\left[\sum_{j=1}^{B} 10^{0,1(L_{ij}+A_j)}\right]\right\} - C_{met}$$

Donde:

- n Es el número de contribuciones i (fuentes y rutas de propagación).
- j es un índice indicativo de las frecuencias a 1/3 octava (entre 31 Hz a 8 kHz).
- A_f Es el valor de corrección ponderado en la banda A.
- C_{met} Es la corrección teniendo en cuenta condiciones meteorológicas.

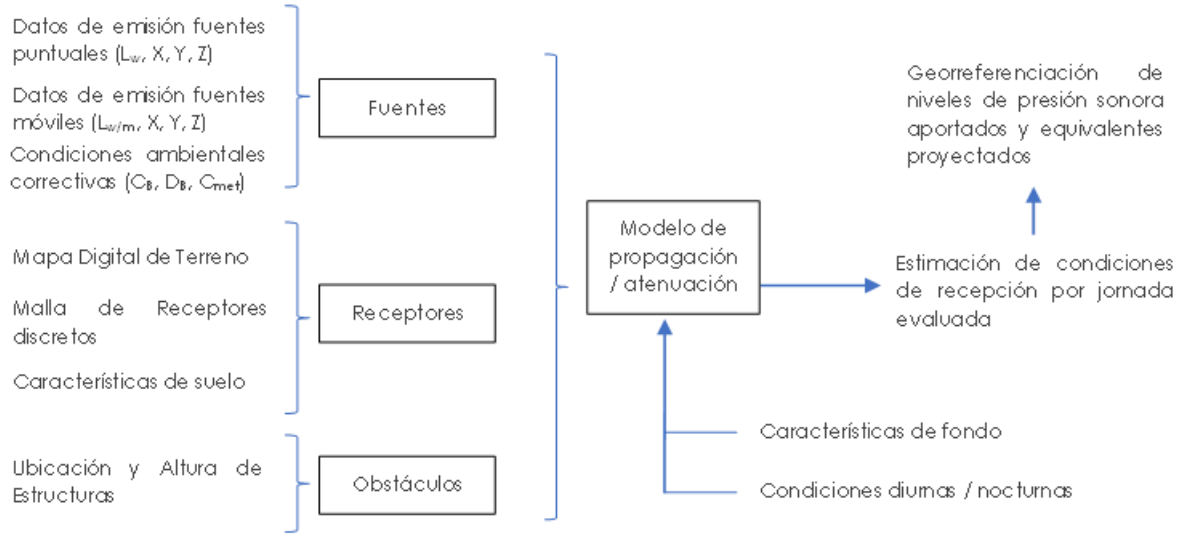
La suma de niveles de presión sonora entre dos fuentes mutuamente incoherentes se determina como según la Ecuación 5.1-12

- **Ecuación 5.1-12**

- $$L_1 \oplus L_2 = 10\, log_{10}\left(10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}}\right)$$

En este sentido, para poder desarrollar el cálculo del comportamiento de propagación y atenuación, se requieren determinar las condiciones de ruido emitidas por las diferentes fuentes de emisión existentes en la zona de interés, en términos cartesianos con respecto a la ubicación del receptor y otras fuentes de emisión (bien sea estas coherentes o incoherentes entre sí).

Figura 5.1-224 Diagrama de proceso de modelación de propagación y atenuación sonora



Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

5.1.9.6.1.1.2 Modelo de emisión en fuentes de área

Las condiciones de potencia sonoras globales de una fuente de área en un campo abierto pueden ser parametrizadas mediante la Ecuación 5.1-13, basado en ISO 3744.

Ecuación 5.1-13

$$L_{AW/m^2} = \overline{L_p} - K_1 - K_2 + 10log_{10}\left(\frac{S}{S_0}\right)$$

Donde:

- L_p Nivel de presión sonora ponderado de las fuentes emisoras en el área.
- K_1 Factor de corrección por ruido de fondo (0 para entornos no controlados).
- K_2 Factor de corrección ambiental (0,5 para ambientes abiertos).
- S Área de la fuente en condiciones de campo abierto.
- S_0 Área de referencia (S_0 = 1 m^2).

5.1.9.6.1.1.3 Modelo de emisión en fuentes móviles (NMPB-Routes)

De acuerdo con el modelo NMPB, la potencia sonora de una vía puede ser estimada mediante la Ecuación 5.1-14.

Ecuación 5.1-14

$$L_{AWi} = L_{AW/m} + \Psi + 10\log_{10}(l_i) + R(j)$$

Donde:

- $L_{AW/m}$ Nivel de presión sonora por metro de longitud en un octavo de banda.
- Ψ Corrección asociada a las características de estado superficial de vía.
- l_i Longitud de la sección de la fuente lineal representada entre dos puntos.
- R(j) Valor espectral para un octavo de banda.

Tabla 5.1-203 Valores R(j) de acuerdo con estándar EN 1793-3

j	Octavo de banda (Hz)	R (dB(A))
1	125	-14,5
2	250	-10,2
3	500	-7,2
4	1.000	-3,9
5	2.000	-6,4
6	4.000	-11,4

Fuente: NMPB-Routes, 2008.

Tabla 5.1-204 Valores Ψ de acuerdo con estándar NMPB-Routes

CATEGORÍAS DE RUGOSIDAD DE SUPERFICIE	CORRECCIÓN Ψ		
VELOCIDAD (KM/H)	0-60	61-80	81-130
Superficie porosa	- 1 dB	- 2 dB	- 3 dB
Asfalto liso (concreto o masilla)	0 dB		
Cemento concreto o asfalto corrugado)	+ 2 dB		
Piedras con textura lisa	+ 3 dB		
Piedras con textura rugosa	+ 6 dB		

Fuente: Fuente: NMPB-Routes, 2008.

Ecuación 5.1-15

$$L_{AW/m} = [(E_{lv} + 10log_{10}Q_{lv}) \oplus (E_{hv} + 10log_{10}Q_{hv})] + 20$$

Donde:

- E_{lv} Emisión de sonido asociada a vehículos livianos (menor a 3,5 toneladas).
- E_{hv} Emisión de sonido asociada a vehículos pesados (menor a 3,5 toneladas).
- Q_{lv} Volumen de tráfico liviano en el intervalo de referencia.
- Q_{hv} Volumen de tráfico pesado en el intervalo de referencia.

Ecuación 5.1-16

$$E = L_w - 10log_{10}(V) - 50$$

Ecuación 5.1-17

$$L_w(V, R, p, a) = L_{roll}(V, R) \oplus L_{engine}(p, a)$$

Donde:

- L_{roll}Componente de emisión por contacto entre las llantas y la superficie del suelo.
- L_{engine} Componente de emisión asociado a la operación del motor del vehículo.
- V Velocidad de tránsito en vía (km/h)
- R Superficie de la vía.
- p Pendiente de la vía (%).
- a Tipo de flujo de tránsito.

Finalmente, los valores de cada uno de los componentes se determinan de acuerdo con lo sugerido en la Tabla 5.1-205 y Tabla 5.1-206.

Tabla 5.1-205 Datos de emisión de ruido asociados al componente L_{roll}

TIPO DE SUPERFICIE	VEHÍCULOS LIVIANOS	VEHÍCULOS PESADOS
R1	73,8 + 30,2 $\log_{10}$(V/90)	33,0 + 26,0 $\log_{10}$(V)
R2	77,7 + 31,5 $\log_{10}$(V/90)	26,6 + 31,0 $\log_{10}$(V)
R3	80,2 + 32,2 $\log_{10}$(V/90)	24,6 + 32,6 $\log_{10}$(V)

Fuente: NMPB-Routes, 2008.

Tabla 5.1-206 Datos de emisión de ruido asociados al componente L_{engine}

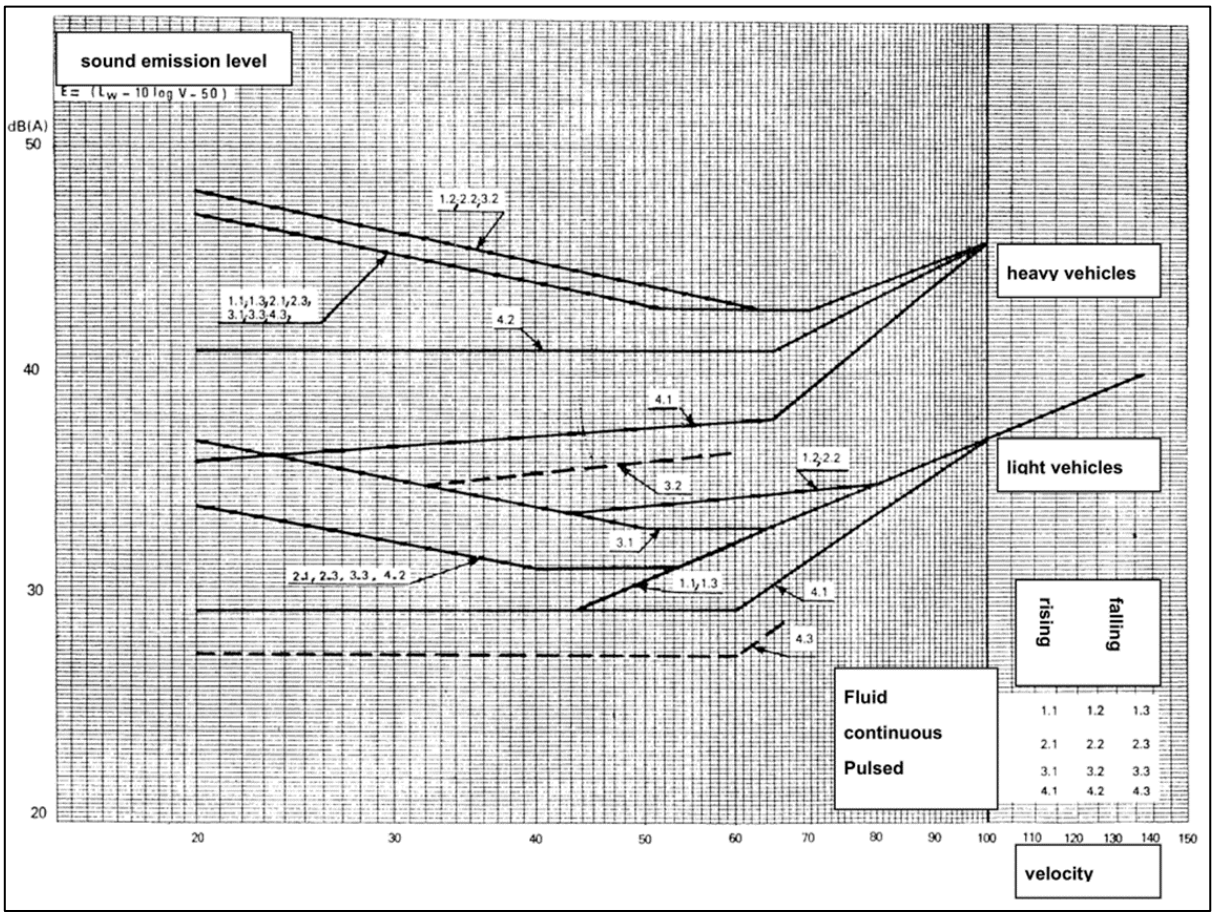
FLUJO	0% < PENDIENTE < 2%	ASCENDENTE 2% < PENDIENTE < 6%	DESCENDENTE 2% < PENDIENTE < 6%
LV – Continuo	61,6 dB(A)	61,6 + 2*(p-2)	61,6 + 1*(p-2)
LV – Acelerado	69,0 dB(A)	69,0 + 2*(p-2)	69,0 + 1*(p-2)
HV – Continuo	73,0 dB(A)	73,0 + 2*(p-2)	73,0 + 1*(p-2)

Fuente: NMPB-Routes, 2008.

En el caso de vehículos de dos ruedas (motocicletas usadas por la comunidad), incluidas en el escenario de línea base, se toma como base la directiva holandesa RMW 2002, la cual indica que la contribución de potencia sonora de una moto equivale a 1,25 veces la potencia de un vehículo liviano en la ponderación A.

El nomograma presentado en la Figura 5.1-225 resume el cálculo de los valores E indicados en el método de cálculo.

Figura 5.1-225 Nomograma para la determinación de los valores E_{lv} y E_{hv}



Fuente: NMPB-Routes, 2008.

5.1.9.6.1.2 Modelación de escenarios

A partir del método anterior, se realizó la modelación de tres (3) escenarios: Línea base, construcción con medidas de control y construcción sin medidas de control.

Para el caso de la línea base se consideraron las condiciones de tráfico típico de la vía aledaña al proyecto, en conjunto con mediciones de ruido realizadas en mayo de 2021 en horario diurno y nocturno, en jornada hábil y no hábil, considerando seis (6) puntos de monitoreo alrededor de la extensión del proyecto antes de desarrollarse intervención alguna, los cuales se describen en el Informe de Monitoreo de Ruido Ambiental del Laboratorio Ambiental SIAM ingeniería.

Para la modelación del escenario construcción con medidas de control, se tuvieron en cuenta el listado de actividades indicadas por la empresa para las áreas de construcción del proyecto, teniendo en cuenta condiciones de uso de equipos e insumos, tomando como condiciones de control el manejo horario de operaciones (siendo realizado en periodo diurno de 7:00 am a 6:00 pm, mientras que se conceptualiza la condición sin medidas de control a una operación 24/7).

Dichas actividades permiten estimar las condiciones de presión sonora esperadas, partiendo de las características técnicas de las fuentes de emisión y su localización con respecto a obstáculos y otras fuentes emisoras. Para las condiciones de modelación de los escenarios constructivos, el modelo se desarrolla asumiendo una actividad simultanea de todas las posibles fuentes al interior del predio, de modo que permita determinar una condición crítica eventual de impacto al entorno.

Cabe resaltar que la operación programada en el proyecto es del tipo secuencial entre actividades para el escenario constructivo en las diferentes áreas intervenidas y por tanto de menor intensidad en la realidad, así como dependiente de condiciones cambiantes en el tiempo con respecto a meteorología y fuentes externas de no control por parte del proyecto.

5.1.9.6.2 Características de la zona de modelado

5.1.9.6.2.1 Condiciones de fondo

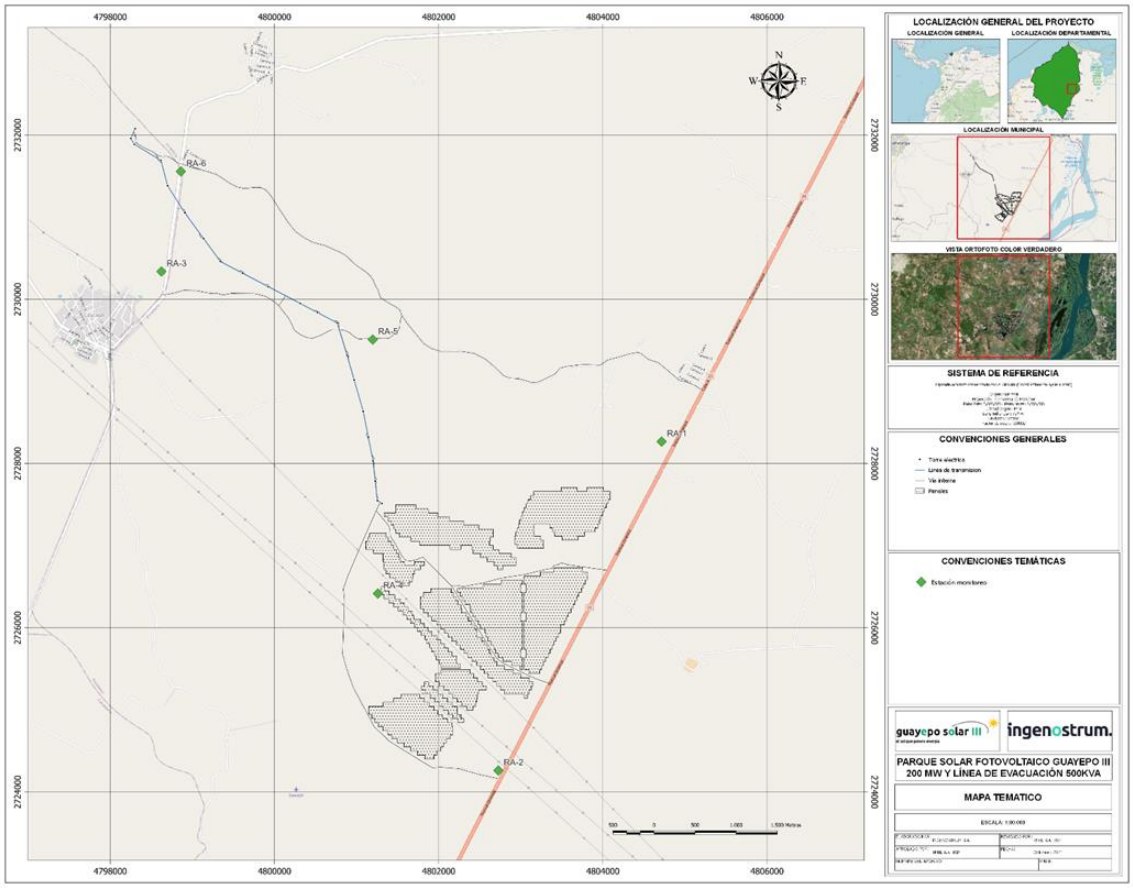
Para la valoración de la propagación y atenuación sonora se tomó como base la caracterización de ruido ambiental realizada en el área de estudio entre el 6 y 10 de mayo de 2021 y entre el 8 al 11 de agosto de 2021 por la empresa SIAM ingeniería. La medición se realizó en seis (6) puntos distribuidos alrededor del proyecto. En la Tabla 5.1-207 y en la Figura 5.1-228 se presenta la localización de los puntos de monitoreo, y cuyos resultados son usados para determinar el comportamiento de fondo en la zona de estudio.

Tabla 5.1-207 Localización puntos de monitoreo de ruido

PUNTOS DE MEDICIÓN	COORDENADAS CTM12 ORIGEN NACIONAL	
	ESTE (M)	NORTE (M)
R1	4.804.716	2.728.267
R2	4.802.726	2.724.261
R3	4.798.621	2.730.339
R4	4.801.259	2.726.417
R5	4.801.196	2.729.510
R6	4.798.859	2.731.558

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Figura 5.1-226 Localización puntos de monitoreo de ruido ambiental



Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

Tabla 5.1-208 Niveles de presión sonora según resultados de monitoreo ruido ambiental

Punto de medición	Periodo diurno día hábil (L_{eq})	Periodo nocturno día hábil (L_{eq})	Periodo diurno día No hábil (L_{eq})	Periodo Nocturno día No Hábil (L_{eq})
R1	47,4	56,7	46,6	55,8
R2	53,3	66,6	53,9	61,0
R3	52,2	46,7	52,9	49,5
R4	42,0	41,2	41,6	57,1
R5	62,0	51,0	59,4	44,7

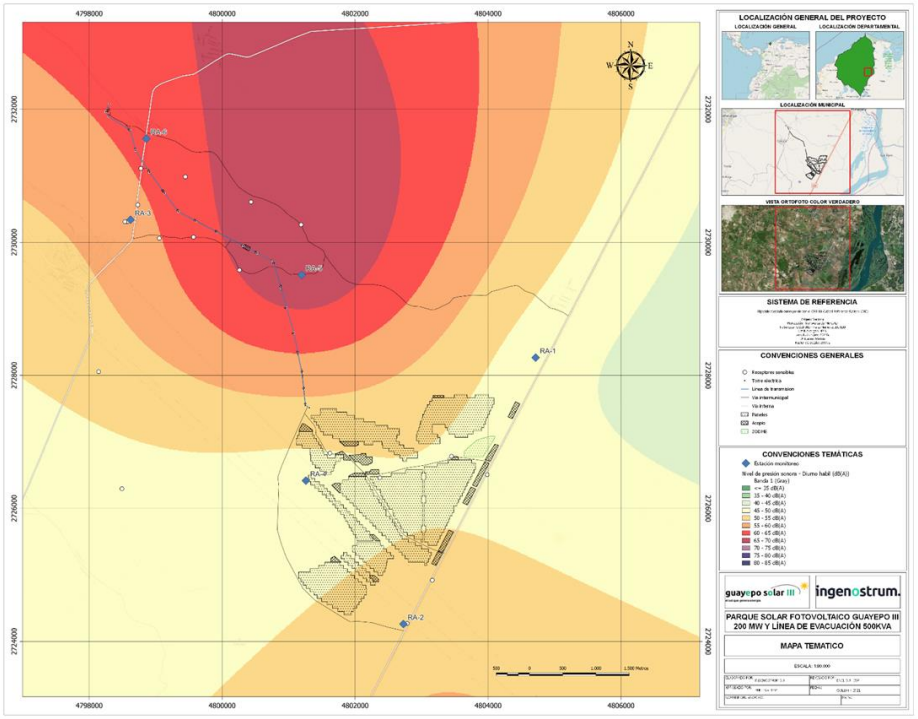
Punto de medición	Periodo diurno día hábil (L_{eq})	Periodo nocturno día hábil (L_{eq})	Periodo diurno día No hábil (L_{eq})	Periodo Nocturno día No Hábil (L_{eq})
R6	58,7	46,5	61,4	49,3
Media logarítmica	61,7	65,4	62,6	61,9

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

A través del análisis de mediciones de campo realizadas para el levantamiento de la línea base de ruido, se encuentra que las condiciones de fondo presentan valores máximos de 61,7 dB(A) en periodo diurno hábil, 65,4 dB(A) en periodo nocturno hábil, 62,6 dB(A) en periodo diurno no hábil y 61,9 dB(A) en periodo nocturno no hábil (Figura 5.1-227**,** Figura 5.1-228**,** Figura 5.1-229 **y** Figura 5.1-230).

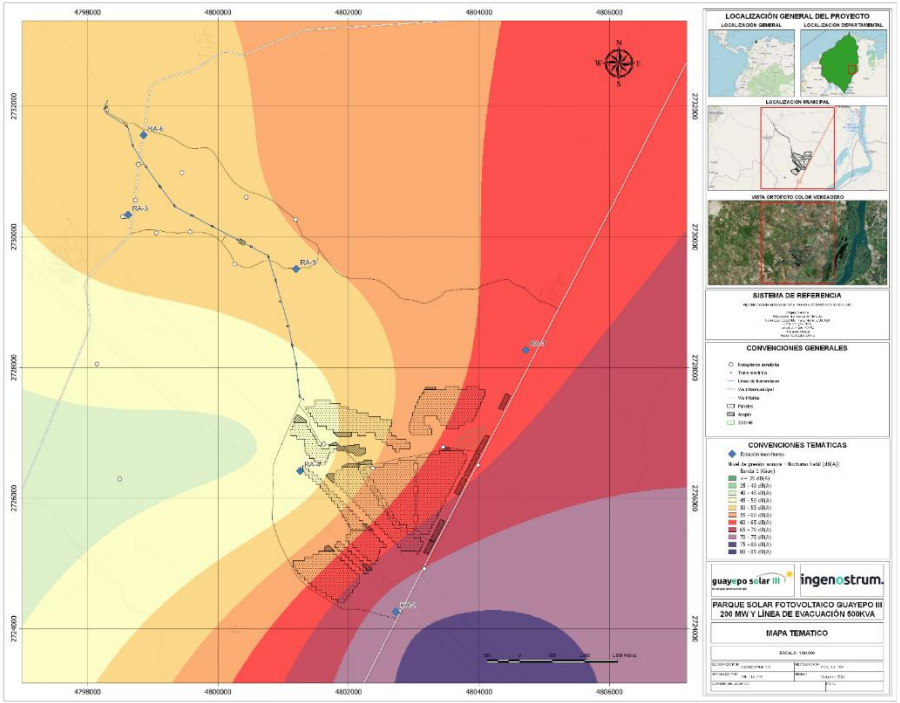
Los valores medios logarítmicos para cada uno de los periodos sugieren un valor medio diurno de 62,2 dB(A) y un valor medio nocturno de 64,0 dB(A). Este dato será tomado en cuenta, en términos comparativos con los escenarios proyectados, siendo el valor de condición de ruido de fondo característico de la zona de estudio, considerado como típico del entorno (condiciones de ruido de origen humano y de origen no humano).

Figura 5.1-227 Ruido de fondo – Periodo Diurno día hábil



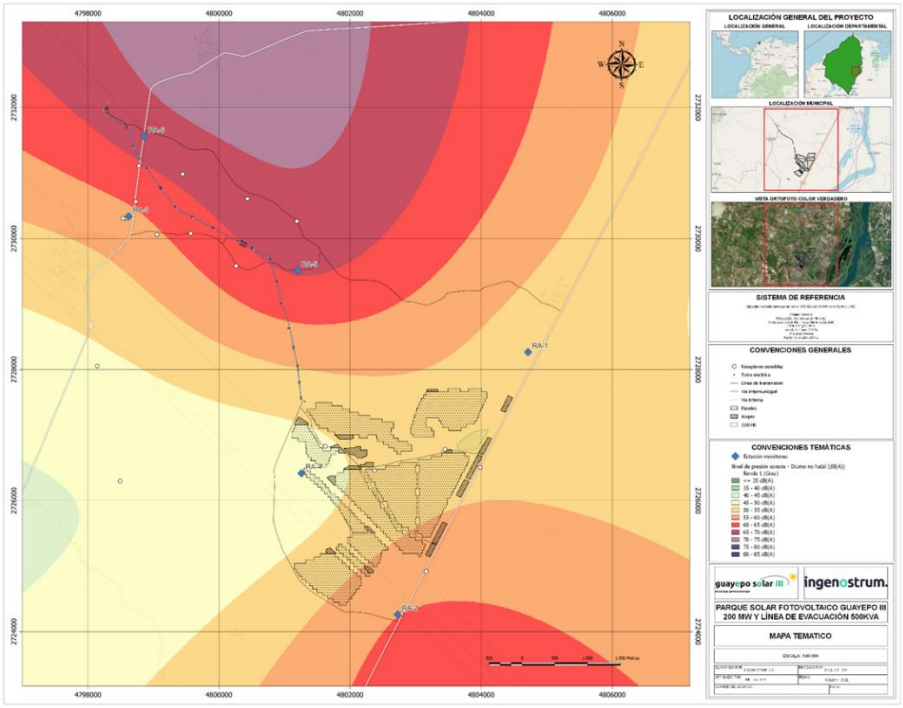
Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

Figura 5.1-228 Ruido de fondo – Periodo Nocturno día hábil



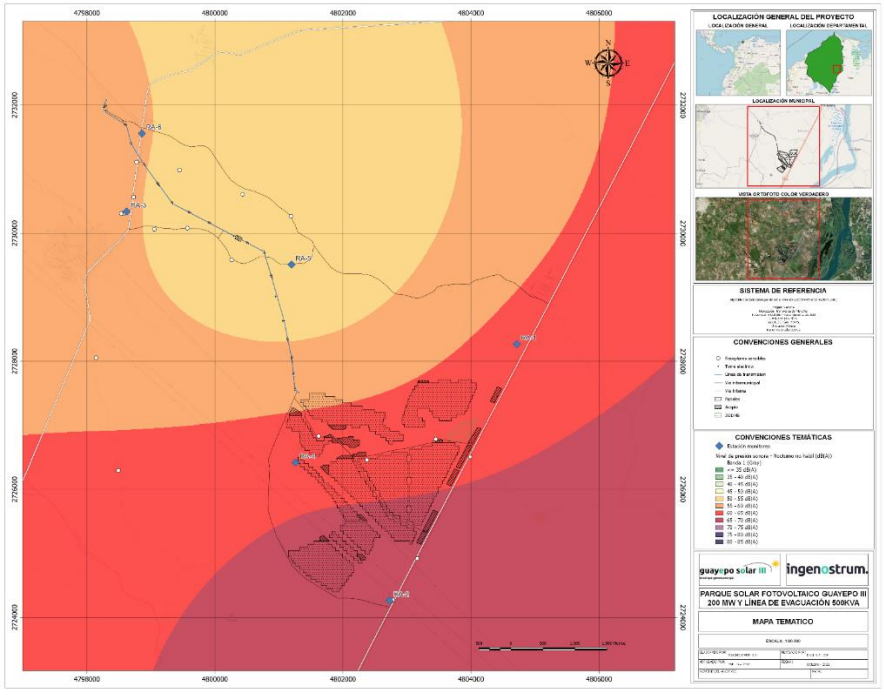
Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

Figura 5.1-229 Ruido de fondo – Periodo Diurno día no hábil



Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

Figura 5.1-230 Ruido de fondo – Periodo Nocturno día no hábil



Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

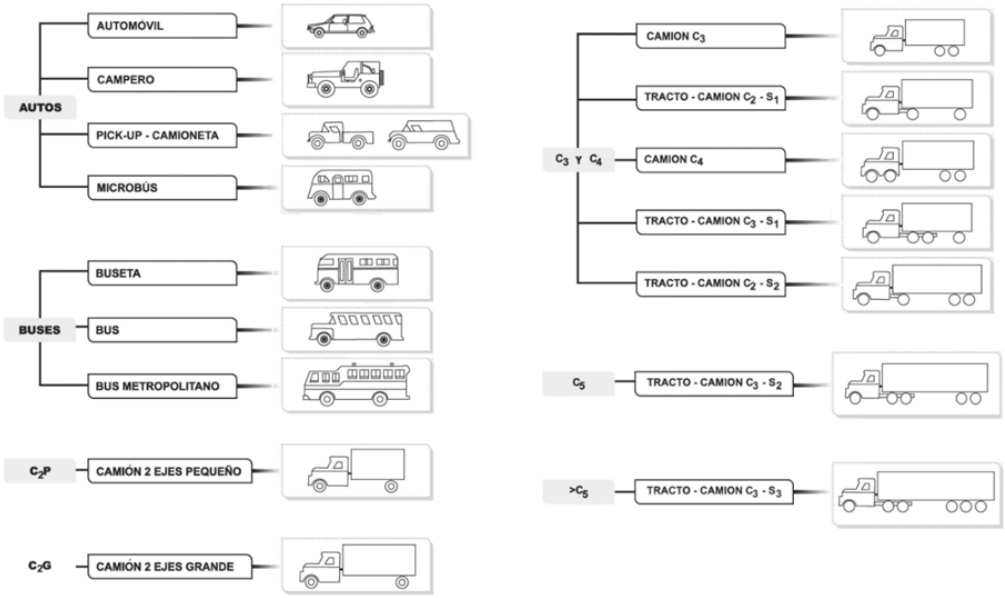
5.1.9.6.2.2 Fuentes de emisión en línea base

Para la evaluación del escenario de línea base se utilizaron los resultados del monitoreo de ruido y el aforo vehicular realizado en la zona de estudio.

Para la determinación de las condiciones de tráfico vehicular típicas de la zona de estudio, se toma como base el aforo vehicular desarrollado durante 48 horas continuas en 2 puntos aforados. Dicho aforo permite determinar las condiciones típicas esperadas según estado de vía y tipo de acceso (por ejemplo, vía sin pavimentar, vías afirmadas, vías en mal estado o caminos).

Se utiliza información técnica determinada en campo de demanda de tráfico normalizado en términos de TDP de vehículo siguiendo la clasificación por tipología INVIAS (Figura 5.1-231)[41].

Figura 5.1-231 Categorías de vehículos según clasificación nacional



Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021) a partir de información de INVIAS, 2015.

[41] *Con el fin de homologar los factores de emisión con respecto a la tipología INVIAS, se toma autos a cualquier vehículo liviano (excepto motos), motos como categoría motos, buses como categoría buses, camiones pequeños como categorías C-2P y C-2G, camiones medianos como categorías C-3-4 y camiones grandes como categorías C-5 y >C-5.*

Tabla 5.1-209 Caracterización punto aforo 1

Nombre del punto	Coordenadas CTM12 Origen Nacional		Aspectos		Registro Fotográfico
Punto 1 Ruta 25 – Troncal de Occidente	E:	4.805.265	Clima	Cálido	
	N:	2.729.011			
	m.s.n.m.	18	Fuentes potenciales	Vía pavimentada principal con tráfico mixto público.	

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

Tabla 5.1-210 Caracterización punto aforo 2

Nombre del punto	Coordenadas CTM12 Origen Nacional		Aspectos		Registro Fotográfico
Punto 2 Vía Ponedera - Cascajal	E:	4.798.885	Clima	Cálido	
	N:	2.731.843			
	m.s.n.m.	21	Fuentes potenciales	Vía pavimentada intermunicipal con tráfico mixto público.	

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

La vía se caracteriza por ser vía pavimentada, ancho de vía de 7.30 metros, con tipo de tráfico vehicular del tipo continuo en trayecto principal y sin pendientes pronunciadas (gradiente menor a 2%, en sentido ascendente y/o descendente en el área de análisis) de acuerdo con registro de modelo de elevación de terreno.

El modelo permite estimar las condiciones de ruido generadas por fuentes móviles, según las condiciones de terreno, velocidad de tránsito y número de vehículos de acuerdo con el estándar NMPB-Routes 2008, el cual sugiere las condiciones de emisión indicadas en la Tabla 5.1-211.

Tabla 5.1-211 Características de potencia sonora en vía intermunicipal

PUNTO AFORO	PERIODO	FRECUENCIA (Hz)						$L_{W/M}$
		125	250	500	1.000	2.000	4.000	
1	Nivel de emisión diurno (dB(A))	56,3	60,6	63,6	66,9	64,4	59,4	70,9
	Nivel de emisión nocturno (dB(A))	47,2	51,5	54,5	57,8	55,3	50,3	61,9
2	Nivel de emisión diurno (dB(A))	53,8	58,1	61,1	64,4	61,9	56,9	68,4
	Nivel de emisión nocturno (dB(A))	45,1	49,4	52,4	55,7	53,2	48,2	59,7

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.9.6.2.3 Fuentes de emisión en fase constructiva

El proyecto tiene contemplado el uso de las unidades de equipamiento y maquinaria amarilla por día para las actividades de obras civiles (incluyendo operativas y de back Up) (Tabla 5.1-212).

Tabla 5.1-212 Maquinaria y equipo utilizados durante actividades constructivas del proyecto

ACTIVIDAD	MAQUINARIA	CANTIDAD	POTENCIA (KW)
Conformación de vías de acceso	Vibro-Compactador	4	28
Preparación y movimiento de Tierras	Retroexcavadora de ruedas	6	187
	Excavadora de Oruga	4	200
	Volquetas	10	201
Obras Civiles Configuración Del Parque y línea eléctrica	Camión Grúa	3	191
	Camión Carrotanque	3	201
	Camión	2	201
	Camión Pluma	3	201
	Volquetas	5	201
	Camión porta contenedor	40	201
	Camión Mixer	6	402
Sistema de respaldo	Generador portátil 6 kVA	6	4
	Generador instalación de Faenas de 10 KVA	1	8

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

De acuerdo con el inventario de áreas a intervenir indicados por la empresa, se tendrán distribuida las fuentes indicadas en el polígono de intervención del proyecto (asociado al área de paneles y área de acopio).

Para las fuentes generadoras de ruido asociadas a actividades de obras civiles (actividades de manipulación de maquinaria, movimiento de equipos, movilización

y transporte) se toma como referencia la base de datos IMAGINE[42] y DEFRA[43] para actividades constructivas, siendo caracterizadas las zonas de intervención como fuentes de área (Tabla 5.1-213). A continuación, se resume la intensidad de ruido de cada una de las actividades planteadas en el proyecto.

Tabla 5.1-213 Potencia sonora de operaciones industriales de ruido

FASE CONSTRUCTIVA		NIVELES DE POTENCIA SONORA (DB(A))							
ACTIVIDAD HOMOLOGADA	L_W (DB(A))	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K
Buldócer (20 Ton)	83	79	77	76	74	68	67	60	59
Retroexcavadora (8 Ton)	76	74	66	64	64	63	60	59	50
Excavadora (22 Ton)	86	75	84	78	74	70	68	64	61
Grúa	71	68	71	68	62	66	66	55	46
Compactadora	79	72	75	81	78	74	70	63	55
Camión	79	85	74	78	73	73	74	67	63
Camioneta (30 km/h)	92	64	67	73	80	89	87	79	69
Motorgenerador diésel	88	56	76	78	81	83	81	78	72

Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021) a partir de DEFRA e IMAGINE, 2021

Con el fin de determinar las condiciones promedio de emisión en las áreas intervenidas, se determina la potencia ponderada sonora $L_{wA/m2}$. Dado que la distribución de los equipos en toda la zona a intervenir estará supeditada a las actividades específicas que se den en cada subetapa de construcción, la conceptualización de las emisiones se da en unidades de parcelas de 100 x 100 m (10.000 m^2), de modo que en cada parcela se idealiza una operación conjunta de cada uno de los equipos indicados aplicando la Ecuación 5. En el caso de los motogeneradores, dado que su función es dar apoyo energético como una fuente estacionaria, se localizan de forma centralizada dentro de los polígonos de intervención.

De esta manera, se determinan las potencias sonoras ponderadas para cada una de las áreas en mención, con base en la disponibilidad de área (área finita), siendo poco probable que todas las fuentes presentadas puedan operar en cada área al

[42] Incluida en el software de modelación de ruido iNoise, a través del aplicativo SourceDB+.
[43] DEFRA. 2005. Update of noise database for prediction of noise of construction and open sites. Nota: Se toma la condición del equipo más crítico en la generación de ruido entre los utilizados para actividades constructivas.

mismo tiempo, sino de manera distribuida. En la Tabla 5.1-214 se presentan los valores de potencia sonora determinados para cada actividad.

Tabla 5.1-214 Potencia sonora conjunta de operaciones industriales de ruido

FASE CONSTRUCTIVA		$L_{AW/M2}$ - NIVEL DE POTENCIA SONORA (DB(A))							
ZONA	$L_{W/M2}$ (DB(A))	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K
Zona de intervención	53,3	46,3	45,7	45,4	45,0	49,8	47,9	41,4	34,0
Tránsito camiones en vías (<50 km/h) ($L_{w/m}$)	79,0	85,0	74,0	78,0	73,0	73,0	74,0	67,0	63,0

Fuente: (INGENOSTRUM Colombia S.A.S, 2021)

5.1.9.6.2.4 Condiciones de atenuación

De acuerdo con el modelo ISO 9613-2, se tiene en cuenta un valor de factor de rugosidad de 0,03, correspondiente a terrenos llanos (sin presencia de obstáculos significativos tales como bosques o montañas). Se idealiza una emisión de las fuentes a 1,5 metros con respecto al suelo y se utiliza un factor G de 1,0 (condiciones de terreno con superficies blandas).

Teniendo en cuenta las condiciones de temperatura, humedad y presión atmosférica medias, se tienen las siguientes características de absorción atmosféricas establecidas por el modelo ISO 9613-2 Tabla 5.1-215.

Tabla 5.1-215 Características de absorción atmosférica

FRECUENCIA (HZ)								
31	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
0,02	0,06	0,24	0,90	2,90	6,78	11,66	21,55	56,71

@ 299,95 K - 100,6 kPa - 83% HR (valores medios determinados en Sección 5.1 del presente documento)
Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

Para determinar las condiciones de atenuación por condiciones meteorológicas de las ondas sonoras en las fuentes emisoras, se tiene en cuenta la dirección predominante del viento (proveniente 343º a 3,0 m/s en periodo diurno y 345º a 3,3 m/s en periodo nocturno) mediante el método CONCAWE, teniendo en cuenta condiciones de estabilidad atmosférica del tipo D en periodo diurno y B en periodo nocturno.

5.1.9.6.2.5 Construcción de mapas de isófonas

El modelo incorpora dentro del área de influencia la presencia de obstáculos (por ejemplo, estructuras y bloques de vegetación densa), elevación de terreno a través del modelo de elevación de terreno (DEM) y sus características físicas. Los nodos receptores permiten simular el nivel de ruido medido por un receptor hipotético con un tiempo de exposición de 1 hora equivalente durante una actividad conjunta de las fuentes, simulando de esta manera un evento crítico de exposición de ruido. Estos nodos receptores se configuran para evaluar el nivel de ruido recibido a 4,0 m de altura, con operación temporal operativa entre las 7:00 am y las 6:00 pm.

Una vez computado el aporte de las fuentes sonoras se verifica la existencia de incompatibilidades matemáticas por cálculos nulos o con error. Siguiente, se realiza la interpolación espacial de la información a partir del comportamiento de cada receptor. Las curvas generadas representan la intensidad equivalente frente a receptores vecinos. Para este procedimiento se hace uso del método “Thin Plante Spline” a una resolución de 10,0 metros, siendo útil en el análisis local de los datos debido a la distribución regular de cada uno de los receptores, así como la distribución normalizada de los datos de intensidad.

La curva de nivel generada se representa según el Anexo 5 de la Resolución 627 de 2007 MAVDT (actual MADS) en el sistema de información geográfica (SIG) para su análisis respecto a la presencia de obstáculos y condiciones geográficas significativas, así como otros cálculos de interés.

Cabe resaltar que un modelo matemático como el usado para el presente estudio es una aproximación teórica que permite evaluar de forma integral el comportamiento de un fenómeno (en este caso, físico) y por ende no es una composición perfecta del comportamiento de dicho fenómeno.

La presencia de errores o divergencias en el comportamiento medido frente al comportamiento modelado pueden ser generadas por procesos caóticos dinámicos

(meteorología atípica, actividades humanas no rutinarias en la zona, cambios en los patrones de trabajo por condiciones de fuerza mayor, entre otros).

En tal caso, el resultado del modelo permite establecer valores de referencia respecto a las fuentes cercanas a receptores críticos por uso de suelo restringido, como zonas residenciales o ecosistemas protegidos, de modo que se pueda hacer una planificación clara entre cada uno de los grupos de interés frente a una molestia por ruido.

5.1.9.6.3 Resultados

Una vez establecido los escenarios del modelo de ruido dentro de la zona de influencia del proyecto, a continuación, se presentan los resultados de modelación. El modelo no tiene en cuenta aportes de ruido de actividades ajenas al proyecto, siendo estas condiciones determinadas con base en la información medida en campo e incluidas como condiciones de fondo en la proyección matemática. Los resultados de modelación de aporte presentados muestran la condición más crítica posible, asumiendo una operación conjunta de todos los procesos operativos esperados en el proyecto para cada escenario.

De acuerdo con los resultados presentados se puede observar que los niveles aportados con mayor intensidad se concentran en el área próxima a la vía intermunicipal, con un aporte máximo de 24,8 dB(A) en periodo diurno y en periodo nocturno.

Por otro lado, las proyecciones de ruido para escenario constructivo con medidas de control, el aporte diurno presenta un valor máximo de 79 dB(A) en el centro del polígono, mientras que en el perímetro de los polígonos de intervención se encuentran valores cercanos a 60 dB(A). Se esperan niveles inferiores a los 50 dB(A) a distancias no mayores a los 50 metros respecto al límite de intervención de los polígonos correspondientes a paneles y puntos de acopio, mientras que en los puntos de torre en la línea de evacuación se esperan valores menores a 50 dB(A) a distancias de 75 metros en cercanías a las plazas de tendido.

Finalmente, para el escenario constructivo sin medidas, el aporte diurno y nocturno presenta un valor máximo de 81 dB(A) en el centro del polígono, mientras que en el perímetro de los polígonos de intervención se encuentran valores cercanos a 70 dB(A). Se esperan niveles inferiores a los 50 dB(A) a distancias no mayores a los 100 metros respecto al límite de intervención de los polígonos correspondientes a paneles, puntos de acopio y puntos de torre en la línea de evacuación.

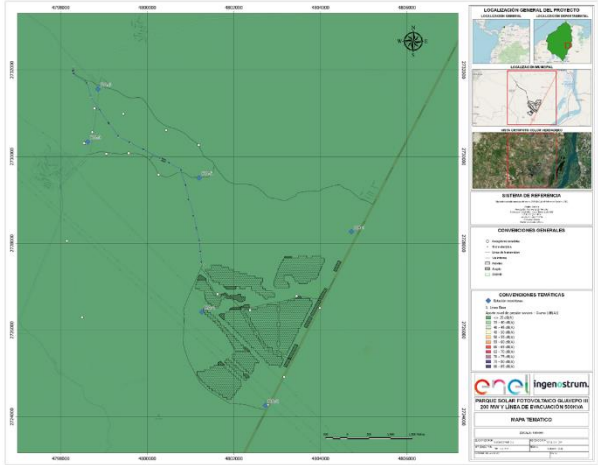
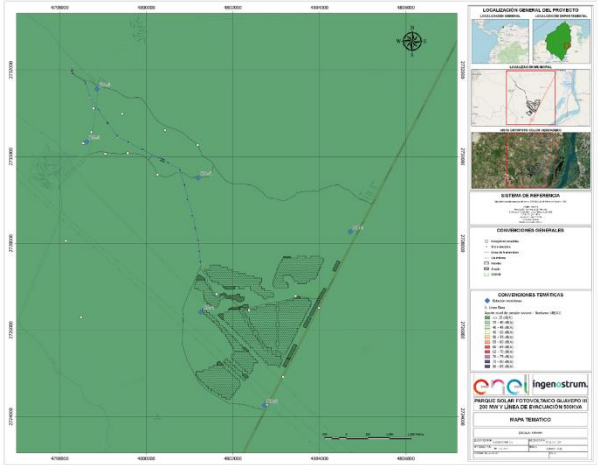
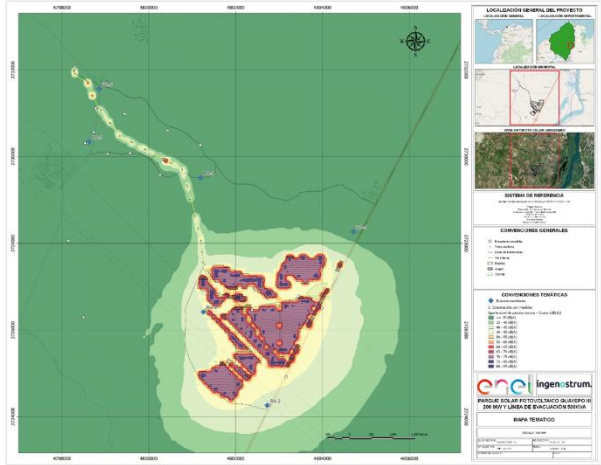
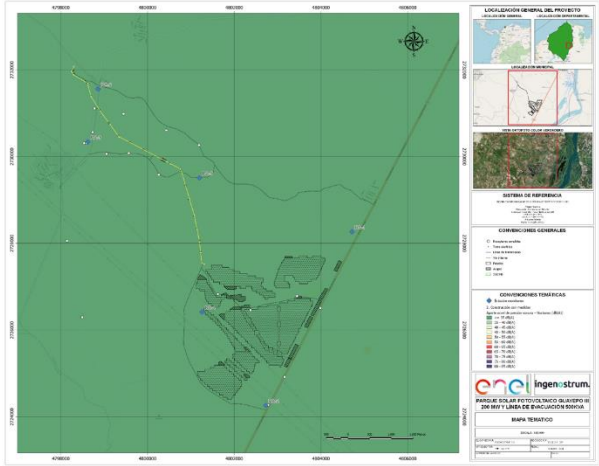
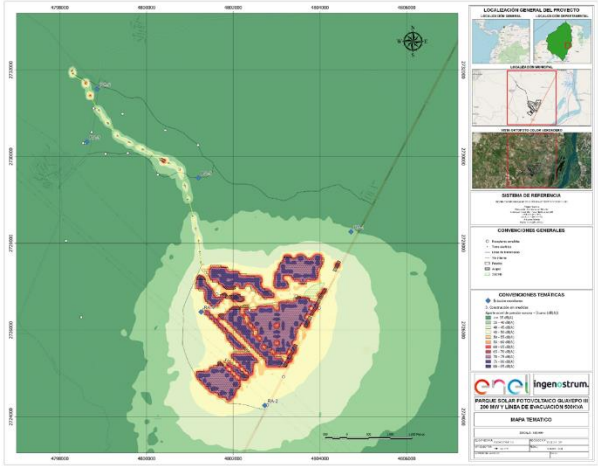
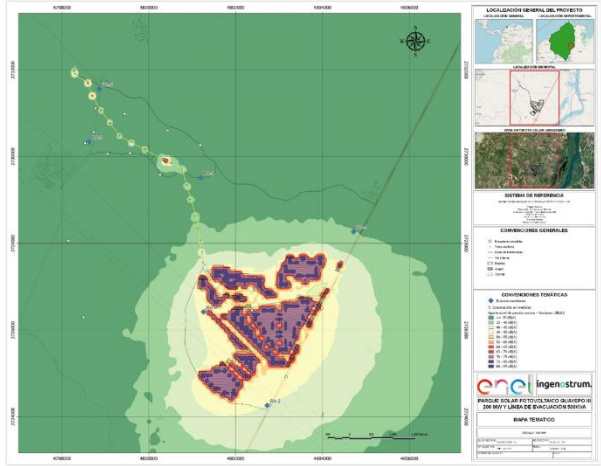
En la Tabla 5.1-216 se presenta los estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental establecidos en la Resolución 627 del MAVDT (actual MADS).

Tabla 5.1-216 Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental, en dB(A)

SECTOR	SUBSECTOR	DÍA	NOCHE
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, hotelería y hospedajes.	65	50
	Universidades, colegios, escuelas, centros de estudio e investigación		
	Parques en zona urbana diferente a 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
Sector C. Ruido Intermedio Restringido	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.	55	45
	Rural habitada destinada a explotación agropecuaria.		
	Zonas de Recreación y descanso, como parques y reservas naturales.		

Fuente: (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006)

Tabla 5.1-217 Resultados gráficos del aporte de ruido por fuentes emisoras en fase de línea base, construcción con medidas de control y sin medidas de control

		
Aporte de ruido por fuentes emisoras en fase de línea base – periodo diurno	Aporte de ruido por fuentes emisoras en fase de línea base – periodo nocturno	Aporte de ruido por fuentes emisoras en construcción con medidas de control – periodo diurno
		
Aporte de ruido por fuentes emisoras en construcción con medidas de control – periodo nocturno	Aporte de ruido por fuentes emisoras en construcción sin medidas de control – Periodo diurno	Aporte de ruido por fuentes emisoras en construcción sin medidas de control – Periodo nocturno

Fuente: (ARGEMONIA S.A.S., 2021)

El análisis de las condiciones de aporte respecto a los límites normativos indicados según la Resolución 627 de 2006 del actual MADS, muestra que es posible encontrar niveles de presión sonora por encima de los valores de norma dentro de las áreas de construcción del proyecto. Por otro lado, los valores aportados estimados fuera del polígono del predio de intervención tienden a estar por debajo del límite permisible.

Lo anterior permite estimar que los niveles de presión sonora proyectados se encontrarán cerca a los valores determinados en línea base fuera del polígono de intervención del proyecto.

5.1.9.6.4 Conclusiones

A partir de la evaluación de los escenarios de simulación de la propagación y atenuación sonora, se obtienen los siguientes resultados:

Escenario de línea base

Las proyecciones de ruido teniendo en cuenta condiciones de fondo medidas en campo, sugieren niveles de presión sonora cercanos a 24,8 dB(A), en los periodos evaluados. Esta condición de ruido es típica de la zona de estudio, pudiendo en otras locaciones no monitoreadas estar por encima de los valores normativos establecidos por la Res. 627 de 2006 MAVDT (actual MADS).

Escenario constructivo con medidas de control

Se determina que el nivel de presión sonora máximo esperado aportado de **79 dB(A)** dentro de la zona intervenida, mientras que en el límite del polígono se esperan valores por debajo de **60 dB(A)**. De acuerdo con los resultados del modelo, se esperan tener niveles de presión sonora cercanos a los niveles típicos medios establecidos en campaña de monitoreo fuera del predio de intervención (**62,2 dB(A)** para periodo diurno y **64,0 dB(A)** para periodo nocturno, siendo estos los valores medios determinados mediante campaña de monitoreo en campo como típicos de la zona de estudio, acogiendo el Parágrafo 2 de la Tabla 2 de la Resolución 627 de

2006 MAVDT) a una distancia no mayor a 100 metros respecto al límite del polígono de intervención.

Escenario constructivo sin medidas de control

Se determina que el nivel de presión sonora máximo esperado aportado de **81 dB(A)** dentro de la zona intervenida, mientras que en el límite del polígono se esperan valores por debajo de **70 dB(A)**. De acuerdo con los resultados del modelo, se esperan tener niveles de presión sonora cercanos a los niveles típicos medios establecidos en campaña de monitoreo fuera del predio de intervención.