TABLA DE CONTENIDO

5 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO 5-1
5.1 MEDIO ABIÓTICO 5-1
5.1.1 Geología 5-1
5.1.2 Geomorfología 5-25
5.1.3 Suelos y usos del suelo 5-43
5.1.4 Hidrología 5-62
5.1.5 Calidad del agua 5-121
5.1.6 Usos del agua 5-187
5.1.7 Geotecnia 5-245
5.1.8 Atmósfera 5-278

LISTA DE TABLAS

Tabla 5-1. Unidades geológicas regionales 5-1
Tabla 5-2. Lista de calicatas para perfiles estratigráficos 5-10
Tabla 5-3. Unidades geológicas en el área de influencia única y área de influencia física. 5-12
Tabla 5-4. Grados de pendientes en el AIU 5-19
Tabla 5-5. Lista de fotos e imágenes para análisis multitemporal 5-21
Tabla 5-6. Imágenes identificadas para el análisis geomorfológico 5-26
Tabla 5-7. Unidades geomorfológicas identificadas en el área de estudio 5-28
Tabla 5-8. Grupos de uso de la tierra 5-50
Tabla 5-9. Subgrupos de uso de la tierra 5-51
Tabla 5-10. Grupos de uso del suelo en el área de influencia única del proyecto 5-51
Tabla 5-11. Grupos de uso del suelo en el área de influencia física del proyecto 5-54
Tabla 5-12. Capacidad de uso del suelo en el área de influencia única del proyecto 5-57
Tabla 5-13. Capacidad de uso del suelo en el área de influencia física del proyecto 5-58
Tabla 5-14. Conflictos de usos del suelo en el área de influencia única del proyecto 5-59
Tabla 5-15. Conflictos de usos del suelo en el área de influencia física del proyecto 5-61
Tabla 5-16. Estaciones hidrometeorológicas consultadas 5-62
Tabla 5-17. Estaciones pluviométricas elegidas para el análisis 5-66
Tabla 5-18. Relación areal de subcuencas y estaciones pluviométricas de influencia 5-66
Tabla 5-19. Relación de pesos de influencia de las estaciones pluviométricas sobre la cuenca de estudio 5-67
Tabla 5-20. Precipitaciones mensuales medias en las estaciones de influencia de la cuenca de estudio 5-68
Tabla 5-21. Precipitaciones mensuales medias ponderadas en la cuenca de estudio 5-70
Tabla 5-22. Estaciones termométricas influyentes 5-72
Tabla 5-23. Relación areal de subcuencas y estaciones termométricas de influencia 5-72
Tabla 5-24. Relación de pesos de influencia de las estaciones termométricas sobre la cuenca de estudio 5-73
Tabla 5-25. Temperaturas mensuales medias en las estaciones de influencia de la cuenca de estudio 5-74
Tabla 5-26. Temperaturas mensuales medias ponderadas en la cuenca de estudio 5-75

Tabla 5-27. Temperaturas mensuales mínimas en las estaciones de interés de la cuenca de estudio 5-77

Tabla 5-28. Temperaturas mensuales mínimas ponderadas en la cuenca de estudio 5-78

Tabla 5-29. Temperaturas mensuales máximas en las estaciones de interés de la cuenca de estudio 5-79

Tabla 5-30. Temperaturas mensuales máximas ponderadas en la cuenca de estudio 5-80

Tabla 5-31. Estaciones hidrometeorológicas disponibles en el área de estudio. 5-81

Tabla 5-32. Variables pluviométricas principales en las estaciones meteorológicas consideradas 5-82

Tabla 5-33. Variable precipitación total mensual en la estación meteorológica Rancho Grande 5-84

Tabla 5-34. Variables históricas registradas en la estación meteorológica Rancho Grande 5-84

Tabla 5-35. Estaciones meteorológicas de posible influencia..... 5-84

Tabla 5-36. Áreas de influencia de las estaciones de influencia sobra la cuenca de estudio..... 5-86

Tabla 5-37. Resultados de cálculo estadístico para la serie de Pmax24h en la estación CEURA 5-89

Tabla 5-38. Resultados de cálculo estadístico para la serie de Pmax24h en la estación JASAY 5-90

Tabla 5-39. Resultados de cálculo estadístico para la serie de Pmax24h en la estación ORONCHON 5-91

Tabla 5-40. Resultados de cálculo estadístico para la serie de Pmax24h en la estación PARAGUACHON 5-91

Tabla 5-41. Resultados de cálculo estadístico para la serie de Pmax24h en la estación MAICAO – APTO MAICAO 5-92

Tabla 5-42. Características morfológicas principales de las cuencas analizadas..... 5-94

Tabla 5-43. Áreas de análisis provenientes de la intercepción de las cuencas con los viales del parque..... 5-98

Tabla 5-44. Precipitación máxima en 24 h promedio anual a nivel multianual Estación Maicao-Apto Maicao..... 5-101

Tabla 5-45. Precipitación máxima en 24 h promedio anual a nivel multianual Estación Paraguanchón. 5-102

Tabla 5-46. PMax 24 promedio anual a nivel multianual en las estaciones de influencia..... 5-103

Tabla 5-47. PMax 24 h promedio anual a nivel multianual en las áreas de análisis 5-103

Tabla 5-48. Tiempo ce concentración en las áreas de análisis 5-105

Tabla 5-49. Caudales de escorrentía m³/s asociados a 25 años de periodo de retorno en las áreas de análisis. 5-109

Tabla 5-50. Caudales de escorrentía m³/s asociados a 25 años de periodo de retorno en los cruces de lascuencas con los viales del parque 5-110

Tabla 5-51. Clasificación de agresividad climática según Fournier (IFM) 5-112

Tabla 5-52. Cálculo del Índice de Fournier Modificado (IFM) 5-112

Tabla 5-53. Clasificación del índice de concentración de precipitaciones (ICP) 5-113

Tabla 5-54. Cálculo del Índice de Concentración de la Precipitación (ICP) 5-113

Tabla 5-55. Clasificación climática según Martonne 5-115

Tabla 5-56. Clasificación climática de la cuenca de estudio según Martonne 5-115

Tabla 5-57. Clasificación climática de acuerdo al Índice de aridez de Dantin-Revenga ... 5-116

Tabla 5-58. Clasificación climática de acuerdo al Índice de aridez de Dantin-Revenga en la cuenca de estudio. 5-116

Tabla 5-59. Clasificación climática de acuerdo al Índice de aridez de Lang 5-117

Tabla 5-60. Clasificación climática de acuerdo al Índice de aridez de Lang en la cuenca de estudio 5-117

Tabla 5-61. Valores del índice de aridez para las estaciones del ámbito de estudio según las formulaciones de Martonne, Dantin-Revenga y Lang 5-118

Tabla 5-62. Clasificación climática de acuerdo al Índice de continentalidad de Gorezynski 5-118

Tabla 5-63. Clasificación climática de acuerdo al Índice de continentalidad de Gorezynski de la cuenca de estudio. 5-119

Tabla 5-64. Clasificación climática de acuerdo al Índice de continentalidad de Currey 5-119

Tabla 5-65. Resumen de valores de los índices climáticos y clasificación climática obtenida. 5-120

Tabla 5-66. Resumen de valores de los índices climáticos y clasificación climática obtenida. 5-120

Tabla 5-67. Puntos de muestreo (Magna sirgas origen este) de Calidad de Aguas para jagüeyes y pozo 5-122

Tabla 5-68. Resultados de calidad del agua de los jagüeyes 5-123

Tabla 5-69. Resultados de calidad del agua del pozo subterráneo 5-125

Tabla 5-70. ICA para los cuerpos de agua analizados 5-152

Tabla 5-71. Ocupaciones de cauce visitadas en época seca (febrero y agosto) y época húmeda (mayo) 5-157

Tabla 5-72. Fuentes de abastecimiento de agua – rancherías del área de influencia del proyecto eólico Alpha. 5-188
Tabla 5-73. Lugares de abastecimiento de agua por medio de jagueyes, sus usos y usuarios 5-193
Tabla 5-74. Localización de lagunas y molinos (sin uso actual) 5-195
Tabla 5-75. Localización de los perfiles estratigráficos realizados en el área de estudio . 5-246
Tabla 5-76. Descripción geológica perfil estratigráfico-Calicata No. 1..... 5-246
Tabla 5-77. Descripción geológica perfil estratigráfico-Calicata No. 2..... 5-247
Tabla 5-78. Descripción geológica perfil estratigráfico-Calicata No. 3..... 5-248
Tabla 5-79. Descripción geológica perfil estratigráfico-Calicata No. 4..... 5-249
Tabla 5-80. Descripción geológica perfil estratigráfico-Calicata No. 5..... 5-250
Tabla 5-81. Descripción geológica perfil estratigráfico-Calicata No. 6..... 5-251
Tabla 5-82. Descripción geológica perfil estratigráfico-Calicata No. 7..... 5-252
Tabla 5-83. Descripción geológica perfil estratigráfico-Calicata No. 8..... 5-253
Tabla 5-84. Descripción geológica perfil estratigráfico-Calicata No. 9..... 5-253
Tabla 5-85. Humedad natural, densidades, granulometrías y límites de Atterberg..... 5-255
Tabla 5-86. Clasificación de suelos según USCS y AASHTO. 5-258
Tabla 5-87. Ensayos químicos. 5-259
Tabla 5-88. Proctor modificado y resultados obtenidos a partir del estudio de los ensayos de los CBR. 5-260
Tabla 5-89. Exposición a sulfatos. Ensayos en calicatas. 5-266
Tabla 5-91. Temperatura media mensual multianual 5-279
Tabla 5-92. Precipitación media mensual 5-283
Tabla 5-93. Precipitación anual histórica 5-286
Tabla 5-94. Humedad relativa mensual multianual 5-291
Tabla 5-95. Velocidad y dirección del viento horaria (m/s) puntual y media historica en la E. anemométrica 5-299
Tabla 5-96. Escalas de calidad del de viento 5-307
Tabla 5-97. Radiación solar mensual multianual 5-309
Tabla 5-98. Nubosidad mensual multianual 5-310
Tabla 5-99. Pesos de influencia correspondientes al cálculo de los polígonos de Thiessen..... 5-312
Tabla 5-100. Temperaturas. Clasificación climática según Walter-Gaussen 5-312

Tabla 5-101. Clasificación climática según Walter-Gaussen 5-313
Tabla 5-102. Clasificación mensual según Walter-Gaussen..... 5-313
Tabla 5-103. Resumen de los parámetros meteorológicos de muestreo 5-316
Tabla 5-104. Escalas del nivel de precipitación..... 5-319
Tabla 5-105. Distribución de registros de acuerdo al rango de velocidad y dirección del viento 5-322
Tabla 5-106. Descripción de los efectos del viento según el rango..... 5-323
Tabla 5-107. Coordenadas puntos de monitoreo de calidad de aire 5-325
Tabla 5-108. Concentraciones diarias de PM10 vs. Norma diaria..... 5-326
Tabla 5-109. Consolidado de resultados de PM10 para el periodo evaluado 5-327
Tabla 5-110. Parámetros estadísticos estaciones de Calidad del Aire evaluadas – PM10 5-328
Tabla 5-111. Valores Índice de calidad del aire – PM10..... 5-330
Tabla 5-112. Concentraciones diarias de NO2 vs. Norma diaria..... 5-332
Tabla 5-113. Comparación indicativa NO2 Vs Norma anual..... 5-334
Tabla 5-114. Concentraciones diarias de SO2 vs. Norma diaria 5-336
Tabla 5-115. Comparación indicativa SO2 Vs Norma anual..... 5-337
Tabla 5-116. Concentraciones promedio de CO vs. Norma 5-339
Tabla 5-117. Concentraciones de BTX vs. Norma 5-341
Tabla 5-118. Actividades relacionadas al proyecto 5-345
Tabla 5-119. Estrategias de control de emisiones..... 5-347
Tabla 5-120. Parámetros para el cálculo de emisiones 5-348
Tabla 5-121. Distribución de actividades por grupos. 5-348
Tabla 5-122. Consolidado emisiones calculadas con sistema de control..... 5-349
Tabla 5-123. Datos fuentes poligonales 5-351
Tabla 5-124. Datos fuentes de área circulares..... 5-351
Tabla 5-125. Datos fuentes de Volumen 5-351
Tabla 5-126. Receptores discretos modelación 5-352
Tabla 5-127. Resultados del modelo para PM10 vs resolución 610 de 2010..... 5-353
Tabla 5-128. Concentración 24 Hr receptores discretos Vs Norma NO2 y SO2..... 5-355
Tabla 5-129. Concentración anual receptores discretos Vs Norma NO2 y SO2..... 5-356

Tabla 5-130. Concentración octahoraria y horaria en los receptores discretos Vs Norma CO... 5-356
Tabla 5-131. Descripción técnica de las estaciones de monitoreo de ruido ambiental 5-370
Tabla 5-132. Fuentes identificadas en cada punto durante el periodo de medición 5-373
Tabla 5-133. Consolidado de las mediciones en campo – Ordinario 5-374
Tabla 5-134. Consolidado ajustes (K) – Ordinario 5-375
Tabla 5-135. Resultados de Ruido Ambiental– Ordinario 5-376
Tabla 5-136. Consolidado de las mediciones en campo de Ruido Ambiental– Dominical 5-378
Tabla 5-137. Consolidado ajustes (K) – Dominical 5-379
Tabla 5-138. Resultados de Ruido Ambiental– Dominical 5-379
Tabla 5-139. Parámetros acústicos de los equipos idealizados como fuentes puntuales 5-388
Tabla 5-140. Actividades relacionadas al proyecto 5-390
Tabla 5-141. Niveles de potencia sonora de los aerogeneradores en función de las velocidades del viento 5-391
Tabla 5-142. Ruido ambiental vs Resultados del modelo (línea base diurno) 5-395
Tabla 5-143. Ruido ambiental vs Resultados del modelo periodo nocturno (línea base) . 5-396
Tabla 5-144. Ruido ambiental vs Resultados del modelo periodo diurno - nocturno 5-397
Tabla 5-145. Comparación de aportes de la línea base con el escenario ii (construcción) periodo LAeqd 5-398
Tabla 5-146. Comparación de aportes de la línea base con el escenario ii (construcción) periodo LAeqn 5-399
Tabla 5-147. Comparación de aportes de la línea base con el escenario ii (construcción) periodo Ldn 5-401
Tabla 5-148. Comparación de aportes de la línea base con el escenario iii (operación) periodo LAeqd 5-402
Tabla 5-149. Comparación de aportes de la línea base con el escenario iii (operación) periodo LAeqn 5-404
Tabla 5-150. Comparación de aportes de la línea base con el escenario iii (operación) periodo Ldn 5-405

LISTA DE FIGURAS

Figura 5-1. Columna geocronológica regional 5-6
Figura 5-2. Mapa geológico regional 5-7
Figura 5-3. Perfil geológico regional 5-7
Figura 5-4. Mapa estructural regional. (Ingeominas 2002) 5-10
Figura 5-5. Mapa de ubicación de calicatas para perfiles estratigráficos 5-11
Figura 5-6. Análisis geológico de ortofoto 5-12
Figura 5-7. Mapa geológico del área de influencia única y área de influencia física 5-13
Figura 5-8. Perfil geológico local 5-14
Figura 5-9. Mapa de pendientes del área de Influencia única y área de influencia física ... 5-20
Figura 5-10. Áreas afectadas por procesos erosivos año 2011 5-24
Figura 5-11. Áreas afectadas por procesos erosivos año 2017 5-24
Figura 5-12. Esquema jerárquico y multicategórico del sistema geomorfológico aplicado a los levantamientos de suelos 5-26
Figura 5-13. Análisis geomorfológico de la ortofoto 5-28
Figura 5-14. Mapa geomorfológico del área de influencia única y física 5-29
Figura 5-15. Perfil topográfico generalizado del área de influencia única 5-29
Figura 5-16. Unidades cartográficas de suelos en el área de influencia del proyecto. 5-45
Figura 5-17. Perfil de suelo C1 - Typic Natrargids. 5-48
Figura 5-18. Perfil de suelo C5 – Sodic Haplocambids. 5-49
Figura 5-19. Distribución porcentual del uso actual en el área de influencia única del proyecto. 5-53
Figura 5-20. Uso actual en el área de influencia del proyecto. 5-54
Figura 5-21. Capacidad de uso del suelo en el área de influencia del proyecto. 5-57
Figura 5-22. Conflicto en el uso del suelo en el área de influencia del proyecto 5-60
Figura 5-23. Estaciones meteorológicas consultadas 5-63
Figura 5-24. Estaciones pluviométricas de interés en el ámbito de estudio 5-64
Figura 5-25. Polígonos Thiessen de estaciones pluviométricas de influencia en el ámbito de estudio 5-65
Figura 5-26. Precipitaciones medias mensuales en estaciones pluviométricas de influencia 5-69

Figura 5-27. Precipitaciones medias mensuales ponderadas..... 5-70

Figura 5-28. Estaciones termométricas de interés en el ámbito de estudio 5-71

Figura 5-29. Polígonos Thiessen de estaciones termométricas de influencia en el ámbito de estudio 5-72

Figura 5-30. Temperaturas medias mensuales en estaciones termométricas de interés para el análisis 5-75

Figura 5-31. Temperaturas medias mensuales ponderadas..... 5-76

Figura 5-32. Temperaturas mínimas mensuales en estaciones termométricas de influencia 5-77

Figura 5-33. Temperaturas mínimas mensuales ponderadas..... 5-78

Figura 5-34. Temperaturas máxima mensuales en estaciones termométricas de interés .. 5-80

Figura 5-35. Temperaturas máximas mensuales ponderadas..... 5-81

Figura 5-36. Precipitación total histórica. Estación meteorológica Rancho grande..... 5-83

Figura 5-37. Polígonos Thiessen de estaciones pluviométricas de influencia en el ámbito de estudio con datos de PMÁX24H. 5-86

Figura 5-38. Análisis estocástico. Ajuste de funciones de distribución para la serie de Precipitaciones máximas en 24 h en la Estación meteorológica de CEURA 5-87

Figura 5-39. Análisis estocástico. Ajuste de funciones de distribución para la serie de Precipitaciones máximas en 24 h en la Estación meteorológica de JASAY..... 5-87

Figura 5-40. Análisis estocástico. Ajuste de funciones de distribución para la serie de Precipitaciones máximas en 24 h en la Estación meteorológica de ORONCHON 5-88

Figura 5-41. Análisis estocástico. Ajuste de funciones de distribución para la serie de Precipitaciones máximas en 24 h en la Estación meteorológica de PARAGUACHON 5-88

Figura 5-42. Análisis estocástico. Ajuste de funciones de distribución para la serie de Precipitaciones máximas en 24 h en la Estación meteorológica de MAICAO – APTO MAICAO 5-89

Figura 5-43. Cuencas hídricas analizadas..... 5-93

Figura 5-44. Hidrología del área de influencia (Mapa 11) 5-96

Figura 5-45. Áreas de análisis provenientes de la intercepción de las cuencas con los viales del parque..... 5-97

Figura 5-46. Coeficientes de cálculo para las curvas IDF. Fuente Manual de Drenaje para Carreteras (Instituto Nacional de Vías 5-106

Figura 5-47. Curvas IDF Parque Eólico Alpha..... 5-108

Figura 5-48. Valores del coeficiente de escorrentía en áreas rurales..... 5-108

Figura 5-49. Localización de puntos de muestreo de Calidad de Aguas para jagüeyes y pozo de agua subterránea 5-122

Figura 5-50. pH de los cuerpos de agua analizados 5-127
Figura 5-51. Conductividad de los cuerpos de agua analizados 5-128
Figura 5-52. Temperaturas de los cuerpos de agua analizados 5-129
Figura 5-53. Oxígeno disuelto en los cuerpos de agua analizados 5-130
Figura 5-54. Acidez de los cuerpos de agua analizados 5-131
Figura 5-55. Alcalinidad de los cuerpos de agua analizados 5-132
Figura 5-56. Cloruros de los cuerpos de agua analizados 5-133
Figura 5-57. DBO5 en los cuerpos de agua analizados 5-134
Figura 5-58. Dureza total de los cuerpos de agua analizados 5-135
Figura 5-59. Fenoles totales en los cuerpos de agua analizados 5-136
Figura 5-60. Fósforo total en los cuerpos de agua analizados 5-137
Figura 5-61. Potasio de los cuerpos de agua analizados 5-139
Figura 5-62. Sólidos disueltos totales de los cuerpos de agua analizados 5-140
Figura 5-63. Sólidos sedimentables en los cuerpos de agua analizados 5-141
Figura 5-64. Sólidos suspendidos en los cuerpos de agua analizados 5-142
Figura 5-65. Sulfatos de los cuerpos de agua analizados 5-143
Figura 5-66. Turbiedad de los cuerpos de agua analizados 5-144
Figura 5-67. DQO en los cuerpos de agua analizados 5-145
Figura 5-68. Dureza cálcica de los cuerpos de agua analizados 5-146
Figura 5-69. Absorbancia del color en diferentes longitudes de onda para los cuerpos de agua analizados 5-147
Figura 5-70. Coliformes totales de los cuerpos de agua analizados 5-148
Figura 5-71. Coliformes fecales de los cuerpos de agua analizados 5-148
Figura 5-72. Índice de Langelier para los cuerpos de agua analizados 5-151
Figura 5-73. IACAL en condiciones de año medio en el área del proyecto 5-154
Figura 5-74. IACAL en condiciones de año seco en el área del proyecto 5-155
Figura 5-75. Ocupaciones de cauce visitadas en época seca (febrero y agosto) y época húmeda (mayo) 5-156
Figura 5-76. Localización jagueyes, pozos y molinos 5-193
Figura 5-77. Mapa de ubicación de calicatas 5-245
Figura 5-78. Penetrómetros de bolsillo con la profundidad. 5-254
Figura 5-79. Contenido de Finos con la profundidad. 5-256

Figura 5-80. Carta de Plasticidad de Casagrande. 5-257
Figura 5-81. Humedad natural, límites líquidos y plásticos con la profundidad. 5-257
Figura 5-82. Índice de liquidez (LI) con la profundidad. 5-258
Figura 5-83. Ensayo CBR: Carga vs Penetración. Calicata Nº2. 5-261
Figura 5-84. Curva CBR: Densidad seca vs CBR. Calicata Nº2. 5-262
Figura 5-85. Ensayo CBR: Carga vs Penetración. Calicata Nº4. 5-262
Figura 5-86. Curva CBR: Densidad seca vs CBR. Calicata Nº4. 5-263
Figura 5-87. Ensayo CBR: Carga vs Penetración. Calicata Nº6. 5-263
Figura 5-88. Curva CBR: Densidad seca vs CBR. Calicata Nº6. 5-264
Figura 5-89. ACI 318M-11. Clase de exposición a sulfatos. 5-265
Figura 5-90. Mapa de zonificación sísmica de Colombia. 5-268
Figura 5-91. Mapa de Aa (aceleración pico efectiva horizontal de diseño para períodos de vibración cortos expresada como fracción de la aceleración de la gravedad, g = 9.8 m/s²). 5-269
Figura 5-92. Mapa de Av (aceleración pico efectiva horizontal de diseño para períodos de vibración intermedios expresada como fracción de la aceleración de la gravedad, g = 9.8 m/s²). 5-270
Figura 5-93. Potencial de expansividad según Sowers y Daksanamurthy & Raman. 5-271
Figura 5-94. Valores de CBR característicos según las clasificaciones AASHTO y USCS. 5-273
Figura 5-95. Valores de CBR en suelos cohesivos (Look, 2014). 5-273
Figura 5-96. Valores de CBR según la clasificación USCS (Look, 2014). 5-274
Figura 5-97. Zonificación geotécnica 5-275
Figura 5-99. Temperatura media mensual multianual 5-279
Figura 5-100. Máximos y mínimos de temperatura 5-280
Figura 5-101. Isotermas promedio anual en el área del proyecto eólico ALPHA 5-281
Figura 5-102. Presión atmosférica media mensual 5-282
Figura 5-103. Precipitación media mensual 5-283
Figura 5-104. Precipitación promedio anual 5-285
Figura 5-105. Variación en la precipitación anual 5-286
Figura 5-106. Precipitación media diaria 5-288
Figura 5-107. Precipitación promedio diaria en el transcurso del año, en cuatro estaciones del IDEAM 5-289

Figura 5-108. Isoyetas promedio anual en el área del proyecto eólico ALPHA 5-290
Figura 5-109. Humedad relativa media mensual 5-291
Figura 5-110. Humedad relativa máxima media mensual 5-292
Figura 5-111. Humedad relativa mínima media mensual 5-293
Figura 5-112. Evaporación media mensual 5-294
Figura 5-113. Evaporación y precipitación media mensual 5-295
Figura 5-114. Velocidad del viento media mensual histórica para la E. anemométrica 5-296
Figura 5-115. Roza de los vientos promedio histórico E. anemométrica 5-298
Figura 5-116.Distribución de frecuencias en la velocidad del viento (m/s) media histórica 5-299
Figura 5-117. Velocidad del viento horaria promedio y puntual (día especifico) para la E. anemométrica 5-301
Figura 5-118. Roza de los vientos (a) horaria puntual y (b) promedio horario para la E. anemométrica 5-302
Figura 5-119. Distribución de las frecuencias en las velocidades del viento horario en (a) puntual y (b) media histórica 5-303
Figura 5-120. Roza de los vientos horaria puntual (1/2/2017) (a) diurna y (b) nocturna ... 5-304
Figura 5-121. Distribución de los vientos horario puntual (1/2/2017) (a) diurna y (b) nocturna 5-305
Figura 5-122. Radio de cobertura de la torre E. anemométrica con el polígono del proyecto ALPHA 5-306
Figura 5-123. Mapa de viento para el proyecto ALPHA, con datos de la E. anemométrica (torre Wourre) 5-307
Figura 5-124. Radiación olar mensual multianual 5-309
Figura 5-125. Nubosidad mensual multianual 5-310
Figura 5-125. Zonificación climática en el área del proyecto eólico ALPHA 5-311
Figura 5-128. Climogramas de Walter-Gaussen en cada una de las estaciones estudiadas 5-315
Figura 5-129. Temperatura promedio diaria 5-318
Figura 5-130.Temperatura promedio horaria 5-318
Figura 5-131. Presión barométrica promedio diaria 5-319
Figura 5-132. Presión barométrica promedio horaria 5-320
Figura 5-133. Velocidad del viento promedio diaria 5-321
Figura 5-134. Velocidad del viento promedio horaria 5-321

Figura 5-135. Rosa de vientos – Estación Meteorológica 5-324
Figura 5-136. Puntos de monitoreo de calidad de aire 5-325
Figura 5-137. Concentraciones diarias de PM10 vs. Norma 5-327
Figura 5-138. Concentraciones promedio PM_{10} vs norma anual 5-328
Figura 5-139. Diagrama de cajas de contaminantes evaluados – PM10 5-330
Figura 5-140. Índice de calidad de aire para PM10 5-332
Figura 5-141. Concentraciones diarias de NO2 vs. Norma diaria 5-334
Figura 5-142. Concentración promedio NO2 Vs Norma anual 5-335
Figura 5-143. Concentraciones diarias de SO2 vs. Norma diaria 5-337
Figura 5-144. Concentraciones diarias de SO2 vs. Norma anual 5-338
Figura 5-145. Concentraciones promedio horarias de CO vs. Norma 5-340
Figura 5-146. Concentraciones promedio octahoraria de CO vs. Norma 5-340
Figura 5-147. Fuentes ingresadas al modelo AERMOD 5-346
Figura 5-148. Idealización de fuentes de área y Volumen 5-350
Figura 5-149. Malla de receptores utilizada en la modelación 5-352
Figura 5-150. Concentración Max. 24 hr receptores discretos Vs Norma Diaria PM10 5-354
Figura 5-151. Concentración Anual receptores discretos Vs Norma Anual PM10 5-355
Figura 5-152. Isopleta concentración máxima 24 hr PM10 (µg/m3) 5-358
Figura 5-153. Isopleta concentración anual PM10 (µg/m3) 5-359
Figura 5-154. Isopleta concentración máxima 1 hr CO (µg/m3) 5-360
Figura 5-155. Isopleta concentración máxima 8 hr CO (µg/m3) 5-361
Figura 5-156. Isopleta concentración promedio máximo 24 hr NO2 (µg/m3) 5-362
Figura 5-157. Isopleta concentración promedio anual NO2 (µg/m3) 5-363
Figura 5-158. Isopleta concentración promedio máximo 24 hr SO2 (µg/m3) 5-364
Figura 5-159. Isopleta concentración promedio anual SO2 (µg/m3) 5-365
Figura 5-160. Aparte del texto Good practice guide for … dust emissions 5-367
Figura 5-161. Aparte del texto Good practice guide for … dust emissions 5-367
Figura 5-162. Puntos de monitoreo de ruido 5-370
Figura 5-163. Resultados de niveles sonoros en horario diurno – Día Ordinario 5-377
Figura 5-164. Resultados de niveles sonoros en horario nocturno – Día Ordinario 5-378
Figura 5-165. Resultados de niveles sonoros en horario diurno – Día Dominical 5-381

Figura 5-166. Resultados de niveles sonoros en horario nocturno – Día Dominical 5-381
Figura 5-167. Edificaciones 5-385
Figura 5-168. Aforo vehicular 5-386
Figura 5-169. Tráfico rodado escenario construcción del proyecto 5-388
Figura 5-170. Fuentes puntuales escenario construcción proyecto 5-389
Figura 5-171. Fuentes lineales escenario construcción proyecto 5-390
Figura 5-172. Tráfico rodado escenario operación del proyecto 5-392
Figura 5-173. Fuentes puntuales operación del proyecto 5-393
Figura 5-174. Resultados modelo de ruido diurno en la línea base 5-394
Figura 5-175. Resultados modelo ruido período nocturno en la línea base 5-396
Figura 5-176. Resultados modelo ruido período diurno – nocturno (LDN) línea base 5-397
Figura 5-177. Isófona diurna escenario construcción proyecto 5-399
Figura 5-178. Isófona nocturna escenario construcción proyecto 5-400
Figura 5-179. Isófona diurno nocturno escenario construcción proyecto 5-402
Figura 5-180. Isófona diurna escenario operación del proyecto 5-403
Figura 5-181. Isófona periodo nocturno escenario operación del proyecto 5-405
Figura 5-182. Isófona periodo diurno - nocturno escenario operación del proyecto 5-406

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 5-1. Columna estratigráfica – Calicata 7 5-15
Imagen 5-2. Depósitos de arena superficiales 5-16
Imagen 5-3. Secuencia de material limos arenoso de origen fluvio marino 5-17
Imagen 5-4. Material arenoso en el cauce de los arroyos 5-18
Imagen 5-5. Material dispuesto en forma de dique para la construcción de jagüeyes 5-18
Imagen 5-6. Procesos sobre las márgenes del arroyo Kasucho 5-22
Imagen 5-7. Procesos de socavación lateral 5-23
Imagen 5-8. Panorámicas de la planicie fluviomarina, unidad de mayor representación en el área del proyecto 5-31
Imagen 5-9. Planicie fluvio marina y eólica, se observan pequeñas ondulaciones asociadas a las arenas transportadas por el viento 5-32
Imagen 5-10. Planicie fluviomarina disectada, sector del arroyo Kasucho 5-33
Imagen 5-11. Arroyos en el área de influencia física 5-34
Imagen 5-12. Jagüey en la zona de influencia física 5-34
Imagen 5-13. Unidad explanaciones – vía 5-35
Imagen 5-14. Jagüey comunitario ranchería Jununtao y Jagüey cercado con maderas de trupillos. Jununtao 5-189
Imagen 5-15. Sistema de aprovisionamiento por pozo profundo en la ranchería Toloira . 5-190
Imagen 5-16 Sistemas de captación de aguas lluvias. Ranchería Jununtao 5-191
Imagen 5-17. Tanques de almacenamiento de agua y alberca de agua. 5-192
Imagen 5-18. Tanques de almacenamiento de agua. (a) Ranchería de Toloira, (b) Ranchería de Araparen 5-197
Imagen 5-19. Transporte de agua desde jagüeyes hasta las viviendas, ranchería de Jununtao 5-197
Imagen 5-20. Utencilio para el lavado de ropa en la ranchería de Toloira 5-198

5 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO

5.1 MEDIO ABIÓTICO

5.1.1 Geología

5.1.1.1 *Geología Regional*

La zona de la baja y media Guajira no solo presenta una gran variedad litológica sino también un amplio rango de edades que van desde el Precámbrico hasta el reciente, acompañadas además por una diversidad de ambientes de formación y/o génesis de las rocas[1].

La zona de estudio se ubica en la denominada Provincia de la Baja Guajira, la cual corresponde a una depresión ocupada por depósitos recientes y sedimentitas Neógenas delimitada por dos importantes sistemas de fallas de rumbo con componente lateral derecho, asociadas a las fallas de Cuisa y Oca, los depósitos recientes que ocupan grandes extensiones en relación a las formaciones rocosas.

En la Tabla 5-1 se presentan las unidades litológicas identificadas a nivel regional, en orden cronológico de la más reciente a la más antigua y en la Figura 5-1 se presenta la columna geocronológica regional, en la Figura 5-2 se presenta el mapa geológico regional donde se señala el perfil geológico A-A' que se observa en la Figura 5-3.

Tabla 5-1. Unidades geológicas regionales

Nombre	Código	Descripción
Arenas eólicas	Q2ae	Están constituidos por arenas de tamaño medio, de color amarillo grisáceo a amarillo rojizo, compuestos totalmente por granos de cuarzo bien seleccionados y redondeados. En la zona se presentan numerosas acumulaciones de arenas eólicas, muchas de ellas cubiertas por vegetación o retrabajadas por las corrientes que drenan el área.
Depósitos costeros	Q2c	Están constituidos por depósitos de playón y de barra que se encuentran paralelos a la línea de costa; los depósitos de barra son acumulaciones de poco espesor de arenas gruesas a medias y limos con estratificación cruzada compleja.

[1] ALMA MATER - INGEOMINAS. 2009. Cartografía Geológica y Muestreo Geoquímico, escala 1 :100.000 de las planchas 8 – Riohacha, 9 – Uribia y 15-15Bis – Maicao. Contrato/Convenio AM 08-17 de 2009.

Nombre	Código	Descripción
Depósitos de cauce aluvial	Q2al	Corresponden a depósitos acumulados en las márgenes de ríos y arroyos permanentes, mientras que en los arroyos intermitentes en los períodos de sequía estos sedimentos se encuentran en los cauces.
Depósitos de llanura aluvial	Q2ll	Corresponden a depósitos acumulados en las márgenes de ríos y arroyos permanentes, mientras que en los arroyos intermitentes en los períodos de sequía estos sedimentos se encuentran en los cauces.
Terrazas	Q1t	Se localizan en todo el departamento, algunas de ellas son: en la Alta Guajira se presentan estas terrazas como depósitos delgados, no fosilíferos y poco consolidados de conglomerados y areniscas
Formación Castilletes	N1c	Constituida hacia la parte inferior por rocas calcáreas y hacia la parte superior por arcillas. Se plantea que la Formación Castilletes se depositó en un ambiente marino muy poco profundo
Formación Mongui	N1m	Conformada por arcillolitas arenosas color amarillo pardo a amarillo verdoso semicompactas, intercaladas con areniscas color amarillo verdoso de grano medio a grueso, friables; también hay conglomerados color amarillo semicompactos, con cantos de tamaño de 0,5 a 5 cm de diámetro, de origen ígneo, englobados en una matriz areno arcillosa.
Formaciones Manantial, Cerrejón y Aguas Nuevas	E2s	Formación Manantial está marcada por calizas fosilíferas; constituida principalmente por areniscas de grano fino, con marcada laminación de material carbonoso, impresiones de hojas e intercalaciones frecuentes de areniscas calcáreas oscuras, shales arenosos y shales laminados micáceos Formación Cerrejón Compuesta de areniscas de grano fino y shales, shales limolíticos, shales arenosos, mantos de carbón y delgadas capas de calizas. Los primeros 640 m de la secuencia están constituidos por areniscas micáceas, con abundantes partes carbonosas y micáceas, y shales carbonáceos, shales limosos, shales arenosos y mantos de carbón, los sulfuros son localmente abundantes en la parte inferior y media de la formación, e incluye calcopirita, pirita y marcasita. Formación Aguas Nuevas: El miembro basal corresponde a areniscas conglomeráticas, sobre

Nombre	Código	Descripción
		estas reposan areniscas duras, intercalaciones de shales arcillosos algunas de ellas yesíferas, aparecen ocasionalmente calizas impuras como lentes, al igual que capas de carbón.
Formación Ipanaruhu	K2i	Está constituida principalmente por filitas, compuestas por clorita, sericita y cuarzo, limolitas y localmente se encuentran lentes de calizas y fragmentos de fósiles. La Formación Ipanaruhu sufrió un metamorfismo regional de muy bajo grado, lo cual permite que se conserven los rasgos texturales del protolito sin destruir totalmente los fósiles.
Formación Río Negro	K2s	Está constituida por una acumulación de areniscas arcósicas, en parte conglomeráticas, las areniscas de grano grueso forman capas gruesas y están intercaladas con areniscas de grano fino y cantidades menores de limolitas y shales
Formación Hato Nuevo	K2hn	Constituidas por shales arenosos glauconíticos, los cuales gradan hacia arriba a limolitas micáceas de color gris claro con capas más oscuras de arcillolitas; sobre éstas se presentan intercalaciones delgadas de capas grises y blancas de calizas fosilíferas y shales calcáreos oscuros; las calizas superiores son arenosas y corresponden a facies de aguas marinas someras.
Formación Colon	Kecl	Constituida por lutitas oscuras ricas en pirita, margas y algunas capas de caliza, ha sido separada por algunos autores en tres miembros Tres Esquinas, Caliza Socuy y Lutitas o shales calcáreos.
Formación Poschachi	K1(š)ps	Constituida por calizas, a las que se denominan como Miembro Caliza Sorih, conglomerados de guijarros de cuarzo, areniscas y shales; hacia la base de la formación se presentan conglomerados de guijarros de cuarzo y rocas graníticas o areniscas, localmente con intercalaciones de shales, areniscas y capas de guijarros
Shales de Cuisa	J3sc	Constituido por una secuencia gruesa de shales intercalados con areniscas, de color gris oscuro y pardo, finamente laminados, duros, limosos, micáceos, ligeramente carbonáceos y con fracturamiento astilloso, se encuentran intercalados con areniscas, limolitas y en cantidades menores de calizas arenosas, calizas y calizas dolomíticas. Los sedimentos y las

Nombre	Código	Descripción
		asociaciones faunísticas encontradas en esta formación indican un ambiente de depositación marino poco profundo
Formación Cajú	J2c	Constituida principalmente por limolitas y shales con algunas capas de areniscas cuarzosas y calizas, reporta la presencia de algunas ostras, gasterópodos y pelecípodos. Se considera un ambiente de depositación bajo condiciones marinas poco profundas.
Formación Cheterio	J1ch	Constituida hacia la parte inferior por arcillolitas intercaladas entre sí y con algo de areniscas cuarzosas, y hacia la parte superior, por areniscas cuarzosas intercaladas con shales limosos ligeramente carbonáceos. Se considera que la Formación se depositó bajo condiciones marinas cercanas a la costa y que habrían llegado a ser continentales en algún tiempo
Formación La Quinta	Jq	Constituida por arcillositas limosas y arenosas de color rojo grisáceo, con abundantes intercalaciones de areniscas y conglomerados feldespáticos.
Batolito Central	J1bc	Está constituido por tres facies, la parte externa cuarzodiorítica que grada hacia afuera a cuarzodioritas metasomáticas con texturas poiquilíticas y hacia la parte interna a granodioritas y cuarzomonzonitas; la facies cuarzodiorítica corresponde a rocas con biotita o biotita - hornblenda con cuarzo y trazas de feldespato potásico, estas rocas pasan gradualmente a la facies interior de granodiorita o cuarzomonzonita con un aumento en el contenido de cuarzo y feldespato potásico.
Batolito Patillal	J2bp	Esta unidad presenta tres facies litológicas: cuarzomonzonítica, granítica y de granitos granofíricos, donde varia el contenido de cuarzo, plagiocasa y hornblenda.
Riodacitas de Ipapure Cerro de la Teta	Jri	Se agrupa con este nombre a un cuerpo de forma irregular de las lavas riodacíticas que aflora al norte de Ipapure, en el cerro La Teta; estas lavas están constituidas por cuarzo en cristales de formas alargadas, anfíbol y clorita en láminas o en agregados fibrosos radiales.

Nombre	Código	Descripción
Leucogranito de Jojoncito	MPj	Corresponde a un neis de cuarzo y feldespato con altos contenidos de cuarzo sugieren un protolito sedimentario de composición cuarzo feldespática.
Grupo Macuira	PR(š)m	Está constituido por el Neis de Uray compuesto por neises de hornblenda y plagiocasa y los Esquistos de Jutúruhu de almandino, plagiocasa, cuarzo y biotita. De acuerdo a las asociaciones mineralógicas y las texturas presentes este grupo fue una secuencia que gradaba hacia arriba desde zonas con abundante aporte volcánico e intercalaciones menores de sedimentos (Neis de Uray) a zonas en las cuales predominaban shales, areniscas y conglomerados (Esquistos de Jutúruhu).

Fuente: Ingeominas 2002[2].

[2] INGEOMINAS 2002, Mapa Geológico del Departamento de la Guajira. Escala 1:250.000

Era	Periodo	Rocas Sedimentarias		Rocas Ígneas		Rocas Metamórficas	
Cenozoico	Cuaternario	Q2ae	Arenas eólicas				
		Q2c	Depósitos costeros				
		Q2al	Depósitos de cauce aluvial				
		Q2ll	Depósitos de llanura aluvial				
		Q1t	Terrazas				
	Neógeno	N1c	Formación Castilletes				
		N1m	Formación Monguí				
	Paleógeno	E2s	Fm. Manantial, Cerrejón y Aguas Nuevas				
Mesozoico	Cretácico	K2s	Formación Río Negro			K2i	Formación Ipanaruhu
		K2hn	Formación Hato Nuevo				
		K2cl	Formación Colon				
		K1(š)ps	Formación Poschachi				
	Jurásico	J3sc	Shales de Cuisa				
		J2c	Formación Caje				
		J1ch	Formación Cheterio	J1bc	Batolito Central		
		Jq	Formación La Quinta	J2bp	Batolito Patillal		
	Triásico			Jri	Riodacitas delpapure		
Paleozoico						MPj	Leucogranito de Jojoncito
						PR(š)m	Grupo Macuira

Figura 5-1. Columna geocronológica regional

Fuente: Ingeominas 2002[3]

[3] Ibíd., p. 5-5.

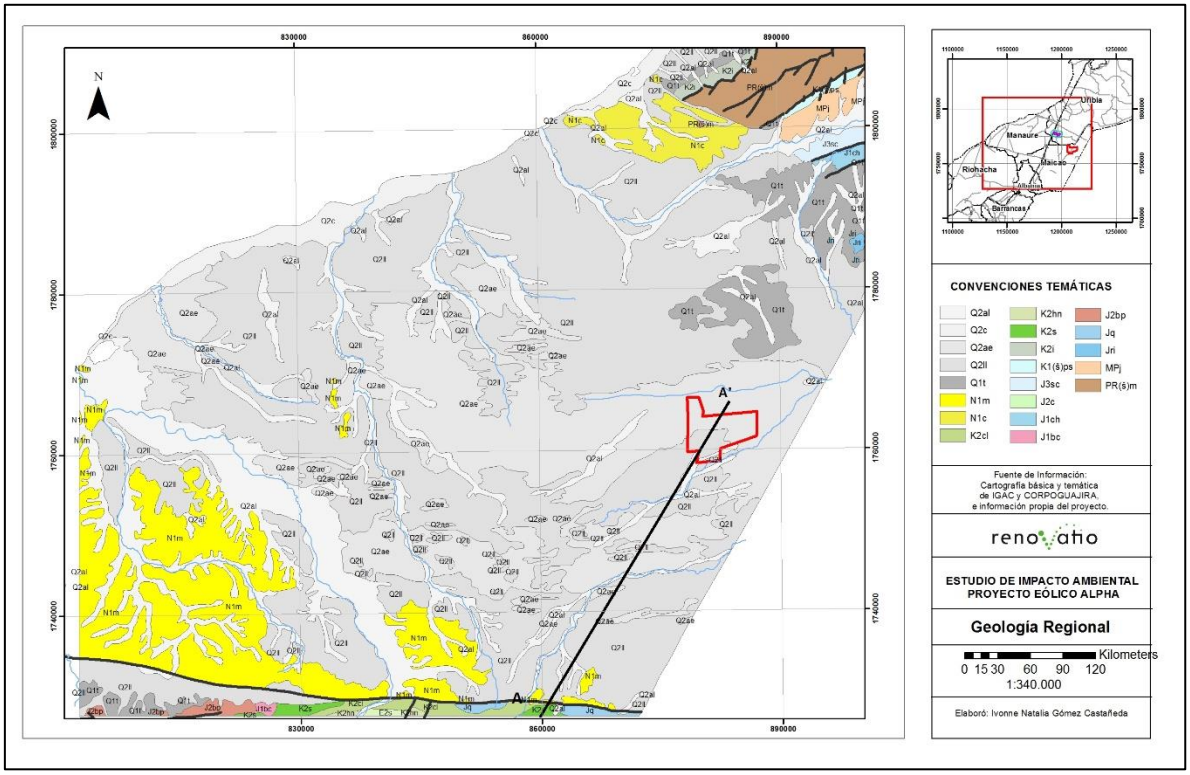


Figura 5-2. Mapa geológico regional

Fuente INGEOMINAS, 2002[4]

A continuación, se presenta un perfil geológico regional, A-A' donde se observa la magnitud y espesor de los depósitos (Qale) hacia la baja y media Guajira.

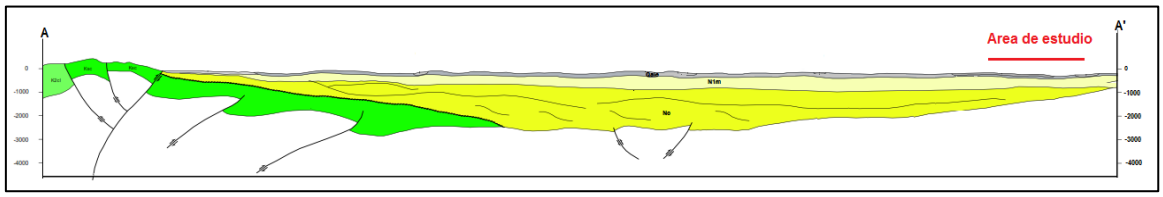


Figura 5-3. Perfil geológico regional

Fuente: Ingeominas 2002[5]

[4] Ibíd., p. 5-5.
[5] Ibíd., p. 5-5.

5.1.1.2 *Geología Estructural Regional*

La Guajira está caracterizada por dos sistemas de fallas de orden regional, la Falla de Oca ubicada hacia la sección sur de la península y la Falla Cuisa localizada al norte de la misma.

5.1.1.2.1 Falla de Cuisa

Esta falla se extiende en dirección E-W a través de la parte norte de la península, corresponde al límite norte de la serranía de Cosinas, donde separa rocas metamórficas cretácicas, premesozoicas y sedimentos cenozoicos presentes en el bloque norte de la falla, de rocas metamórficas cretácicas, premesozoicas y sedimentos mesozoicos del área de Cosinas. La traza de la falla tiene una extensión aproximada de 80 km y se prolonga hacia el oriente a través del Golfo de Venezuela, cerca de la bahía de Cocinetas hasta el sureste de la península de Paraguaná (Rollins, 1965; Referencia Mapa Tectónico de Venezuela). El extremo occidental de la falla, en la península de La Guajira, está cubierto por depósitos recientes, y el extremo oriental, a pocos kilómetros del pueblo de Porchina, está cubierto por sedimentos del Oligoceno[6].

Raasveldt, en Rollins[7] sugiere un desplazamiento principal de rumbo, basado en fotografías aéreas. Alberding, en Rollins[8] asume un movimiento de rumbo de más de 15 km, basado en los datos de Raasveldt[9], pero Rollins (1965), de acuerdo con las evidencias de campo, indica que el movimiento principal ha sido en el sentido del buzamiento, con un desplazamiento lateral derecho menor de un kilómetro y ocurrió probablemente durante el segundo período de deformación, concordante con el desarrollo de fallas oblicuas de deslizamiento. Álvarez[10] sugiere dos movimientos, uno de rumbo lateral derecho, con un desplazamiento de 28 km, y otro a lo largo del buzamiento, donde el bloque sur se levantó con respecto al bloque norte.

La prolongación de la falla hacia el occidente está evidenciada en las líneas sísmicas corridas en los alrededores del Campo Chuchupa, con base en los análisis de esas líneas, trabajos recientes postulan un comportamiento tectónico variable a lo largo de la falla. Gutiérrez y Osorio[11] muestran en el extremo occidental cerca al Campo de Chuchupa, una serie de fracturas que forman un graben; en tanto que Buchelli y otros[12] indican una actividad de tipo compresivo con un período de mayor magnitud entre el Paleoceno y el Eoceno.

---

[6] ROLLINS, J. F. 1965. Stratigraphy and structure of the Guajira Peninsula, northwestern Venezuela and northeastern Colombia. Univ. Nebraska Studies, New Ser.,30:1- 1102. Lincoln

[7] Ibíd., p. 5-8.

[8] Ibíd., p. 5-8.

[9] Ibíd., p. 5-8.

[10] ÁLVAREZ, W. 1967. Geology of the Simarua and Carpintero areas, Guajira Peninsula, Colombia. Tesis Ph.D., Princeton Univ., 168 p. New Jersey.

[11] GUTIÉRREZ, M. y OSORIO, C., 1988. Evaluación del Potencial de Hidrocarburos de la Plataforma Chuchupa – Ballena, Cuenca de la Baja Guajira (Colombia), Tesis, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Santafé de Bogotá.

[12] BUCHELLI, F., GÓMEZ, L. A. y HERRERA, J. B., 1989. Geología de la Subcuenca de Cocinetas. ECOPETROL, Bogotá: 45 p.

De acuerdo a la Base de datos activas de Colombia, no se reporta actividad neotectonica de la falla Cuisa[13].

5.1.1.2.2 Falla de Oca

Es entendida como un elemento lineal simple que constituye el límite entre la Sierra Nevada de Santa Marta y la depresión de la Baja Guajira, y entre la primera y el Mar Caribe.

La traza de falla es aproximadamente rectilínea con ligeras flexiones de muy bajo ángulo y corta extensión. Esta geometría indica que el plano de falla es aproximadamente vertical en su porción somera. En el bloque sur de la falla, afloran rocas precámbricas, paleozoicas, triásicas y posiblemente del Paleógeno Temprano o Cretácico Tardío y del Eoceno. En el bloque norte, afloran casi exclusivamente sedimentitas jóvenes correspondientes a la Formación Monguí. Esta relación evidencia que el bloque sur se levantó considerablemente con respecto al bloque norte, lo cual sugiere a su vez que el plano de falla sería necesariamente vergente al norte, por lo menos en profundidad. No existen datos concretos acerca de su desplazamiento. En el área de estudio, la traza de falla se extiende con una dirección aproximada de N85ºW, por más de 150 km desde Dibulla hacia el este, hasta más allá de la frontera con Venezuela, donde entra a hacer parte del sistema de fallas Oca-El Pilar[14].

La Falla de Oca con su trazo en dirección oriente occidente, se extiende desde el municipio de Albania hasta los límites de Colombia con Venezuela. Presenta un desplazamiento dextral acompañado en la parte occidental por una componente vertical evidenciada por un levantamiento de la Sierra Nevada de Santa Marta con respecto a la península de La Guajira Cluff y Hansen, 1969. Citado por INGEMINAS[15] han mostrado, con la ayuda de la excavación de trincheras, desplazamientos dextrales recientes en la falla, sin haberlos cuantificado. La actividad sísmica conocida en la proximidad de la falla es muy débil. Se ha estimado la tasa de movimiento en 5 mm/año.

De acuerdo a la Base de datos activas de Colombia, se reporta la Falla de Oca con grado de actividad baja (0.01-0.1 mm/año) a moderada (0.1-1 mm/año)[16].

A continuación, se presenta la ubicación de los dos sistemas de fallas en relación al área de influencia total del proyecto

[13] INGEOMINAS. 2007. Geología de las planchas 11, 12, 13, 14, 18, 19, 20, 21, 25, 26, 27, 33 y 34. Proyecto: "Evolución Geohistórica de la Sierra Nevada de Santa Marta". Memoria Explicativa. Bogotá D.C. 401 p.

[14] Ibíd., p. 5-9

[15] Ibíd., p. 5-9.

[16] INGEOMINAS. 2001. Base de datos de las fallas activas de Colombia; recopilación bibliográfica. Bogotá. 331p.

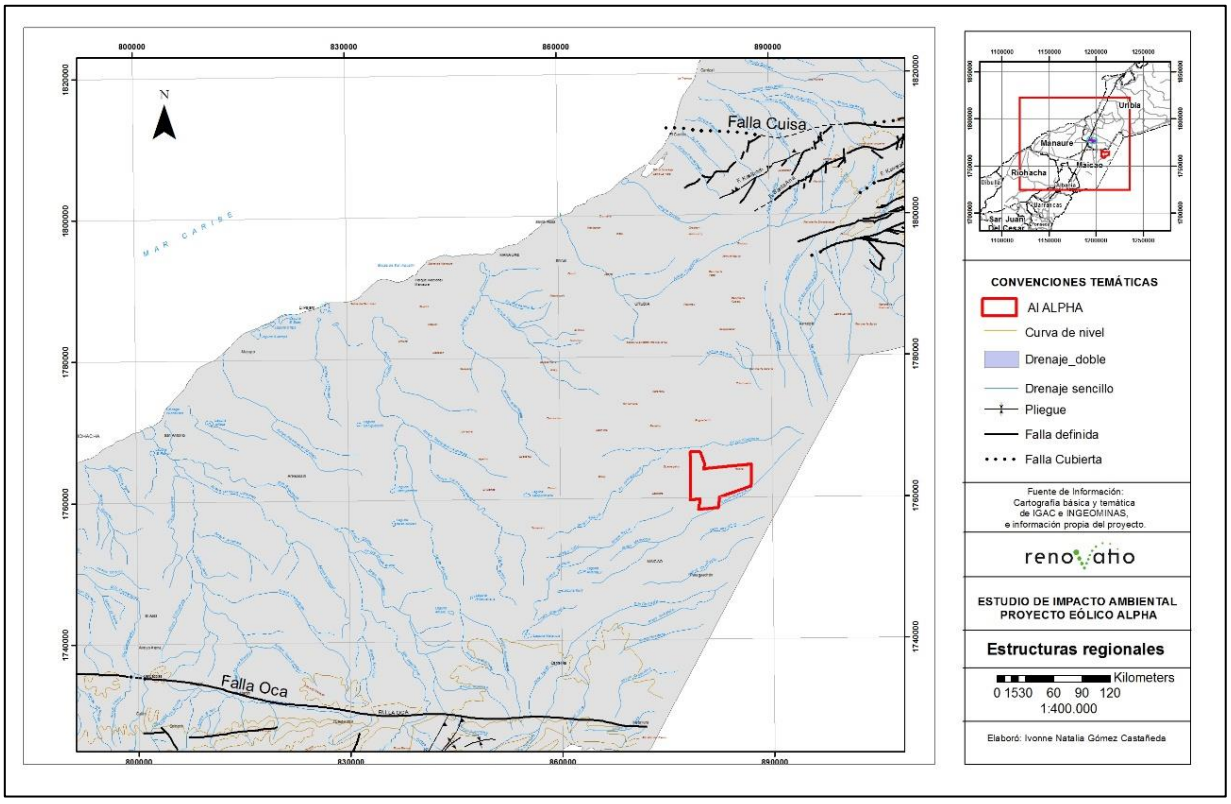


Figura 5-4. Mapa estructural regional. (Ingeominas 2002)[17]

Fuente: Renovatio 2017

5.1.1.3 *Geología del área de influencia física y área de influencia única*

En el área de estudio se realizaron nueve (9) calicatas para perfiles estratigráficos, de las cuales siete (7) se abrieron en la planicie (3,5 m de profundidad) y dos (2) en los cauces aluviales (1,0 metro de profundidad), a partir de la descripción de las mismas se identifica una uniformidad en el tipo de material, conservando textura, gama de colores y presencia de carbonatos. A continuación, se presenta la ubicación y descripción de cada una de ellas:

Tabla 5-2. Lista de calicatas para perfiles estratigráficos

Calicata	Ranchería	E	N	Profundidad (m)
C1	Jununtao	885385	1762601	3,50
C2	Jununtao	883736	1762415	3,50
C3	Sachikimana	881984	1762090	3,50
C4	Araparen	880436	1762500	3,50

[17] INGEOMINAS. Op. cit. p. 5-5.

Calicata	Ranchería	E	N	Profundidad (m)
C5	Araparen	878781	1764885	3,50
C6	Araparen	878774	1761315	3,50
C7	Sachikimana	882173	1759823	3,50
C8	Araparen	878791	1761892	1,00
C9	Jununtao	885396	1762093	1,00

Fuente: Renovatio 2017

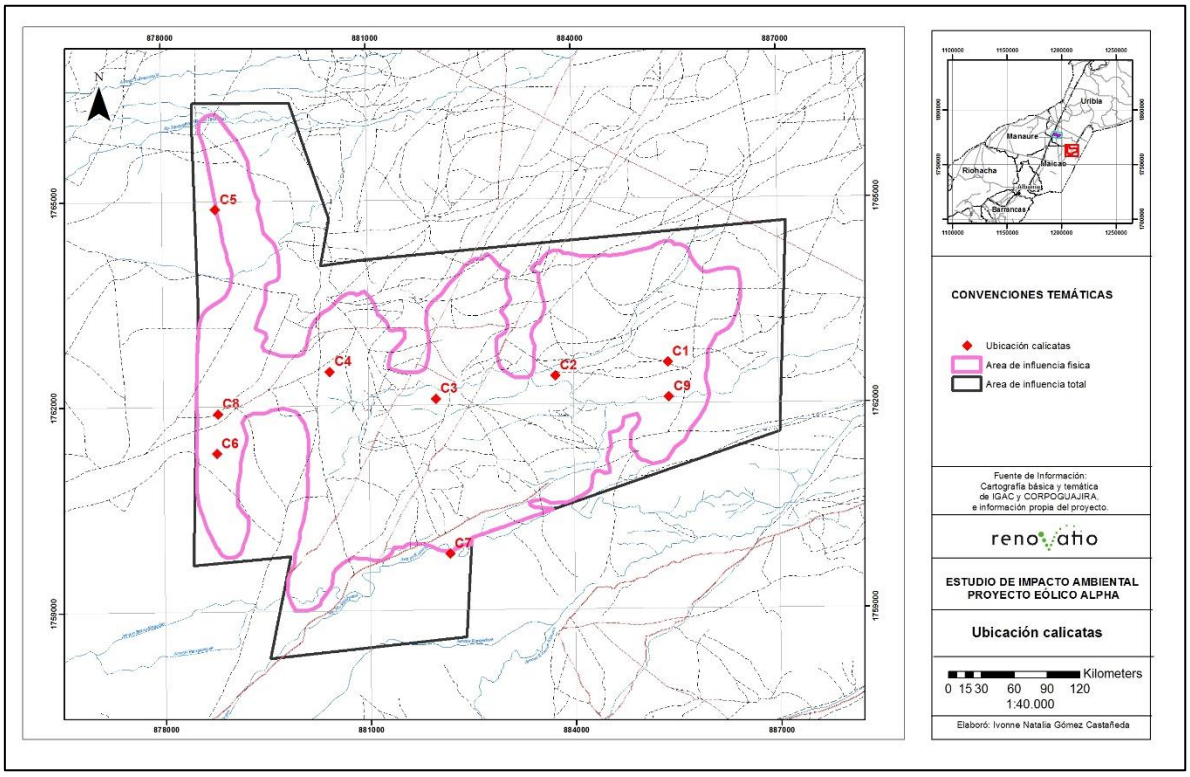


Figura 5-5. Mapa de ubicación de calicatas para perfiles estratigráficos

Fuente: Renovatio 2017

En el Numeral 5.1.7 Geotecnia, se presentan los perfiles estrátigráficos analizados.

Con la información obtenida en campo, se realizó un análisis detallado de la ortofoto con el objeto de delimitar a detalle las unidades geológicas en especial las unidades eólicas superficiales (Figura 5-6).

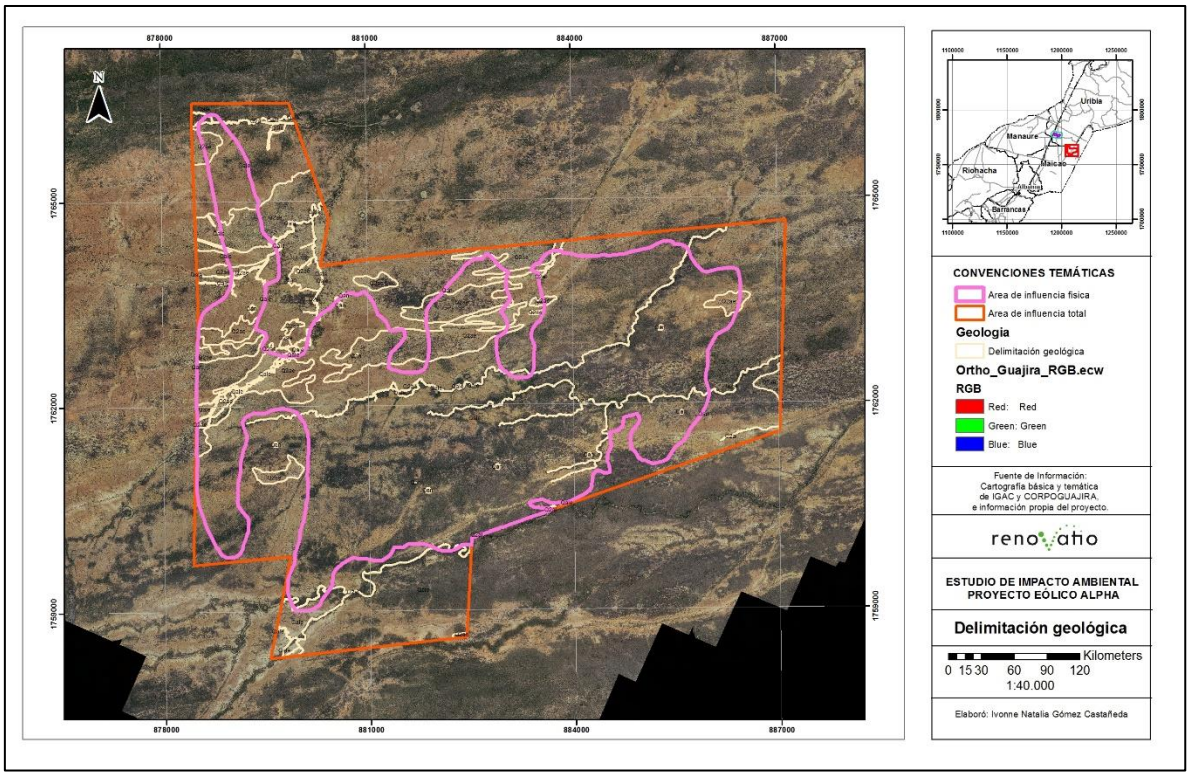


Figura 5-6. Análisis geológico de ortofoto

Fuente: Renovatio 2017

De acuerdo a la información secundaria, la interpretación de imágenes, la información levantada en la fase de campo y la descripción de los perfiles estratigráficos, se identificaron en el área de influencia única y el área de influencia física, cuatro (4) unidades geológicas (Tabla 5-3), siendo los depósitos aluvio-marinos y eólicos la unidad geológica más representativa con un 87,04% del AIU. En la Figura 5-7 y Figura 5-8 se presenta el mapa y el perfil geológico detallados.

Tabla 5-3. Unidades geológicas en el área de influencia única y área de influencia física

Unidad geológica	Código	Área influencia Única (ha)	%AIU	Área de influencia física (ha)	%AIF
Depósitos aluvio-marinos y eólicos	Qale	3.647,477	87,02	2.177,506	87,66
Depósitos de cauce aluvial	Q2al	21,815	0,52	11,398	0,46

Unidad geológica	Código	Área influencia Única (ha)	%AIU	Área de influencia física (ha)	%AIF
Arenas eólicas	Q2ae	517,985	12,36	291,798	11,75
Depósitos antrópicos	Qan	4,130	0,10	3,391	0,14

Fuente: Renovatio 2017

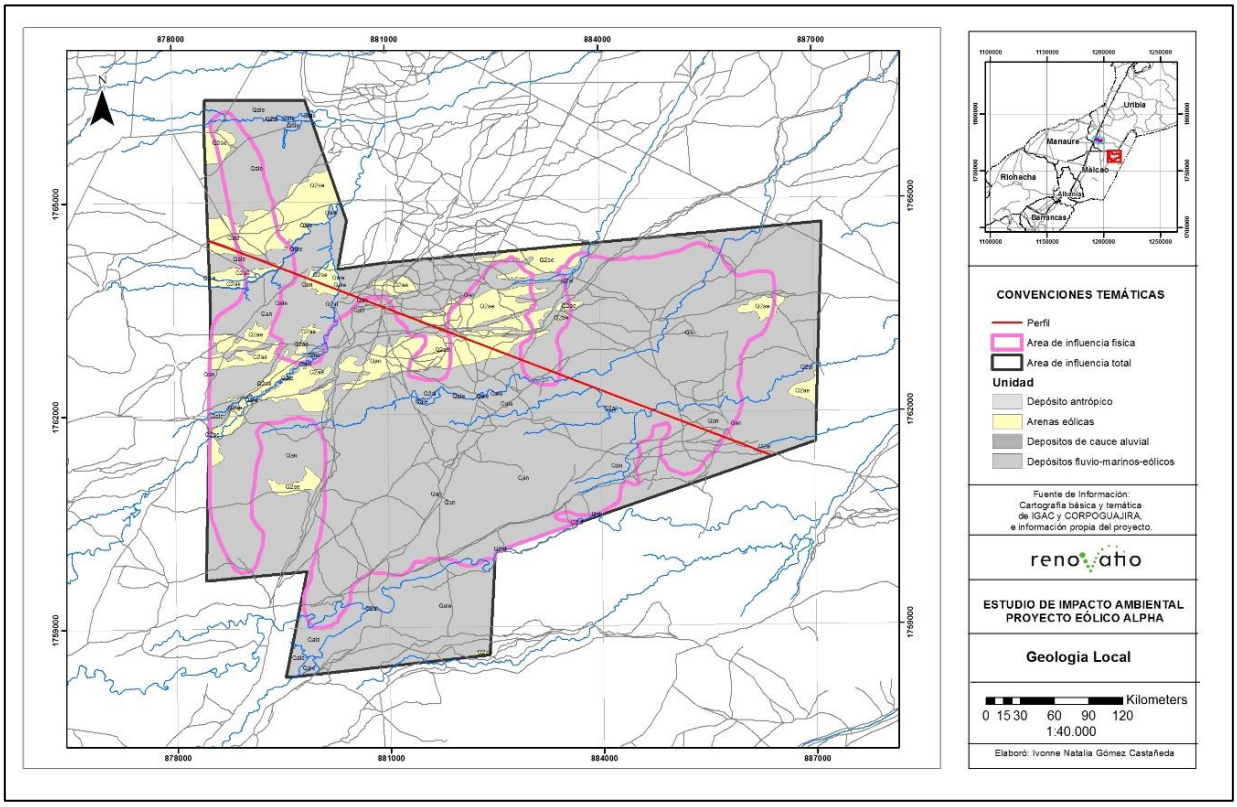


Figura 5-7. Mapa geológico del área de influencia única y área de influencia física

Fuente: Renovatio 2017

En el siguiente perfil se representa las unidades geológicas de la zona, donde los depósitos recientes tienen espesores importantes.

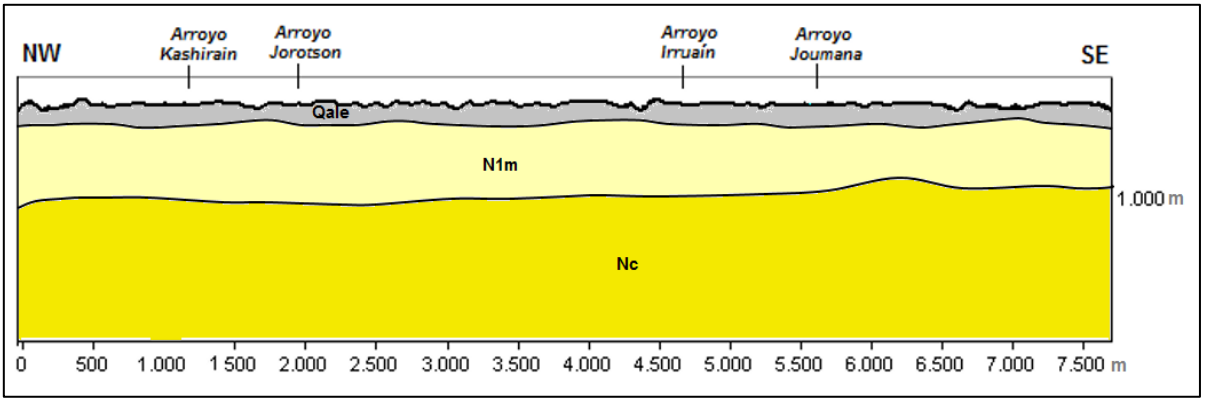


Figura 5-8. Perfil geológico local

Fuente: Renovatio 2017

Depósitos aluviomarinos y eólicos (Qale)

El nombre propuesto informalmente para esta unidad se justifica en la dificultad que existe en campo de separar los depósitos aluviomarinos de los eólicos, estos últimos tienen una alta dinámica en la zona por acción de los fuertes vientos y su presencia como unidad superficial está sujeta a este fenómeno meteorológico.

Estos depósitos se caracterizan por secuencias de material de textura arcillo limosa, franco arcillo limosas y limosa, con presencia de material calcáreo que se observa en forma de manchas blancas o motas (reacciona a la prueba de HCL), este material es asociado al ambiente marino y se reporta en las nueve (9) calicatas. Se reporta también la presencia de manchas oscuras asociadas a la meteorización de minerales máficos. Ver Imagen 5-1 columna estratigráfica número 7 como ejemplo.

En general, este material se caracteriza por ser compacto, seco y de alta resistencia a la penetración, características que son homogéneas para toda el área de influencia única y área de influencia física.

Sobre esta unidad geológica se identifica una capa irregular de arena de origen eólico de pocos centímetros de espesor, en algunas áreas es de mayor relevancia y fueron delimitadas en una unidad diferente.

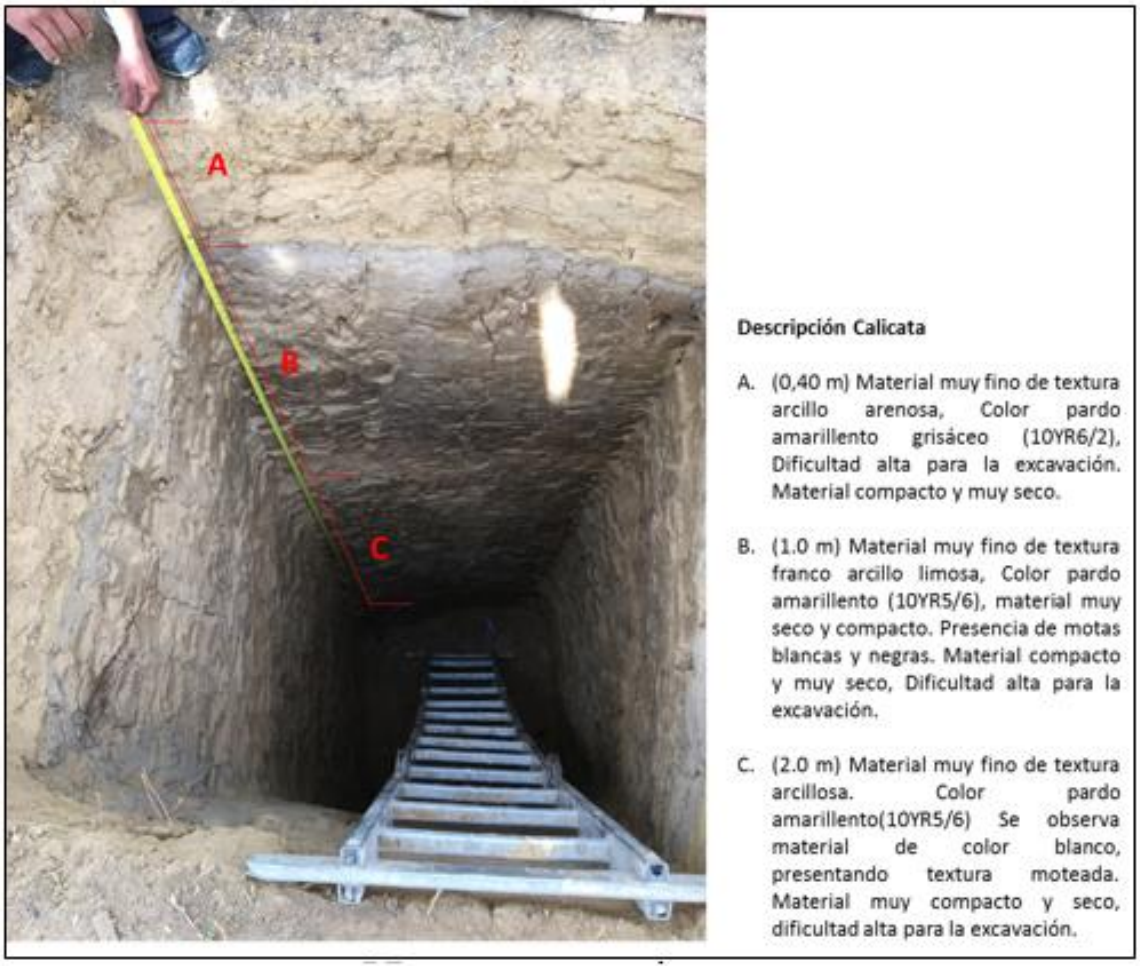


Imagen 5-1. Columna estratigráfica – Calicata 7

Fuente: Renovatio 2017

5.1.1.3.1 Arenas eólicas (Q2ae)

Esta unidad es netamente superficial y se logra identificar hacia la zona central del área de influencia física. Estos depósitos están caracterizados por arenas de tamaño medio, compuestos principalmente de granos de cuarzo cristalino, tamaño medio y muy redondeado. Se presentan en proporción de uno a diez granos de líticos rojos y negros, igualmente de tamaños medios y bien redondeados.

Estos depósitos pueden alcanzar hasta un (1) metro de altura, en general se observan como suaves ondulaciones, se caracterizan por un color crema a crema rojiza y no se observa ninguna evidencia de material calcáreo. Los depósitos de mayor altura contrastan con la morfología plana de los depósitos aluvio-marinos recientes.

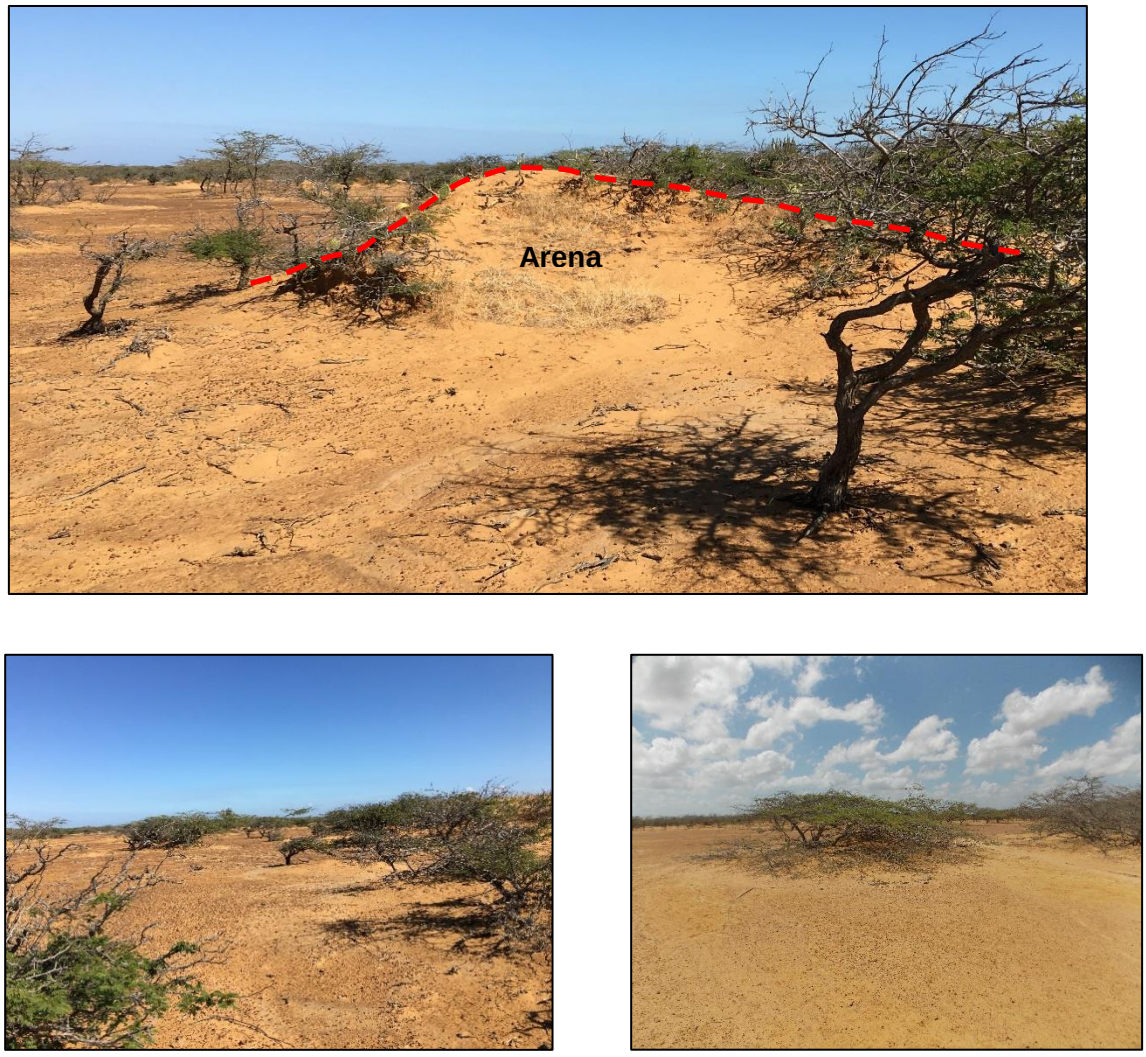


Imagen 5-2. Depósitos de arena superficiales

Fuente: Renovatio 2017

5.1.1.3.2 Depósitos de cauce aluvial (Q2al)

El origen de estos depósitos está relacionado con la dinámica de los arroyos presentes en el área, los cuales por su naturaleza torrencial intermitente (sólo se comportan como arroyos en época de invierno). Están compuestos de arcillas, limos y arenas, se observaron en el lecho o canal de las corrientes.

Las corrientes en la zona presentan un comportamiento erosivo mas no depositacional; en los taludes de los canales se pueden observar las secuencias de material limo arcilloso y franco arcillo limoso descrito en la unidad anterior (Depósitos fluvio marinos y eólicos).

En la fotografía se observan tres niveles (A, B, C) correspondiente a materiales similares a los descritos en las calicatas y no se observan depósitos recientes, lo que confirma la dinámica erosiva de los arroyos de la zona.

El material que se observa en los canales se caracterizada por arenas finas y medias similares a las arenas eólicas que en épocas de lluvias son movilizadas por el agua de escorrentía hacia los principales arroyos.

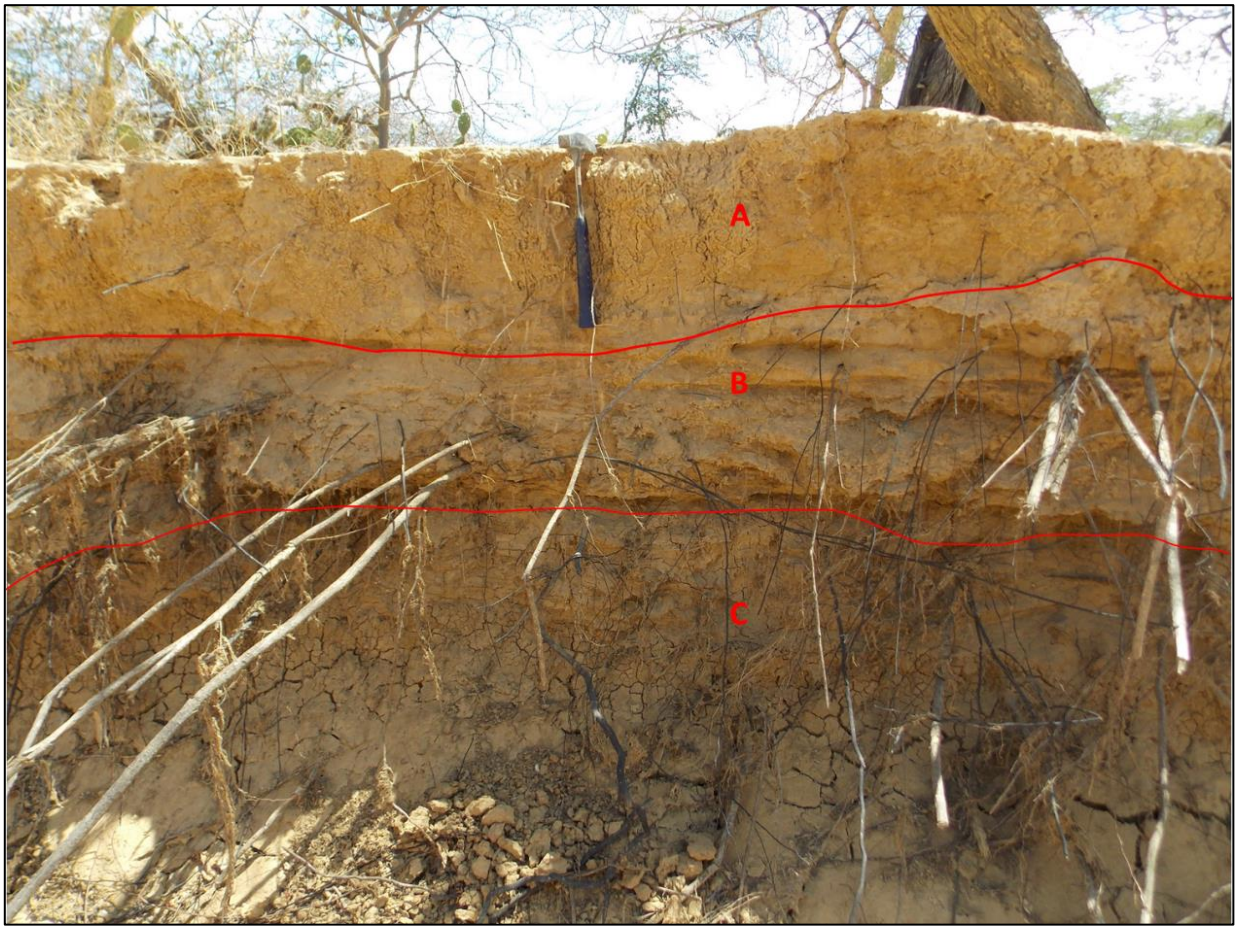


Imagen 5-3. Secuencia de material limos arenoso de origen fluvio marino

Fuente: Renovatio 2017



Imagen 5-4. Material arenoso en el cauce de los arroyos

Fuente: Renovatio 2017

5.1.1.3.3 Depósitos antrópicos (Qan)

Corresponde a pequeños depósitos de acumulaciones de material, asociados a la extracción de material para la construcción de Jagüeyes, los cuales son dispuestos en forma de dique para la acumulación de agua.

Estos depósitos son de material de textura arcillo-limosa y limosa, de color pardo amarillento característico en la zona.



Imagen 5-5. Material dispuesto en forma de dique para la construcción de jagüeyes

Fuente: Renovatio 2017

5.1.1.4 *Geología Estructural Local*

De acuerdo a la caracterización geológica de la alta y media Guajira, esta zona está compuesta por depósitos recientes de origen aluvio marinos de extensión regional y espesores profundos que van en concordancia con el ambiente de formación y evolución geológica de la península de la Guajira.

Los depósitos recientes por su naturaleza y origen solo podrían presentar evidencia de actividad geotectónica, pero de acuerdo a los estudios realizados en la zona, a la fecha no existe reporte de tal actividad.

Es por esta razón que la caracterización estructural de la zona se realiza a nivel regional en el 5.1.1.2 de este documento, donde se soporta desde el mapa estructural regional y los perfiles geológicos regionales y locales, la no existencia de estructuras geológicas tipo fallas, pliegues, lineamientos, etc. con influencia en el área de estudio.

5.1.1.5 *Morfometría*

5.1.1.5.1 Pendientes

Las pendientes se determinaron utilizando un modelo digital de elevación de 12,5 m de resolución espacial, del sensor Alos Palsar. Las pendientes se definen como el ángulo de la ladera con respecto a la horizontal, en términos de grados o en términos de porcentaje.

Para el área de influencia del proyecto, esta variable muestra un predominio de tres rangos (0-1%, 1-3% y 3-7%) de pendientes, que corresponden aproximadamente al 98,65% del área de influencia única, debido a que presenta un relieve homogéneo muy bajo, típico de la zona del desierto de la alta y media Guajira ver Figura 5-9., Tabla 5-4.

Tabla 5-4. Grados de pendientes en el AIU

Pendiente	RANGO	Área AIU (ha)	%AIU	Área AIF (ha)	%AIF
Plana	0-1%	703,582	16,8	442,159	17,80
Ligeramente plana	1-3%	2.404,741	57,38	1.453,624	58,52
Ligeramente inclinada	3-7%	1.025,396	24,47	562,977	22,66
Moderadamente inclinada	7-12%	54,927	1,31	24,509	0,99
Fuertemente inclinada	12-25%	1,761	0,04	0,823	0,03

Fuente: Renovatio 2017

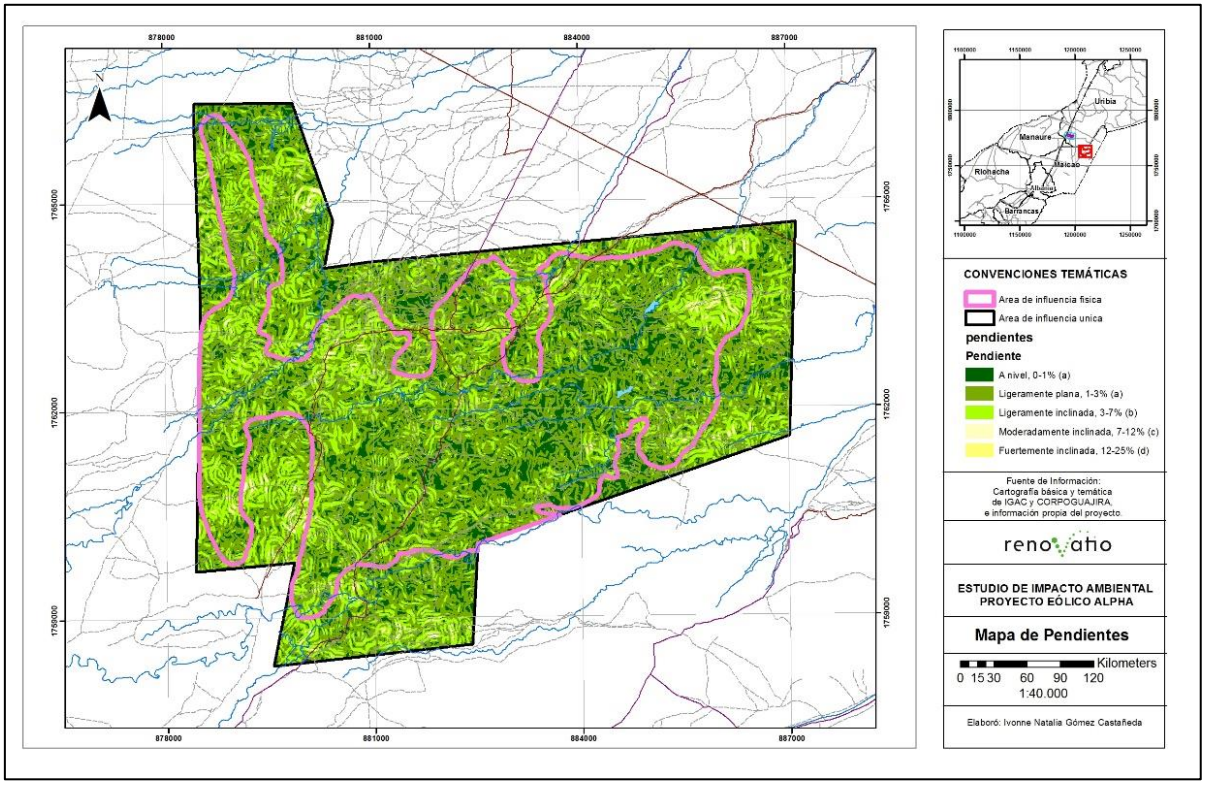


Figura 5-9. Mapa de pendientes del área de Influencia única y área de influencia física

Fuente: Renovatio 2017

5.1.1.6 *Morfodinámica*

De acuerdo a las condiciones topográficas que presenta el área de estudio, caracterizada casi en su totalidad por pendientes inferiores al 7%, es improbable la generación de movimientos en masa tipo deslizamientos, ya que no tiene inclinación para que se desarrolle un desplazamiento de una masa de roca o de suelo desprendido.

Para caracterizar la evolución de los procesos se realizó una búsqueda de imágenes y fotografías aéreas de varias décadas entre las que se identificaron las siguientes:

Tabla 5-5. Lista de fotos e imágenes para análisis multitemporal

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTIN CODAZZI				
Vuelo	Escala	Año	No fotos	Usada para el estudio
C-1358	31300	1971	28 a 36	No
	31100	1071	44 a 52	No
C.2447	51800	1991	69 a 73	No
C-2686	41300	2003	78 a 84	No
	41700	2003	89 a 95	No
ORTOFOTOGRAFÍA				
Imagen	**Tamaño pixel**	**Año**	**Formato**	**Usada para el estudio**
Fotografía aérea a color (RGB)	15 cm	2017	.ecw sistema magna sirgas	Si
IMÁGENES HISTÓRICAS GOOGLE EARTH				
Fuente		**Fecha**	**No**	**Usada para el estudio**
Google earth		26 -09 -2011	1	Si
Google earth		30-12-2010	1	No
Google earth		03-08-2009	1	No
Google earth		03-01-2003	1	No
Google earth		31-12-1969	1	No

Fuente: Renovatio 2017

Una vez identificadas las imágenes de la zona, se revisaron con respecto a resolución y calidad de la imagen, descartando para el análisis casi la totalidad de ellas, en vista de que no era posible la identificación de características detalladas de la zona de estudio, solo se desarrolló en la interpretación e identificación de procesos erosivos en la ortofoto y la imagen de google earth del año 2011.

El análisis de la ortofoto y la imagen de 2011, así como los recorridos de campo, permitieron identificar dos tipos de procesos erosivos: surcos y cárcavas, socavación lateral de cauces.

Surcos y cárcavas. La erosión en surcos ocurre cuando el flujo superficial empieza a concentrarse sobre la superficie del terreno, debido a la irregularidad natural de la superficie. Al concentrarse el flujo en pequeñas corrientes sobre una pendiente, se genera una

concentración del flujo, el cual por la fuerza tractiva de la corriente produce erosión, formándose pequeños surcos o canales, los cuales inicialmente son prácticamente imperceptibles, pero poco a poco se van volviendo más profundos. En estos surcos la energía del agua en movimiento adquiere cada vez, una fuerza mayor capaz de desprender y transportar partículas de suelo (Scaglia, y otros, 2008). Inicialmente, los pequeños canales presentan una forma en V y en su evolución puede pasar a forma en U. Al profundizarse y ampliarse los surcos de erosión se convierten en cárcavas, o varios pequeños surcos pueden unirse y crecer para formar una cárcava.

En la zona se identifican éstos procesos, relacionados directamente a los arroyos y vías; los arroyos que presentan con mayor concentración este tipo de erosión en sus márgenes son los arroyos Malayuipana, Kasucho, Pasipamana, Jorotson, Kashirain y, las vías son en su mayoría las que están al interior de las rancherías. En relación a las dos fechas revisadas (ortophoto 2017 y google earth 2011) se indica un aumento de este tipo de procesos en la zona de los arroyos Jorotson, Kashirain y Joumana.



Imagen 5-6. Procesos sobre las márgenes del arroyo Kasucho

Fuente: Renovatio 2017

Socavación lateral de cauces. La socavación ocurre sobre todo en llanuras aluviales o zonas de pendientes muy bajas. Este proceso se da por acción de la velocidad del agua, en las zonas del cauce donde la velocidad es mayor, la erosión aumenta por la fuerza centrífuga, el agua excava la orilla y crea una forma cóncava; mientras que, al otro lado, donde el flujo es más lento, crece la depositación de sedimentos y la pared se hace convexa.

En la zona de estudio se presentan varios tipos de arroyos, unos que apenas se insinúan en la topografía y otros que presentan grandes y amplios canales, en la segunda categoría se identifican con frecuencia este tipo de procesos erosivos, estos arroyos tienen una alta capacidad a la socavación en las temporadas de lluvia donde tienen caudales importantes, a esto se suma la alta susceptibilidad del material geológico a este tipo de procesos.

Desde la caracterización de campo y la fotointerpretación se identificaron que los arroyos Kashirain, Jorotson, Irruaín, Kasucho y Arroyo Mocucutao (Brazo Toluiche), presentan una alta

erosión de orillas, no solo en los meandros, sino en todo su recorrido, como se observa en la Imagen 5-7.

Este tipo de erosión es evidente en las dos fechas evaluadas, para el año 2011 se observa socavación lateral asociada a los arroyos Kasucho y Jorotson, para el año 2017 se observa un aumento en el área afectada de estas dos corrientes y en los arroyos Irruaín y Joumana. Es probable que el número de áreas reportadas para el año 2011 sea mayor, y no se observaron debido a la baja resolución de la imagen. A continuación, se presentan algunas fotografías donde se observa este fenómeno erosivo.



Arroyo Mocucutao (Brazo Toluiche)



Arroyo Kashirain

Imagen 5-7. Procesos de socavación lateral

Fuente: Renovatio 2017

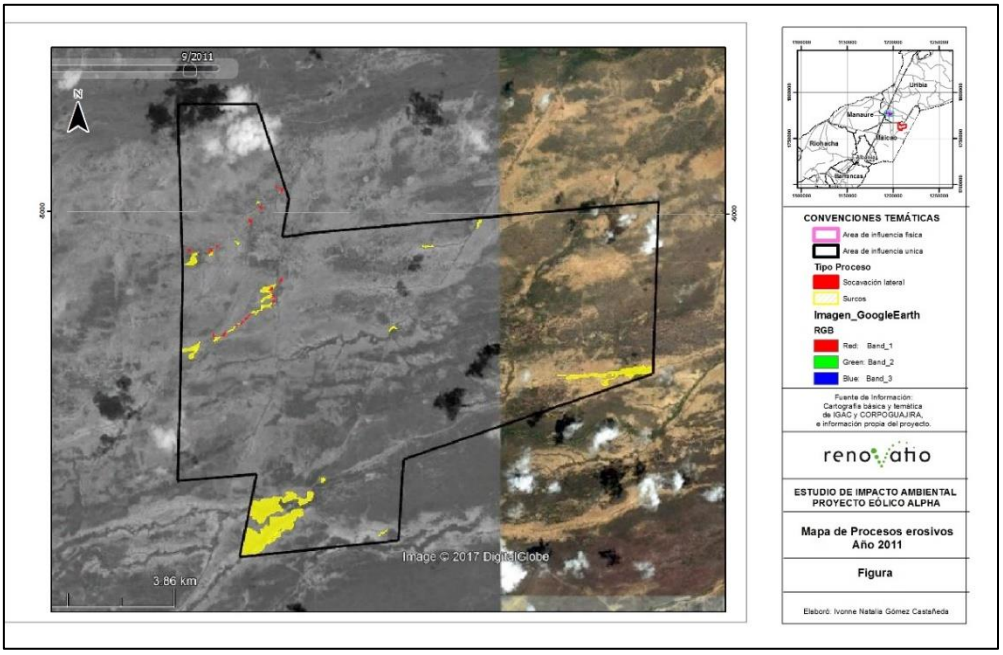


Figura 5-10. Áreas afectadas por procesos erosivos año 2011

Fuente: Renovatio 2017

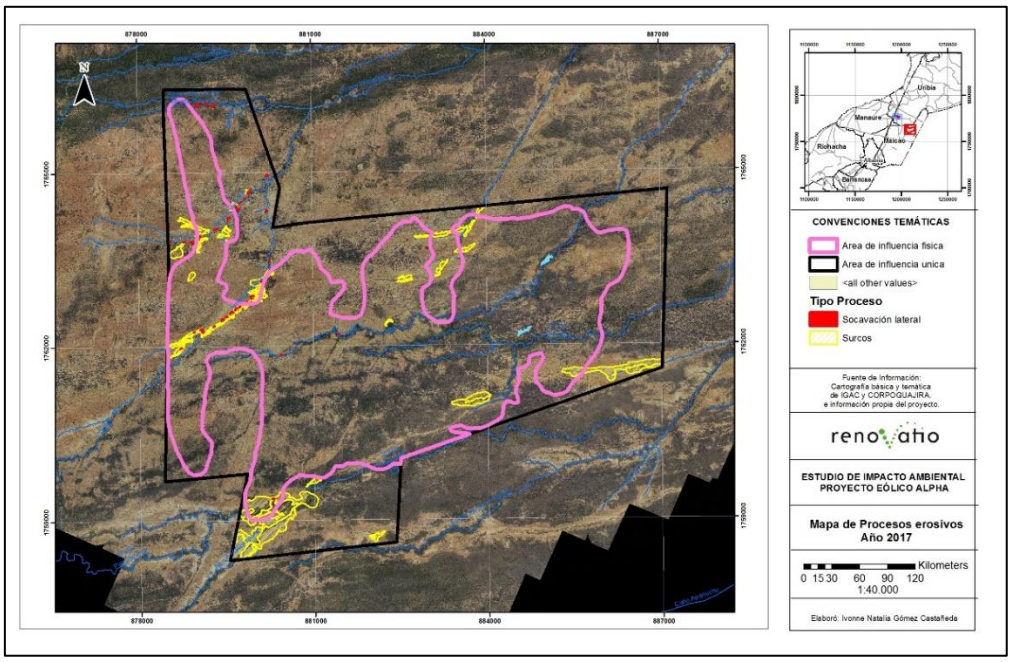


Figura 5-11. Áreas afectadas por procesos erosivos año 2017

Fuente: Renovatio 2017

5.1.2 Geomorfología

5.1.2.1 *Morfogénesis*

La geomorfología se encarga de estudiar las formas del relieve de la superficie terrestre, describiéndolas, ordenándolas sistemáticamente y determinando su origen y evolución a través del tiempo, así como estableciendo las fuerzas, los agentes y los procesos responsables de la morfología actual.

La clasificación y descripción geomorfológica se elabora teniendo en cuenta el sistema de clasificación geomorfológica de la metodología oficial del Instituto Geográfico Agustín Codazzi[18], que se basa en las siguientes categorías:

- **Geoestructura**. Hace referencia a las megaestructuras de la tierra, definidas según su formación u origen. Se consideran cinco tipos: la Cordillera, Escudo o Cratón y Cuenca Sedimentaria.
- **Ambiente morfogenético de la Geoestructura**. Es el tipo amplio del medio biofísico originado y controlado por la geodinámica (geoestructuras) interna y/o externa de la región: (Deposicional, Disolucional, Erosional o Denudacionales, Estructural, Mixto y Residual).
- **Paisaje**. Es una porción de espacio, que se mide en decenas de kilómetros y que está constituido por una repetición de tipos de relieve idénticos o por una asociación de tipos de relieve diferentes. Un paisaje se caracteriza por los siguientes criterios: el tipo de topografía, la forma de la topografía, la posición relativa, la desnivelación y las condiciones de vecindad (Altiplanicie, Piedemonte, Lomerío, Peneplanicie, Montaña, Piedemonte, Planicie y Valle).
- **Tipos de relieve**. Los tipos de relieve son aquellas geoformas determinadas por una combinación dada de topografía y geología estructural, y el modelado lo constituyen las geoformas determinadas por condiciones morfoclimáticas o por procesos morfogenéticos específicos.
- **Forma del terreno**. Corresponde al nivel más bajo del sistema jerárquico propuesto; es la unidad geomorfológica elemental y está caracterizada por una geometría, una dinámica y una historia particular.

[18] INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTÍN CODAZZI-IGAC. 2007. Manual de Campo para Levantamiento de Suelos y Tierras. IGAC. 164 p.

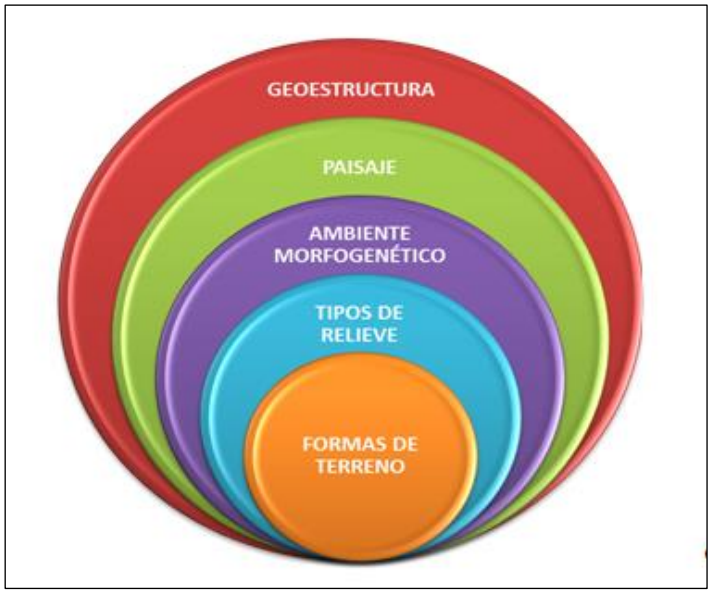


Figura 5-12. Esquema jerárquico y multicategórico del sistema geomorfológico aplicado a los levantamientos de suelos

Fuente: Renovatio 2017

5.1.2.2 *Marco geomorfológico*

A nivel regional, el área de influencia única del proyecto se encuentra enmarcada dentro la zona geoestructural denominada como Cuenca sedimentaria, correspondiente a un ambiente deposicional donde predominan los procesos de acumulación. A su vez se ubica en la unidad de paisaje de Planicie, caracterizada por procesos exógenos de formación y/o a su litología presente en la zona como es el caso de agentes aluviales, fluvio marinos y eólicos.

5.1.2.3 *Geomorfología del área de influencia única y del área de influencia física*

Para la caracterización y zonificación geomorfológica se realizó una identificación de fotografías aéreas e imágenes, que serían el insumo para esta clasificación, entre las que se identificaron.

Tabla 5-6. Imágenes identificadas para el análisis geomorfológico

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTIN CODAZZI				
Vuelo	**Escala**	**Año**	**No fotos**	**Usada para el estudio**
C-1358	31300	1971	28 a 36	No
	31100	1071	44 a 52	No
C.2447	51800	1991	69 a 73	No
C-2686	41300	2003	78 a 84	No

	41700	2003	89 a 95	No
ORTOFOTOGRAFÍA				
Imagen	**Tamaño pixel**	**Año**	**Formato**	**Usada para el estudio**
Fotografía aérea a color (RGB)	15 cm	2017	.ecw sistema magna sirgas	Si
IMÁGENE DE GOOGLE EARTH				
Fuente		**Fecha**	**No**	**Usada para el estudio**
Google earth		30-12-2016	1	Si

Fuente: Renovatio 2017

De las fotografías identificadas en el IGAC, no se realizaron análisis debido a que las escalas no ofrecían un detalle que permitieran la delimitación a detalle de las unidades geomorfológicas.

Posteriormente se realizó la interpretación a detalle de la ortofotografía que presenta un detalle de pixel de 15 cm (Figura 5-13), y de la imagen de Google; ambas son recientes y permitieron la identificación y delimitación de las formas de terreno, que fueron corroboradas por medio de recorridos por las principales vías, caminos y arroyos en la zona durante el trabajo de campo.

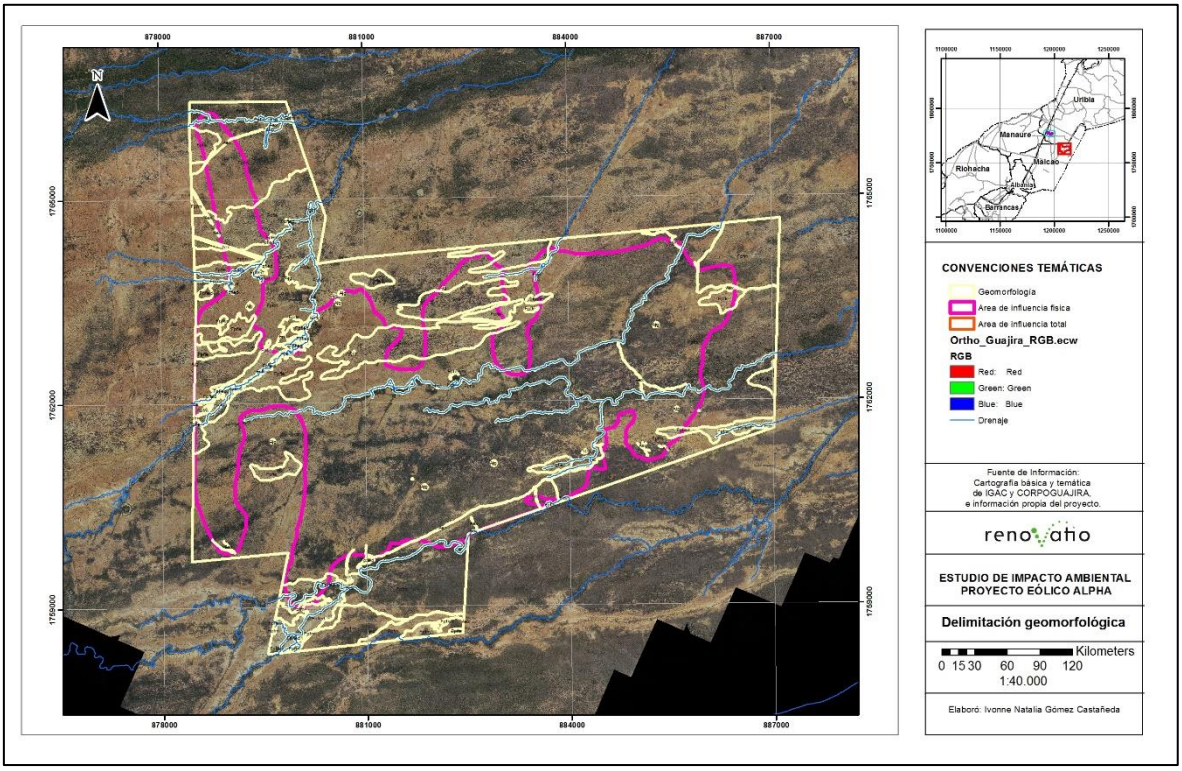


Figura 5-13. Análisis geomorfológico de la ortofoto

Fuente: Renovatio 2017

En relación a este análisis se definieron en el área de influencia única seis (6) unidades o formas de terreno que se presentan en la Tabla 5-7.

Tabla 5-7. Unidades geomorfológicas identificadas en el área de estudio

Geoestructura	Paisaje	Ambiente morfogenético	Tipo de relieve	Formas de terreno	Área AIU (ha)	Área AIF (ha)
Cuenca Sedimentaria	Planicie	Depositacional	Llanura	Explanación	16,514	8,263
				Jagüey	4,130	3,391
				Cauce activo	20,815	11,398
				Planicie fluvio-marina	3502,62	2125,873
				Planicie fluvio-marina disectada	129,303	44,295
				Planicie fluvio-marina-eólica	517,028	290,873

Fuente: Renovatio 2017

De acuerdo a la zonificación realizada se observa una homogeneidad geomorfologica caracterizada por la forma de terreno Planicie fluvio marina, la cual áesta representando el 83,59% del área de influencia única y el 85,63% del área de infuencia física; en segunda posición se tiene la planicie fluviomarina-eólica, que está representada por el 12,36% y 11,75% del área de influencia única y física respectivamente. Las otras cuatro unidades tienen una representación inferior al 5%.

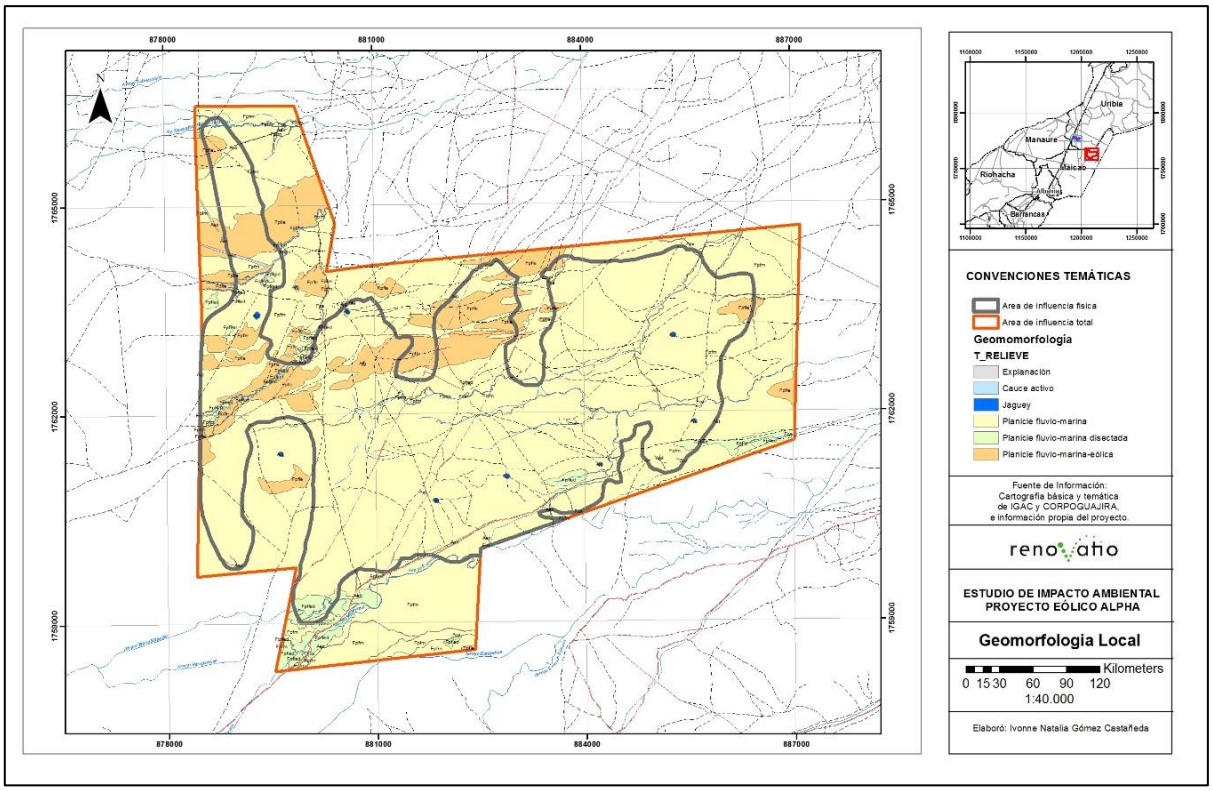


Figura 5-14. Mapa geomorfológico del área de influencia única y física

Fuente: Renovatio 2017

Geomorfológicamente la zona presenta pocas variaciones topográficas, caracterizada por pendientes muy bajas, como se observa en el siguiente perfil topográfico generalizado.

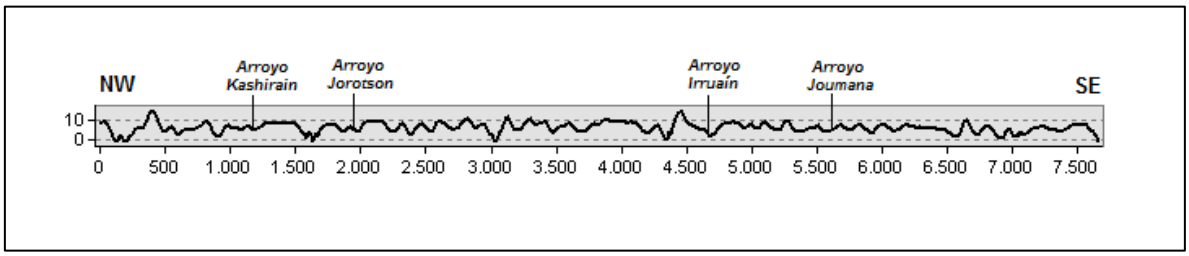


Figura 5-15. Perfil topográfico generalizado del área de influencia única

Fuente: Renovatio 2017

A continuación, se hace una descripción de las formas de terreno identificadas en el área de influencia del proyecto.

Ambiente depositacional: el cual incluye las geoformas que se originan por la acumulación o sedimentación de materiales, éstas pueden estar asociadas a la depositación de corrientes como ríos y quebradas, tanto en épocas de grandes avenidas e inundación, como en la dinámica normal de las corrientes perennes, durante la época seca. De esta manera, es posible encontrar unidades aledañas a ríos, quebradas y en el fondo de los cauces, cuyos depósitos son transportados y acumulados cuando éstas pierden su capacidad de arrastre (Servicio Geológico Colombiano[19].

5.1.2.3.1 Planicie fluviomarina

Porción de terreno extensa, plana, no confinada, de posición baja y pendiente plana a suave, generalmente menor a 5°. Compuesta geológicamente por materia de origen aluvial y en algunas zonas tienen presencia de material de origen marino.

Planicie fluviomarina (Fpfm). Esta forma corresponde a la mayor extensión del área de estudio, se caracteriza por ser una zona con pendientes muy bajas a planas, inferiores al 3%, con forma plana a levemente ondulada, esta unidad presenta erosión superficial por acción directa de la lluvia.

A continuación, se presentan algunas imágenes donde se observan las características propias de esta unidad.





[19] SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO (SGC). 2012. Propuestas sistemática para la generación de mapas geomorfológicos análiticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000-Bogotá, D.C. 88 p. Anexo A - glosario de unidades y subunidades geomorfológicas.

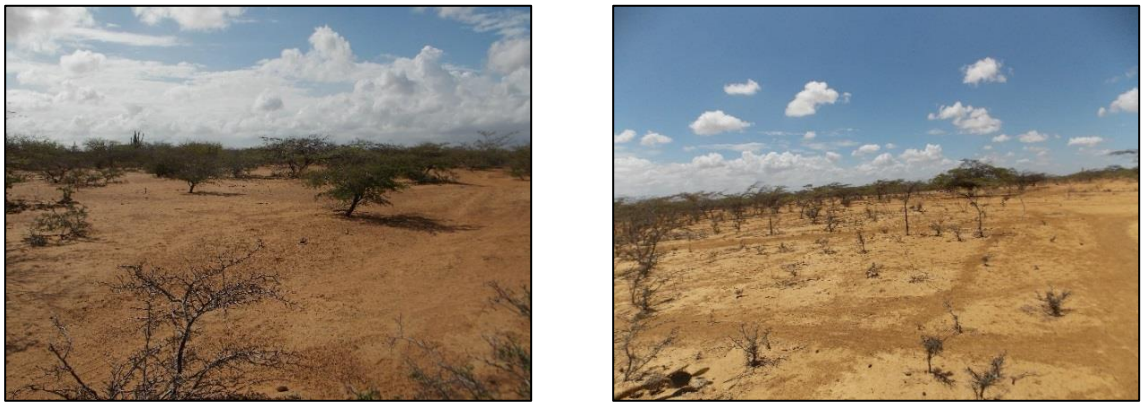


Imagen 5-8. Panorámicas de la planicie fluviomarina, unidad de mayor representación en el área del proyecto

Fuente: Renovatio 2017

Planicie fluviomarina y eólica (Fpfme). Esta unidad presenta características muy similares a la unidad anterior, la diferencia radica en la presencia de depósitos superficiales recientes de arena que le imprime un aspecto más ondulado, esta característica es variable, así como la delimitación de la unidad en el tiempo, ya que la acción directa del viento está continuamente transportando arena y modificando la topografía superficial.





Imagen 5-9. Planicie fluvio marina y eólica, se observan pequeñas ondulaciones asociadas a las arenas transportadas por el viento

Fuente: Renovatio 2017

Planicie fluvio marina disectada (Fpfmd). Esta forma está relacionada directamente a los procesos erosivos que afectan la unidad de planicie fluvio marina en la zona, en temporadas de lluvia el escurrimiento y/o evacuación del agua forma surcos y cárcavas en las zonas aledañas a los cauces de los arroyos y de las vías. Estas zonas se relacionan con los arroyos Malayuipana, Kasucho, Pasipamana, Jorotson, Kashirain y en las vías que en épocas de lluvias se comportan como arroyos temporales.

La intensidad de estos procesos viaria entre leve a muy fuerte en relación a la cercanía del arroyo o la via, como se pueden apreciar en las siguientes fotografías.







Imagen 5-10. Planicie fluviomarina disectada, sector del arroyo Kasucho

Fuente: Renovatio 2017

Cauce activo (Fca). Esta unidad está relacionada directamente a la red de arroyos del área de influencia física. En esta red existe una amplia variedad en amplitud y profundidad, algunos de estos apenas se insinúan en la topografía, mientras que otros son canales profundos que pueden tener de 3 a 4 m de profundidad y amplitudes que varían aproximadamente entre los 4 y 20 m.



Arroyo Mocucutao



Arroyo Kashirain



Arroyo Jorotson | Arroyo Sin nombre

Imagen 5-11. Arroyos en el área de influencia física

Fuente: Renovatio 2017

Ambiente mixto: este ambiente Incluye las geoformas originadas como resultado de la intervención del hombre sobre el terreno, en la mayoría de los casos con el objetivo de realizar construcción de vivienda, obras de ingeniería, disposición de desechos o escombros y adecuación de nuevas vías, que modifica la morfología natural del terreno[20] (SGC, 2012).

En este ambiente se identificaron dos unidades.

Jagüey (Ajg). Esta unidad de origen antrópico, corresponde a pequeñas depresiones o zanjas rodeadas de diques para la construcción de reservorios de agua lluvia que sirven para consumo humano, usos varios o como abrevaderos para el ganado caprino y ovino.



Imagen 5-12. Jagüey en la zona de influencia física

[20] Ibíd., p. 5-30.

Fuente: Renovatio 2017

Explanaciones (Aex). Esta unidad está asociada directamente al sistema vial en la zona, correspondiente a vías improvisadas, sin ninguna planificación. En su mayoría las vías y caminos, en épocas invernales, se comportan como arroyos, lo que hace imposible el tránsito en estas temporadas al año.

La improvisación de este sistema, ha generado la proliferación de procesos erosivos por escurrimiento, esta unidad se ubica en franjas paralelas a las márgenes de vías y arroyos.



Imagen 5-13. Unidad explanaciones – vía

Fuente: Renovatio 2017

Para el desarrollo del proyecto se requiere la construcción de infraestructura donde se deben intervenir algunas de las corrientes de la zona, como es el caso de la construcción y adecuación de vías, en función de esto, se identificaron 14 ocupaciones de cauce en el área de influencia única del proyecto; a continuación, se presenta una descripción geomorfológica de acuerdo a las unidades identificadas previamente para cada una de las ocupaciones.

No ocupación	Nombre de la Fuente	Coordenadas		Descripción Geomorfológica	Foto
1	Kashirain	879300,0984	1764001,9433	Este sector del arroyo se encuentra ubicado dentro de la unidad Planicie fluviomarina, está caracterizado por una corriente amplia, meándrica, con un canal que presenta aproximadamente 14 m de ancho; y profundidad de alrededor de 1.8. El lecho está compuesto de arenas media a finas. El canal es temporal, a la fecha de su caracterización se encontraba seco.	
2	Jorotson	878806,8803	1762157,6503	Este sector del arroyo se encuentra ubicado dentro de la unidad Planicie fluviomarina disectada. Esta corriente es general amplia y sinuosa, pero en el tramo de intervención (50 m) es recto. El canal presenta aproximadamente 7.5 m de ancho; y profundiades de alrededor de 1.3 -1,5 m, y lecho compuesto por arena media y fina. La corriente es temporal, a la fecha de su caracterización se encontraba seco.	

No ocupación	Nombre de la Fuente	Coordenadas		Descripción Geomorfológica	Foto
3	SN	878798,9559	1761898,4491	Este sector del arroyo se encuentra ubicado dentro de la unidad Planicie fluviomarina y eolica. Esta corriente es sinuosa. El canal presenta aproximadamente 6 m de ancho; las vertientes casi verticales irregularesy profundidades que oscilan entre 1.5 -2.0 m. El canal es temporal, a la fecha de su caracterización se encontraba seco.	
4	Jorotson	879294,3675	1762351,9964	Este sector del arroyo se encuentra ubicado dentro de la unidad Planicie fluviomarina disectada. Esta corriente general es meándrica, el sector de intervención es recto. El canal presenta aproximadamente 17 m de ancho; taludes casi verticales con profundidad entre 1.5 m y 2m. El canal es temporal, a la fecha de su caracterización se encontraba seco.	

No ocupación	Nombre de la Fuente	Coordenadas		Descripción Geomorfológica	Foto
5	Irruaín	880396,3188	1761840,2839	Este sector del arroyo se encuentra ubicado dentro de la unidad Planicie fluvio marina. Esta corriente es meándrica. El canal presenta aproximadamente 5 m de ancho; taludes casi verticales irregulares con proundidad que oscilan entre 1.5 -2.0 m. El canal es temporal, a la fecha de su caracterización se encontraba seco.	
6	Irruaín	882043,8215	1762229,0569	Este sector del arroyo se encuentra ubicado dentro de la unidad Planicie fluvio marina. Esta corriente es meándrica. El canal presenta aproximadamente 6 m de ancho; los taludes presentan altura irregular que oscilan entre 1.4 -1.7 m. El canal es temporal, a la fecha de su caracterización se encontraba seco.	

No ocupación	Nombre de la Fuente	Coordenadas		Descripción Geomorfológica	Foto
7	Joumana	882026,3460	1761855,3234	Este sector del arroyo se encuentra ubicado dentro de la unidad Planicie fluvio marina. Esta corriente es meándrica. El canal apenas se insinua en la topografía, presenta aproximadamente 2 m de ancho; con profundidades irregulares que oscilan entre 20-30 cm. La corriente es temporal.	
8	SN	883777,3872	1760893,3493	Este sector del arroyo se encuentra ubicado dentro de la unidad Planicie fluviomarina. Esta corriente es inmadura, poco profunda. El cauce presenta aproximadamente 2,4 m de ancho; las vertiente presenta una altura de 0.4 m. La corriente es temporal, a la fecha de su caracterización se encontraba seco.	

No ocupación	Nombre de la Fuente	Coordenadas		Descripción Geomorfológica	Foto
9	SN	883749,6551	1761033,5222	Este sector del arroyo se encuentra ubicado dentro de la unidad Planicie fluvio marina disectada. Esta corriente es inmadura y apenas se insinua en la topografia, es poco profunda y sinuosa. El canal presenta aproximadamente 2,8 m de ancho y profundidad de 0,4 m. La corriente es temporal, a la fecha de su caracterización se encontraba seco.	
10	SN	883744,8621	1761817,4772	Esta unidad se ubica en la planicie fluviomarina, no se observa un canal definido en esta ubicación, corresponde a una zona de pendiente muy baja que puede presentar encharcamiento en épocas de lluvias.	

No ocupación	Nombre de la Fuente	Coordenadas		Descripción Geomorfológica	Foto
11	Joumana	883777,4948	1762302,6887	Este sector del arroyo se encuentra ubicado dentro de la unidad Planicie fluviomarina. Esta corriente es inmadura, poco profunda y sinuosa. El canal presenta aproximadamente 5 m de ancho; las vertiente una altura de 0,3 – 0,9 m. La corriente es temporal, a la fecha de su caracterización se encontraba seco.	
12	Irruaín	883688,1096	1762533,5041	Este sector del arroyo se encuentra ubicado dentro de la unidad Planicie fluviomarina. Esta corriente es inmadura, poco profunda y sinuosa. El canal presenta aproximadamente 2 m de ancho; las vertiente una altura de 0,3 – 0,5 m. La corriente es temporal, a la fecha de su caracterización se encontraba seco.	

No ocupación	Nombre de la Fuente	Coordenadas		Descripción Geomorfológica	Foto
13	Irruaín	885393,0478	1763721,0176	Esta unidad se ubica en la planicie fluviomarina, no se observa un canal definido en esta ubicación, corresponde a una zona de pendiente muy baja que puede presentar encharcamiento en épocas de lluvias.	
14	Joumana	885400,5217	1762090,3753	Este sector del arroyo se encuentra ubicado dentro de la unidad Planicie fluvio marina. Esta corriente es inmadura, poco profunda y meándrico. El canal presenta aproximadamente 4,5 m de ancho; vertientes irregulares con alturas entre de 1,40 -1,60 m. La corriente es temporal, a la fecha de su caracterización se encontraba seco.	

Fuente: Renovatio 2017

5.1.3 Suelos y usos del suelo

5.1.3.1 *Suelos*

Los suelos constituyen un componente primordial en la sostenibilidad de los ecosistemas, por lo cual, valorarlos es de vital importancia para el desarrollo de cualquier proyecto donde se tenga que intervenir este recurso natural no renovable.

A partir de esta premisa, se realizó la caracterización de este recurso en el área de interés, con base en la interpretación de información primaria y secundaria, identificando para el área de influencia única y fisica 2 asociaciones, dentro de estas unidades cartográficas se encuentran suelos de los órdenes Alfisoles, Inceptisoles y Aridisoles, estos suelos según Jaramillo[21], presentan las siguientes características:

- Alfisoles: Suelos que forman un horizonte de acumulación de arcilla que se ha movido desde la parte superior del suelo pero, a diferencia del Ultisol, en este orden las arcillas acumuladas son de mejor calidad por lo que se presenta una saturación de bases alta.
- Inceptisoles: Son suelos que no cumplen los requisitos para ubicarse en alguno de los órdenes anteriores pero que presentan evidencias de evolución incipiente que los ha llevado a desarrollar varios horizontes con estructura de suelo.
- Aridisols: Son suelos que presentan reacción neutra o básica, predominando esta última; las condiciones climáticas bajo las cuales se desarrollan son las adecuadas para que no se presente lixiviación y para que se acumulen los productos de la meteorización y/o de la pedogénesis en ellos, generando características básicas; esta condición climática se presenta en el área de influencia del proyecto.

Según el Soil Management Support Services[22], los mapas de suelos presentan un conjunto de áreas completamente delimitadas por líneas, cada una de las cuales se llaman delineación de suelos; todas las delineaciones de suelos que se encuentran identificadas con un mismo símbolo en el mapa conforman una unidad cartográfica.

Las unidades cartográficas que se utilizan actualmente para los levantamientos de suelos son: consociación, asociación, complejo, grupo no diferenciado o disociación y grupo no asociado o inasociación; Jaramillo[23], discuten ampliamente las unidades de mapeo mencionadas y de él se extrae el resumen que se presenta a continuación:

- Consociación: Es la unidad en la cual domina una clase de suelo que representa más del 50% de los suelos encontrados en ella. Además, del resto de taxa solo puede haber un 25%, como máximo, de suelos disímiles (diferentes) al que caracteriza la unidad.

[21] JARAMILLO, J. D. 2014. El suelo: origen, propiedades, espacialidad. 553 p

[22] SOIL MANAGEMENT SUPPORT SERVICES (SMSS). 1985. Criterios para el uso de la taxonomía de suelos en la denominación de unidades cartográficas. Monografía técnica SMSS No. 15. Editores A. van Wambeke y T. R.Forbes. Universidad de Cornell. 67 p.

[23] JARAMILLO, J. D. 2014. Op. cit. p. 5-43.

- Asociación: Son unidades que contienen dos o más suelos disímiles dominantes que se presentan relacionados geográficamente. Cada uno de los componentes principales de la unidad se puede representar por separado a escala 1:24000.
- Complejo: Es la unidad que presenta dos o más suelos dominantes y disímiles, asociados geográficamente, pero que no pueden separarse en estudios a escala de 1:24000 debido a lo intrincado de su patrón de distribución.

A continuación, se describen las unidades cartográficas de suelos identificadas para el área de influencia del proyecto.

5.1.3.1.1 Unidades cartográficas de suelos en el área de influencia única y física del proyecto

La información recolectada en este componente, se obtuvieron del Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de la Guajira[24], y se elaboró de acuerdo a la metodología expuesta en el Capítulo 2 Generalidades, numeral 2.3.3.3.

- Asociación Aridic Natrustalfs
  - Aridic Haplustepts (RXD)

Geomorfológicamente, la unidad corresponde al paisaje de planicie fluvio-marina, tipo de relieve terraza, el relieve es plano a moderadamente inclinado de pendientes 0-12%, con erosión moderada originada por escurrimiento difuso, existen algunas acumulaciones eólicas en forma localizada. Los suelos se han desarrollado a partir de depósitos fluviomarinos mixtos; son superficiales limitados por compactación de horizontes y la presencia de sales y sodio, bien drenados, de texturas medias a finas.

La vegetación natural consiste en asociaciones de matorral espinoso y cactáceo donde se pastorean caprinos en forma extensiva.

La asociación está compuesta por los suelos Aridic Natrustalfs 45% y Aridic Haplustepts 45%

Se delimitó para el área de influencia la fase ligeramente plana (RXDa), la cual ocupa el 75,78% (3175,49 ha) para el área de influencia única y el 82,25% (2043,09 ha) para el área de influencia física del proyecto.

- Asociación Sodic Haplocambids
  - Arenic Haplargids (RZN)

Geomorfológicamente, la unidad corresponde al paisaje planicie eólica y tipo de relieve de terrazas, topografía poco disectada, en relieve ligeramente plano, con pendientes 0-3%.

[24] INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTÍN CODAZZI. Estudio general de suelos y zonificación de tierras departamento de la Guajira. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia, 2007.

Los suelos se han desarrollado a partir de capas de arenas eólicas, de espesor variable, sobre arcillas arenosas; son bien drenados, de texturas moderadamente finas a gruesas, superficiales a moderadamente profundos, limitados por sodio o cambio textural abrupto; reacción ligeramente ácida a ligeramente alcalina y fertilidad baja.

En estas áreas de muy escasa precipitación, la vegetación es bastante pobre y rala y está representada esencialmente por trupillo, tuna, dividivi y cardón.

La asociación está conformada por los suelos Sodic Haplocambids en un 50% y Arenic Haplargids en 50%. Tiene una extensión de 30.745 hectáreas que representan el 1.49% del área total del departamento de La Guajira.

En el área de influencia se presentó la fase plana, calcárea (RZNak), la cual ocupa el 24,22% (1014,92 ha) para el área de influencia única y el 17,75% (441,01 ha) para el área de influencia física del proyecto (ver Figura 5-16).

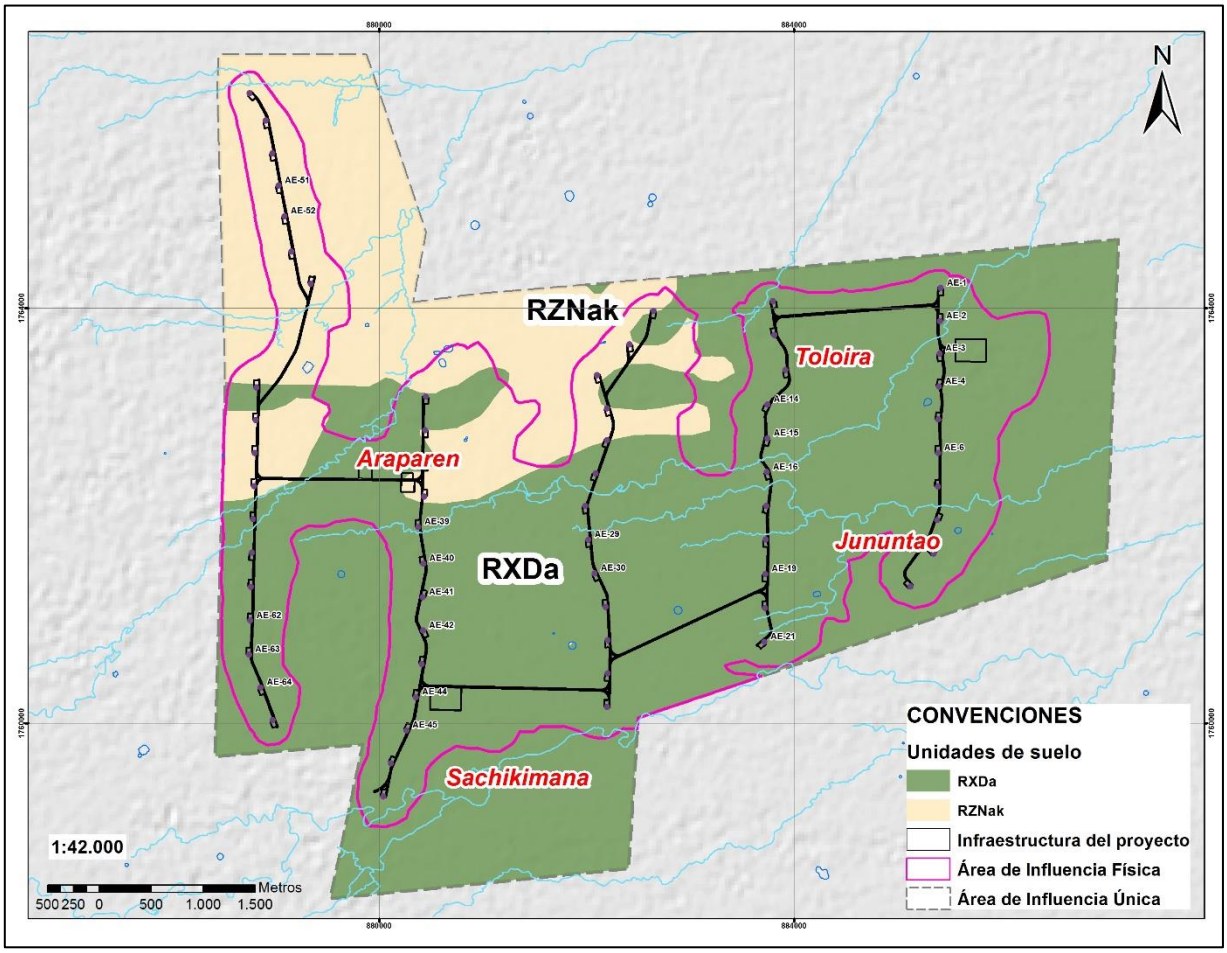


Figura 5-16. Unidades cartográficas de suelos en el área de influencia del proyecto.

Fuente: Renovatio 2017

Tal como se indicó en el Capítulo 2 Generalidades, específicamente en el numeral 2.3.3.3 metodología suelos, una vez identificadas las unidades de suelos que abarca el proyecto según la información secundaria, se procedió a realizar en campo la descripción de 2 perfiles de suelo, uno para la unidad cartográfica RXDa y otro para la unidad RZNak.

Estos perfiles de suelos se georreferenciaron estableciendo las coordenadas del punto experimental, con la ayuda de un GPS. Luego se procedió a describir fisiográficamente el área en la cual se encontraba el perfil de estudio y se estimó la pendiente del terreno.

En cada sitio se realizó una calicata de 1x1x3.50 m (largo, ancho y profundidad), con el fin de realizar la caracterización morfológica de los horizontes y/o capas del suelo de la siguiente manera: se perfilo o pulió una cara de la calicata para eliminar el brillo de las herramientas de corte y poder apreciar los diferentes horizontes y/o capas del suelo. Una vez realizada esta labor se marcaron los límites con un cuchillo pedológico para determinar el espesor existente para cada horizonte y/o capa.

La descripción morfológica se realizó en cada uno de los horizontes y/o capas presentes así: espesor del horizonte, estructura (tipo, clase y grado de desarrollo; clase textural (contenidos de arena, limo y arcilla), color (Tabla Munsell; matiz, value y chroma), porosidad (lupa de 20X; tamaño y cantidad de poros), pedregosidad superficial e interna, contenido de raíces (tamaño y cantidad), y repelencia al agua por el método del tiempo de penetración de la gota de agua (Water Drop Penetration Time, WDPT, segundos). Se estimó el pH por cintas de comparación de color, resistencia a la penetración, reacción al ácido clorhídrico (HCL) para determinar la presencia de carbonatos de calcio.

Posteriormente, en cada perfil se tomó una muestra (1 kg) de cada horizonte y/o capa del suelo para los análisis físicos, químicos y de salinidad. Cada muestra se mezcló y se homogenizó, y se llevaron al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín, donde se realizaron los análisis correspondientes.

En total se describieron 2 perfiles para el componenete suelo (ver anexo 7.2 Perfiles), los cuales permitieron clasificar los suelos dentro del área de influencia única y física a nivel de Subgrupo como Typic Natrargids Calicata 1 y Sodic Haplocambids Calicata 5.

5.1.3.1.2 Análisis físico - químico de suelos para el área de influencia única y física

5.1.3.1.2.1 *Suelo Typic Natrargids (Calicata 1)*

- Color: El horizonte superficial (Ap) presenta un color pardo amarillento seguido por un color más oscuro (pardo) para el horizonte subsuperficial (Bwt), debido a la presencia de coloides como en la acumulación iluvial de arcilla silicatada y al bajo contenido de materia orgánica. En los horizontes B indican adecuado drenaje y permeabilidad, condición manifestada por las coloraciones claras.
- Estructura: El suelo se caracteriza por presentar una estructura en bloques subangulares, gruesos, medios y finos a fuertes debido a que se presentan en horizontes con altos contenidos de arcillas. Además, los peds son grandes implicando un menor grado de evolución por el contenido de cementantes orgánicos.

- Textura: La clase textural para este perfil de suelo es franco arcillo limosa para los dos primeros horizontes superficiales y franco arcillosa para el horizonte subsuperficial. Los contenidos de los horizontes presentan un porcentaje mayor de arenas entre 45 y 80 % y arcillas entre 20 y 35 %.
- Consistencia: Se evaluó en campo de forma cualitativa en estado seco y húmedo el comportamiento de la consistencia del suelo. En el estado seco se determinó en términos de dureza y rigidez, de ligeramente duro para el horizonte superficial a blandos para los horizontes subsuperficiales. Los horizontes en húmedo presentan ser muy friables, y en mojado (pegajosidad – plasticidad) moderadamente pegajosos y moderadamente plásticos, lo que sugieren ser laborados en condiciones adecuadas de humedad para evitar riesgos en la degradación física y dificultades en la mecanización del suelo.
- Poros y raíces: Se presentaron unos tamaños muy finos y finos para la abundancia de poros y raíces en el suelo. La distribución de los poros depende de la clase textural presentando un volumen de poros más finos que se encuentran menores a 0.5 y 2 mm. La profundidad efectiva de las raíces fue de 30 cm, siendo superficial, es decir, hasta donde pueden penetrar libremente al interior del suelo específicamente en el horizonte superficial.
- Resistencia a la penetración: Se estimó la resistencia para los horizontes encontrados en el perfil y se encontró que estos presentan menor compactación en los horizontes superficiales indicando restricción para el crecimiento radicular.

En la Figura 5-17 se presenta el perfil descrito anteriormente, este suelo desde el punto de vista químico según los resultados de los análisis de suelo (Anexo 7.1 Análisis químico de suelos), presenta para los primeros horizontes valores de pH entre 5,5 y 7, en esta condición el suelos ya no presenta ningún contenido de acidez intercambiable por lo que desaparece la posibilidad de toxicidad con Al^{3+}, H_3O+ o Mn^{2+}. Hay una mejora en la actividad biológica bacteriana con respecto a la de los suelos con los valores de pH menor; el suministro de bases, de molibdeno y de fósforo se mejora llegando a ser óptimo para muchas plantas en el límite superior de este rango de pH.

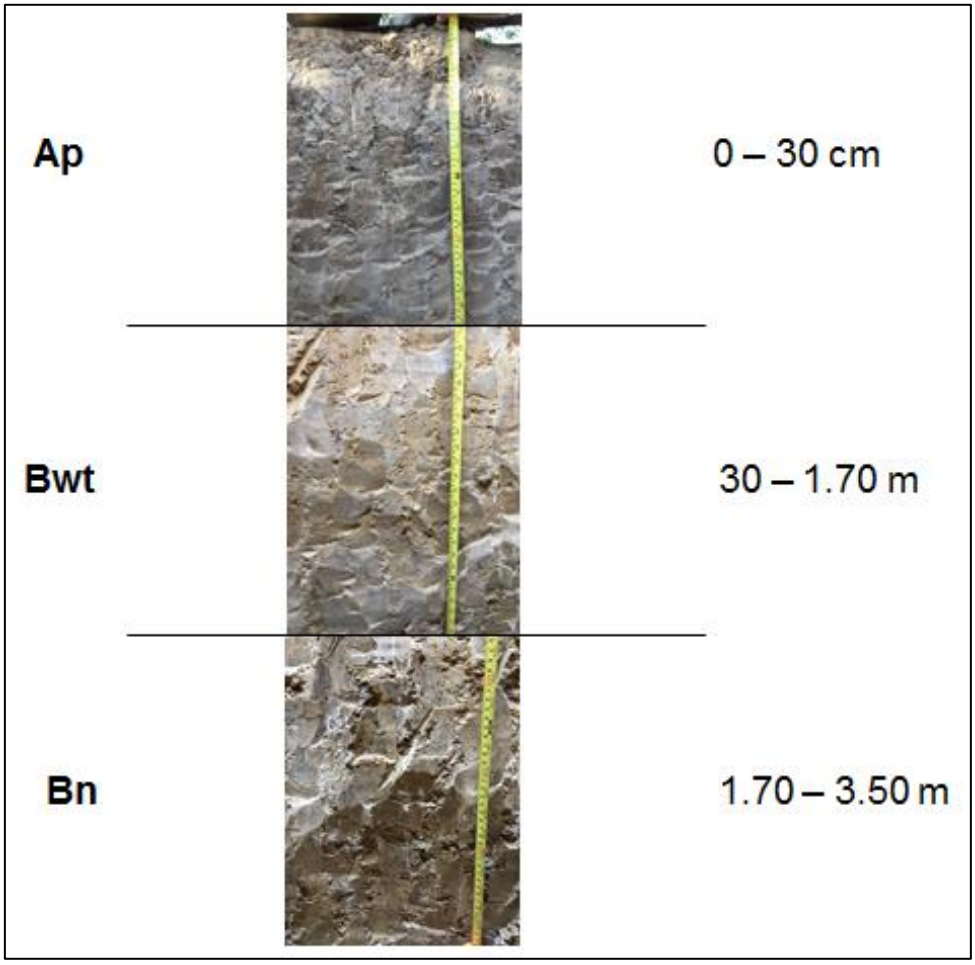


Figura 5-17. Perfil de suelo C1 - Typic Natrargids.

Fuente: Renovatio 2017

5.1.3.1.2.2 *Suelo Sodic Haplocambids (Calicata 5, Figura 5-18)*

- Color: El color del epipedón exhibió es pardo hasta los 30 cm y del endopedón pardo claro a pardo. El último horizonte del perfil del suelo presentó dos colores, pardo y gris claro revelando contenidos de cuarzo, carbonatos de Ca, Mg, yeso y sales que posiblemente estén sujetos a condiciones de mal drenaje y a procesos intensos de iluviación.
- Estructura: El suelo presenta un grado de desarrollo estructural fuerte para todos los horizontes presentes en el perfil debido a que los agregados del suelo se encuentran muy bien formados, son duraderos y se diferencian unos de otros.
- Textura: La unidad de suelo en el perfil de suelo estudiado presentó una clase textural franco arcillosa predominando el contenido de arcilla y franco arenosa con mayores contenidos de arena.

- Consistencia: En estado seco el primer horizonte presentó ser rígido hasta los 30 cm y en los horizontes subsuperficiales disminuyó a ligeramente duro y blando. En estado húmedo y mojado, de muy friable, firme y friable; y moderadamente plástico y ligeramente plástico, respectivamente.
- Poros y raíces: La abundancia de poros y raíces presentó tamaños muy finos y medios. El crecimiento radicular se definió por la profundidad efectiva la cual es muy superficial a 15 cm, después de los 30 cm no se evidenció la presencia de raíces en los horizontes subsuperficiales.
- Resistencia a la penetración: Todos los horizontes presentaron una resistencia de 4.5 kg/cm2 lo que indica una fuerte restricción para el desarrollo radicular en el suelo.

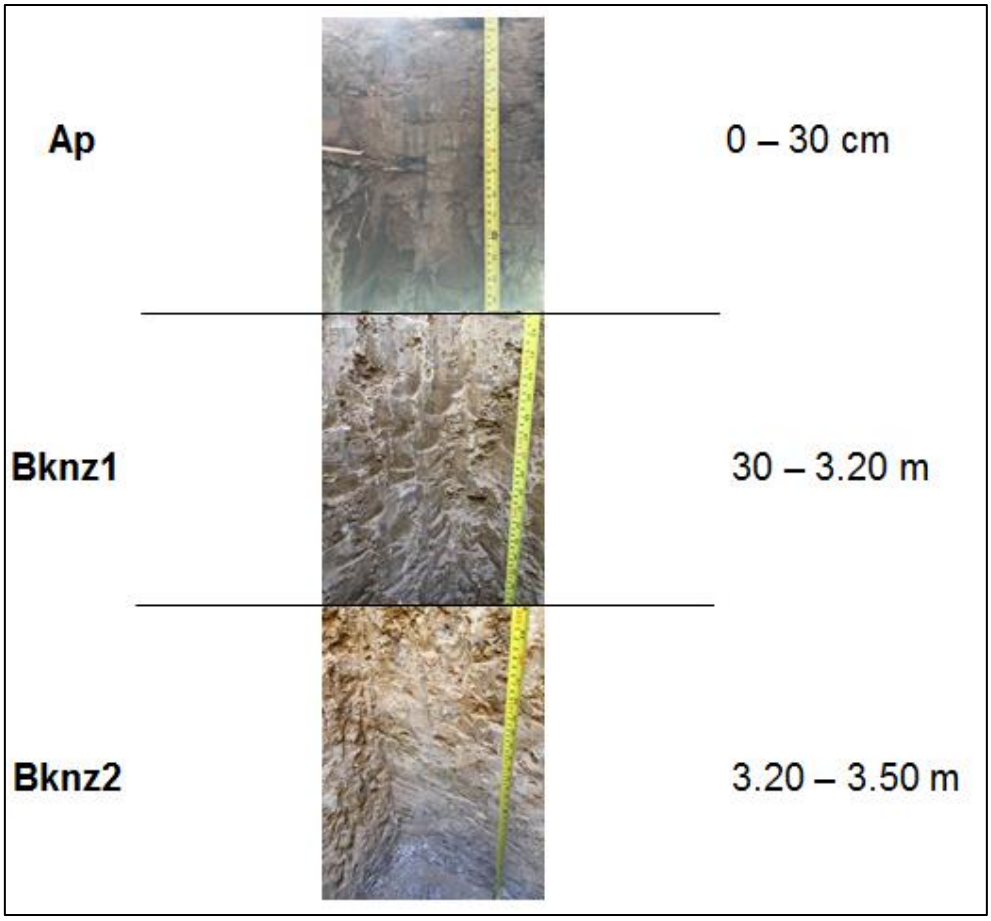


Figura 5-18. Perfil de suelo C5 – Sodic Haplocambids.

Fuente: Renovatio 2017

En términos generales los suelos en área de influencia del proyecto se caracterizan por presentar un desarrollado a partir de depósitos fluvio marinos. Otra característica muy importante en que el suelo permanece seco más de la mitad del tiempo acumulativo en presenta temperaturas mayores de 8°C; esta condición hace que en los horizontes se

presentan limitaciones de tipo físico y químico como lo es la presencia de sales, sodio, reacciones alcalinas y compactación.

Además, estos suelos por la condición de humedad donde se desarrollan y la escasa cobertura vegetal que poseen, se encuentran expuestos a condiciones extremas como son: la intensidad de las lluvias, donde la escorrentía que desprende desagrega y arrastra las partículas de suelo, los rayos solares que agreden la materia orgánica, la fauna edáfica, y los vientos facilitan la evapotranspiración y pérdida de la humedad retenida en el suelo. Por lo anterior, los suelos del área el proyecto presentan alta susceptibilidad a los procesos erosivos.

5.1.3.2 *Usos del suelo*

5.1.3.2.1 Uso actual área del suelo para el área de influencia unica.

El uso actual del suelo corresponde a la forma de utilización del recurso en una zona determinada, dando indicios del grado de intervención antrópica en dicha área. De acuerdo con el mapa de coberturas del suelo de la línea, realizado en campo, se determinó el uso actual del suelo (Ver Mapa 8. Uso actual del Suelo).

El sistema de clasificación del uso del suelo, corresponde a grupos (Tabla 5-8) y subgrupos (Tabla 5-9), conforme a la Guía de Levantamientos de suelos del 2010[25], sin embargo, para la GDB se realizó homologación de unidades de acuerdo a lo establecido por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA).

Tabla 5-8. Grupos de uso de la tierra

CÓDIGO	NOMBRE
A	Agricultura
G	Ganadería
F	Forestal
X	Agroforestería
P	Pesca
M	Minería/Cantería
Z	Zoocultura
C	Conservación
I	Infraestructura / Asentamiento
S	Sin uso agropecuario

Fuente: IGAC, 2010

[25] INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Metodología para la clasificación de las tierras por su capacidad de uso. Bogotá, 2010. 41p.

Tabla 5-9. Subgrupos de uso de la tierra

CÓDIGO	NOMBRE	CÓDIGO	NOMBRE
A	Cultivos Anuales (A)	M	Minerales energéticos (M)
	Cultivos semiperennes/bienales (A)		Rocas y minerales no metálicos (M)
	Cultivos perennes (A)		Materiales para construcción (M)
G	Pastoreo semi-nómada (G)	Z	Acuática (Z)
	Pastoreo transhumante (G)		Terrestre (Z)
	Pastoreo extensivo (G)		Mixta (Z)
	Pastoreo semi-intensivo (G)	C	S Sistema de parque nacional (C)
	Pastoreo intensivo (G)		Reservas forestales (C)
F	Producción (F)		Control de degradación (C)
	Protección / Producción (F)		Monumento nacional (C)
X	Agrosilvicultural (X)		Tierras en descanso (C)
	Agrosilvopastoril (X)	I	Residencial (I)
	Silvopastoril (X)		Industrial (I)
P	Producción (P)		Comercial (I)
	Extracción (P)		Recreacional / Deportiva (I)
M	Minerales preciosos (M)		Cultural (I)
	Piedras preciosas (M)		Transporte (I)
	Materiales radiactivos (M)		Institucional (I)
	Metales (M)		Ambiental (1)

Fuente: IGAC, 2010

Teniendo en cuenta lo anterior en la Tabla 5-10 se registran las categorías de coberturas vegetales encontradas y su correspondiente uso, al igual que el área que cubren y su respectiva proporción frente al área total.

Tabla 5-10. Grupos de uso del suelo en el área de influencia única del proyecto

Cobertura	Grupo de uso	AIU		AIF	
		ha	%	ha	%
Otros cultivos transitorios	Agricultura	9,16	0,22	3,14	0,13
Tejido urbano discontinuo	Asentamiento	48,78	1,16	24,97	1,01
Arbustal abierto	Agroforestal	1.287,25	30,72	799,81	32,20
Arbustal denso		118,65	2,83	60,95	2,45

Cobertura	Grupo de uso	AIU		AIF	
		ha	%	ha	%
Tierras desnudas y degradadas		2.681,61	63,99	1568,77	63,15
Cuerpos de agua artificiales	Cuerpos de agua artificiales	4,13	0,10	3,39	0,14
Cuerpos de agua natural	Cuerpos de agua natural	21,06	0,50	11,64	0,47
Lagunas, lagos y ciénagas naturales		3,50	0,08	3,40	0,14
Red vial y territorios asociados	Infraestructura	16,51	0,39	8,02	0,32
Total general		**4.190,41**	**100,00**	**2484,09**	**100,00**

Fuente: Renovatio 2017

A continuación, se describen los usos que se presentan en la Tabla 5-10, encontrados en el área de influencia única del proyecto (Renovatio, 2017):

5.1.3.2.1.1 *Agroforestal*

Este es el tipo de uso principal en la zona de estudio, ocupando el 97,54% del área de influencia única del proyecto, cabe resaltar que bajo este tipo de uso se incluye aquellas tierras que son aptas para el establecimiento de sistemas que combinan prácticas agrícolas, forestales y ganaderas; de esta manera se puede implementar una combinación de cultivos con plantaciones forestales, bajo coberturas de arbustal abierto y arbustal denso, las cuales permiten el uso en ganadería ovina y caprina al dejar rotar pasturas entre los árboles; también se puede implementar con los cultivos un sistema de cercas vivas o barreras rompevientos.

5.1.3.2.1.2 *Agricultura*

Los suelos bajo este uso son dedicados principalmente a la producción de alimentos, fibras y otras materias primas industriales, ya sea que se encuentren con cultivos, con pastos, en rotación y en descanso o barbecho[26]. Se definen bajo este concepto todas las tierras que, por sus características de suelos, permiten el establecimiento de sistemas de producción agrícola, con plantas cultivadas de diferentes ciclos de vida y productos. Estas tierras presentan la mayor capacidad para soportar actividades agrícolas intensivas y semi-intensivas[27]. Este uso sólo se encuentra en el área de influencia con un porcentaje muy bajo (0,22%).

5.1.3.2.1.3 *Infraestructura/Asentamientos*

Este uso corresponde a zonas vías y tejidos urbanos discontinuos, entre otros.

[26] INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTÍN CODAZZI. Estudio general de suelos y zonificación de tierras departamento de la Guajira. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia, 2007.
[27] Ibíd., p. 5-52.

Con la información de la Tabla 5-10 se realizó la Figura 5-19 donde se observa de manera más clara, que para el área de influencia el uso predominante es la agroforestal (97,54%), seguido por los asentamientos (1,16%).

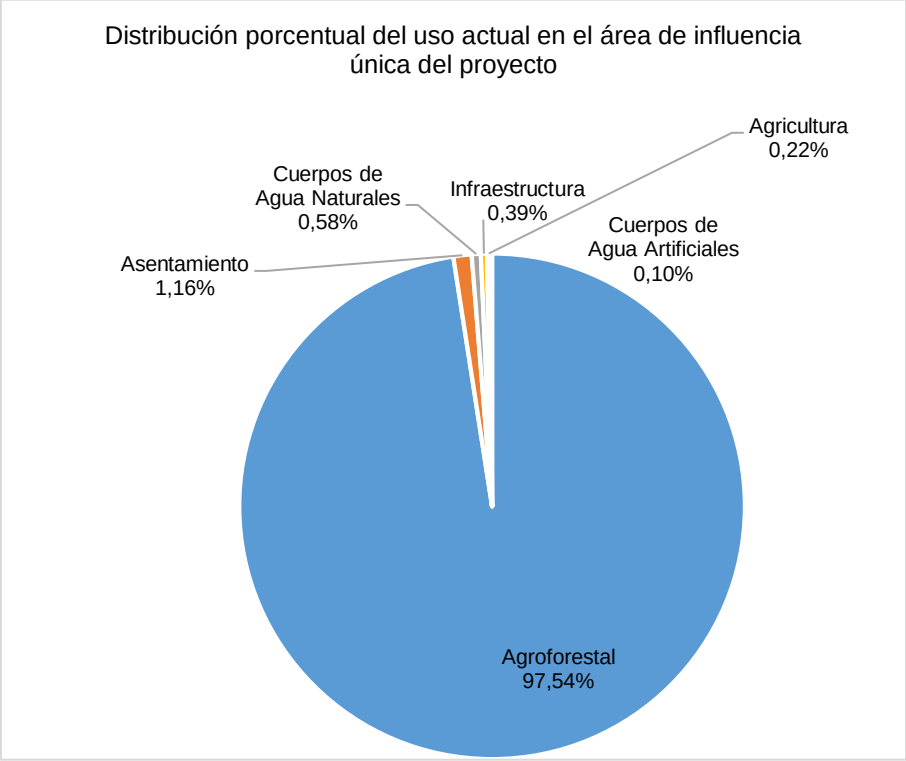


Figura 5-19. Distribución porcentual del uso actual en el área de influencia única del proyecto.

Fuente: Renovatio 2017

En general el principal uso del suelo es agroforestal como se puede observar en la Figura 5-19, lo cual coincide con el estudio de suelos del departamento, donde la mayor parte de las tierras del se encuentran ubicadas en las planicies con suelos aptos para el establecimiento de sistemas agroforestales, agrosilvopastoriles y forestales.

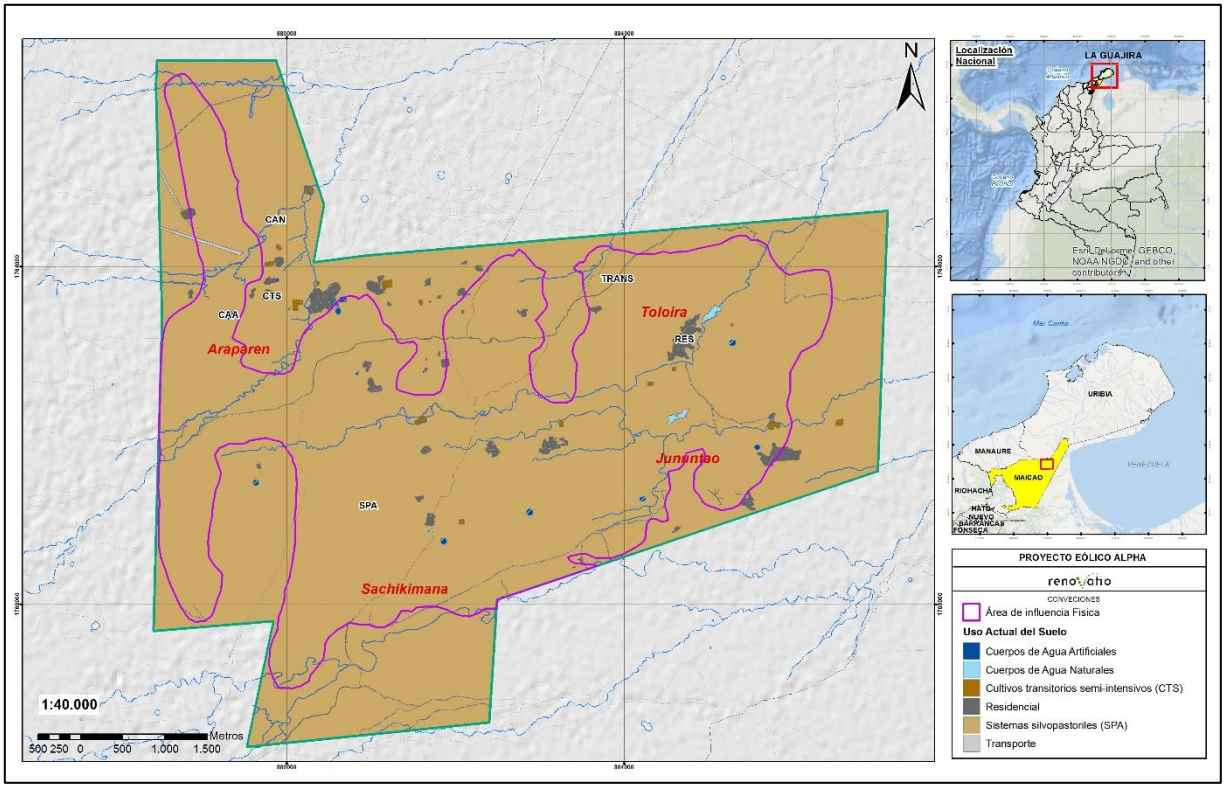


Figura 5-20. Uso actual en el área de influencia del proyecto.

Fuente: Renovatio 2017

Es importante aclarar que además, de los usos actuales que se tiene en esta área de estudio para el suelo, el cual se determinó de acuerdo a la cobertura vegetal, el departamento administrativo de planeación municipal certifica que las rancherías Araparen, Jununtao, Sachikimana y Toloira, tine también usos permitidos para actividades comerciales, residenciales, industriales e institucionales.

5.1.3.2.2 Uso actual del suelo para el área de influencia física

El uso del suelo en el área de influencia física está dedicado a actividades agroforestales, como se muestra en la Tabla 5-11, donde se registran el uso encontrado y su correspondiente tipo de uso, al igual que el área que cubren y su respectiva proporción frente al área total. (Ver Mapa 8. Uso actual del Suelo).

Tabla 5-11. Grupos de uso del suelo en el área de influencia física del proyecto

Cobertura	Grupo de uso	Área	
		ha	%
Otros cultivos transitorios	Agricultura	3,14	0,13
Tejido urbano discontinuo	Asentamiento	24,97	1,01

Cobertura	Grupo de uso	Área	
		ha	%
Arbustal abierto	Agroforesta	799,81	32,20
Arbustal denso		60,95	2,45
Tierras desnudas y degradadas		1568,77	63,15
Cuerpos de agua artificiales	Cuerpos de agua artificiales	3,39	0,14
Cuerpos de agua natural	Cuerpos de agua natural	11,64	0,47
Lagunas, lagos y ciénagas naturales		3,40	0,14
Red vial y territorios asociados	Infraestructura	8,02	0,32
Total general		**2484,09**	**100,00**

Fuente: Renovatio 2017

En conclusión el uso actual del suelo en el área física al igual que para el área unica del proyecto como ya se había dicho es agroforestal (97,54 AIU y 97,80% AIF), teniendo en cuenta este tipo de uso, es de esperar que los impactos generados con el desarrollo del parque eólico al suelo sean bajos, ya que este tipo de proyectos es compatible con este tipo de uso del suelo.

5.1.3.2.3 Capacidad de los suelos para el área de influencia única del proyecto

El uso potencial del suelo hace referencia a la capacidad de uso o aptitud del mismo, se determinó con base en la capacidad de uso que muestran las clases agrológicas para el área de influencia del proyecto (Ver Mapa 9. Capacidad de uso del Suelo). Esta información está basada en el estudio general de suelos del departamento[28].

5.1.3.2.3.1 *Tierra Clase IV*

Estas tierras tienen limitaciones tan severas, que solo sirven para cultivos muy limitados; no son buenas para cultivos intensivos pero son adecuadas para vegetación permanente.

Las limitaciones son de diferente índole: en unos casos, es la profundidad radicular muy superficial; en otros, las fuertes pendientes, el grado de erosión moderada o el drenaje pobre. Estas limitaciones generan subclases que se expresan solas o combinadas.

Para la explotación competitiva y sostenible de estas tierras son necesarias prácticas intensivas de manejo, cuando se utilizan en sistemas productivos de cultivos intensivos; los altos costos, en la mayoría de los casos, no justifican estos sistemas de producción.

Lo anterior, indica que son tierras más apropiadas para el establecimiento de agroecosistemas más extensivos con sistemas ganaderos en pasturas naturales y/o mejoradas, sistemas agroforestales o silvo pastoriles.

[28] Ibíd., p. 5-52.

- IVc subclase limitante el clima

Estos suelos se encuentran en una condición natural, donde la evapotranspiración potencial en todos los sitios supera a la precipitación.

El relieve es plano a moderadamente inclinado y los suelos son muy superficiales, bien drenados y con una gama amplia de texturas; en muchos casos, modificadas por fragmentos gruesos (gravillas, cascajos y piedras).

5.1.3.2.3.2 *Tierra Clase VII*

Los suelos se han originado de rocas ígneas, metamórficas, sedimentarias, depósitos coluvioaluviales, depósitos clásticos hidrogénicos mixtos, depósitos fluvio-marinos. El relieve es plano hasta moderadamente escarpado con pendientes que van de 1%-75%; con erosión ligera, moderada y severa, con pedregosidad en superficie en algunos sectores.

Los suelos son muy superficiales hasta profundos, bien a excesivamente drenados, texturas muy finas hasta gruesas, reacción fuertemente ácida a ligeramente alcalina y fertilidad muy baja a alta.

Esta clase de tierras presentan limitaciones severas de uso solas o combinadas, por erosión moderada y severa, drenaje natural excesivo, inundaciones muy frecuentes, pedregosidad superficial abundante, salinidad moderada, alta saturación de aluminio, condición de humedad muy húmeda y árida.

- VIIc subclase limitante el clima

Son superficiales a profundos, excesivamente drenados, texturas gruesas, reacción neutra a ligeramente ácida, fertilidad moderada.

La vegetación natural está integrada por asociaciones de matorral espinoso y cactáceo donde se pastorean caprinos en forma extensiva; la escasa humedad en el suelo por la baja retención de este, hace que no haya pastos permanentes y que las actividades ganaderas y agrícolas sean restringidas.

Los suelos tienen limitaciones por escasas precipitaciones acompañada del drenaje excesivo, lo que hace que la retención de humedad para las plantas sea mínima, características que hacen que estos suelos carezcan de aptitud agropecuaria. El uso indicado es la conservación del ecosistema.

En la Tabla 5-12 se presenta para el área de influencia única del proyecto, como uso potencial predominante son las actividades forestales (sistemas silvopastoriles 3118,89 ha) seguido de los de conservación (977 ha) (ver Figura 5-21). Sin embargo, es importante resaltar que el uso potencial principal presenta limitantes relacionadas con las condiciones climáticas. Por lo cual, si se mejora el manejo en especial del agua se podrían potencializar las actividades de tipo forestal, teniendo en cuenta que estos suelos presentan una alta fertilidad natural.

Tabla 5-12. Capacidad de uso del suelo en el área de influencia única del proyecto

Uso potencial	Tipo de uso potencial	Área	
		ha	%
Conservación	Áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación (CRE)	977,782	23,33
	Cuerpos de Agua Artificiales	4,130	0,10
	Cuerpos de Agua Naturales	24,315	0,58
Forestal	Sistemas silvopastoriles	3118,89	74,43
Infraestructura	Residencial	48,778	1,16
	Transporte	16,514	0,39
Total general		**4190,41**	**100,00**

Fuente: Renovatio 2017

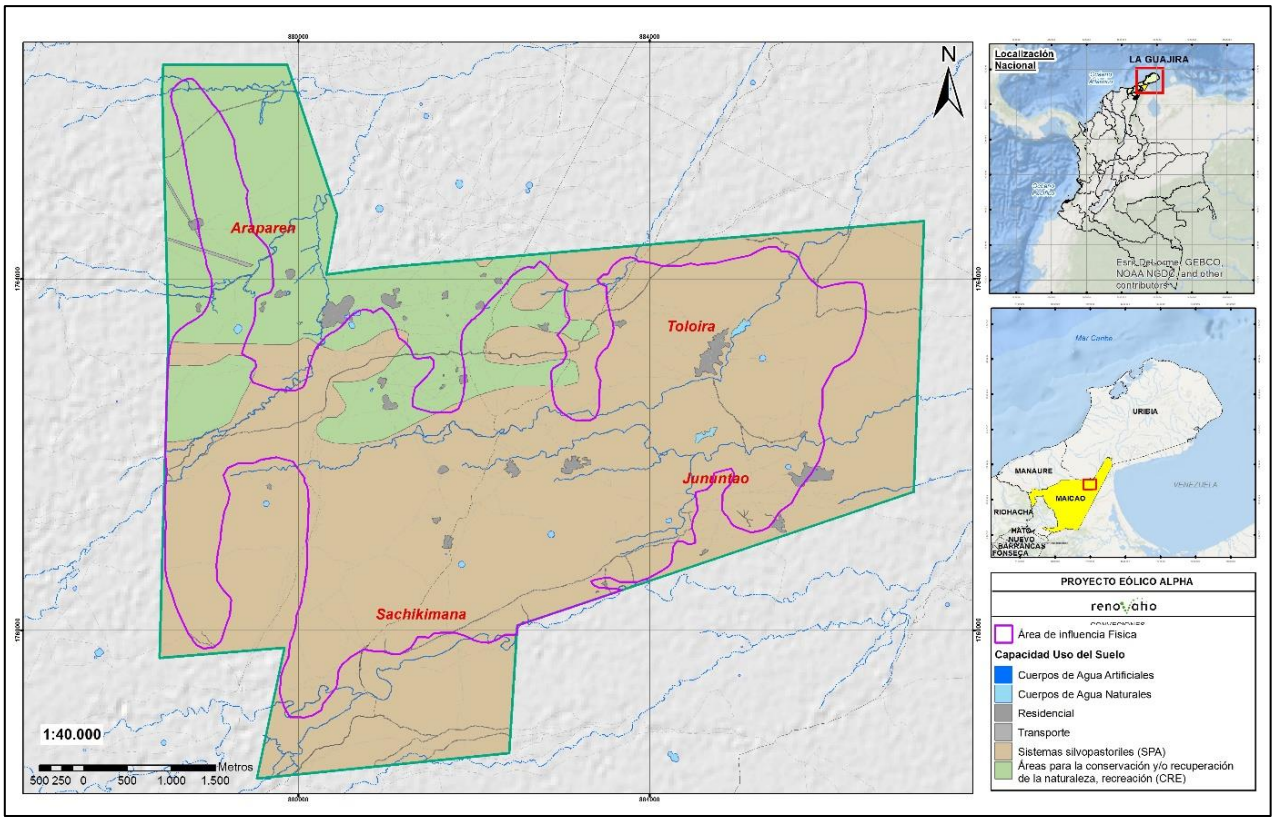


Figura 5-21. Capacidad de uso del suelo en el área de influencia del proyecto.

Fuente: Renovatio 2017

Es importante aclarar que aunque el área de estudio es aparentemente muy homogénea y el % de pendiente es una de las principales variables para determinar la clase agrológica, no es la única, por lo cual los suelos fueron clasificados con clases agrologicas IV y VII, es decir, la asociación RXD presenta un relieve ligeramente plano; suelos muy superficiales, bien drenados, de texturas variadas (gruesas a moderadamente finas y finas) presencia de salinidad, reacción ligeramente alcalina, fertilidad moderada y las limitantes para su uso es la escasa precipitación durante los dos semestres del año. Y la asociación RZN se encuentra en un relieve ligeramente plano a moderadamente inclinado; suelos muy superficiales a profundo, bien drenado, texturas gruesas a moderadamente finas, reacción moderadamente alcalina y fertilidad moderada a baja, donde las principales limitantes para su uso es que esta unidad cartográfica presenta una moderada salinidad y sodicidad, arenas inestables, arcillas compactadas además algunos suelos son muy superficiales.Las diferencias anteriormente expuestas para las dos asociaciones de suelos, permiten clasificar dichas unidades cartográficas en las clases agrologicas IV y VII respectivamente.

5.1.3.2.4 Capacidad de uso de los suelos para el área de influencia física del proyecto

La evaluación de los suelos desde el punto de vista de su capacidad de uso y manejo señaló que en el área de influencia física los sistemas forestales en especial los forestales protectores ocupan la mayor área seguido de la ganadería (Tabla 5-13). Ver Mapa 9. Uso potencial del suelo.

Tabla 5-13. Capacidad de uso del suelo en el área de influencia física del proyecto

Uso potencial	Tipo de uso potencial	Área	
		ha	%
Conservación	Áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación (CRE)	430,653	17,34
	Cuerpos de Agua Artificiales	3,391	0,14
	Cuerpos de Agua Naturales	14,795	0,60
Agricultura	Cultivos transitorios semi-intensivos	2002,02	80,59
Infraestructura	Residencial	24,971	1,01
	Transporte	8,263	0,33
Total general		**2484,09**	**100,00**

Fuente: Renovatio 2017

Los resultados que se presentaron para el área de influencia física coinciden con los resultados obtenidos en el área de influencia única, donde las características físicas y químicas del suelo favorecen el desarrollo de actividades forestales, pero la deficiencia de agua las restringen.

5.1.3.2.5 Conflictos de uso para el área de influencia única.

El conflicto de uso, se presenta cuando se está utilizando el recurso suelo en discordancia con su vocación natural o por el uso sobre intensivo que pone en riesgo su capacidad de regenerarse o recuperarse.

La determinación de los conflictos de uso de la zona de estudio se hizo mediante la elaboración del mapa de conflictos, el cual es el resultado de cruzar la información existente en el mapa uso actual y uso potencial del suelo (Ver Mapa 10. Conflictos uso del Suelo).

La interpretación del grado e intensidad del conflicto se basó en el sistema adoptado por el IGAC[29], el cual define tres (3) intensidades aplicables a (3) categorías, que varían desde ligero hasta severo, como se muestra a continuación:

- Adecuado (A): Zona sin conflicto de uso o uso adecuado
- Sobrexplotación (O): Zona con una utilización mayor del suelo en comparación son su capacidad de uso.
- Subexplotación (S): Zona con una baja utilización del suelo en comparación con su capacidad de uso.

En la Tabla 5-14 se discrimina por grado e intensidad de conflicto el área respectiva y el equivalente en porcentaje.

Tabla 5-14. Conflictos de usos del suelo en el área de influencia única del proyecto

Conflicto uso del suelo		Areas	
Símbolo	**Nombre**	**(ha)**	**(%)**
O1	Por sobreutilización ligera	3,565	0,09
O3	Por sobreutilización severa	977,782	23,33
A	Tierras sin conflicto de uso o uso adecuado	3209,060	76,58
Total general		**4190,41**	100,00

Fuente: Renovatio 2017

En general, los suelos del área de influencia, se encuentran sin conflicto (ver Figura 5-22), lo cual es de vital importancia, debido a que bajo estas condiciones se pueden mantener actividades productivas o desarrollar nuevas, sin deteriorar la base natural de este recurso natural no renovable.

[29] INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Metodología para la clasificación de las tierras por su capacidad de uso. Bogotá, 2010. 41 p.

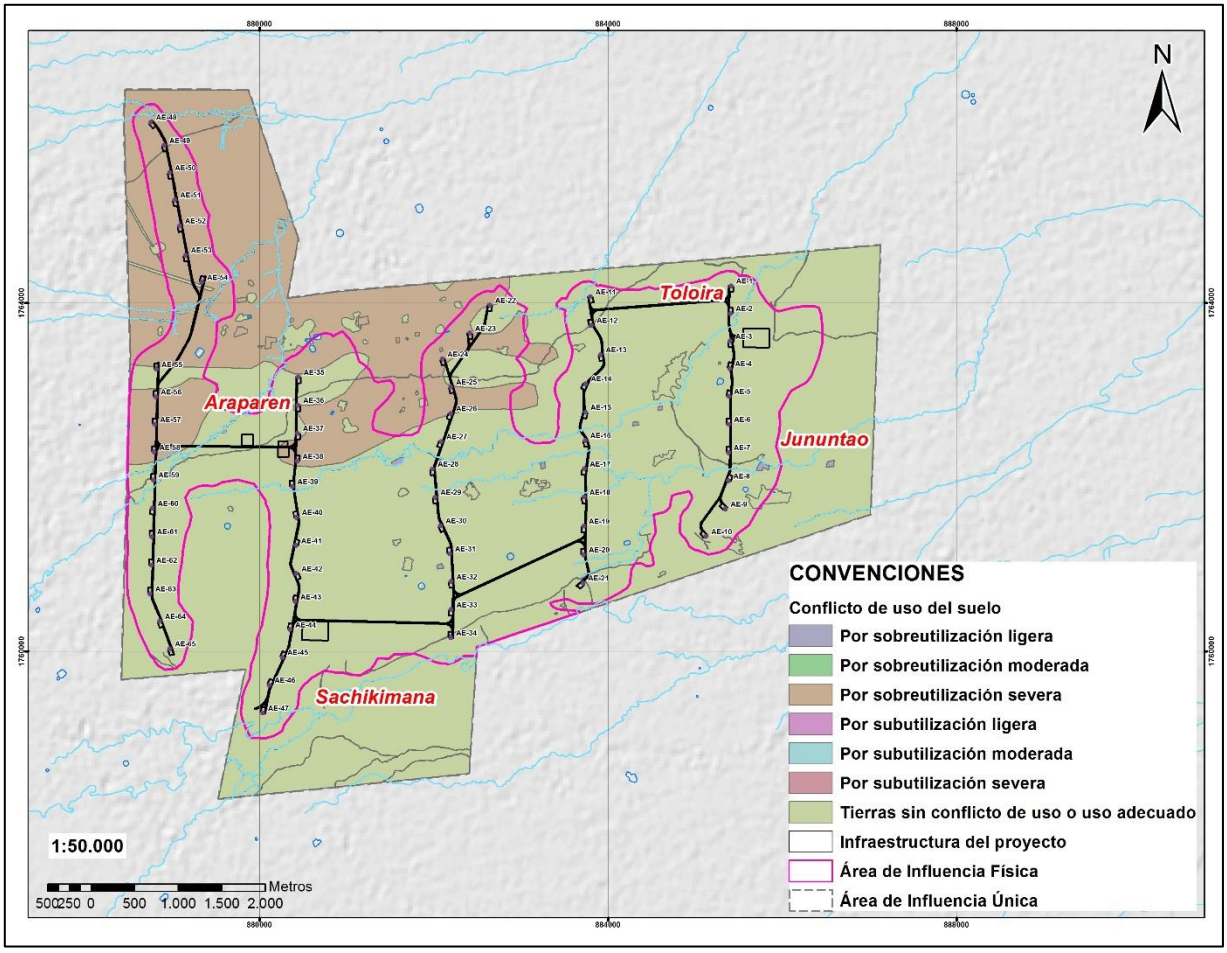


Figura 5-22. Conflicto en el uso del suelo en el área de influencia del proyecto.

Fuente: Renovatio 2017

5.1.3.2.6 Conflictos de uso para el área de influencia física.

En la Tabla 5-15 se discrimina por grado e intensidad de conflicto el área respectiva y el equivalente en porcentaje.

Los suelos para el área de influencia física, se encuentran en su mayor parte sin conflicto, al igual que para el área de influencia única, situación que propicia prácticas que permiten cuidar el suelo. (Ver Mapa 10. Conflictos uso del Suelo).

Tabla 5-15. Conflictos de usos del suelo en el área de influencia física del proyecto

Conflicto uso del suelo		Areas	
Símbolo	**Nombre**	**(ha)**	**(%)**
O1	Por sobreutilización ligera	3,011	0,12
O3	Por sobreutilización severa	430,653	17,34
A	Tierras sin conflicto de uso o uso adecuado	2050,429	82,54
Total general		**2484,09**	**100,00**

Fuente: Renovatio 2017

5.1.4 Hidrología

5.1.4.1 *Representación espacial de las variables climáticas*

Se realizó una consulta de los datos hidrometeorológicos requeridos para desarrollar el estudio climatológico al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

Los datos proporcionados por IDEAM comprenden los siguientes:

- Precipitación:
  - Series temporales de medias diarias para el periodo de datos disponibles (mm).
  - Promedio mensual multianual (mm).
- Temperatura:
  - Promedio mensual multianual para el periodo de datos disponible (ºC).
  - Promedio mensual multianual de máximos y mínimos para el periodo de datos disponible (ªC).
- Otras variables climatológicas (presión atmosférica, humedad relativa, radiación solar, nubosidad y evaporación): promedio mensual multianual.

Las estaciones con datos disponibles se mencionan a continuación:

Tabla 5-16. Estaciones hidrometeorológicas consultadas

Nombre de la estación	Código	Variables climáticas	Clase	Municipio	Inicio medición	Final de medición
Manaure	15075030	Te, Hr, Rs, Ev, Pr	Meteorológica	Manaure	1979	2017
Apto Alm Padilla	15065010	Te, Hr, Rs, Ev, Pr, Vv, Nb	Meteorológica	Riohacha	1972	2017
Apto Maicao	15085010	Te, Hr, Rs, Pr,	Meteorológica	Maicao	1972	1996
Rancho Grande	15085040	Te, Hr, Rs, Pr,	Meteorológica	Uribia	1978	2017
Pto Bolivar	15075060	Te, Hr, Pr	Meteorológica	Uribia	1972	2017
Esc Agr Carraipia	15085030	Rs	Meteorológica	Maicao	1971	2017
Jojoncito	15070110	Pr	Meteorológica	Uribia	1971	2017
Nazareth	15085020	Te, Hr, Rs Ev, Pr	Hidrológica	Uribia	1972	1981
Estación Renovatio	E. Anemometrica	Vv, Pa, Te	Torre de medición de viento.	Maicao	2015	2017
Paraguachon	15087080	Pr	Hidrológica	Maicao	1989	2017

Nombre de la estación	Código	Variables climáticas	Clase	Municipio	Inicio medición	Final de medición
Caracas Hda	15070150	Pr	Meteorológica	Manaure	1989	2014
Maicao	15080150	Pr	Meteorológica	Maicao	1937	1972
Guayabal	15070230	Pr	Hidrológica	Maicao	1981	2017
Orochon	15070240	Pr	Meteorológica	Uribia	1976	2017
Esc Ceura	15070160	Pr	Meteorológica	Maicao	1971	2017
Huimpecht	15080050	Pr	ND	Maicao	1972	1979
Chingolita La	15080110	Pr	Hidrológica	Maicao	1993	2009
Abreviaturas de las variables climáticas: Te: temperatura, Hr: humedad relativa, Rs: radiación solar, Ev: evaporación, Pr: precipitación, Vv: velocidad y dirección del viento, Nb: nubosidad, Pa: presión atmosférica.						

Fuente: Renovatio 2017

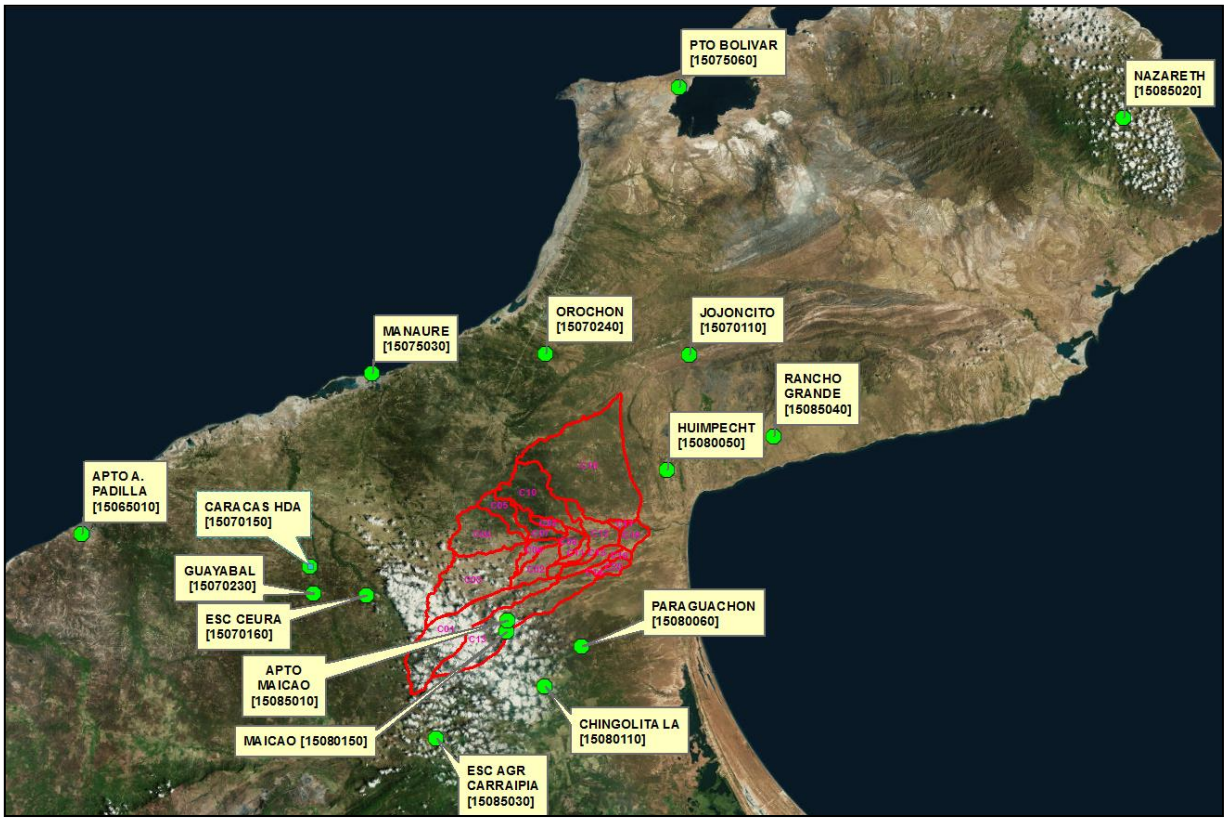


Figura 5-23. Estaciones meteorológicas consultadas

Fuente: Renovatio 2017

Para este estudio se localizaron las estaciones termo-pluviométricas existentes en la zona de proyecto. De todas ellas se escogieron aquellas cuya proximidad al ámbito de influencia del proyecto y cantidad y continuidad de los datos recogidos aseguraran una representatividad suficiente.

5.1.4.1.1 Datos pluviométricos

A partir de la información proporcionada por el IDEAM y presentada en el numeral anterior, se procede a analizar los datos con influencia en la zona de estudio. De las estaciones analizadas, 11 tienen interés para análisis pluviométricos (Figura 5-24), dado que algunas de las estaciones se encuentran muy alejadas de la zona de estudio por lo tanto no se consideran en el cálculo. Además se eligen las que tienen un cierto número mínimo de registros como se explica en la metodología (Capítulo 2. Generalidades, Numeral 2.3.3.4 Hidrología).

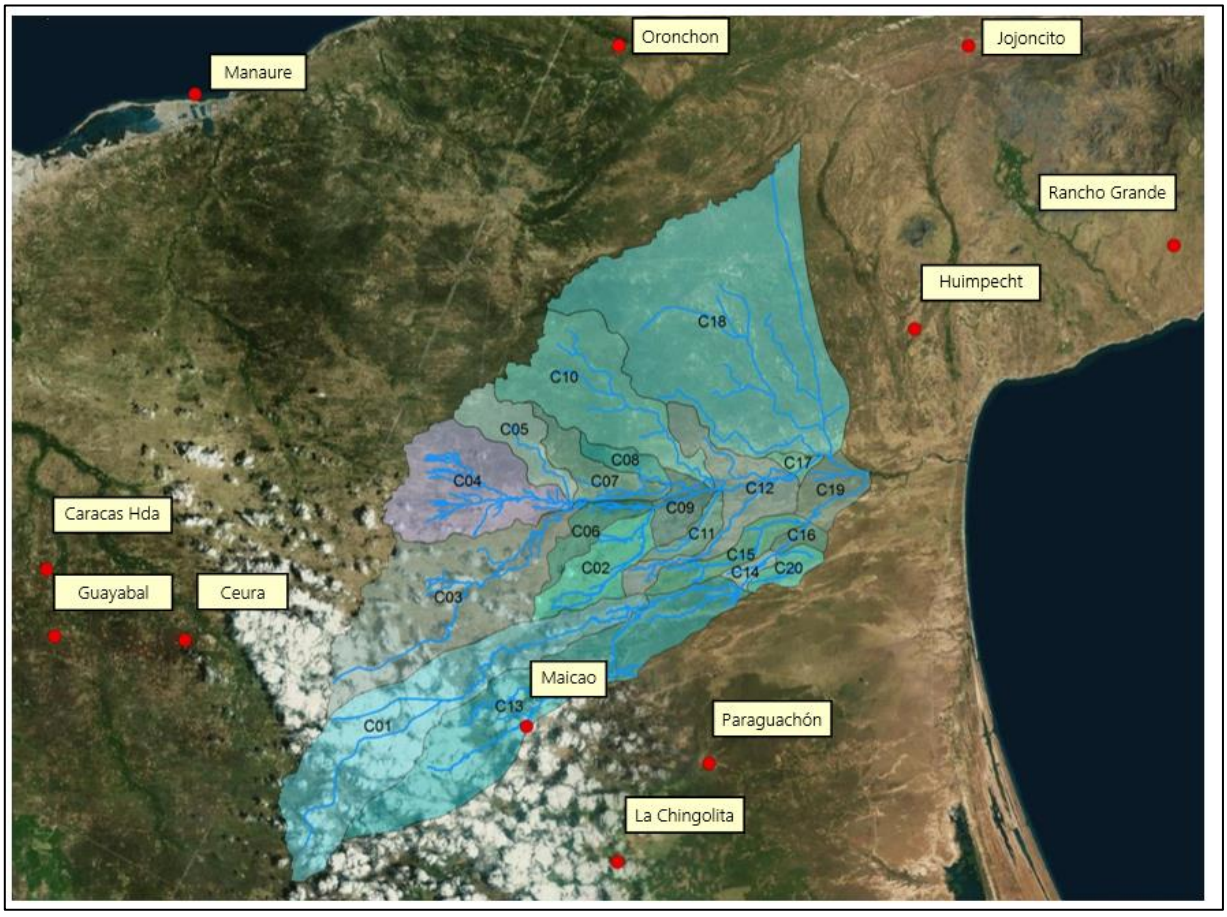


Figura 5-24. Estaciones pluviométricas de interés en el ámbito de estudio

Fuente: Renovatio 2017

A partir de un análisis espacial de influencia de las estaciones disponibles sobre la cuenca de estudio. Se aplica el método de los Polígonos Thiessen, siendo un método de interpolación

basado en la distancia euclidiana. Esta interpolación nos permite seleccionar las estaciones a utilizar en el análisis.

A continuación, en la Tabla 5-18, se muestra la representación gráfica de los polígonos Thiessen de interés en la cuenca de estudio, correspondientes a las estaciones pluviométricas de análisis.

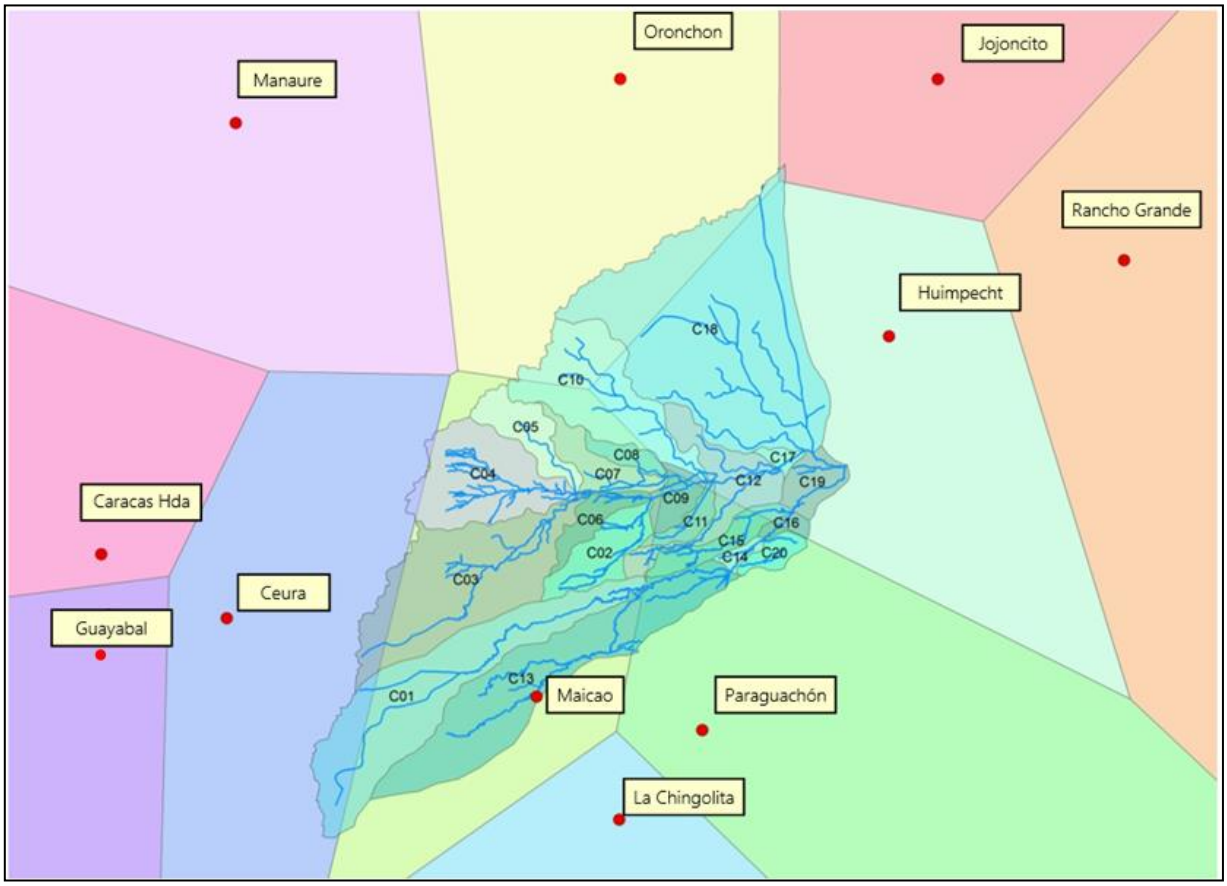


Figura 5-25. Polígonos Thiessen de estaciones pluviométricas de influencia en el ámbito de estudio

Fuente: Renovatio 2017

El resultado de aplicar la metodología de los Polígonos Thiessen son las siete estaciones con influencia en el ámbito de estudio. Como se aprecia en la figura anterior existen tres estaciones en las cuales no hay área de cuenca afectada por las mismas. Estas son La Chingolita, Guayabal, Caracas Hda y Manaure.

Tabla 5-17. Estaciones pluviométricas elegidas para el análisis

ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA	CODIGO	COOR_X	COOR_Y	COTA (m.s.n.m.)
Esc Ceura	15070160	848036,058	1757022,089	85
Maicao	15080150	872021,3301	1750894,88	50
Apto Maicao	15085010	872028,7844	1752738,865	53
Huimpecht	15080050	899400,4141	1778454,338	10
Orochon	15070240	878689,5602	1798256,434	100
Paraguachon	15087080	884844,7393	1748279,526	35
Jojoncito	15070110	903246,2356	1798147,142	120

Fuente: Renovatio 2017

Realizando una intersección entre los polígonos Thiessen calculados y las cuencas hídricas de la zona de estudio, se tiene que:

Tabla 5-18. Relación areal de subcuencas y estaciones pluviométricas de influencia

	Área (Km^2)					
CUENCAS	Est Ceura	Huimpecht	Jojoncito	Maicao/Apto Maicao	Oronchon	Paraguachon
C01	29.3	-	-	101.1	-	0.2
C02	-	-	-	30.6	-	-
C03	15.3	-	-	106.5	-	-
C04	3.2	-	-	69.6	-	-
C05	-	-	-	26.3	-	-
C06	-	-	-	15.7	-	-
C07	-	-	-	22.6	-	0.1
C08	-	0.2	-	9.3	-	-
C09	-	2.0	-	2.0	-	10.6
C10	-	27.3	-	22.9	28.3	-
C11	-	0.4	-	0.6	-	9.0
C12	-	31.5	-	4.2	-	9.1
C13	-	-	-	98.4	-	25.5
C14	-	-	-	-	-	4.6
C15	-	2.9	-	0.1	-	16.2

	Área (Km^2)					
CUENCAS	**Est Ceura**	**Huimpecht**	**Jojoncito**	**Maicao/Apto Maicao**	**Oronchon**	**Paraguachon**
C16	-	3.4	-	-	-	2.0
C17	-	4.4	-	-	-	-
C18	-	193.2	0.5	-	57.7	-
C19	-	18.4	-	-	-	-
C20	-	-	-	-	-	9.5
TOTAL	**47.7**	**283.8**	**0.5**	**509.8**	**86.0**	**86.9**

Fuente: Renovatio 2017

Con la finalidad de caracterizar pluviométricamente la cuenca de estudio y así tener un conocimiento más preciso de su climatología, a partir de la relación areal establecida entre subcuencas y estaciones influyentes pluviométricas se obtienen los pesos de cada una de dichas estaciones sobre el total de la cuenca de estudio.

Tabla 5-19. Relación de pesos de influencia de las estaciones pluviométricas sobre la cuenca de estudio

	Est Ceura	**Huimpecht**	**Jojoncito**	**Maicao/Apto Maicao**	**Oronchon**	**Paraguachon**
PESOS	0.047	0.280	0.001	0.502	0.085	0.086

Fuente: Renovatio 2017

En el Anexo 9.2 Análisis hidrológico, se adjuntan los datos disponibles proporcionados por el IDEAM, que permitieron desarrollar el estudio de climatología e hidrología.

En la tabla siguiente se proporcionan los datos de precipitaciones medias mensuales de cada una de las estaciones de interés.

Tabla 5-20. Precipitaciones mensuales medias en las estaciones de influencia de la cuenca de estudio

PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL (mm)														
EST. INFLUYENTE	**CODIGO**	**ENE**	**FEB**	**MAR**	**ABR**	**MAY**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SEP**	**OCT**	**NOV**	**DIC**	**ANUAL**
Esc Ceura	15070160	4.70	8.65	3.50	41.87	98.70	44.98	25.29	49.03	119.80	140.21	101.26	21.58	659.57
Maicao	15080150	14.50	9.70	8.80	34.90	94.00	47.70	24.50	89.90	129.30	229.90	165.60	28.20	876.90
Apto Maicao	15085010	6.48	9.11	3.90	24.93	93.18	26.26	4.62	30.58	102.90	166.80	115.60	26.14	611.00
Huimpecht	15080050	4.00	-	-	11.67	24.67	8.00	4.08	7.50	159.98	127.67	107.67	31.67	486.90
Orochon	15070240	9.50	2.70	8.66	20.55	52.00	9.38	6.36	37.13	82.50	121.97	86.67	33.26	470.68
Paraguachon	15087080	20.35	6.85	11.96	31.41	81.32	43.34	24.08	64.19	124.83	177.50	100.93	55.12	741.88
Jojoncito	15070110	4.00	1.00	5.00	13.00	27.00	10.00	5.00	14.00	30.00	37.00	36.00	10.00	192.00
PROMEDIO		**7.50**	**5.75**	**4.19**	**22.68**	**69.13**	**22.84**	**8.31**	**32.16**	**120.54**	**154.86**	**112.12**	**30.23**	**590.54**

Fuente: Renovatio 2017

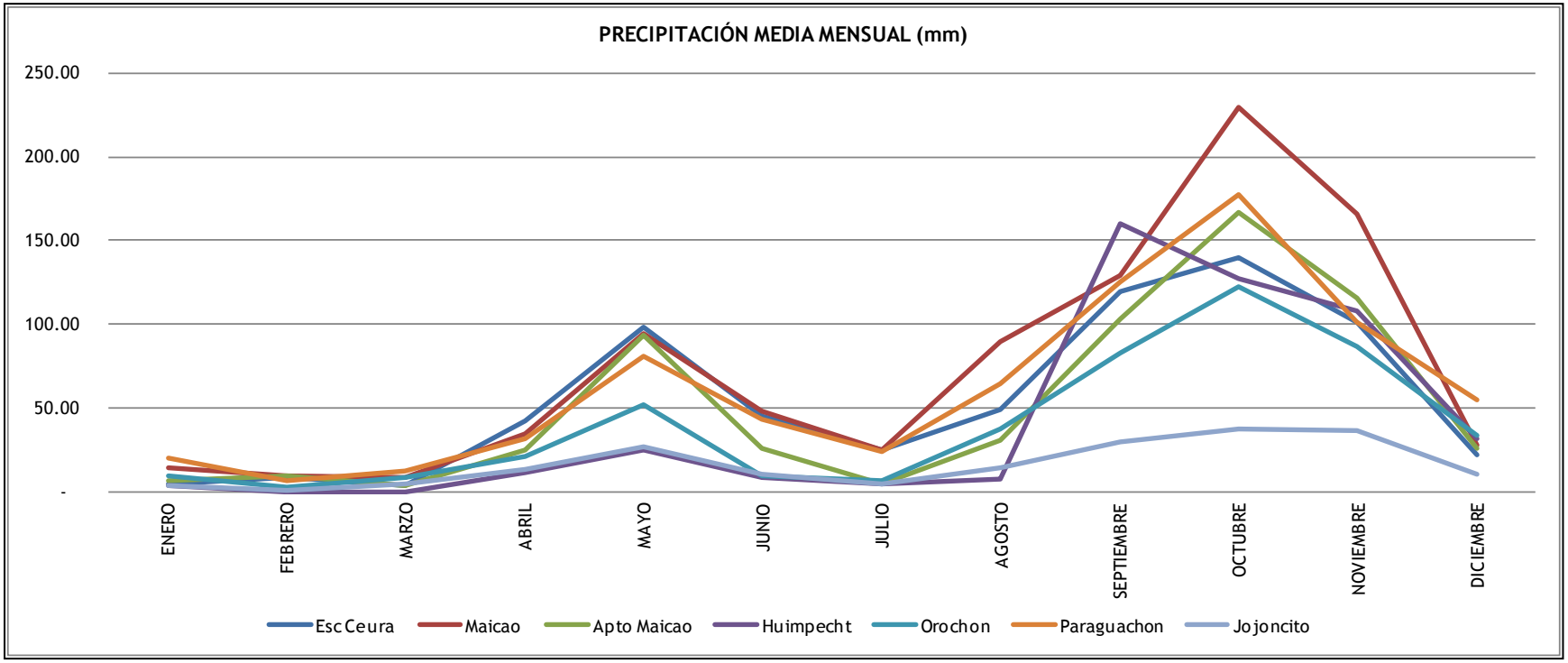


Figura 5-26. Precipitaciones medias mensuales en estaciones pluviométricas de influencia

Fuente: Renovatio 2017

En la gráfica anterior se puede observar como las precipitaciones siguen un patrón similar en todas las estaciones de influencia, dándose dos épocas anuales caracterizadas con lluvias, entre los meses de abril y junio, y entre septiembre y diciembre. Se evidencian dos máximos estacionales, en el mes de mayo y en el mes de octubre, siendo éste último también el máximo anual.

Aplicando los pesos de cada estación respecto al total de la cuenca de estudio, resulta la precipitación media mensual ponderada:

Tabla 5-21. Precipitaciones mensuales medias ponderadas en la cuenca de estudio

PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL PONDERADA (mm)												
ENE	**FEB**	**MAR**	**ABR**	**MAY**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SEP**	**OCT**	**NOV**	**DIC**	**ANUAL**
4.70	8.65	3.50	41.87	98.70	44.98	25.29	49.03	119.80	140.21	101.26	21.58	**659.57**

Fuente: Renovatio 2017

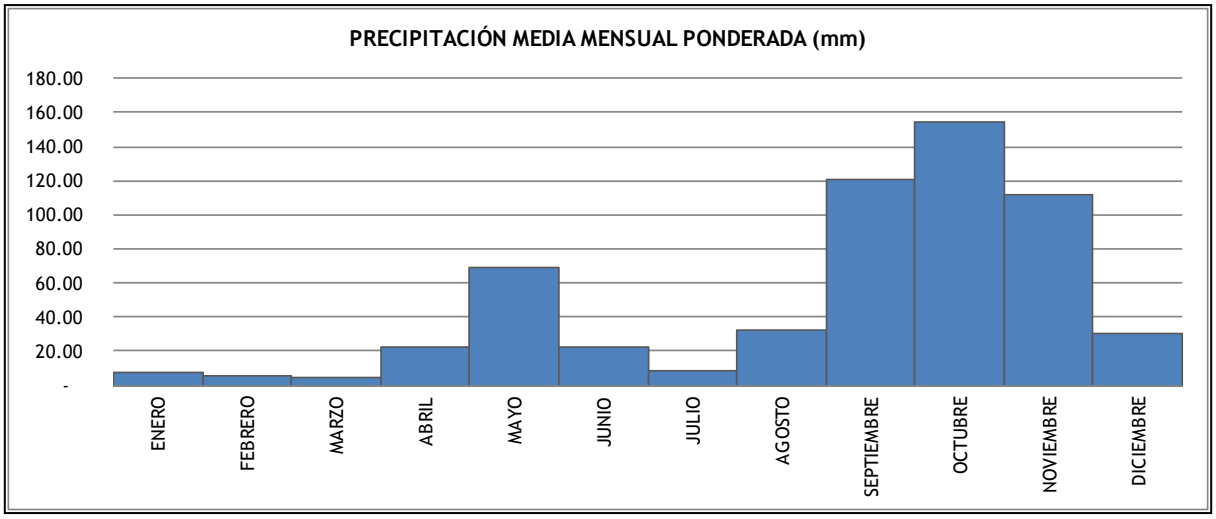


Figura 5-27. Precipitaciones medias mensuales ponderadas

Fuente: Renovatio 2017

La precipitación total anual ponderada en la cuenca de estudio es de 590.33 mm, caracterizándose por tener precipitaciones estacionales con máximos en mayo y octubre, cuyos valores alcanzan los 98.70 mm y 140.21 mm respectivamente.

5.1.4.1.2 Datos termométricos

Respecto las estaciones termométricas, siguiendo un análisis análogo al realizado para la variable precipitación, se localizan las estaciones de posible influencia térmica:

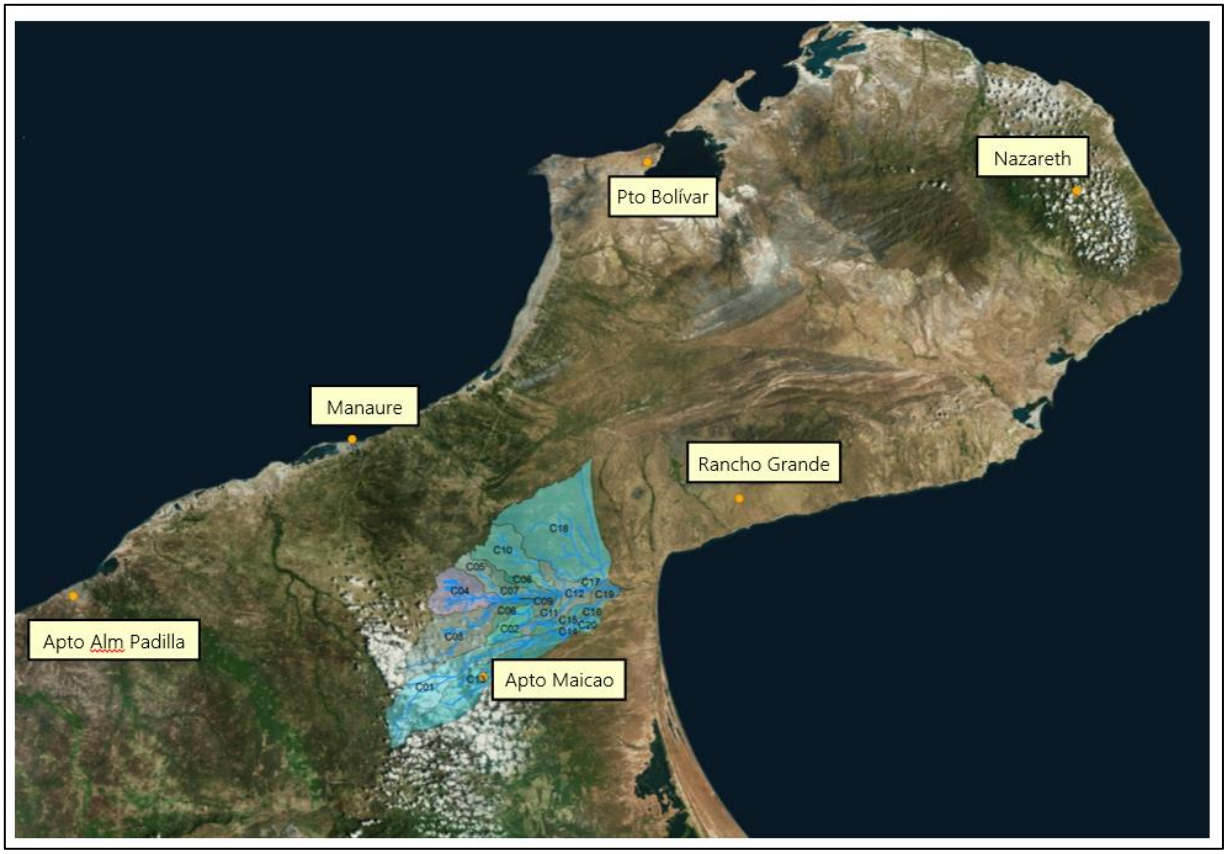


Figura 5-28. Estaciones termométricas de interés en el ámbito de estudio

Fuente: Renovatio 2017

A continuación, en la Figura 5-29, se adjunta representación gráfica de los polígonos Thiessen en la cuenca de estudio:

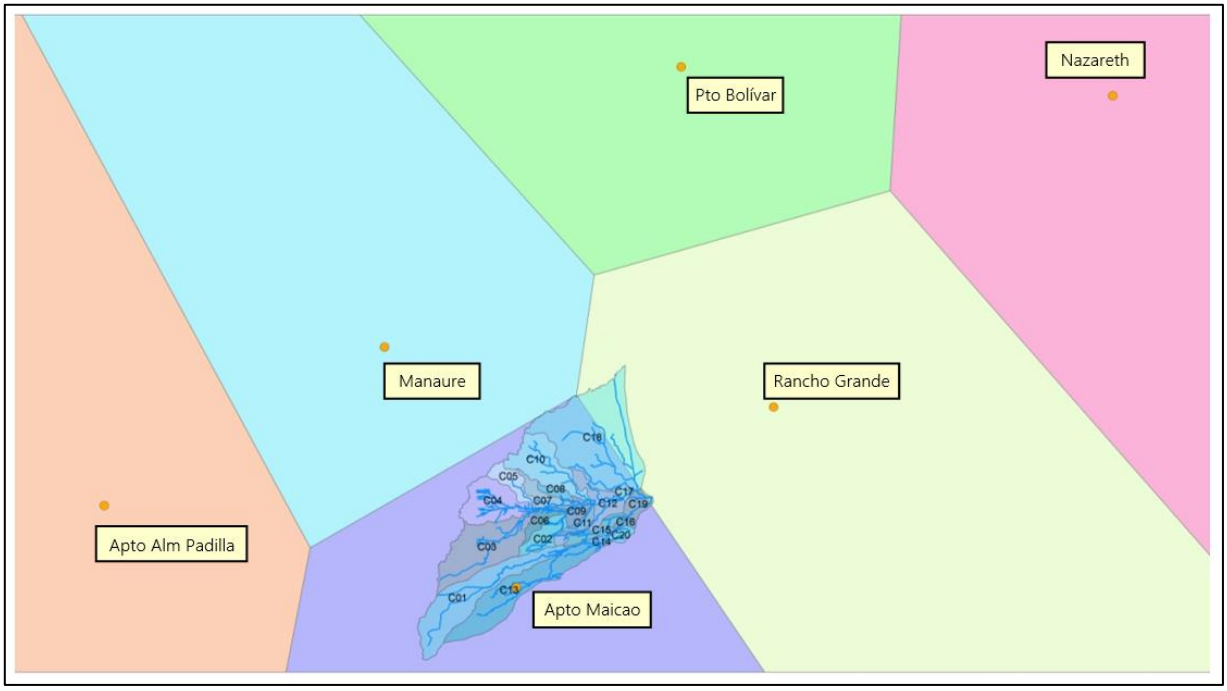


Figura 5-29. Polígonos Thiessen de estaciones termométricas de influencia en el ámbito de estudio

Fuente: Renovatio 2017

A partir de un análisis espacial de influencia de las estaciones termométricas disponibles sobre la cuenca de estudio. Se aplica el método de los Polígonos Thiessen, permitiendo seleccionar las estaciones influyentes:

Tabla 5-22. Estaciones termométricas influyentes

ESTACIÓN TERMOMÉTRICA	CODIGO	COOR_X	COOR_Y	COTA (m.s.n.m.)
Apto Maicao	15085010	872028.7844	1752738.865	53
Manaure	15075030	848927.474	1795005.18	1
Rancho Grande	15085040	917622.6647	1784233.155	50

Fuente: Renovatio 2017

Realizando una intersección entre los polígonos Thiessen calculados y las cuencas hídricas de la zona de estudio, se tiene que:

Tabla 5-23. Relación areal de subcuencas y estaciones termométricas de influencia

	ÁREA (Km²)		
Cuenca Hídrica	**Apto Maicao**	**Manaure**	**Rancho Grande**

	ÁREA (Km²)		
C01	130.5	-	-
C02	30.6	-	-
C03	121.8	-	-
C04	72.7	-	-
C05	26.3	-	-
C06	15.7	-	-
C07	22.7	-	-
C08	9.5	-	-
C09	14.6	-	-
C10	78.5	-	-
C11	1-	-	-
C12	44.9	-	-
C13	123.9	-	-
C14	4.6	-	-
C15	19.2	-	-
C16	5.4	-	-
C17	4.4	-	-
C18	153.5	0.2	97.8
C19	16.5	-	1.9
C20	9.5	-	-
TOTAL	**914.9**	**0.2**	**99.7**

Fuente: Renovatio 2017

Con la finalidad de caracterizar termométricamente la cuenca de estudio y a partir de la relación areal establecida entre subcuencas y estaciones influyentes termométricas se obtienen los pesos de cada una de dichas estaciones sobre el total de la cuenca de estudio.

Tabla 5-24. Relación de pesos de influencia de las estaciones termométricas sobre la cuenca de estudio

	Apto Maicao	Manaure	Rancho Grande
PESOS	0.9015	0.0002	0.0982

Fuente: Renovatio 2017

5.1.4.1.2.1 *Temperaturas medias*

En la tabla siguiente se proporcionan los datos de temperaturas medias mensuales de cada una de las estaciones de interés:

Tabla 5-25. Temperaturas mensuales medias en las estaciones de influencia de la cuenca de estudio

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (mm)														
EST. INFLUYENTE	**CODIGO**	**ENE**	**FEB**	**MAR**	**ABR**	**MAY**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SEP**	**OCT**	**NOV**	**DIC**	**PROMEDIO**
Manaure	15075030	27.80	27.50	27.77	28.19	29.44	30.31	30.44	29.82	29.37	28.70	28.84	27.97	28.85
Rancho Grande	15085040	27.51	27.63	28.08	28.78	29.22	29.64	29.64	29.82	29.58	28.81	28.64	27.87	28.77
Apto Maicao	15085010	26.90	27.50	28.00	28.50	28.60	28.90	29.20	29.40	28.60	27.90	27.50	27.50	28.21

Fuente: Renovatio 2017

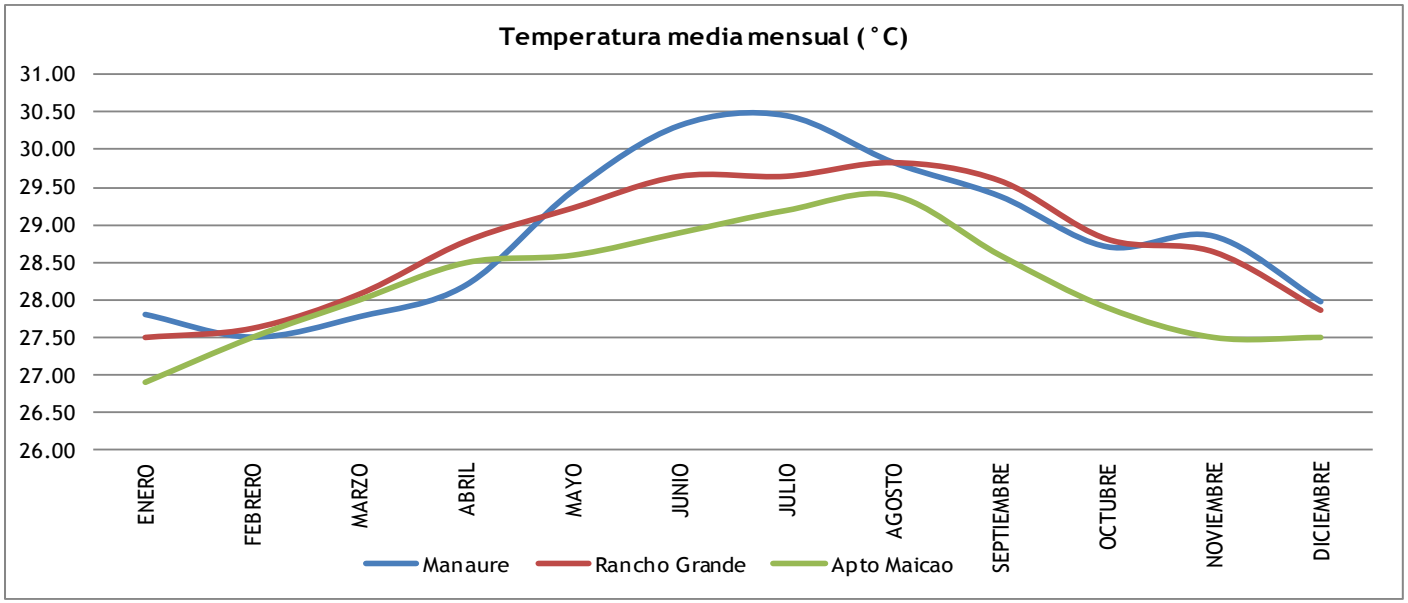


Figura 5-30. Temperaturas medias mensuales en estaciones termométricas de interés para el análisis

Fuente: Renovatio 2017

Aplicando los pesos de cada estación respecta el total de la cuenca de estudio, tenemos la precipitación media mensual ponderada:

Tabla 5-26. Temperaturas mensuales medias ponderadas en la cuenca de estudio

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL PONDERADA (mm)												
ENE	**FEB**	**MAR**	**ABR**	**MAY**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SEP**	**OCT**	**NOV**	**DIC**	**PROMEDIO**
26.97	27.51	28.01	28.53	28.67	28.99	29.25	29.45	28.71	28.00	27.63	27.54	28.27

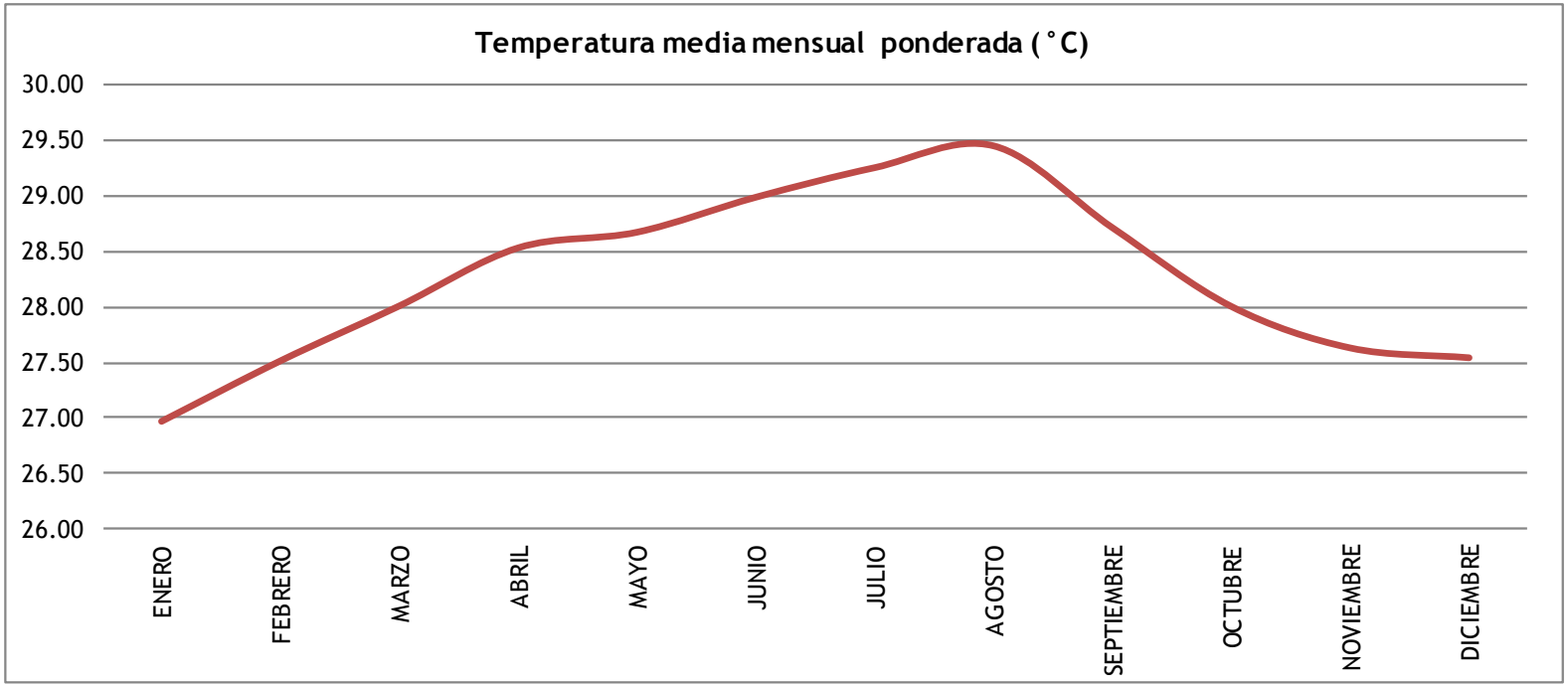


Figura 5-31. Temperaturas medias mensuales ponderadas

Fuente: Renovatio 2017

Las temperaturas medias mensuales ponderadas en la cuenca de estudio siguen una distribución anual muy homogénea con valores de temperatura con poca oscilación a lo largo del año. Se tienen temperaturas medias mínimas de valor entorno a 27 °C hasta temperaturas medias máximas de 29.50 °C.

5.1.4.1.2.2 *Temperaturas mínimas*

Siguiendo el mismo procedimiento de análisis, se analizan los registros de las temperaturas mínimas en las estaciones de interés de la cuenca de estudio.

Tabla 5-27. Temperaturas mensuales mínimas en las estaciones de interés de la cuenca de estudio

TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL (mm)														
EST. INFLUYENTE	CODIGO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
Manaure	15075030	23.88	24.02	24.42	24.35	24.71	25.26	24.99	24.97	25.07	24.69	24.40	24.14	24.57
Rancho Grande	15085040	24.07	24.02	24.43	25.30	26.02	26.32	26.12	26.28	26.29	25.78	25.53	24.76	25.41
Apto Maicao	15085010	23.44	23.56	23.56	24.23	24.72	25.13	25.33	25.30	24.90	24.22	24.10	23.53	24.34

Fuente: Renovatio 2017

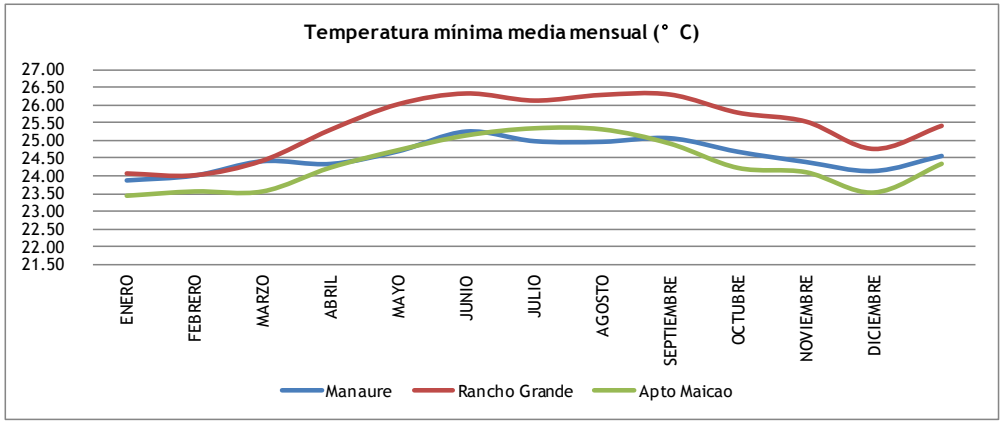


Figura 5-32. Temperaturas mínimas mensuales en estaciones termométricas de influencia

Fuente: Renovatio 2017

Aplicando los pesos de cada estación respecta el total de la cuenca de estudio, tenemos la precipitación media mensual ponderada:

Tabla 5-28. Temperaturas mensuales mínimas ponderadas en la cuenca de estudio

TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL PONDERADA (mm)												
ENE	**FEB**	**MAR**	**ABR**	**MAY**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SEP**	**OCT**	**NOV**	**DIC**	**PROMEDIO**
23.51	23.61	23.66	24.35	24.87	25.26	25.42	25.41	25.06	24.40	24.26	23.67	24.46

Fuente: Renovatio 2017

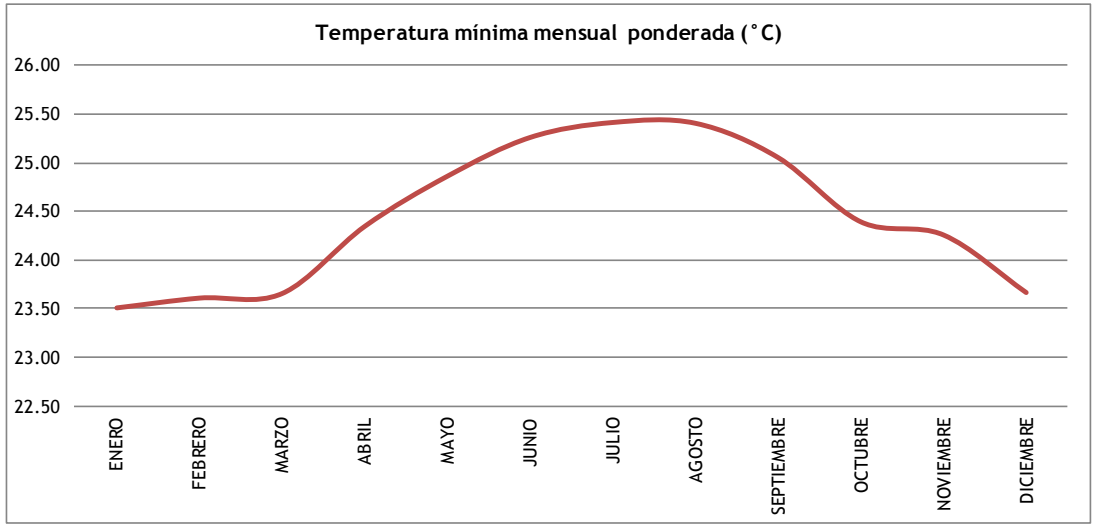


Figura 5-33. Temperaturas mínimas mensuales ponderadas

Fuente: Renovatio 2017

Las temperaturas mínimas mensuales ponderadas en la cuenca de estudio tienen un máximo anul marcado entre los meses de junio, julio y agosto, manteniéndose su valor entorno los 25.50 °C.

El mínimo de la serie de mínimos registrados se da en el mes de enero con valor de 23.50 °C, siendo la oscilación entre valores extremos mínimos de 2 °C.

5.1.4.1.2.3 *Temperaturas máximas*

Análogamente, se analizan los registros de temperaturas máximas medias mensuales.

Tabla 5-29. Temperaturas mensuales máximas en las estaciones de interés de la cuenca de estudio

TEMPERATURA MÁXIMA MENSUAL (mm)														
EST. INFLUYENTE	**CODIGO**	**ENE**	**FEB**	**MAR**	**ABR**	**MAY**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SEP**	**OCT**	**NOV**	**DIC**	**PROMEDIO**
Manaure	15075030	32.32	32.36	32.60	32.70	33.38	34.59	35.00	34.67	33.80	33.04	32.65	32.48	33.26
Rancho Grande	15085040	31.64	31.98	32.57	33.28	33.40	34.00	34.13	34.21	33.33	32.27	32.24	31.74	32.90
Apto Maicao	15085010	31.46	32.06	32.38	32.83	33.12	33.21	33.62	34.04	33.60	32.12	31.56	31.29	32.61

Fuente: Renovatio 2017

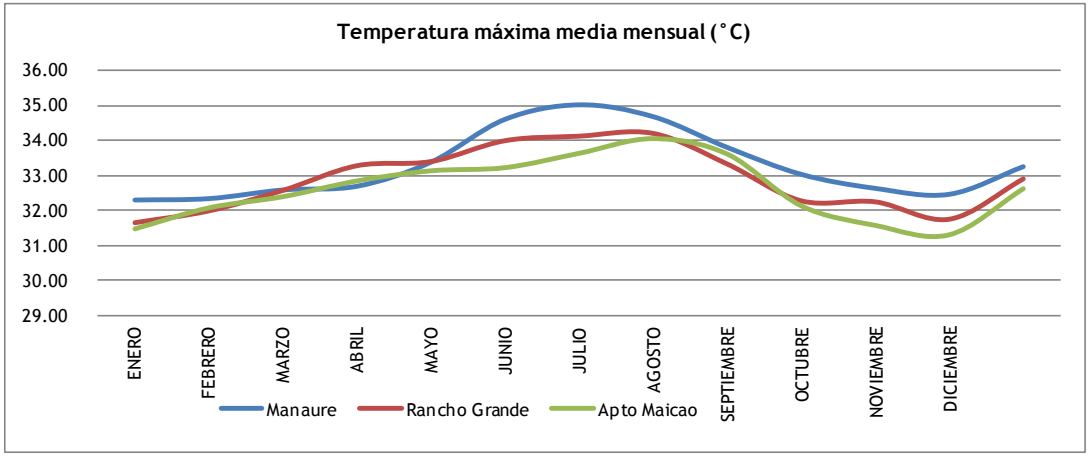


Figura 5-34. Temperaturas máxima mensuales en estaciones termométricas de interés

Fuente: Renovatio 2017

Aplicando los pesos de cada estación respecta el total de la cuenca de estudio, tenemos la precipitación media mensual ponderada:

Tabla 5-30. Temperaturas mensuales máximas ponderadas en la cuenca de estudio

TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL PONDERADA (mm)												
ENE	**FEB**	**MAR**	**ABR**	**MAY**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SEP**	**OCT**	**NOV**	**DIC**	**PROMEDIO**
31.48	32.05	32.40	32.88	33.15	33.30	33.68	34.06	33.57	32.14	31.64	31.34	32.64

Fuente: Rebnovatio 2017

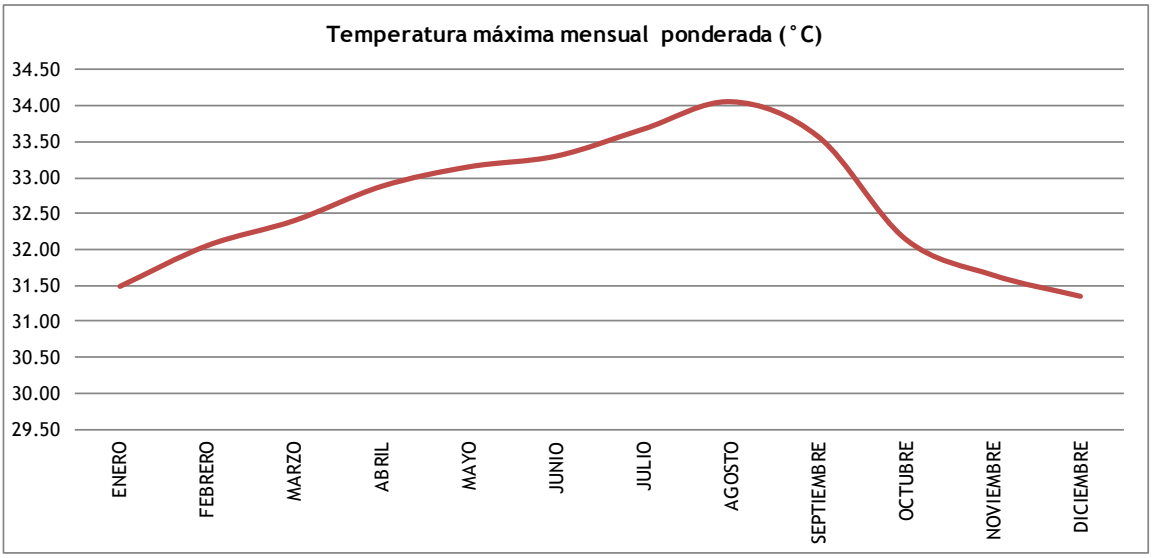


Figura 5-35. Temperaturas máximas mensuales ponderadas

Fuente: Renovatio 2017

Las temperaturas máximas mensuales ponderadas en la cuenca de estudio tienen un máximo anual marcado en el mes de agosto, con un valor cercano a los 34.00 °C.

El mínimo de la serie de máximos registrados se da en el mes de diciembre con valor de 31.34 °C, siendo la oscilación entre valores extremos máximos de en torno a 2.7 °C.

5.1.4.2 *Análisis estadístico de las series disponibles de datos históricos registrados*

En el siguiente apartado se desarrollan los trabajos referentes al análisis de las series de datos hidrometeorológicos disponibles de las estaciones de la zona de estudio, siendo éstas:

Tabla 5-31. Estaciones hidrometeorológicas disponibles en el área de estudio.

CÓDIGO	ESTACIONES PLUVIOMETRICAS
15080150	Maicao
15085010	Apto Maicao
15087080	Paraguachon
15080080	Jasay
15085040	Rancho Grande

Fuente: Fuente: Renovatio 2017 a partir de datos del IDEAM

Para una mayor comprensión del comportamiento de los rasgos climáticos de la zona de estudio se estudia la evolución temporal de sus parámetros meteorológicos registrados. Estas

cinco (5) estaciones cumplen el tipo de análisis disponibles Pdmax24h, por lo tante para estas se realiza el análisis estádistico de datos históricos.

5.1.4.2.1.1 *Análisis estadístico de la precipitación*

En este apartado se desarrollan los trabajos referentes al análisis de las series de datos meteorológicos disponibles.

Para una mayor comprensión del comportamiento de los rasgos climáticos de la zona de proyecto, se estudia la evolución temporal de sus parámetros meteorológicos registrados.

Las series de datos de precipitación facilitadas por el IDEAM proporcionan valores de precipitación diaria acumulada, en mm, en las estaciones meteorológicas recogidas en la Tabla 5-32 y dichos datos se recopilan en el Anexo 9.2 del presente estudio.

Aunque la longitud de las series históricas varía de una estación a otra, se ha procedido al análisis de los datos de cada una de las estaciones.

A partir de los registros históricos de precipitación en cada estación, se obtienen las series e índices que se indican a continuación:

- Obtención de las series mensuales P_mensual, P_max_24h y Nº_dias_lluvia:
  - La serie histórica de Precipitación mensual (P_mensual) se ha obtenido como la suma de la Precipitación diaria acumulada correspondiente.
  - La serie histórica de Precipitación máxima mensual en 24h (P_max_24h) se ha obtenido como el valor máximo de Precipitación diaria acumulada registrado en el mes correspondiente.
  - Se han contabilizado para toda la serie histórica el número de días al mes en los que se han registrado precipitaciones (Nº_días_lluvia).
- Obtención de los índices correspondientes a las series de Precipitación para las estaciones consideradas:

Tabla 5-32. Variables pluviométricas principales en las estaciones meteorológicas consideradas

VARIABLE	MAICAO	APTO MAICAO	PARAGUACHÓN	JASAY	RANCHO GRANDE
Precipitación total anual media (mm)	861.83	602.20	684.40	262.59	291.89
Precipitación total máxima anual de la serie (mm)	1 420.00	1 089.60	1 985.20	812.60	1 030.60
Precipitación máx. 24 h (valor medio de los máx. mensuales) (mm)	296.13	229.66	234.61	109.95	115.01
Precipitación máx. 24 h (valor medio de los máx. anuales) (mm)	118.33	90.80	165.43	67.72	85.88
Nº de días de lluvia al año (valor medio)	39.77	42.08	23.07	13.93	31.40

Fuente: Fuente: Renovatio 2017 partir de datos del IDEAM

A continuación, se adjunta el análisis estadístico realizado a la serie de datos disponible en la estación de Rancho Grande, A modo de ejemplo. Los resultados del análisis de las otras estaciones se adjuntan en el Anexo 9.2.

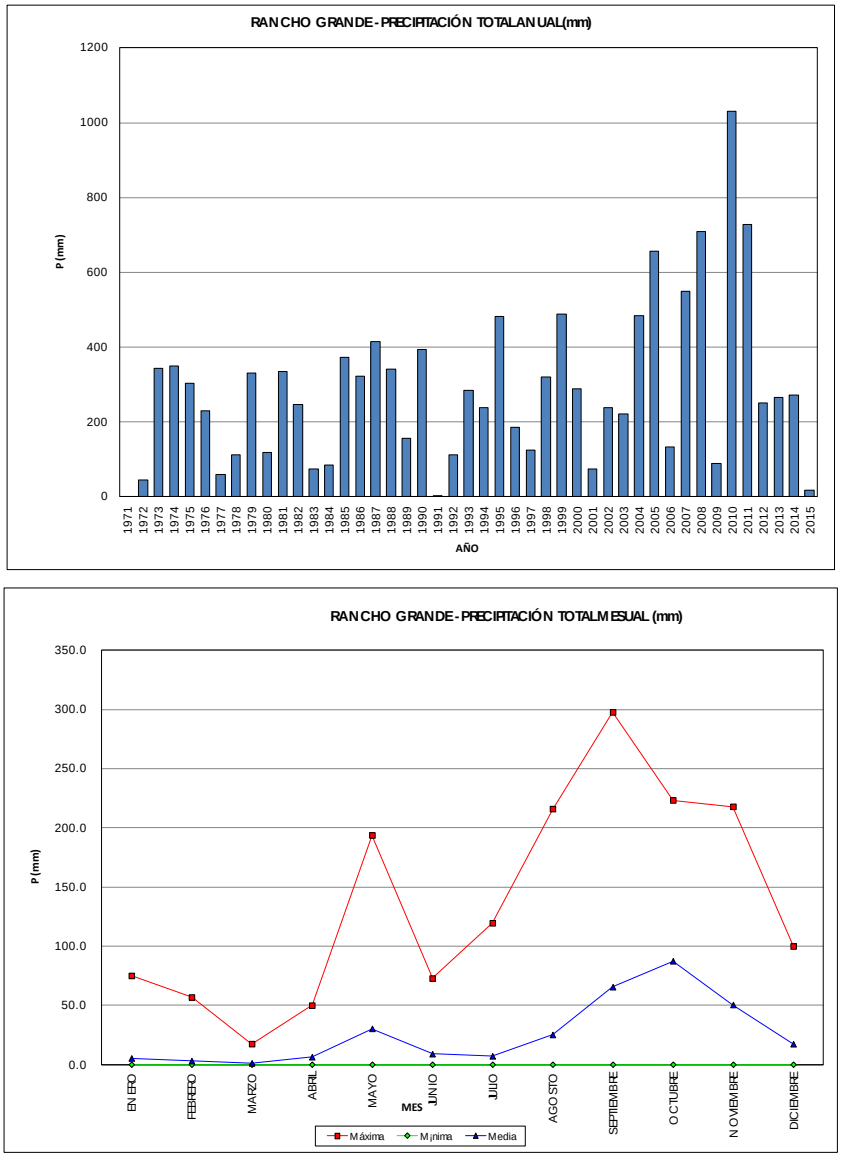


Figura 5-36. Precipitación total histórica. Estación meteorológica Rancho grande.

Fuente: Renovatio2017 a partir de datos del IDEAM

Tabla 5-33. Variable precipitación total mensual en la estación meteorológica Rancho Grande

PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL (mm)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Máx.	75.0	56.8	17.4	49.9	193.7	72.8	119.5	216.0	297.7	223.3	217.9	99.9
Mín.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Media	5.3	3.0	1.2	6.3	30.3	8.9	7.1	25.1	65.5	87.4	50.5	17.3

Fuente: Renovatio 2017 a partir de datos del IDEAM

Tabla 5-34. Variables históricas registradas en la estación meteorológica Rancho Grande

PRECIPITACIÓN ANUAL (mm)	VALORES HISTÓRICOS REGISTRADOS DE P (mm)
Máx.	297.70
Mín.	0.00
Media	25.45

Fuente: Renovatio 2017 a partir de datos del IDEAM

En el Anexo 9.2 se recogen los gráficos de Precipitación más significativos en las estaciones analizadas.

En el Capítulo 2 Generalidades, Numeral 2.3.34, se presenta el marco metodológico para el cálculo anterior.

5.1.4.2.1.2 *Hidrología en el ámbito de estudio con estaciones con datos de Pmáx24h empleados en el diseño de elementos de drenaje*

5.1.4.2.1.2.1 Determinación de las estaciones de influencia

Mediante el software GlobalMapper y apoyándonos en servidores globales de cartografía[30] se obtiene el modelo digital de elevación (DTM) de la zona a analizar y a partir de dicha cartografía y mediante el software ArcMap 10.1 se determinan las cuencas hídricas y la red de drenaje existente.

Se dispone de las siguientes series de precipitaciones históricas validadas e influyentes en la cuenca hídrica de estudio con registros de precipitaciones máximas:

Tabla 5-35. Estaciones meteorológicas de posible influencia

ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA	CÓDIGO	Nº AÑOS
ESC CEURA	15070160	40

[30] Modelo Digital de Elevación del área de interés con una resolución espacial de 12,5m del año 2011, consultado en la página: https://vertex.daac.asf.alaska.edu/.

ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA	CÓDIGO	Nº AÑOS
JASAY	15080080	35
MANAURE	15075030	34
ORONCHON	15070240	33
PARAGUACHON	15080060	31
MAICAO – APTO MAICAO	15080150 – 15085010	20
RANCHO GRANDE	15085040	40

Fuente: IDEAM

Las estaciones Maicao y Apto Maicao se han unificado pues se trata en realidad de la misma estación, cuya ubicación cambió sensiblemente en el año 1970.

Para conocer las precipitaciones de diseño se requiere conocer la serie de precipitaciones históricas ponderada mediante Polígonos Thiessen para cada una de las subcuencas de estudio.

A partir de las series de registros históricos de los datos disponibles de precipitaciones máximas mensuales en 24 h (Pmáx24h), mediante aplicación de la metodología de los polígonos de Thiessen se determinan las estaciones de influencia en la cuenca de estudio. Para ello se ha empleado el software ArcMap v.10.1

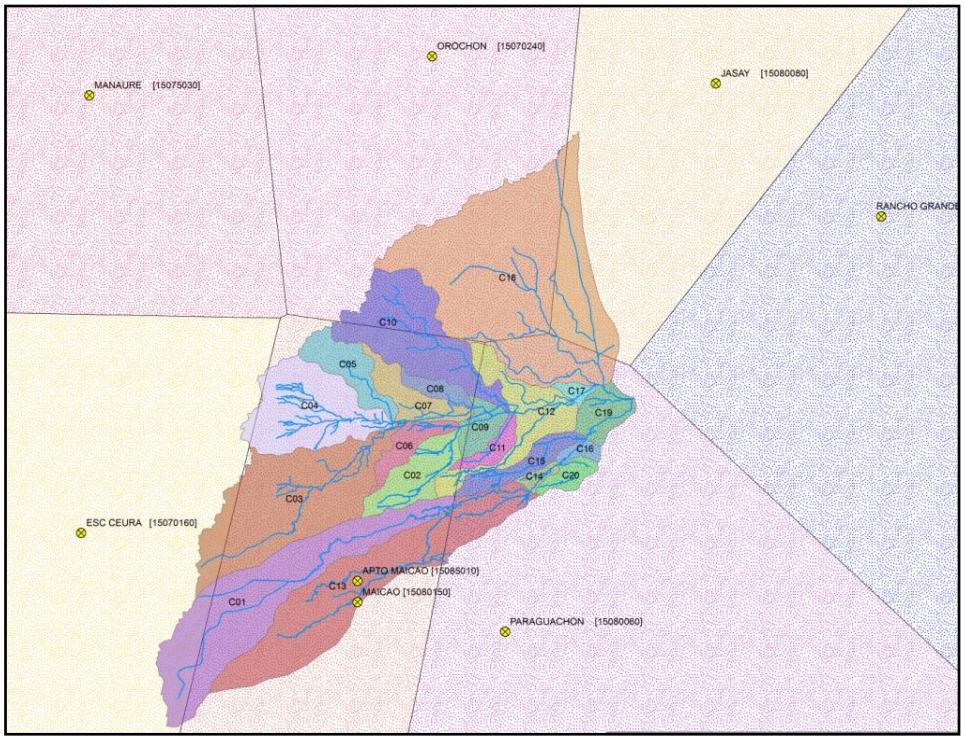


Figura 5-37. Polígonos Thiessen de estaciones pluviométricas de influencia en el ámbito de estudio con datos de PMÁX24H.

Fuente: Renovatio 2017

Tabla 5-36. Áreas de influencia de las estaciones de influencia sobra la cuenca de estudio

	CEURA	JASAY	MAICAO	OROCHON	PARAGUACHON
CUENCAS	**ÁREA DE INFLUÉNCIA (Km²)**				
C01	29.91	-	100.45	-	0.15
C02	-	-	30.61	-	-
C03	15.59	-	106.21	-	-
C04	3.26	-	69.48	-	-
C05	-	-	26.29	-	-
C06	-	-	15.74	-	-
C07	-	-	22.59	-	0.13
C08	-	-	9.50	-	-5
C09	-	-	2.15	-	12.49
C10	-	-	39.35	34.40	4.73
C11	-	-	0.59	-	9.43
C12	-	-	6.39	-	38.47
C13	-	-	98.37	-	25.53
C14	-	-	-	-	4.57
C15	-	-	-6	-	19.09
C16	-	-	-	-	5.39
C17	-	-	-	-	4.41
C18	-	53.81	0.49	16-6	37.11
C19	-	-	-	-	18.44
C20	-	-	-	-	9.54
	48.75	**53.81**	**528.26**	**194.45**	**189.54**

Fuente: Renovatio2017 a partir de los datos facilitados por el IDEAM.

Las estaciones Rancho Grande y Manaure se desechan finalmente por quedar fuera del área de influencia. Una vez establecidas las series históricas a analizar, se procede a realizar su validación y posterior estudio estadístico. Los resultados se muestran a continuación

5.1.4.2.1.2.2 Resultados

A continuación se adjunta, para cada una de las series de precipitaciones máximas en 24h, la gráfica que representa las diferentes funciones de distribución estudiadas, pudiendo

determinar gráficamente la función que mejor representa el comportamiento de las precipitaciones en la zona de estudio.

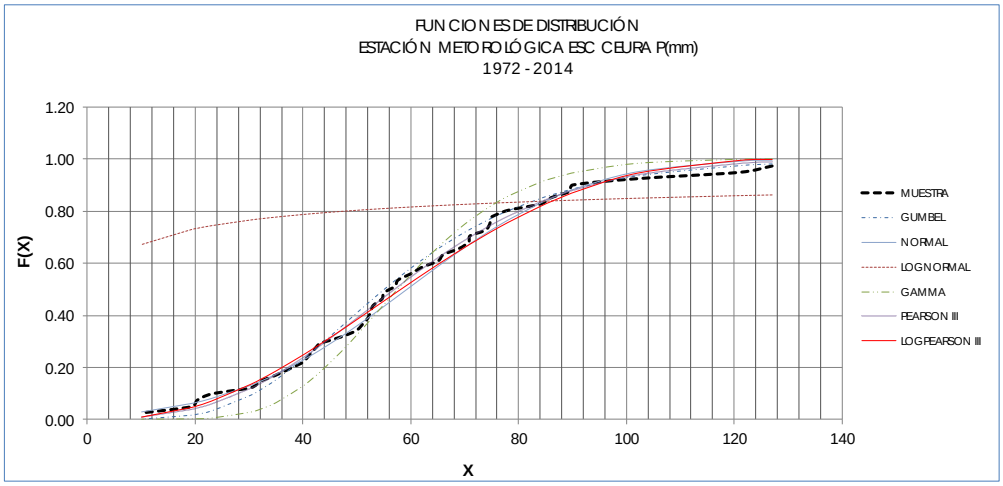


Figura 5-38. Análisis estocástico. Ajuste de funciones de distribución para la serie de Precipitaciones máximas en 24 h en la Estación meteorológica de CEURA

Fuente: Renovatio 2017

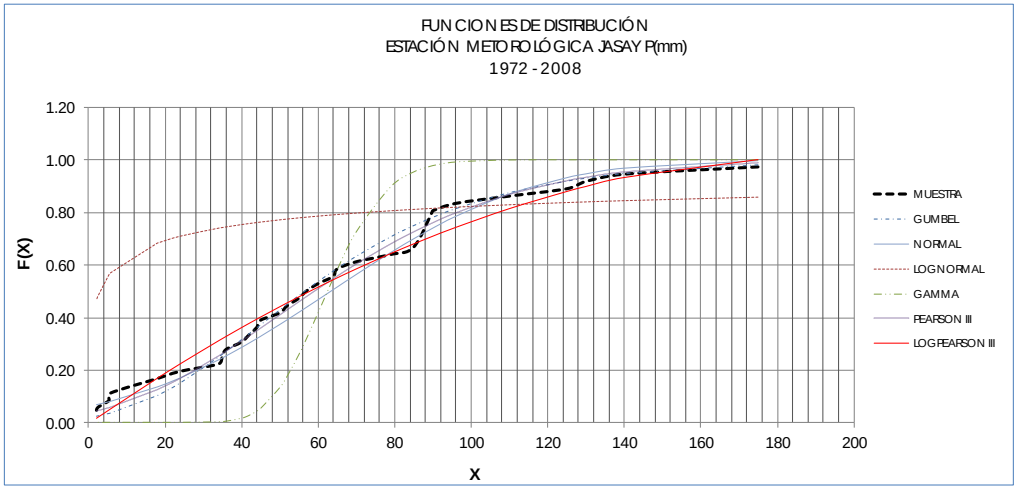


Figura 5-39. Análisis estocástico. Ajuste de funciones de distribución para la serie de Precipitaciones máximas en 24 h en la Estación meteorológica de JASAY

Fuente: Renovatio 2017

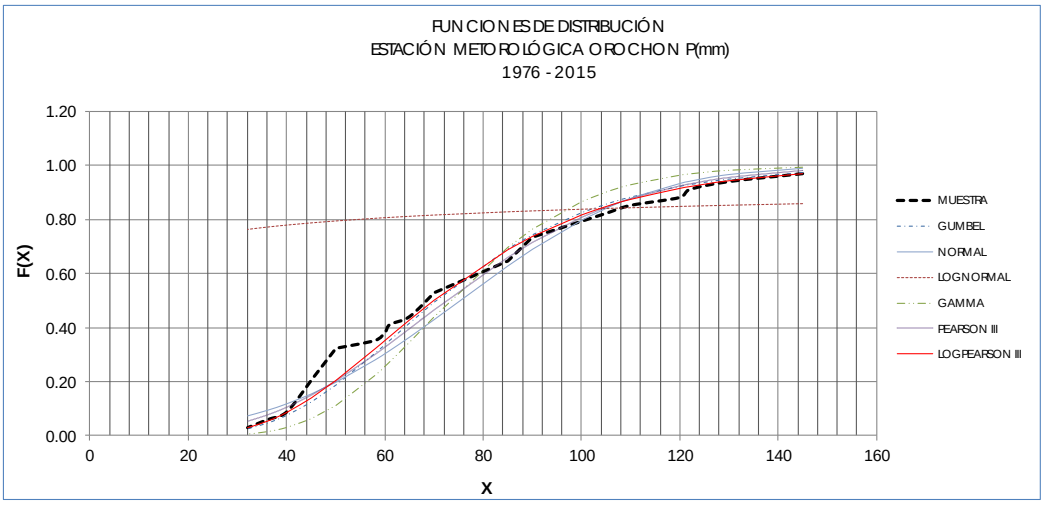


Figura 5-40. Análisis estocástico. Ajuste de funciones de distribución para la serie de Precipitaciones máximas en 24 h en la Estación meteorológica de ORONCHON

Fuente: Renovatio 2017

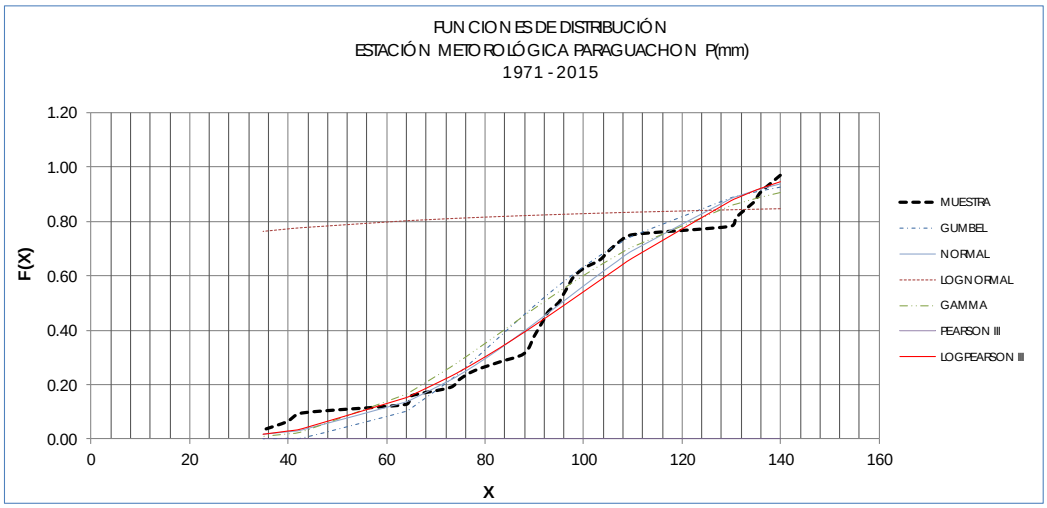


Figura 5-41. Análisis estocástico. Ajuste de funciones de distribución para la serie de Precipitaciones máximas en 24 h en la Estación meteorológica de PARAGUACHON

Fuente: Renovatio 2017

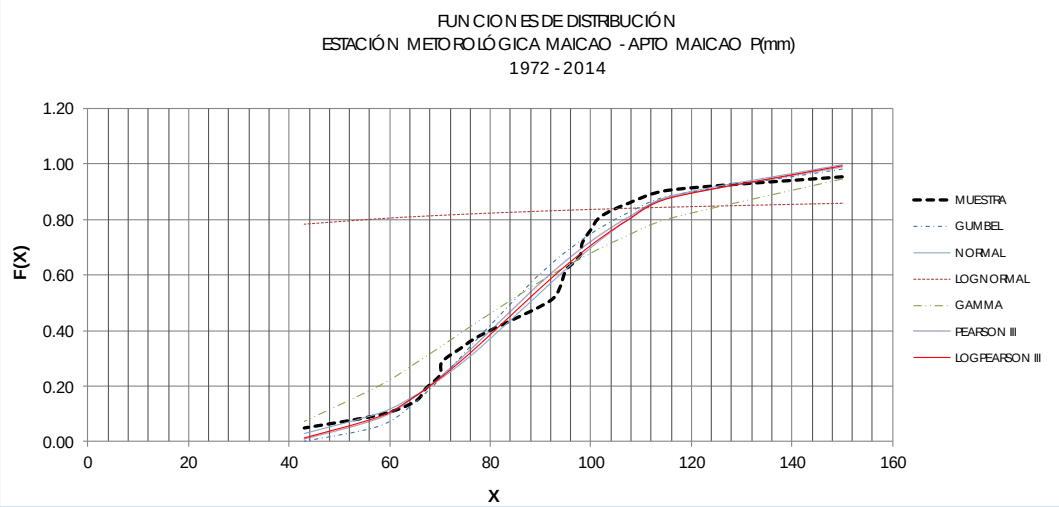


Figura 5-42. Análisis estocástico. Ajuste de funciones de distribución para la serie de Precipitaciones máximas en 24 h en la Estación meteorológica de MAICAO – APTO MAICAO

Fuente: Renovatio 2017

En las siguientes tablas se recogen los resultados obtenidos para cada serie de datos de precipitaciones máximas en 24 h estudiadas y el resumen del cálculo de la bondad de ajuste calculada por Kolmogorov-Smirnov para cada una de ellas:

En Hidrología se utiliza el término Periodo de Retorno o tiempo medio entre sucesos independientes, y que permite cuantificar la probabilidad del evento.

$$T = \frac{1}{1-p}$$

Por lo tanto, la inversa del periodo de retorno resulta ser la probabilidad anual de superación del suceso.

Tabla 5-37. Resultados de cálculo estadístico para la serie de Pmax24h en la estación CEURA

Tr	Prob	P (mm)					
		GUMBEL	NORMAL	LOG NORMAL	GAMMA	PEARSON III	LOGPEARSON III
2	0.5	55.04	59.29	53.13	57.55	56.93	58.16
5	0.8	77.88	81.04	81.80	73.42	80.07	82.11
10	0.9	93.01	92.41	102.49	82.75	93.56	93.95
25	0.96	112.11	104.54	130.36	93.52	109.05	105.24
50	0.98	126.29	112.37	152.27	100.93	119.66	111.60
100	0.99	140.36	119.42	175.11	107.91	129.63	116.61
200	0.995	154.38	125.86	199.00	114.55	139.10	120.60

Tr	Prob	P (mm)					
		GUMBEL	**NORMAL**	**LOG NORMAL**	**GAMMA**	**PEARSON III**	**LOGPEARSON III**
500	0.998	172.87	133.68	232.36	122.95	151.04	124.69
1000	0.999	186.85	139.16	259.05	129.06	159.71	127.09
TEST DE KOLMOGOROV-SMIRNOV		**GUMBEL**	**NORMAL**	**LOG NORMAL**	**GAMMA**	**PEARSON III**	**LOGPEARSON III**
		0.0654	**0.0627**	**0.6823**	**0.1143**	**0.0454**	**0.0580**
		OK	OK	No se acepta el ajuste	OK	OK	OK
		GUMBEL	NORMAL	LOGNORMAL	GAMMA	PEARSON	LOGPEARSON III

Fuente: Renovatio 2017

Tabla 5-38. Resultados de cálculo estadístico para la serie de Pmax24h en la estación JASAY

Tr	Prob	P (mm)					
		GUMBEL	**NORMAL**	**LOG NORMAL**	**GAMMA**	**PEARSON III**	**LOGPEARSON III**
2	0.5	56.46	63.27	44.26	62.50	58.97	57.84
5	0.8	93.12	98.19	109.63	73.20	96.34	107.19
10	0.9	117.39	116.43	176.13	79.24	118.43	130.65
25	0.96	148.05	135.89	292.02	86.03	144.00	150.09
50	0.98	170.80	148.46	404.81	90.61	161.65	159.15
100	0.99	193.39	159.77	543.05	94.87	178.30	165.12
200	0.995	215.88	170.12	710.56	98.87	194.18	169.06
500	0.998	245.57	182.66	984.25	103.87	214.27	172.28
1000	0.999	268.00	191.46	1236.98	107.47	228.91	173.77
TEST DE KOLMOGOROV-SMIRNOV		**GUMBEL**	**NORMAL**	**LOG NORMAL**	**GAMMA**	**PEARSON III**	**LOGPEARSON III**
		0.0877	**0.0667**	**0.5449**	**0.3359**	**0.0662**	**0.0965**
		OK	OK	No se acepta el ajuste	OK	OK	OK
		GUMBEL	NORMAL	LOGNORMAL	GAMMA	PEARSON	LOGPEARSON III

Fuente: Renovatio 2017

Tabla 5-39. Resultados de cálculo estadístico para la serie de Pmax24h en la estación ORONCHON

Tr	Prob	P (mm)					
		GUMBEL	NORMAL	LOG NORMAL	GAMMA	PEARSON III	LOGPEARSON III
2	0.5	70.40	75.27	69.72	73.14	72.57	70.01
5	0.8	96.63	100.25	97.76	92.90	99.13	97.87
10	0.9	113.99	113.31	116.65	104.49	114.62	116.33
25	0.96	135.93	127.23	140.83	117.84	132.39	139.63
50	0.98	152.21	136.23	159.06	127.03	144.57	156.96
100	0.99	168.37	144.32	177.46	135.67	156.01	174.26
200	0.995	184.46	151.72	196.16	143.89	166.87	191.66
500	0.998	205.70	160.69	221.49	154.27	180.56	214.95
1000	0.999	221.75	166.99	241.18	161.83	190.51	232.85
TEST DE KOLMOGOROV-SMIRNOV		**GUMBEL**	**NORMAL**	**LOG NORMAL**	**GAMMA**	**PEARSON III**	**LOGPEARSON III**
		0.1359	**0.1263**	**0.7354**	**0.2103**	**0.1217**	**0.1276**
		OK	OK	No se acepta el ajuste	OK	OK	OK
		GUMBEL	NORMAL	LOGNORMAL	GAMMA	PEARSON	LOGPEARSON III

Fuente: Renovatio 2017

Tabla 5-40. Resultados de cálculo estadístico para la serie de Pmax24h en la estación PARAGUACHON

Tr	Prob	P (mm)					
		GUMBEL	NORMAL	LOG NORMAL	GAMMA	PEARSON III	LOGPEARSON III
2	0.5	90.75	95.46	90.52	91.79	-	96.79
5	0.8	116.08	119.59	121.81	121.23	-	121.97
10	0.9	132.86	132.20	142.25	138.81	-	133.13
25	0.96	154.05	145.64	167.86	159.29	-	143.03
50	0.98	169.77	154.33	186.79	173.49	-	148.26
100	0.99	185.37	162.15	205.65	186.93	-	152.21
200	0.995	200.92	169.30	224.56	199.79	-	155.22
500	0.998	221.43	177.96	249.84	216.10	-	158.17
1000	0.999	236.94	184.04	269.24	228.01	-	159.83

Tr	Prob	P (mm)					
		GUMBEL	**NORMAL**	**LOG NORMAL**	**GAMMA**	**PEARSON III**	**LOGPEARSON III**
TEST DE KOLMOGOROV-SMIRNOV		**GUMBEL**	**NORMAL**	**LOG NORMAL**	**GAMMA**	**PEARSON III**	**LOGPEARSON III**
		0.1445	**0.1046**	**0.7301**	**0.1394**		**0.0939**
		OK	OK	No se acepta el ajuste	OK		OK
		GUMBEL	NORMAL	LOGNORMAL	GAMMA	PEARSON	LOGPEARSON III

Fuente: Renovatio 2017

Tabla 5-41. Resultados de cálculo estadístico para la serie de Pmax24h en la estación MAICAO – APTO MAICAO

Tr	Prob	P (mm)					
		GUMBEL	**NORMAL**	**LOG NORMAL**	**GAMMA**	**PEARSON III**	**LOGPEARSON III**
2	0.5	84.04	87.90	84.88	83.28	85.73	86.75
5	0.8	104.80	107.67	107.09	115.27	106.77	107.52
10	0.9	118.54	118.00	120.92	134.79	119.05	118.89
25	0.96	135.90	129.02	137.64	157.82	133.15	131.22
50	0.98	148.78	136.13	149.65	173.95	142.82	139.23
100	0.99	161.57	142.54	161.35	189.30	151.91	146.42
200	0.995	174.31	148.40	172.86	204.08	160.54	152.96
500	0.998	191.11	155.50	187.90	222.92	171.43	160.80
1000	0.999	203.82	160.48	199.23	236.75	179.34	166.22
TEST DE KOLMOGOROV-SMIRNOV		**GUMBEL**	**NORMAL**	**LOG NORMAL**	**GAMMA**	**PEARSON III**	**LOGPEARSON III**
		0.1608	**0.0901**	**0.7361**	**0.1370**	**0.1269**	**0.1091**
		OK	OK	No se acepta el ajuste	OK	OK	OK
		GUMBEL	NORMAL	LOGNORMAL	GAMMA	PEARSON	LOGPEARSON III

Fuente: Renovatio 2017

El desarrollo de todos los cálculos realizados se recoge en el Anexo 9.2 del presente estudio.

5.1.4.3 *Localización de los sistemas lenticos y lóticos, y de las cuencas hidrográficas existentes*

Cabe mencionar que la planicie en la que se ubica la zona de actuación no facilita la definición de las cuencas hídricas influyentes en el parque a diseñar, ya que no existen grandes ríos sino que la zona de actuación es atravesada por pequeños arroyos que vierten sus aguas hacia arroyos de cierta entidad. En el estudio, aunque sean arroyos se han denominado “cuencas” de igual forma que si se tratase de ríos, y en los apartados posteriores se calculan pequeñas cuencas hídricas o áreas de análisis asociadas a cada uno de los elementos de drenaje diseñados en las que se ha calculado el caudal.

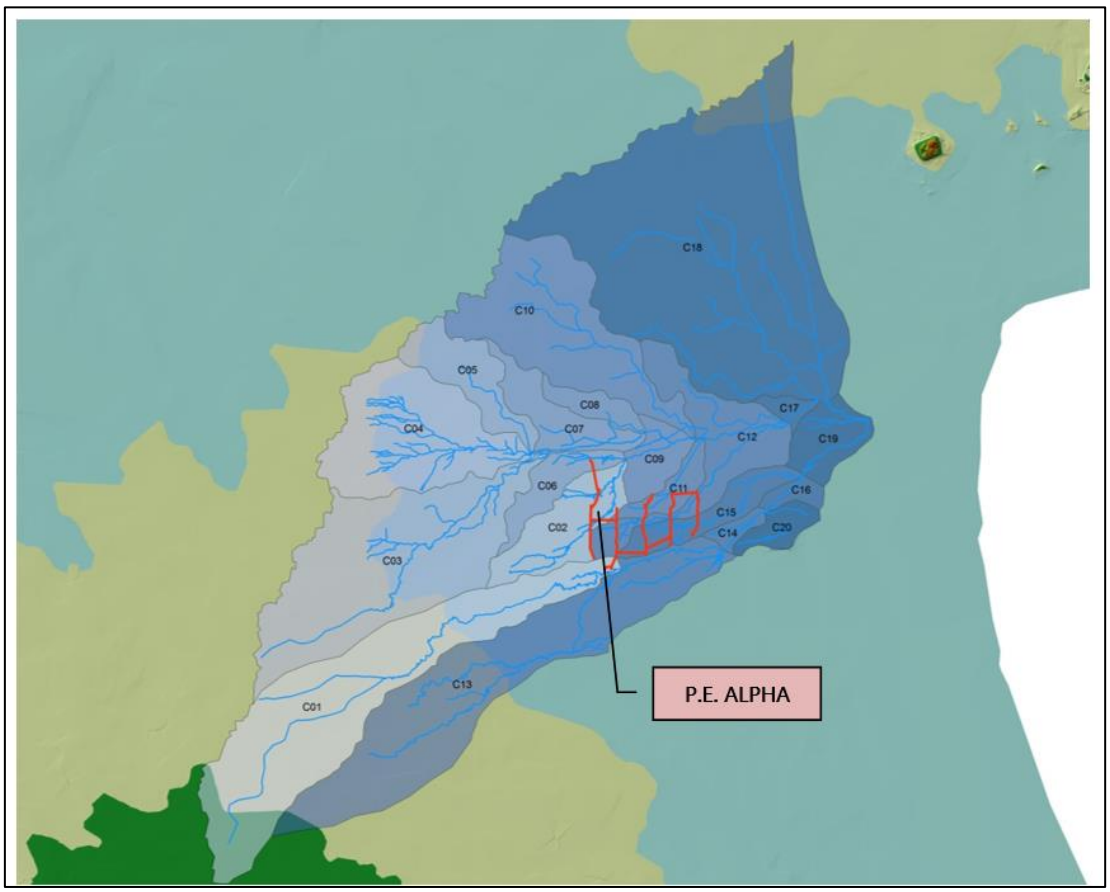


Figura 5-43. Cuencas hídricas analizadas

Fuente: Renovatio 2017

Las cuencas se han codificado de acuerdo a lo establecido en el documento de Zonificación y Codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia editado por el IDEAM. Según este documento, la codificación de las cuencas del parque debe partir de la codificación establecida en el Mapa de Sub Zonas Hidrográficas de Colombia, por lo que las cuencas deben incluir la nomenclatura 1508-02 (Área Hidrográfica 1, Zona Hidrográfica 15, Sub Zona Hidrográfica 1508).

5.1.4.4 *Características morfométricas*

A continuación, se adjuntan la relación de las cuencas hídricas analizadas con sus características morfológicas principales:

Tabla 5-42. Características morfológicas principales de las cuencas analizadas

Cuenca hídrica	Código	Área total (km²)	Long. cauce ppal (km)	Cota máx (msnm)	Cota mín (msnm)	Pend. cauce ppal (m/m)	Indice de compacidad	Factor de forma	Indice de sinuosidad	Longitud corrientes	Densidad corrientes (/km²)	Densidad drenaje (/km)
C01	1508-02-01	125	40	101	25	0.0019	2	0	1	51053	0.024	0.4
C02	1508-02-02	29	14	34	18	0.0011	1	0	1	30739	0.171	1.1
C03	1508-02-03	116	28	66	24	0.0015	2	0	1	47546	0.052	0.4
C04	1508-02-04	69	11	44	25	0.0017	1	1	1	60938	0.130	0.9
C05	1508-02-05	25	8	38	25	0.0015	2	0	1	8391	0.040	0.3
C06	1508-02-06	15	5	22	18	0.0009	2	1	1	12114	0.200	0.8
C07	1508-02-07	22	11	25	15	0.0010	2	0	1	16051	0.138	0.7
C08	1508-02-08	9	3	21	16	0.0014	2	1	1	3317	0.110	0.4
C09	1508-02-09	14	5	18	12	0.0011	1	1	1	10731	0.143	0.8
C10	1508-02-10	75	18	32	12	0.0011	2	0	1	31091	0.053	0.4
C11	1508-02-11	10	7	20	12	0.0012	2	0	1	8312	0.209	0.9
C12	1508-02-12	43	16	25	9	0.0010	2	0	1	40689	0.093	1.0
C13	1508-02-13	118	37	63	17	0.0012	2	0	1	71048	0.017	0.6
C14	1508-02-14	4	4	17	12	0.0011	2	0	1	7211	0.458	1.7
C15	1508-02-15	18	14	22	8	0.0010	2	0	1	21214	0.219	1.2
C16	1508-02-16	5	4	12	8	0.0011	1	0	1	4080	0.194	0.8

Cuenca hídrica	Código	Área total (km²)	Long. cauce ppal (km)	Cota máx (msnm)	Cota mín (msnm)	Pend. cauce ppal (m/m)	Indice de compacidad	Factor de forma	Indice de sinuosidad	Longitud corrientes	Densidad corrientes (/km²)	Densidad drenaje (/km)
C17	1508-02-17	4	2	8	5	0.0010	2	1	1	2761	0.238	0.7
C18	1508-02-18	240	21	22	6	0.0008	1	1	0	82855	0.029	0.3
C19	1508-02-19	18	6	8	5	0.0005	1	0	1	17621	0.227	1.0
C20	1508-02-20	9	3	12	10	0.0009	1	1	1	8620	0.220	0.9

Fuente: Renovatio 2017

A continuación, se presentan las unidades hidrográficas en el área de estudio. Para mayor detalle ver Mapa 11. Hidrología.

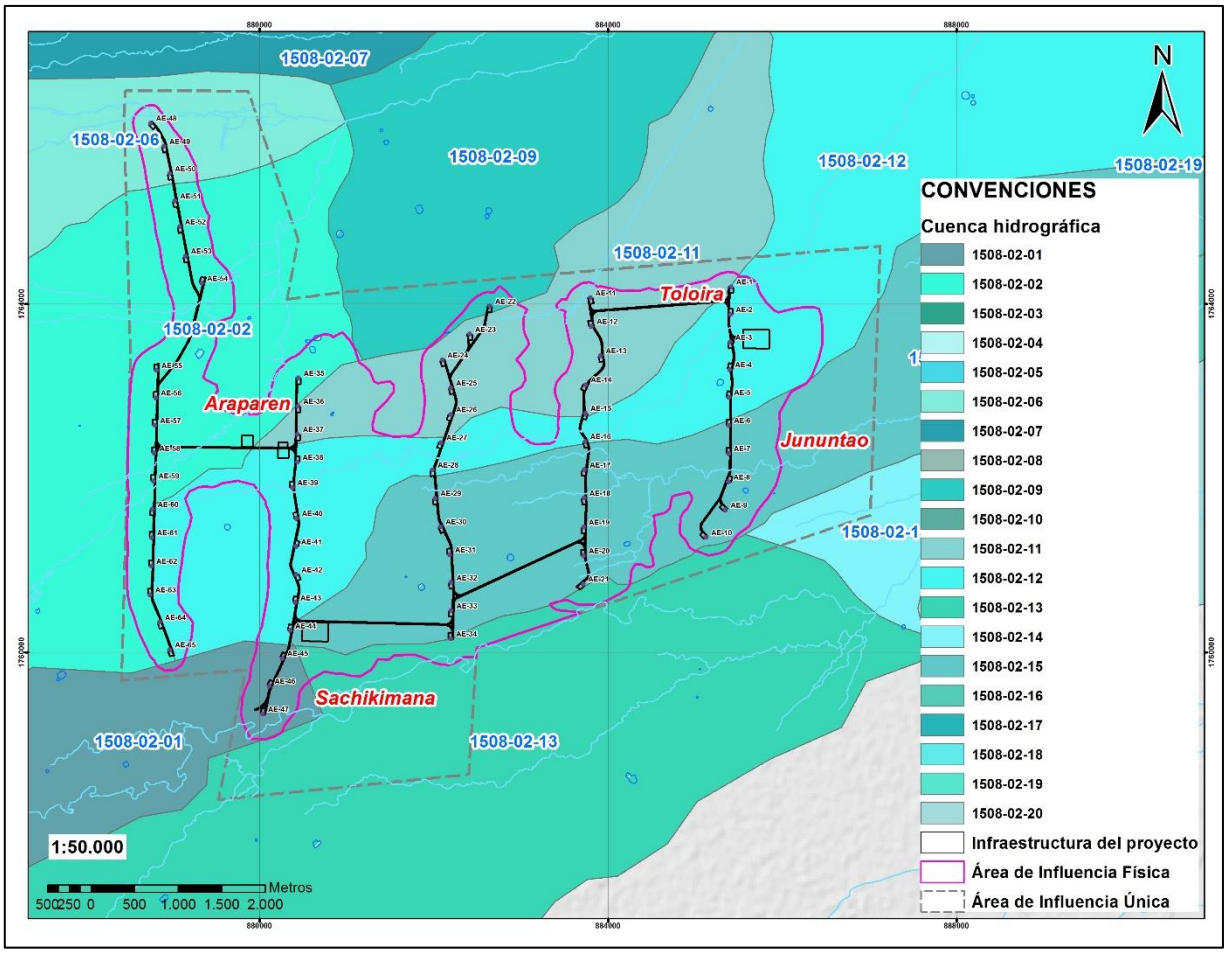


Figura 5-44. Hidrología del área de influencia (Mapa 11)

Fuente: Renovatio 2017

Una vez identificados las cuencas del área de estudio, se procede con la intersección de estas con los viales del parque para determinar las áreas de drenaje de los puntos susceptibles de intervención y las unidades de análisis asociadas.

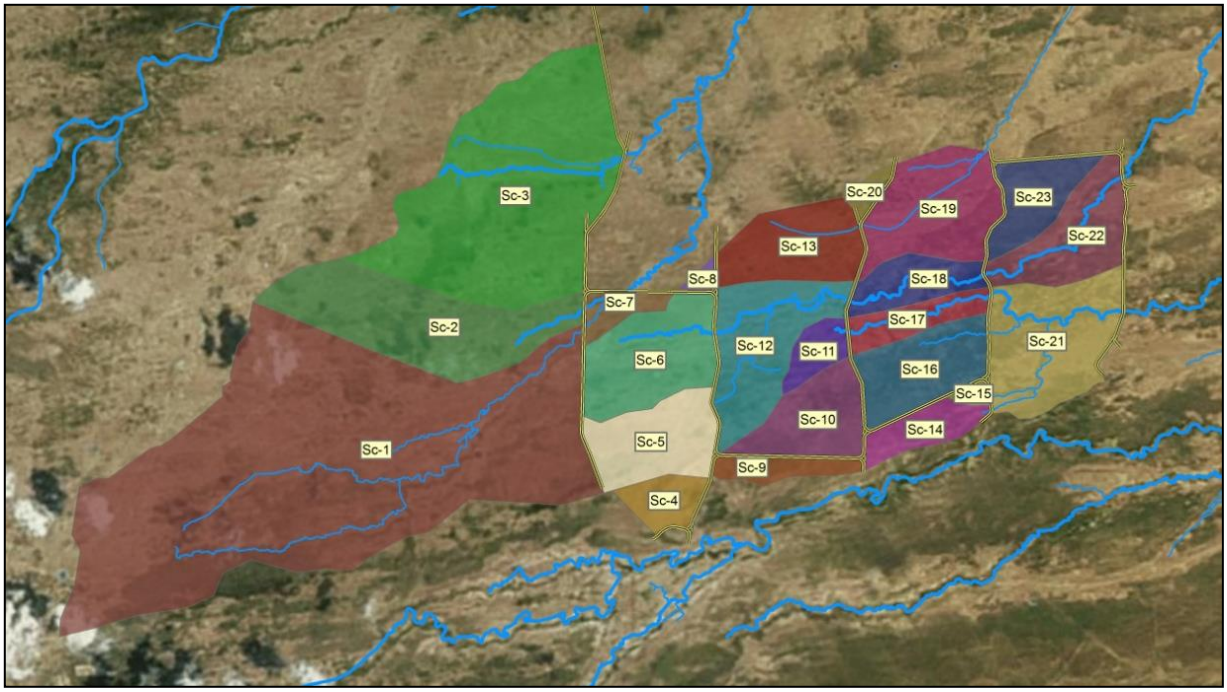


Figura 5-45. Áreas de análisis provenientes de la intercepción de las cuencas con los viales del parque

Fuente: Renovatio 2017

Tabla 5-43. Áreas de análisis provenientes de la intercepción de las cuencas con los viales del parque

Unidad de análisis	Cuenca en la que se integra	Código cuenca	Área total (km²)	Longitud cauce principal (Km)	Cota máxima elevación (msnm)	Cota mínima elevación (msnm)	Pendiente cauce principal (m/m)	Perímetro km	radio círculo equivalente	Indice de compacidad	Factor de forma
Sc-1	C02	1508-02-02	13.89	5.84	33.83	25.27	0.0015	19.11	2.1	1.4	0.4
Sc-2	C02	1508-02-02	3.00	3.13	28.61	24.86	0.0012	9.17	1.0	1.5	0.3
Sc-3	C02	1508-02-02	6.29	2.50	25.00	20.00	0.0020	10.94	1.4	1.2	1.0
Sc-4	C01	1508-02-01	0.53	0.72	26.55	25.31	0.0017	3.09	0.4	1.2	1.0
Sc-5	C12	1508-02-12	1.46	1.41	26.55	24.87	0.0012	5.21	0.7	1.2	0.7
Sc-6	C12	1508-02-12	1.83	1.19	24.79	23.12	0.0014	5.63	0.8	1.2	1.3
Sc-7	C02	1508-02-02	0.39	0.73	25.14	23.78	0.0019	3.16	0.4	1.4	0.7
Sc-8	C11	1508-02-11	0.12	0.36	22.50	21.77	0.0020	1.68	0.2	1.4	0.9
Sc-9	C15	1508-02-15	0.49	0.73	25.00	24.15	0.0012	4.17	0.4	1.7	0.9
Sc-10	C15	1508-02-15	1.23	1.26	24.15	22.35	0.0014	5.22	0.6	1.3	0.8
Sc-11	C15	1508-02-15	0.44	0.67	22.82	21.71	0.0017	2.85	0.4	1.2	1.0
Sc-12	C12	1508-02-12	1.95	2.07	23.12	20.99	0.0010	6.84	0.8	1.4	0.5
Sc-13	C11	1508-02-11	1.48	1.98	21.77	20.00	0.0009	5.02	0.7	1.2	0.4
Sc-14	C15	1508-02-15	0.65	1.37	22.55	20.62	0.0014	3.98	0.5	1.4	0.3
Sc-15	C15	1508-02-15	0.11	0.35	21.03	20.58	0.0013	1.52	0.2	1.3	0.9
Sc-16	C15	1508-02-15	1.44	1.72	22.35	20.00	0.0014	5.17	0.7	1.2	0.5
Sc-17	C15	1508-02-15	0.65	1.99	21.71	20.00	0.0009	4.38	0.5	1.5	0.2
Sc-18	C12	1508-02-12	0.82	1.89	20.99	20.00	0.0005	4.37	0.5	1.4	0.2
Sc-19	C11	1508-02-11	1.93	1.96	20.00	16.90	0.0016	5.94	0.8	1.2	0.5

Unidad de análisis	Cuenca en la que se integra	Código cuenca	Área total (km²)	Longitud cauce principal (Km)	Cota máxima elevación (msnm)	Cota mínima elevación (msnm)	Pendiente cauce principal (m/m)	Perímetro km	radio círculo equivalente	Indice de compacidad	Factor de forma
Sc-20	C11	1508-02-11	0.19	0.53	20.00	19.14	0.0016	2.07	0.2	1.4	0.7
Sc-21	C15	1508-02-15	2.29	2.14	20.00	17.81	0.0010	6.37	0.9	1.2	0.5
Sc-22	C12	1508-02-12	1.45	2.51	20.00	15.47	0.0018	5.57	0.7	1.3	0.2
Sc-23	C11	1508-02-11	0.96	1.05	18.86	16.26	0.0025	4.77	0.6	1.4	0.9

Fuente: Renovatio 2017

5.1.4.5 *Caracterización del régimen hidrológico*

Los TdeR hablan de la caracterización del régimen hidrológico de las unidades de análisis hidrológicas definidas en base a información de series hidrológicas disponibles de al menos 10 años de datos. Este ítem buscaría cuantificar la oferta hídrica superficial total y disponible para la cuenca en cuestión. Por lo tanto, este ítem cobraría sentido a la hora de realizar trabajos encaminados a la planificación sustentable del recurso hídrico, donde es necesario por lo tanto conocer el recurso disponible. En el caso que nos ocupa el objetivo no es conocer el recurso sino diseñar las infraestructuras acordes a un nivel de protección determinado acorde con la frecuencia de ocurrencia del suceso meteorológico, por lo que sí se ha desarrollado el análisis estadístico de frecuencia de precipitaciones, como se recopila en los apartados anteriores pero, dado que en la zona de implantación del proyecto no existen ríos aforados, no se dispone de series hidrológicas para poder realizar el análisis normal y extremal referido para las series hidrométricas.

5.1.4.6 *Identificación de la dinámica fluvial de las fuentes a intervenir*

5.1.4.6.1 Cálculo de Caudales

Para el cálculo de caudales se ha tomado como referencia la metodología descrita en el Capítulo 2 Hidrología y Drenaje del Manual de Drenaje para Carreteras editado por el Instituto Nacional de Vías.

En primer lugar se han definido las áreas de análisis producto de la intercepción de las cuencas por los viales del parque, es decir, a partir de las cuencas descritas en el numeral 5.1.4.4 se ha determinado la porción o porciones de éstas que son realmente interceptadas por el proyecto, y cuya área deberá ser tenida en cuenta en la transformación de lluvia en escorrentía.

En segundo lugar se ha estimado la precipitación máxima en 24 h asociada a cada área de análisis, a partir del análisis estadístico realizado en el numeral 5.1.4.2.

Por último se ha aplicado la metodología siguiente para el cálculo de los caudales asociados a cada área de análisis:

- Cálculo del tiempo de concentración.
- Estimación de la curva IDF.
- Cálculo del caudal con el Método Racional.

5.1.4.6.1.1.1 Periodo de retorno

Se ha elegido un periodo de retorno de 25 años para el diseño de las obras de drenaje transversal, correspondiente a la tipología “puentes menores” de acuerdo al Manual de Drenaje para Carreteras editado por el Instituto Nacional de Vías. Se trata de un periodo de retorno habitual para los proyectos de parques eólicos. Por ello, los cálculos hidrológicos se han particularizado para este periodo de retorno.

5.1.4.6.1.1.2 Precipitación máxima en 24 h promedio anual a nivel multianual

La precipitación máxima en 24 h promedio anual a nivel multianual no corresponde a un análisis estadístico de la precipitación sino que se obtiene directamente de los valores de precipitación máxima en 24 h en las estaciones de referencia Paraguachon y Maicao.

Tabla 5-44. Precipitación máxima en 24 h promedio anual a nivel multianual Estación Maicao-Apto Maicao.

PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm) Estación Maicao-Apto Maicao													
Año	Mes												Prec. Máx
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1959	0.0	0.0	0.0	0.0	53.0	0.0	0.0	59.0	78.0	37.0	16.0	3.0	78.0
1960	0.0	0.0	0.0	58.0	17.0	39.0	38.0	42.0	40.0	43.0	25.0	35.0	58.0
1961	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	1.0	3.0	100.0	100.0	150.0	100.0	25.0	150.0
1962	20.0	0.0	0.0	0.0	100.0	10.0	0.0	51.0	95.0	100.0	80.0	0.0	100.0
1964	8.0	18.0	2.0	2.0	43.0	7.0	25.0	50.0	20.0	75.0	10.0	7.0	75.0
1965	17.0	0.0	0.0	0.0	89.0	0.0	0.0	12.0	44.0	90.0	102.0	1.0	102.0
1966	1.0	25.0	0.0	35.0	21.0	12.0	17.0	11.0	20.0	65.0	39.0	32.0	65.0
1967	0.0	9.0	0.0	61.0	0.0	25.0	5.0	5.0	63.0	89.0	40.0	5.0	89.0
1968	5.0	25.0	17.0	10.0	25.0	95.0	0.0	50.0	80.0	15.0	18.0	5.0	95.0
1969	10.0	0.0	50.0	20.0	40.0	70.0	0.0	70.0	20.0	25.0	95.0	0.0	95.0
1970	0.0	0.0	0.0	0.0	35.0	3.0	63.0	100.0	90.0	32.0	60.0		100.0
1972	1.2	2.2	2.8	0.8	16.4	17.9		4.0	70.8	9.0	22.0		70.8
1973	0.0	0.0	0.6	34.9	4.0	13.2	0.0	42.2	67.5	30.0	50.0	5.0	67.5
1974		2.6	12.2	2.6	40.7	0.0	0.8	7.4	69.9	62.0	97.8	0.4	97.8
1975	4.1	0.0	0.5	0.0	7.1	0.0	54.4	24.0	67.3	46.0	100.0	42.0	100.0
1977	25.0	0.0	0.0	0.7	30.0	7.3	0.0	17.2	5.4				30.0
1979	3.6	0.0	3.9	14.7	85.7	16.1	16.6	17.0		89.0	35.7	9.5	89.0
1980	1.6	0.0	0.0	65.6	9.7	8.0	0.1	18.4	6.6	55.4	14.5	1.9	65.6
1981	14.0	44.8	1.0	93.0	64.1	43.7	0.0	0.0	0.0	46.5	62.4	18.0	93.0
1982	7.3				45.9	2.0	0.0	0.0	60.0	40.8			60.0
1983			0.4	50.1	28.6	28.6	0.0	0.0	5.9	29.7	67.2	0.0	67.2
1986	0.0	17.9	0.8	1.0	107.3	70.4	0.0	8.1	49.5	47.6	0.0	1.3	107.3
1987	0.0	0.0	1.7	25.7	36.2	6.8	1.7	8.3	19.6	54.4	27.9	11.2	54.4
1989	5.2	2.2	1.5	0.0	27.8	0.0	0.0	0.9	51.7	41.8	21.8	0.0	51.7
1990	0.8	1.3	0.0	0.8	70.0	39.8	0.0	65.6	16.4	98.3	73.3	1.6	98.3

PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm) Estación Maicao-Apto Maicao													
Año	**Mes**												**Prec. Máx**
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	
1991	0.0	20.0	13.4	9.0	5.8	6.0	1.0	1.0	29.3	58.0	49.6	0.5	58.0
1992	0.0	20.9	0.0	20.8	31.6	20.8	0.0	0.0	74.0	63.5	69.6	0.0	74.0
1993	0.0	0.0	0.4	6.7	45.3	5.5		37.8	105.6	6.0	115.8	10.8	115.8
1994	0.0	0.0	0.0	5.7	71.4	0.0		9.0	7.5	51.2	26.0	0.5	71.4
Máx.	25.0	44.8	50.0	93.0	107.3	95.0	63.0	100.0	105.6	150.0	115.8	42.0	150.0
Mín.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	0.0	0.0	30.0
Media	4.6	7.0	3.9	18.6	39.7	18.9	8.7	28.0	48.5	55.4	52.5	8.6	**82.0**

Fuente: Renovatio 2017

Tabla 5-45. Precipitación máxima en 24 h promedio anual a nivel multianual Estación Paraguanchón.

PRECIPITACIÓN MAXIMA EN 24 HORAS (mm) Estación Paraguanchón													
Año	**Mes**												**Prec. Máx**
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	
1972.0	14.0	0.0	29.0	0.0	0.0	33.0	0.0	0.0	35.0	23.0	0.0	0.0	35.0
1974.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	0.0	24.0	30.0	40.0	90.0	98.0	0.0	98.0
1975.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.0	30.0	90.0	135.0	75.0	53.0	135.0
1976.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	73.0	55.0	0.0	73.0
1978.0	0.0	0.0	0.0	10.0	20.0	0.0	0.0	0.0	26.0	140.0	0.0	0.0	140.0
1979.0	0.0	0.0	0.0	25.0	75.0	20.0	0.0	27.0	115.0	75.0	131.0	0.0	131.0
1980.0	0.0	0.0	0.0	18.0	32.0	0.0	0.0	24.0	40.0	35.0	42.0	0.0	42.0
1981.0	0.0	49.0	0.0	78.0	51.0	47.0	0.0	22.0	50.0	110.0	63.0	6.0	110.0
1982.0	6.0	0.0	0.0	0.0	53.0	0.0	0.0	0.0	80.0	88.0	0.0	0.0	88.0
1983.0	0.0	0.0	0.0	84.0	44.0	0.0	0.0	0.0	23.0	43.0	34.0	0.0	84.0
1984.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	82.0	0.0	0.0	0.0	44.0	0.0	63.0	82.0
1985.0	0.0	0.0	0.0	105.0		0.0	0.0	23.0	83.0	70.0	60.0	30.0	105.0
1986.0	0.0	30.0	0.0	0.0	52.0	53.0	0.0	2.0	23.0	46.0	1.0	0.0	53.0
1987.0	0.0	0.0	0.0	40.0	90.0	0.0	0.0	0.0	34.0	52.0	38.0		90.0
1989.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	65.0 3	50.0	23.0	11.0	50.0
1990.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	7.7	0.0	11.0	2.5	5.0	6.8	1.4	11.0
1992.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	30.0	5.6	7.3	0.0	30.0
1993.0	0.0	0.0			103.0	14.0	0.0	3.4	10.5	0.0	9.7	0.0	103.0

PRECIPITACIÓN MAXIMA EN 24 HORAS (mm) Estación Paraguanchón													
Año	Mes												Prec. Máx
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1995.0	0.0	0.0	44.0	0.0	130.0	44.0	92.0	64.0	9.5	13.2	10.0	0.0	130.0
1996.0	0.0	0.0	55.0 3	0.0	0.0	0.0	38.0	20.0	92.0	43.0	50.0	19.0	92.0
1997.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	0.0	8.0	32.0	97.0	20.5	0.0	97.0
1998.0	0.0	0.0	0.0	30.0	55.0	136.0	5.0	60.0	87.0	52.0	19.0	120.0	136.0
1999.0	2.0	0.0	0.0	10.0	80.0	0.0	0.0	47.0	135.0	97.0	60.0	105.0 3	135.0
2000.0	27.0	5.0	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0	60.0	25.0	31.0	24.0	0.0	60.0
2001.0	0.0	0.0	0.0	0.0	93.0	0.0	20.0	12.0	64.0	53.0	45.0	8.0	93.0
2002.0	0.0	0.0	0.0	28.0	60.0	48.0	0.0	2.0	60.0	55.0	2.0	100.0	100.0
2004.0	106.0	0.0	0.0	40.0	60.9	0.0	20.6	52.0	87.0	91.0	96.0	22.0	106.0
2005.0	86.0	54.0	0.0	35.0	89.0	90.0	97.0	32.0	25.0	64.0	6.0	0.6	97.0
2007.0	0.0	0.0	*	0.0	34.0	95.0	30.2	90.8	92.0	95.0	90.0	70.0	95.0
2008.0	0.0	0.0	0.0	20.4	10.0	33.3	20.0	30.0	33.3				33.3
2009.0		4.0	20.7	0.0	0.0	6.5	0.0	85.0	58.0	103.3	34.5	0.0	103.3
2010.0	0.0	0.0	55.5	41.0	52.0	54.0	100.0	38.0	60.0	90.0	85.0	50.0	100.0
2011.0	30.0	0.0	0.0	0.0	44.0	75.0	30.0	20.0	30.0	50.0	63.0	65.0	75.0
2012.0	0.0	0.0	0.0	36.0	14.0	0.0	0.0	23.0	36.0	90.0	58.7	0.0	90.0
2013.0	0.0	0.0	0.0	21.9	30.7	16.6	0.0	65.0	52.6	36.0	107.0	0.0	107.0
2014.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.0	30.0	38.7	17.8	0.0	40.0
2015.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	63.0	78.0	50.0	0.0	78.0
Máx.	106.0	54.0	55.5	105.0	130.0	136.0	100.0	90.8	135.0	140.0	131.0	120.0	140.0
Mín.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0
Media	7.8	3.8	4.8	17.3	36.8	23.5	13.5	24.9	48.7	62.8	41.2	18.2	**87.2**

Fuente: Renovatio 2017

Tabla 5-46. PMax 24 promedio anual a nivel multianual en las estaciones de influencia.

Pmax 24 h mm	MAICAO – Apto MAICAO	PARAGUACHÓN
	82	87.2

Fuente: Renovatio 2017

Tabla 5-47. PMax 24 h promedio anual a nivel multianual en las áreas de análisis

Área de análisis	Cuenca	Código cuenca	Pesos por estación					PMax 24h
			CEURA	JASAY	MAICAO	OROCHON	PARAGUACHON	
Sc-1	C02	1508-02-02	-	-	1	-	-	87.23
Sc-2	C02	1508-02-02	-	-	1	-	-	87.23
Sc-3	C02	1508-02-02	-	-	1	-	-	87.23
Sc-4	C01	1508-02-01	-	-	1	-	-	87.23
Sc-5	C12	1508-02-12	-	-	0.14	-	0.86	82.76
Sc-6	C12	1508-02-12	-	-	0.14	-	0.86	82.76
Sc-7	C02	1508-02-02	-	-	1	-	-	87.23
Sc-8	C11	1508-02-11	-	-	0.06	-	0.94	82.34
Sc-9	C15	1508-02-15	-	-	-	-	1	82.03
Sc-10	C15	1508-02-15	-	-	-	-	1	82.03
Sc-11	C15	1508-02-15	-	-	-	-	1	82.03
Sc-12	C12	1508-02-12	-	-	0.14	-	0.86	82.76
Sc-13	C11	1508-02-11	-	-	0.06	-	0.94	82.34
Sc-14	C15	1508-02-15	-	-	-	-	1	82.03
Sc-15	C15	1508-02-15	-	-	-	-	1	82.03
Sc-16	C15	1508-02-15	-	-	-	-	1	82.03
Sc-17	C15	1508-02-15	-	-	-	-	1	82.03
Sc-18	C12	1508-02-12	-	-	0.14	-	0.86	82.76
Sc-19	C11	1508-02-11	-	-	0.06	-	0.94	82.34
Sc-20	C11	1508-02-11	-	-	0.06	-	0.94	82.34
Sc-21	C15	1508-02-15	-	-	-	-	1	82.03
Sc-22	C12	1508-02-12	-	-	0.14	-	0.86	82.76
Sc-23	C11	1508-02-11	-	-	0.06	-	0.94	82.34

Fuente: Renovatio 2017

5.1.4.6.1.1.3 Tiempo de concentración

Para el cálculo del tiempo de concentración se ha utilizado la formulación de Kirpich.

$$T_c = 0.06628 \times \left(\frac{L}{S^{0.5}}\right)^{0.77}$$

Siendo:

Tc Tiempo de concentración en h

L Longitud del cauce principal en km

S Pendiente entre las elevaciones máximas y mínimas en m/m

Tabla 5-48. Tiempo ce concentración en las áreas de análisis

Área de análisis	Longitud cauce principal (km)	Z max (m)	Z min (m)	S m/m	T_c h
Sc-1	5.84	33.83	25.27	0.0015	3.18
Sc-2	3.13	28.61	24.86	0.0012	2.12
Sc-3	2.50	25.00	20.00	0.0020	1.47
Sc-4	0.72	26.55	25.31	0.0017	0.59
Sc-5	1.41	26.55	24.87	0.0012	1.15
Sc-6	1.19	24.79	23.12	0.0014	0.95
Sc-7	0.73	25.14	23.78	0.0019	0.59
Sc-8	0.36	22.50	21.77	0.0020	0.33
Sc-9	0.73	25.00	24.15	0.0012	0.70
Sc-10	1.26	24.15	22.35	0.0014	0.98
Sc-11	0.67	22.82	21.71	0.0017	0.57
Sc-12	2.07	23.12	20.99	0.0010	1.64
Sc-13	1.98	21.77	20.00	0.0009	1.67
Sc-14	1.37	22.55	20.62	0.0014	1.06
Sc-15	0.35	21.03	20.58	0.0013	0.39
Sc-16	1.72	22.35	20.00	0.0014	1.27
Sc-17	1.99	21.71	20.00	0.0009	1.70
Sc-18	1.89	20.99	20.00	0.0005	1.98
Sc-19	1.96	20.00	16.90	0.0016	1.33
Sc-20	0.53	20.00	19.14	0.0016	0.49
Sc-21	2.14	20.00	17.81	0.0010	1.69
Sc-22	2.51	20.00	15.47	0.0018	1.53
Sc-23	1.05	18.86	16.26	0.0025	0.70

Fuente: Renovatio 2017

5.1.4.6.1.1.4 Cáculo de la curva IDF

Las curvas intensidad-duración- frecuencia (IDF) constituyen la base climatológica para la estimación de los caudales de diseño. Estas curvas sintetizan las características de los eventos extremos máximos de precipitación de la zona en estudio y definen la intensidad media de lluvia para diferentes duraciones de eventos de precipitación con periodos de retorno específicos. No disponemos para la zona de estudio de curvas IDF por lo tanto, éstas se deben

generar con la información pluviográfica de las estaciones de influencia obtenidas según el capítulo anterior, mediante análisis puntuales de frecuencia de eventos extremos máximos.

En nuestro caso, como no disponemos de datos históricos de precipitación de corta duración se van a obtener las curvas IDF aplicando el método simplificado descrito en el Manual de Drenaje para Carreteras, y que responde a la siguiente formulación:

$$I = \frac{a \times T^b \times M^c}{\left(\frac{t}{60}\right)^c}$$

$$I = \frac{a \times T^b \times M^c}{\left(\frac{t}{60}\right)^c}$$

Siendo:

I: Intensidad de precipitación en mm/h

T: Periodo de retorno

M: Precipitación máxima promedio anual en 24 h a nivel multianual calculada en el numeral 5.1.4.6.1.1.2. .

t: Duración de la lluvia en minutos

a, b, c, d: Parámetros de ajuste de la regresión, regionalizados para Colombia de acuerdo con la Figura 5-46.

REGIÓN	a	b	c	d
Andina (R1)	0.94	0.18	0.66	0.83
Caribe (R2)	24.85	0.22	0.50	0.10
Pacífico (R3)	13.92	0.19	0.58	0.20
Orinoquía (R4)	5.53	0.17	0.63	0.42

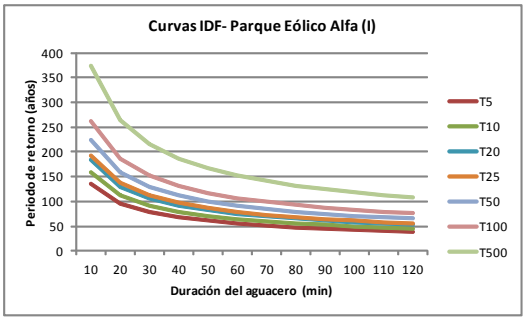


Figura 5-46. Coeficientes de cálculo para las curvas IDF. Fuente Manual de Drenaje para Carreteras (Instituto Nacional de Vías

Fuente: Renovatio 2017

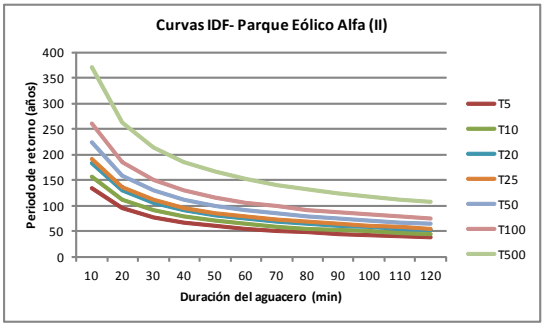
Área de análisis Sc-4, Sc-1, Sc-2,Sc-3,Sc-7, PMax 24 h = 87.23 mm

t/ T	5	10	20	25	50	100	500
10	135.59	157.93	183.95	193.20	225.03	262.10	373.46
20	95.88	111.67	130.07	136.62	159.12	185.33	264.07
30	78.29	91.18	106.20	111.55	129.92	151.32	215.62
40	67.80	78.97	91.97	96.60	112.52	131.05	186.73
50	60.64	70.63	82.26	86.40	100.64	117.22	167.02
60	55.36	64.48	75.10	78.88	91.87	107.00	152.46
70	51.25	59.69	69.53	73.02	85.05	99.06	141.15
80	47.94	55.84	65.04	68.31	79.56	92.67	132.04
90	45.20	52.64	61.32	64.40	75.01	87.37	124.49
100	42.88	49.94	58.17	61.10	71.16	82.88	118.10
110	40.88	47.62	55.46	58.25	67.85	79.03	112.60
120	39.14	45.59	53.10	55.77	64.96	75.66	107.81



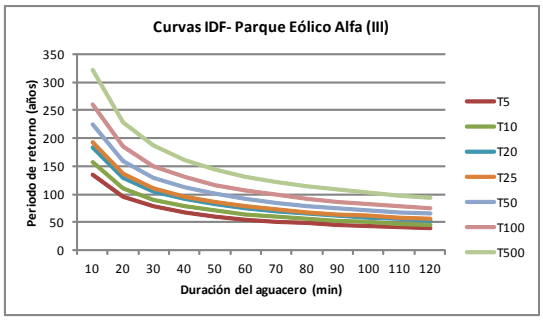
Área de análisis Sc-8, Sc-13, Sc-19, Sc-20,Sc-23, PMax 24 h = 82.34 mm

t/ T	5	10	20	25	50	100	500
10	134.81	157.02	182.89	192.09	223.74	260.59	371.31
20	95.33	111.03	129.32	135.83	158.21	184.27	262.56
30	77.84	90.66	105.59	110.90	129.17	150.45	214.38
40	67.41	78.51	91.44	96.05	111.87	130.30	185.65
50	60.29	70.22	81.79	85.91	100.06	116.54	166.05
60	55.04	64.10	74.66	78.42	91.34	106.39	151.59
70	50.96	59.35	69.13	72.60	84.56	98.49	140.34
80	47.66	55.52	64.66	67.91	79.10	92.13	131.28
90	44.94	52.34	60.96	64.03	74.58	86.86	123.77
100	42.63	49.66	57.83	60.74	70.75	82.41	117.42
110	40.65	47.34	55.14	57.92	67.46	78.57	111.95
120	38.92	45.33	52.80	55.45	64.59	75.23	107.19



Área de análisis Sc-5, Sc-6, Sc-12, Sc-18 y Sc-22, PMax 24 h = 82.76 mm

t/ T	5	10	20	25	50	100	500
10	134.88	157.10	182.98	192.19	223.85	260.73	322.74
20	95.38	111.09	129.39	135.90	158.29	184.36	228.21
30	77.87	90.70	105.65	110.96	129.24	150.53	186.34
40	67.44	78.55	91.49	96.10	111.93	130.36	161.37
50	60.32	70.26	81.83	85.95	100.11	116.60	144.34
60	55.07	64.14	74.70	78.46	91.39	106.44	131.76
70	50.98	59.38	69.16	72.64	84.61	98.55	121.99
80	47.69	55.54	64.69	67.95	79.14	92.18	114.11
90	44.96	52.37	60.99	64.06	74.62	86.91	107.58
100	42.65	49.68	57.86	60.78	70.79	82.45	102.06
110	40.67	47.37	55.17	57.95	67.49	78.61	97.31
120	38.94	45.35	52.82	55.48	64.62	75.27	93.17



Área de análisis Sc-9, Sc-10, Sc-11, Sc-14, Sc-15, Sc-16, Sc-17 y Sc-21, PMax 24 h = 82.03 mm

t/ T	5	10	20	25	50	100	500
10	134.76	156.96	182.82	192.02	223.65	260.49	371.17
20	95.29	110.99	129.27	135.78	158.15	184.20	262.46
30	77.81	90.62	105.55	110.86	129.13	150.40	214.30
40	67.38	78.48	91.41	96.01	111.83	130.25	185.58
50	60.27	70.20	81.76	85.87	100.02	116.50	165.99
60	55.02	64.08	74.64	78.39	91.31	106.35	151.53
70	50.94	59.33	69.10	72.58	84.53	98.46	140.29
80	47.65	55.50	64.64	67.89	79.07	92.10	131.23
90	44.92	52.32	60.94	64.01	74.55	86.83	123.72
100	42.62	49.64	57.81	60.72	70.72	82.38	117.37
110	40.63	47.33	55.12	57.90	67.43	78.54	111.91
120	38.90	45.31	52.78	55.43	64.56	75.20	107.15

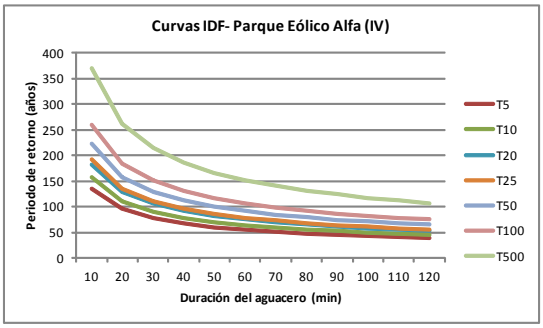


Figura 5-47. Curvas IDF Parque Eólico Alpha

Fuente: Renovatio 2017

5.1.4.6.1.1.5 Coeficiente de escorrentía

Para el cálculo del coeficiente de escorrentía, y a falta de estudios específicos sobre la cobertura vegetal y tipología de suelos, se han utilizado los valores tabulados en el Manual de Drenaje para Carreteras:

VEGETACIÓN Y TOPOGRAFÍA Y	TEXTURA DEL SUELO		
	FRANCO ARENOSO	FRANCO LIMO ARCILLOSO	ARCILLOSO
BOSQUES			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.25	0.35	0.50
Montañoso	0.30	0.50	0.60
PASTOS			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.16	0.36	0.55
Montañoso	0.22	0.42	0.60
TIERRAS CULTIVADAS			
Plano	0.30	0.50	0.60
Ondulado	0.40	0.60	0.70
Montañoso	0.52	0.72	0.82
Nota: Plano (pendiente 0 - 5%); Ondulado (pendiente 5 - 10%); Montañoso (pendiente 10 - 30%). Para valores mayores al 30 %, a falta de datos, utilizar los valores para pendientes entre el 10 y el 30 %.			

Figura 5-48. Valores del coeficiente de escorrentía en áreas rurales.

Fuente: Manual de Drenaje para Carreteras, Instituto Nacional de Vías.

De forma general se ha tomado para todo el parque un coeficiente de escorrentía de 0.2.

5.1.4.6.1.1.6 Cálculo de caudales

Para el cálculo de los caudales asociados a cada área de análisis se ha utilizado el Método Racional, de acuerdo a la siguiente formulación:

$$Q_p = 0.278 \times C \times I \times A$$

Siendo:

Qp caudal punta en m³/s

C coeficiente de escorrentía, tabulado

I intensidad de lluvia en mm/h, obtenida entrando en la curva IDF con un tiempo igual al tiempo de concentración y periodo de retorno 25 años.

A área de análisis en km²

Tabla 5-49. Caudales de escorrentía m³/s asociados a 25 años de periodo de retorno en las áreas de análisis.

Área de análisis	Área total (km²)	S m/m	T_c h	I mm/h T25	C	Qp m³/s
Sc-1	13.89	0.0015	3.15	38.62	0.2	29.82
Sc-2	3	0.0012	2.13	53.91	0.2	8.99
Sc-3	6.29	0.002	1.47	65.14	0.2	22.78
Sc-4	0.53	0.0017	0.60	102.62	0.2	3.02
Sc-5	1.46	0.0012	1.15	73.21	0.2	5.94
Sc-6	1.83	0.0014	0.95	80.65	0.2	8.21
Sc-7	3.39	0.0019	0.58	103.78	0.2	19.56
Sc-8	0.12	0.002	0.33	136.87	0.2	0.91
Sc-9	0.49	0.0012	0.69	94.42	0.2	2.57
Sc-10	1.23	0.0014	0.99	78.66	0.2	5.38
Sc-11	0.44	0.0017	0.57	104.87	0.2	2.57
Sc-12	1.95	0.001	1.66	60.94	0.2	6.61
Sc-13	1.48	0.0009	1.67	60.71	0.2	5.00
Sc-14	0.65	0.0014	1.06	76.29	0.2	2.76
Sc-15	0.11	0.0013	0.38	128.58	0.2	0.79
Sc-16	1.44	0.0014	1.26	69.86	0.2	5.59
Sc-17	0.65	0.0009	1.68	60.57	0.2	2.19

Área de análisis	Área total (km²)	S m/m	T_c h	I mm/h T25	C	Qp m³/s
Sc-18	0.82	0.0005	2.02	55.20	0.2	2.52
Sc-19	1.93	0.0016	1.33	68.10	0.2	7.31
Sc-20	0.19	0.0016	0.48	113.19	0.2	1.20
Sc-21	2.29	0.001	1.70	60.13	0.2	7.66
Sc-22	1.45	0.0018	1.53	63.39	0.2	5.11
Sc-23	0.96	0.0025	0.69	94.56	0.2	5.05

Fuente: Renovatio 2017

Para obtener el caudal de cálculo en los cruces de las líneas de flujo con los viales del parque, en el caso de aquellos cruces en las que el caudal a desaguar sea el correspondiente a varias áreas de análisis, el caudal total no será la suma de todos ellos, sino que se realiza un estudio de dicho caudal como combinación de todas las áreas de análisis asociadas.

Tabla 5-50. Caudales de escorrentía m³/s asociados a 25 años de periodo de retorno en los cruces de lascuencas con los viales del parque.

Punto de cálculo	Área (km²)	S m/m	T_c h	I mm/h T25	C	Qp m³/s
Sc-1	13.89	0.0015	3.15	38.62	0.2	29.82
Sc-2	3	0.0012	2.13	53.91	0.2	8.99
Sc-3	6.29	0.002	1.47	65.14	0.2	22.78
Sc-4	0.53	0.0017	0.60	102.62	0.2	3.02
Sc-5	1.46	0.0012	1.15	73.21	0.2	5.94
Sc-6	1.83	0.0014	0.95	80.65	0.2	8.21
Sc-1,Sc-2,Sc-7	20.28	0.0015	3.43	34.55	0.2	38.96
Sc-8	0.12	0.002	0.33	136.87	0.2	0.91
Sc-9	0.49	0.0012	0.69	94.42	0.2	2.57
Sc-9,Sc-10	1.72	0.0014	3.94	26.74	0.2	2.56
Sc-11	0.44	0.0017	0.57	104.87	0.2	2.57
Sc-5,Sc-6,Sc-12	5.24	0.0017	1.92	56.73	0.2	16.53
Sc-8,Sc-13	1.6	0.0011	1.78	58.88	0.2	5.24
Sc-14	0.65	0.0014	1.06	76.29	0.2	2.76
Sc-15	0.11	0.0013	0.38	128.58	0.2	0.79
Sc-16	1.44	0.0014	1.26	69.86	0.2	5.59

Punto de cálculo	Área (km²)	S m/m	T_c h	I mm/h T25	C	Qp m³/s
Sc-17	0.65	0.0009	1.68	60.57	0.2	2.19
Sc-5,Sc-6,Sc-12,Sc-18	6.06	0.0013	3.05	39.94	0.2	13.46
Sc-20	0.19	0.0016	0.48	113.19	0.2	1.20
Sc-9,Sc-10,Sc-11,Sc-14,Sc-15,Sc-16,Sc-17,Sc-21	7.3	0.0010	3.12	38.91	0.2	15.79
Sc-5,Sc-6,Sc-12,Sc-18,Sc-22	7.51	0.0012	4.21	22.75	0.2	9.50
Sc-23	0.96	0.0025	0.69	94.56	0.2	5.05

Fuente: Renovatio 2017

5.1.4.7 *Índices de variabilidad climática*

La precipitación como fenómeno meteorológico, en términos generales, es compleja y posee gran variabilidad e influencia de otros fenómenos atmosféricos y físicos.

La forma e intensidad de la lluvia es muy diferente de unas regiones a otras. El efecto que produce un evento sobre el terreno es muy dispar, dependiendo no sólo de los fenómenos atmosféricos ocurridos, también de los geológicos, geomorfológicos,… de la cuenca.

Hay zonas donde la precipitación, generalmente es escasa, sin embargo cuando ocurre un aguacero éste es rápido en un corto espacio de tiempo, es decir, con una intensidad muy alta. Esta precipitación tan fuerte contribuye significativamente a la generación de la erosión, debido a que en los momentos previos al evento la superficie del suelo está muy seca.

A mayor intensidad de precipitación y mayor tiempo de estación seca, mayor erosión se producirá.

5.1.4.7.1 Índice de Fournier-Modificado – (IFM)

Para poder cuantificar de alguna manera este fenómeno, Fournier define un índice de distribución de las precipitaciones que describe la relación entre la precipitación del mes más lluvioso y la precipitación total anual. Más tarde determinaron que este índice no describía exactamente lo que se pretendía e introdujo una modificación al mismo describiendo la relación entre la precipitación media de cada mes y la precipitación total anual.

La expresión que describe el IFM es la siguiente:

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

Donde: Pi (mm) = Precipitación media mensual (mm)

Pt (mm) = Precipitación total anual (mm)

Tabla 5-51. Clasificación de agresividad climática según Fournier (IFM)

IFM	AGRESIVIDAD CLIMÁTICA
0 - 60	Muy baja
60 - 90	Baja
90 - 120	Moderada
120 - 160	Alta
>160	Muy alta

Fuente: Renovatio 2017

A continuación, en la Tabla 5-52 se adjunta el cálculo del IFM para cada una de las estaciones estudiadas, así como para la precipitación ponderada mediante aplicación de los polígonos Thiessen.

Tabla 5-52. Cálculo del Índice de Fournier Modificado (IFM)

MES	P_{MED} (mm)							PMED (MM) PONDERADA
	Esc Ceura	Maicao	Apto Maicao	Huimpecht	Orochon	Paraguachon	Jojoncito	
Enero	4.7	14.5	6.5	4.0	9.5	20.3	4.0	7.7
Febrero	8.7	9.7	9.1	0.0	2.7	6.8	1.0	5.8
Marzo	3.5	8.8	3.9	0.0	8.7	12.0	5.0	4.3
Abril	41.9	34.9	24.9	11.7	20.6	31.4	13.0	22.8
Mayo	98.7	94.0	93.2	24.7	52.0	81.3	27.0	69.4
Junio	45.0	47.7	26.3	8.0	9.4	43.3	10.0	23.3
Julio	25.3	24.5	4.6	4.1	6.4	24.1	5.0	8.6
Agosto	49.0	89.9	30.6	7.5	37.1	64.2	14.0	33.6
Septiembre	119.8	129.3	102.9	160.0	82.5	124.8	30.0	120.8
Octubre	140.2	229.9	166.8	127.7	122.0	177.5	37.0	157.2
Noviembre	101.3	165.6	115.6	107.7	86.7	100.9	36.0	113.8
Diciembre	21.6	28.2	26.1	31.7	33.3	55.1	10.0	30.3
Precipitación total (mm)	659.6	877.0	610.5	486.9	470.7	741.9	192.0	597.6

MES	P_{MED} (mm)							PMED (MM) PONDERADA
	Esc Ceura	Maicao	Apto Maicao	Huimpecht	Orochon	Paraguachon	Jojoncito	
IFM	**93.09**	**135.90**	**104.09**	**113.75**	**74.59**	**101.23**	**25.66**	**101.03**
AGRESIVIDAD CLIMÁTICA	Moderada	Alta	Moderada	Moderada	Baja	Moderada	Muy baja	Moderada

Fuente: Renovatio 2017 a partir de los datos facilitados por el IDEAM

5.1.4.7.2 Índice de concentración de la Precipitación (ICP)

El índice de concentración de la precipitación indica la forma en la que se concentran temporalmente las lluvias en una región de estudio. Este índice identifica los meses más lluviosos de los menos.

El rango de variabilidad puede ser desde que todos los meses llueva lo mismo (8,33%) a que las lluvias anualmente se concentren en un único mes (100%). La expresión que describe el ICP es la siguiente:

$$ICP = 100 \times \frac{\sum_{i=1}^{12} p_i^{\,2}}{P^2}$$

Donde: Pi (mm) = Precipitación media mensual (mm)

Pt (mm) = Precipitación total anual (mm)

Tabla 5-53. Clasificación del índice de concentración de precipitaciones (ICP)

ICP	CONCENTRACIÓN DE PRECIPITACIONES
8.3 - 10	Uniforme
10. - 15	Moderadamente Estacional
15 - 20	Estacional
20 - 50	Altamente Estacional
50 - 100	Irregular

Fuente: Renovatio 2017

A continuación, en la Tabla 5-54 se adjunta el cálculo del ICP para cada una de las estaciones estudiadas, así como para la precipitación ponderada mediante aplicación de los polígonos Thiessen.

Tabla 5-54. Cálculo del Índice de Concentración de la Precipitación (ICP)

MES	P_{MED} (mm)	

	Esc Ceura	Maicao	Apto Maicao	Huimpecht	Orochon	Paraguachon	Jojoncito	PMED (MM) PONDERADA
Enero	4.7	14.5	6.5	4.0	9.5	20.3	4.0	7.7
Febrero	8.7	9.7	9.1	0.0	2.7	6.8	1.0	5.8
Marzo	3.5	8.8	3.9	0.0	8.7	12.0	5.0	4.3
Abril	41.9	34.9	24.9	11.7	20.6	31.4	13.0	22.8
Mayo	98.7	94.0	93.2	24.7	52.0	81.3	27.0	69.4
Junio	45.0	47.7	26.3	8.0	9.4	43.3	10.0	23.3
Julio	25.3	24.5	4.6	4.1	6.4	24.1	5.0	8.6
Agosto	49.0	89.9	30.6	7.5	37.1	64.2	14.0	33.6
Septiembre	119.8	129.3	102.9	160.0	82.5	124.8	30.0	120.8
Octubre	140.2	229.9	166.8	127.7	122.0	177.5	37.0	157.2
Noviembre	101.3	165.6	115.6	107.7	86.7	100.9	36.0	113.8
Diciembre	21.6	28.2	26.1	31.7	33.3	55.1	10.0	30.3
Precipitación total (mm)	659.6	877.0	610.5	486.9	470.7	741.9	192.0	597.6
ICP	**14.11**	**15.50**	**17.05**	**23.36**	**15.85**	**13.64**	**13.36**	**16.91**
DEFINICIÓN ICP	Moderadamente Estacional	Estacional	Estacional	Altamente Estacional	Estacional	Moderadamente Estacional	Moderadamente Estacional	Estacional

Fuente: Renovatio 2017 a partir de los datos facilitados por el IDEAM

De los cálculos realizados de IFM e ICP se concluye que la cuenca de estudio tiene una agresividad climática alta y con una distribución de precipitaciones a lo largo del año moderadamente estacional.

5.1.4.8 *Índices climáticos*

A continuación se definen las diferentes formulaciones que se van a emplear para la obtención de los índices climáticos, a partir de los índices de referencia de cada una de las estaciones que se han presentado anteriormente.

- El índice de aridez es el valor por el que se mide la escasez de agua y humedad en el aire y en el suelo.
- El factor de continentalidad es el valor climático que se aplica a aquellos lugares donde la influencia marina no se hace notar o apenas lo hace y por tanto las precipitaciones son menores y la oscilación térmica mayor.
- El factor de oceanidad es el factor climático que se refiere a la proximidad de un lugar con respecto al mar, suavizando las temperaturas y aumentando las precipitaciones.

5.1.4.8.1 Índice de aridez de Martonne

Este índice clasifica el clima en cuatro grupos aplicando la siguiente expresión:

$$I_a = \frac{P}{t_m + 10}$$

P Precipitación media anual en mm

tm Temperatura media anual en ºC

Tabla 5-55. Clasificación climática según Martonne

ÍNDICE ARIDEZ MARTONNE	DESIGNACIÓN
< 5	Clima DESÉRTICO
5 – 10	Clima ESTEPARIO
10 – 20	Clima SEMIÁRIDO, adecuado para pastos herbáceos y leñosos.
I >20	Clima SECO-SUB-HÚMEDO, vegetación arbórea.
I< 40	Clima SUB-HÚMEDO, óptimo de la vegetación arbórea.

Fuente: Renovatio 2017

Los valores obtenidos para el Índice de aridez según la fórmula de Martonne se pueden consultar en la Tabla 5-56. De acuerdo con dicha clasificación, el clima en la zona de estudio pertenece al tipo Semiárido, óptimo de la vegetación arbórea (10<I<20).

Tabla 5-56. Clasificación climática de la cuenca de estudio según Martonne

CÓDIGO	ESTACIÓN	PMEDIA ANUAL (mm)	TMED (ºC)	Ia	DESIGNACIÓN
15070160	Esc Ceura	659.57	28.27	17.23	CLIMA SEMIÁRIDO
15080150	Maicao	877.00	28.27	22.91	CLIMA SECO-SUB-HÚMEDO
15085010	Apto Maicao	610.51	28.27	15.95	CLIMA SEMIÁRIDO
15080050	Huimpecht	486.90	28.27	12.72	CLIMA SEMIÁRIDO
15070240	Orochon	470.68	28.27	12.30	CLIMA SEMIÁRIDO
15087080	Paraguachon	741.88	28.27	19.38	CLIMA SEMIÁRIDO
15070110	Jojoncito	192.00	28.27	5.02	CLIMA ESTEPARIO
	TODA	**597.62**	**28.27**	**15.61**	**CLIMA SEMIÁRIDO**

Fuente: Renovatio 2017

5.1.4.8.2 Índice de aridez de Dantin-Revenga (Termopluviométrico de Dantin-Revenga)

Este índice de aridez se basa en la relación por cociente y porcentaje. Este índice realiza una clasificación en cuatro zonas en función del clima, aplicando la siguiente expresión:

$$I_{DANTIN-REVENGA} = \frac{100\ T}{P}$$

Dónde:

P = Precipitación anual, en mm

T = Temperatura media anual, en ºC

De acuerdo con la ecuación anterior, el índice de Dantin-Revenga varía entre 0.6 y 1.4, para las distintas estaciones consideradas, con lo que la zona de estudio queda incluida como zona húmeda.

Tabla 5-57. Clasificación climática de acuerdo al Índice de aridez de Dantin-Revenga

ÍNDICE TERMOPLUVIOMÉTRICO	DESIGNACIÓN
0 - 2	Zona HÚMEDA
2 - 3	Zona SEMIÁRIDA
3 - 6	Zona ÁRIDA
I > 6	Zona SUBDESÉRTICA

Fuente: Renovatio 2017

Los valores de los índices resultantes se muestran en la Tabla 5-58.

Tabla 5-58. Clasificación climática de acuerdo al Índice de aridez de Dantin-Revenga en la cuenca de estudio.

CÓDIGO	ESTACIÓN	$P_{MEDIA\ ANUAL}$ (mm)	T_{MED} (ºC)	$I_{DANTIN-REVENGA}$	DESIGNACIÓN
15070160	Esc Ceura	659.57	28.27	4.29	ZONA ÁRIDA
15080150	Maicao	877.00	28.27	3.22	ZONA ÁRIDA
15085010	Apto Maicao	610.51	28.27	4.63	ZONA ÁRIDA
15080050	Huimpecht	486.90	28.27	5.81	ZONA ÁRIDA
15070240	Orochon	470.68	28.27	6.01	ZONA SUBDESÉRTICA
15087080	Paraguachon	741.88	28.27	3.81	ZONA ÁRIDA
15070110	Jojoncito	192.00	28.27	14.73	ZONA SUBDESÉRTICA

CÓDIGO	ESTACIÓN	$P_{MEDIA\ ANUAL}$ (mm)	T_{MED} (ºC)	$I_{DANTIN-REVENGA}$	DESIGNACIÓN
	TODA	597.62	28.27	4.73	ZONA ÁRIDA

Fuente: Renovatio 2017

5.1.4.8.3 Índice de aridez de Lang (Factor de pluviometría de Lang)

El valor de este índice se expresa por la ecuación:

$$f_p = \frac{P}{t_m}$$

Dónde:

P Precipitación media anual en mm

tm Temperatura media anual en ºC

Tabla 5-59. Clasificación climática de acuerdo al Índice de aridez de Lang

ÍNDICE DE LANG	TIPO DE ZONA
0 - 20	Desiertos
20 - 40	Árida
40 - 60	Húmeda de estepa y sabana
60 - 100	Húmedas de bosques claros
100 - 160	Húmedas de grandes bosques
> 160	Perhúmedas con prados y tundras

Fuente: Renovatio 2017

Los valores para cada estación obtenidos según la fórmula de Lang se pueden ver en la Tabla 5-60. Según el índice de Lang, la zona de estudio queda incluida en zonas de clima húmedo de bosques claros.

Tabla 5-60. Clasificación climática de acuerdo al Índice de aridez de Lang en la cuenca de estudio

CÓDIGO	ESTACIÓN	$P_{MEDIA\ ANUAL}$ (mm)	T_{MED} (ºC)	f_P	DESIGNACIÓN
15070160	Esc Ceura	659.57	28.27	23.33	ZONA ÁRIDA
15080150	Maicao	877.00	28.27	31.02	ZONA ÁRIDA
15085010	Apto Maicao	610.51	28.27	21.59	ZONA ÁRIDA
15080050	Huimpecht	486.90	28.27	17.22	DESIERTO
15070240	Orochon	470.68	28.27	16.65	DESIERTO

CÓDIGO	ESTACIÓN	$P_{MEDIA\ ANUAL}$ (mm)	T_{MED} (ºC)	f_P	DESIGNACIÓN
15087080	Paraguachon	741.88	28.27	26.24	ZONA ÁRIDA
15070110	Jojoncito	192.00	28.27	6.79	DESIERTO
	TODA	597.62	28.27	21.14	**ZONA ÁRIDA**

Fuente: Renovatio 2017

A continuación, se muestra una tabla resumen con los resultados del índice de aridez conforme a las tres formulaciones anteriores:

Tabla 5-61. Valores del índice de aridez para las estaciones del ámbito de estudio según las formulaciones de Martonne, Dantin-Revenga y Lang

Índice de aridez			Martonne	Dantin-Revenga	Lang
T media anual (ºC)		**28.27**	**10<Ia< 20**	**3<I**	**0<f_P<40**
P media anual (mm)	Esc Ceura		17.23	4.29	23.33
	Maicao		22.91	3.22	31.02
	Apto Maicao		15.95	4.63	21.59
	Huimpecht	1 792.75	12.72	5.81	17.22
	Orochon	2 015.43	12.30	6.01	16.65
	Paraguachon	1 537.87	19.38	3.81	26.24
	Jojoncito	1 896.38	5.02	14.73	6.79
	TODA	**1 837.63**	**15.61**	**4.73**	**21.14**

Fuente: Renovatio 2017 a partir de los datos facilitados por el IDEAM

5.1.4.8.4 Índice de continentalidad de Gorezynski

$$I_C = 1.7\ \frac{(Mi - mi)}{seno(Lat)} - 20.4$$

Dónde:

Mi Temperatura media del mes más cálido

mi Temperatura media del mes más frio

Lat Latitud (en valor absoluto)

Tabla 5-62. Clasificación climática de acuerdo al Índice de continentalidad de Gorezynski

ÍNDICE DE GOREZYNSKI	CLIMA
-20 - 20	Hiperoceánicos

ÍNDICE DE GOREZYNSKI	CLIMA
20 - 40	Oceánicos
40 - 60	Subcontinentales
60 - 80	Continentales
80 - 120	Hipercontinentales

Fuente: Renovatio 2017

De acuerdo a esta clasificación, el clima de la zona de estudio es Hiperoceánico. El valor del índice se recoge en la Tabla 5-63.

Tabla 5-63. Clasificación climática de acuerdo al Índice de continentalidad de Gorezynski de la cuenca de estudio.

CÓDIGO	ESTACIÓN	$T_{MED\ MES\ MAS\ FRÍO}$ (ºC)	$T_{MED\ MES\ MAS\ CÁLIDO}$(ºC)	I_G	DESIGNACIÓN
15075030	Manaure	27.50	30.44	4.67	HIPEROCEÁNICO
15085040	Rancho Grande	27.51	29.82	- 0.70	HIPEROCEÁNICO
15085010	Apto Maicao	26.90	29.40	0.92	HIPEROCEÁNICO
	TOTAL	27.30	29.89	1.63	**HIPEROCEÁNICO**

Fuente: Renovatio 2017

5.1.4.8.5 Índice de continentalidad de Currey

$$I_c = \frac{(Mi - mi)}{1 + \frac{1}{3} Lat}$$

Donde:

Mi Temperatura media del mes más cálido

mi Temperatura media del mes más frio

Lat Latitud

Tabla 5-64. Clasificación climática de acuerdo al Índice de continentalidad de Currey

ÍNDICE DE CURREY	CLIMA
0 – 0.6	Hiperoceánicos
0.6 – 1.1	Oceánicos
1.1 – 1.7	Subcontinentales
1.7 – 2.3	Continentales

ÍNDICE DE CURREY	CLIMA
2.3 – 5.0	Hipercontinentales

Fuente: Renovatio 2017

De acuerdo a esta clasificación, el clima de la zona de estudio es Hiperoceánico. El valor del índice se recoge en la Tabla 5-65.

Tabla 5-65. Resumen de valores de los índices climáticos y clasificación climática obtenida.

CÓDIGO	ESTACIÓN	$T_{MED\ MES\ MAS\ FRÍO}$ (ºC)	$T_{MED\ MES\ MAS\ CÁLIDO}$(ºC)	Ic	DESIGNACIÓN
15075030	Manaure	27.50	30.44	0.61	OCEÁNICO
15085040	Rancho Grande	27.51	29.82	0.48	HIPEROCEÁNICO
15085010	Apto Maicao	26.90	29.40	0.52	HIPEROCEÁNICO
	TOTAL	27.30	29.89	0.53	**HIPEROCEÁNICO**

Fuente: Renovatio 2017

5.1.4.8.6 Conclusión

Tabla 5-66. Resumen de valores de los índices climáticos y clasificación climática obtenida.

ÍNDICES	VALOR	CLASIFICACIÓN
Aridez de Martonne	10 - 20	CLIMA SEMIÁRIDO
Termopluviométrico de Dantin-Revenga	3 – 6	ZONA ÁRIDA
Factor de pluviometría de Lang	20 – 40	ZONA ÁRIDA
Continentalidad de Gorezynski	-20 – 20	HIPEROCEÁNICO
Continentalidad de Currey	0 – 0,6	HIPEROCEÁNICO

Fuente: Renovatio 2017

Cabe destacar que las metodologías empleadas (Índice de aridez de Martonne, Índice de aridez de Dantin-Revenga, Índice de aridez de Lang), emplean clasificaciones climáticas diferentes, en base a la cuales se establece la designación del clima obtenido tras el cálculo del índice de aridez.

Conforme se observa en los cálculos de la Tabla 5-61, el valor obtenido para el índice de aridez es de 15.61 según Martonne.

Como se aprecia, según la formulación empleada, el resultado para la zona de estudio es de zona árida o clima semiárido, la denominación depende de la formulación y por tanto, no se puede mezclar metodologías. Por ello no se puede comparar de forma directa con la clasificación obtenida en el numeral 5.1.8.1.9 Zonificación climática, donde se usó la metodología establecida en IDEAM y el resultado del clima de la zona es “cálido muy seco”.

Para el cálculo del índice de aridez, no se utilizó la metodología del IDEAM ya que los datos disponibles no permitían realizar el cálculo por este método. Ya que no hay datos suficientes para poder calcular la evapotranspiración potencial y real, anual y mensual, conforme lo requerido en dicha metodología.

Ante la falta de estos datos se optó por desarrollar el cálculo empleando 3 metodologías diferentes con objeto de poder obtener una conclusión más contrastada.

5.1.5 Calidad del agua

5.1.5.1 *Caracterización fisicoquímica y microbiológica de los cuerpos de agua que son de uso para consumo humano y doméstico*

Se realizó la caracterización fisicoquímica y microbiológica de los cuerpos de agua que son de uso para consumo humano y doméstico (jagüeyes, pozo) en las rancherías del área de influencia del proyecto. Cabe resaltar que estos cuerpos de agua no serán susceptibles de intervención por parte del proyecto.

Los sitios de muestreo para jagüeyes se eligieron con respecto a su representatividad en las rancherías, dependiendo si eran usados para consumo humano o no, este hecho permitió identificar los jagüeyes de mayor importancia y los cuales serían susceptibles de monitoreo. El único pozo de aguas subterráneas presente en el área del proyecto ubicado en la ranchería de Toloira, también fue un punto de muestreo considerado para el levantamiento de la línea base. Estos puntos fueron monitoreados únicamente en una época climática (húmeda) debido a que no serán intervenidos por el proyecto en ninguna circunstancia y se considera que un solo monitoreo puede arrojar los resultados necesarios para conocer el estado actual y general de estos cuerpos de agua (Tabla 5-67).

En el numeral 5.1.6 Usos del agua, en la Tabla 5-73, se identifican los lugares de abastecimiento de agua de las comunidades del área de influencia única del proyecto, relacionando sus usos y usuarios, y allí se definen cuales tienen uso humano y cuáles no, mostrando cuales son más representativos para la comunidad y justificando la razón por la cual se eligieron los puntos donde se realizaron los monitoreos de calidad de agua.

A continuación, en la Figura 5-49, se muestra la cobertura espacial de los puntos muestreados:

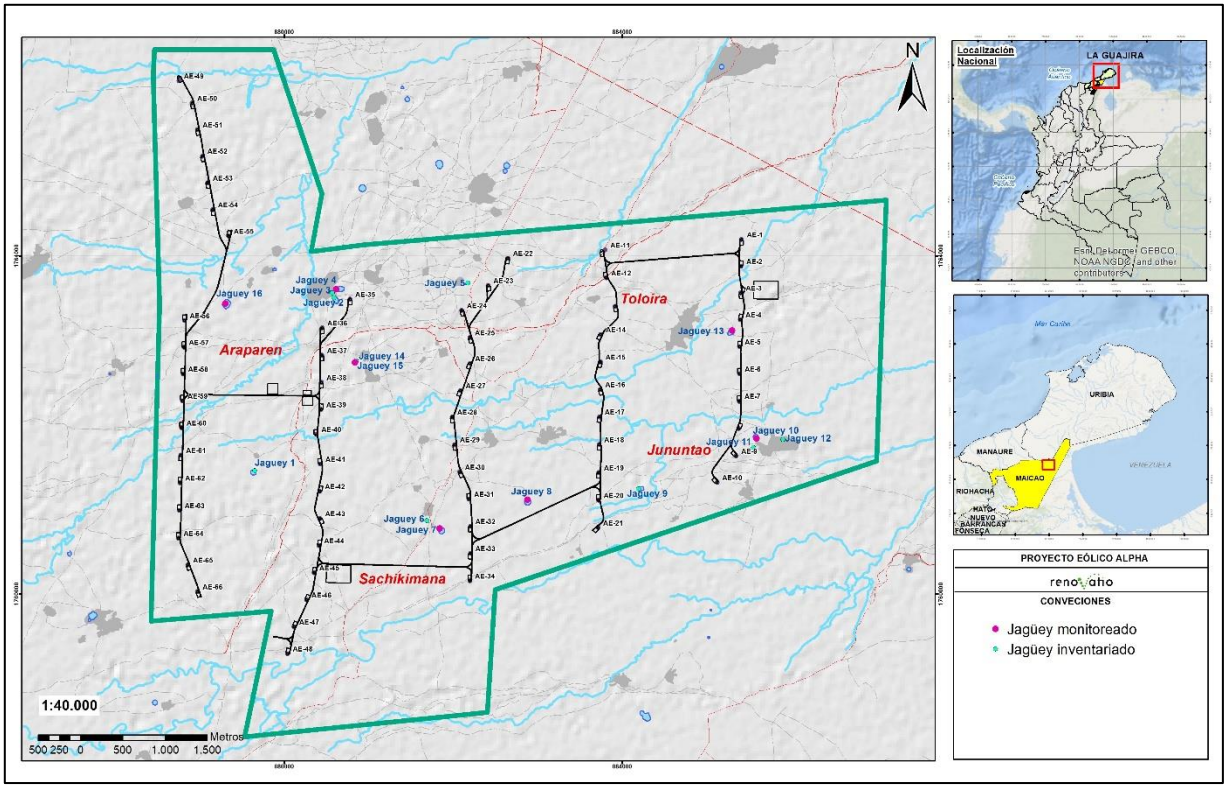


Figura 5-49. Localización de puntos de muestreo de Calidad de Aguas para jagüeyes y pozo de agua subterránea

Fuente: Renovatio 2017

Tabla 5-67. Puntos de muestreo (Magna sirgas origen este) de Calidad de Aguas para jagüeyes y pozo

Tipo Monitoreo	Lugar	Este	Norte	Ranchería	Consumo humano
Agua superficial	Jagüey 4	880614,00	1763605,00	Araparen	Si
	Jagüey 7	881838,10	1760775,00	Sachikimana	Si
	Jagüey 8	882879,00	1761117,00	Jununtao	Si
	Jagüey 10	885592,10	1761839,00	Jununtao	Si
	Jagüey 13	885301,00	1763118,00	Toloira	Si
	Jagüey 15	880837,20	1762737,00	Araparén	Si
	Jagüey 16	879300,30	1763433,00	Araparen	Si
Agua subterránea	Pozo Toloira	884747,80	1762916,00	Toloira	Si

Fuente: Renovatio 2017

5.1.5.1.1 Resultados

A continuación, se presentan los resultados de los monitoreos de calidad de agua para los jagüeyes, y se comparan los valores obtenidos con los máximos permitidos en el decreto 1594 de 1984, la Resolución 2115 de 2007 y el decreto 1076 del 26 de mayo de 2015, para agua de consumo y/o doméstico (Tabla 5-68). Así mismo se muestran los resultados del monitoreo de calidad del agua para el único pozo subterráneo que existe en el área de influencia (Tabla 5-69), (en el Anexo 10, se presentan los resultados del laboratorio para todos los cuerpos de agua y todos los parámetros medidos).

Tabla 5-68. Resultados de calidad del agua de los jagüeyes

Valor máximo permitido para uso domestico	Nombre del parámetro	Jagüey N° 4	Jagüey N 7	Jagüey N° 8	Jagüey N° 10	Jagüey N° 13	Jagüey N° 15	Jagüey N° 16
	Naturaleza	Agua superficial	Agua superficial	Agua superficial	Agua superficial	Agua superficial	Agua superficial	Agua superficial
	Muestra N°	25151-5	25151-3	25151-4	25151-1	25151-6	25151-8	25151-7
6,5 - 8,5	pH	8,5	8,5	8,4	8,4	8,3	8	8,4
NE	Conductividad µs/cm	326	151	319	238	114	87	315
NE	Temperatura °C	27,2	30,1	31,3	32,5	28,2	30,6	29,7
NE	Oxígeno disuelto mgO2/l	6,4	5,8	6,1	6,5	6,5	6,2	6,3
NE	Acidez mgCaCO3/l	5	7	8	6	3	5	4
200	Alcalinidad mgCaCO3/l	118	26,8	43,2	25,6	26,8	110,8	20
250	Cloruros mg Cl-/l	18,05	17,03	53,13	37,51	7,91	11,76	23,93
NE	DBO5 mg/l	5,1	13,8	12,8	15,2	12,9	15,1	4,98
0,5	Detergentes SAAM mg SAMM/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
300	Dureza total mgCaCO3/l	82	32	44	48	30,8	32	78

Valor máximo permitido para uso domestico	Nombre del parámetro	Jagüey N° 4	Jagüey N 7	Jagüey N° 8	Jagüey N° 10	Jagüey N° 13	Jagüey N° 15	Jagüey N° 16
0,002	Fenoles totales mg/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
NE	Fosforo total mgP/l	< 0,15	0,21	0,34	0,67	< 0,15	0,15	0,24
Sin película visible	Grasas y/o aceites mg/l	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
NE	Nitrógeno total KJELDAHL mg N/l	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4
NE	Potasio mg/l	4,02	6,83	12,06	15,89	5,09	6,7	8,7
NE	Sólidos disueltos totales mg/l	192	80	216	128	52	58	180
NE	Sólidos sedimentables mg/l	< 1	< 1	1,5	< 1	< 1	< 1	25
NE	Sólidos suspendidos totales mg/l	108	70	656	150	116	154	1710
400	Sulfatos mg SO4/l	10,12	10,31	27,91	25,33	4,96	4,7	17,1
190 (NTU= 19 UJT)	Turbiedad NTU	186	480	1014	1355	424	784	1805
NE	DQO mg O2/l	25,96	70,6	62,7	73,7	67,4	78,4	25,38
NE	Dureza cálcica mg/lCaCO3	52	30	25	30	20	28	42
NE	Color real a 436 nm	1,41	6,94	6,19	6,76	2,46	5,49	3,07
NE	Color real 525 nm	0,9	4,12	3	4,18	1,49	3,89	2,13
NE	Color real 620 nm	0,71	2,91	1,9	2,98	1,07	3,2	1,64
20000 NMP/100 ml	N° P de coliformes NMP/100 ml	17 X 10^1	17 X 10^1	22	33	2,8 X 10^1	70 x 10^2	11 X 10^1

Valor máximo permitido para uso domestico	Nombre del parámetro	Jagüey N° 4	Jagüey N 7	Jagüey N° 8	Jagüey N° 10	Jagüey N° 13	Jagüey N° 15	Jagüey N° 16
1000 NMP/100 ml	N° P de coliformes fecales NMP/100 ml	Jagüey N° 4	11 X 10^1	17	17	46	28 x 10^2	46
	Indice de Langelier*	Agua superficial	-0,3	-0,6	-0,6	-0,7	-0,4	-0,8

Fuente: Renovatio 2017

Los valores subrayados en rojo exceden la norma
* valores < 0 agua con tendencia corrosiva, = 0 agua equilibrada, >0 agua con tendencia incrustante
NE no evaluados en las normas
Los valores en rojo sobrepasan los límites permisibles en la normatividad

Tabla 5-69. Resultados de calidad del agua del pozo subterráneo

Nombre de la muestra	Pozo Toloira	Máximo permitido en la norma
Naturaleza	Agua subterránea	
Muestra N°	25151-2	
Ph	8,4	6,5 - 8,5
Conductividad µs/cm	11105	NE
Temperatura °C	31,7	NE
Oxígeno disuelto mgO2/l	0,5	NE
Acidez mgCaCO3/l	13	NE
Alcalinidad mgCaCO3/l	553,2	200
Arsénico mg As/l	< 0,004	0,05
Bario mg Ba/l	< 0,5	1
Cadmio mg Cd/l	< 0,025	0,01
Calcio mg Ca/l	97	60
Cloruros mg Cl/l	21,29	250
Cobre mg Cu/l	< 0,1	1
Cromo mg Cr/l	< 0,1	0,05
DBO5 mg O2/l	17,1	NE
Detergentes SAAM/l	< 0,1	0,5

Nombre de la muestra	Pozo Toloira	Máximo permitido en la norma
Dureza total mgCaCO3/l	720	300
Fenoles totales mg/l	< 0,1	0,002
Fosforo total mg/l	< 0,15	NE
Grasas y/o aceites mg/l	< 3	Sin película visible
Hidrocarburos totales mg/l	< 3	NE
Hierro mg Fe/l	0,12	0,3
Magnesio mg Mg/l	115,5	36
Mercurio mg Hg/l	< 0,001	0,002
Níquel mg Ni/l	< 0,1	0,02
Nitrógeno total KJELDAHL mg N/l	< 4	NE
Plata mg Ag/l	< 0,1	0,05
Plomo mg Pb/l	< 0,1	0,05
Potasio mg K/l	6,09	NE
Salinidad mg/l	5630	NE
Selenio mg Se/l	< 0,01	0,01
Sólidos disueltos totales mg/l	6584	NE
Sólidos sedimentables mg/l	< 1	NE
Sólidos suspendidos totales mg/l	7,5	NE
Sulfatos mg SO4/l	807,35	400
Turbiedad NTU	3	190
Zinc mgZn/l	<0,05	15
DQO mg O2/l	89,4	NE
Dureza cálcica mg/lCaCO3	240	NE
Color real a 436 nm	1,78	NE
Color real 525 nm	1,24	NE
Color real 620 nm	0,94	NE
N° P de coliformes NMP/100 ml	24 X 10^1	20000 NMP/100 ml
N° P de coliformes fecales NMP/100 ml	13 X 10^1	1000 NMP/100 ml
Indice de Langelier	1,53	

Fuente: Renovatio 2017

Los valores subrayados en rojo exceden la norma
* valores < 0 agua con tendencia corrosiva, = 0 agua equilibrada, >0 agua con tendencia incrustante
NE no evaluados en las normas
Los valores en rojo sobrepasan los límites permisibles en la normatividad

5.1.5.1.2 Análisis de resultados

5.1.5.1.2.1 *pH*

El pH muestra el potencial de concentración de iones hidrogeno presentes en el agua. Esta concentración de iones hidrógenos determina la acidez o la basicidad, lo cual es muy importante para el desarrollo de la vida en el agua, así como la productividad de esta. Compuestos como los carbonatos, fosfatos y algunos iones similares generan en el agua un efecto tampón, por lo que la adición de un ácido o una base no causa mayor variación en el pH[31].

El pH de los cuerpos de agua analizados, resultó ligeramente alcalino con valores que oscilaron entre 8 y 8,5 (Figura 5-50). Todos los valores de pH están contenidos en los umbrales permisibles del decreto 1594 de 1984. Sin embargo, los jagüeyes 7 y 4 están en el umbral superior con 8,5 unidades, es importante anotar que se tomaron los máximos permisibles más restrictivos del decreto 1594 de 1984 capitulo IV artículo 39. Los cuerpos de agua analizados podrían exceder fácilmente los límites permisibles de alcalinidad y representar un riesgo para la salud humana.



Figura 5-50. pH de los cuerpos de agua analizados

Fuente: Renovatio 2017

[31] ROBERT G. WETZEL, GENE LIKENS. Limnological Analyses. Springer Science & Business Media, 2000. p. 429.

5.1.5.1.2.2 *Conductividad*

La conductividad o conductancia específica (k) mide indirectamente la productividad al relacionar todos los iones presentes en el agua, por lo que está fuertemente relacionada con la concentración de sólidos disueltos totales, es decir con sustancias o minerales disueltos en aguas naturales. Es la suma de las contribuciones de conductividad de todos los iones presentes en la solución y depende de la concentración iónica total, de la velocidad a la que se mueven los iones por la influencia de una fuerza electromotriz y de la temperatura de la solución, se expresa como microSiemens por centímetro (µS/cm)[32].

Los valores obtenidos, varían en gran medida al comparar la conductividad de los jagüeyes, los cuales oscilan entre 87 y 326, en comparación con el pozo subterráneo que reporta un valor de 11150 µS/cm (Figura 5-51). Los resultados tan variantes son el resultado del origen del agua analizada, los jagüeyes son reservorios de agua lluvia, que suele adquirir algunos iones en el suelo al ser almacenada, mientras que las aguas subterráneas suelen poseer grandes concentraciones de iones los cuales han sido arrastrados desde el suelo y subsuelo o incluso desde el mar para este pozo. El decreto 1594 de 1984 y la Resolución 2115 de 2007 no mencionan valores admisibles para conductividad.

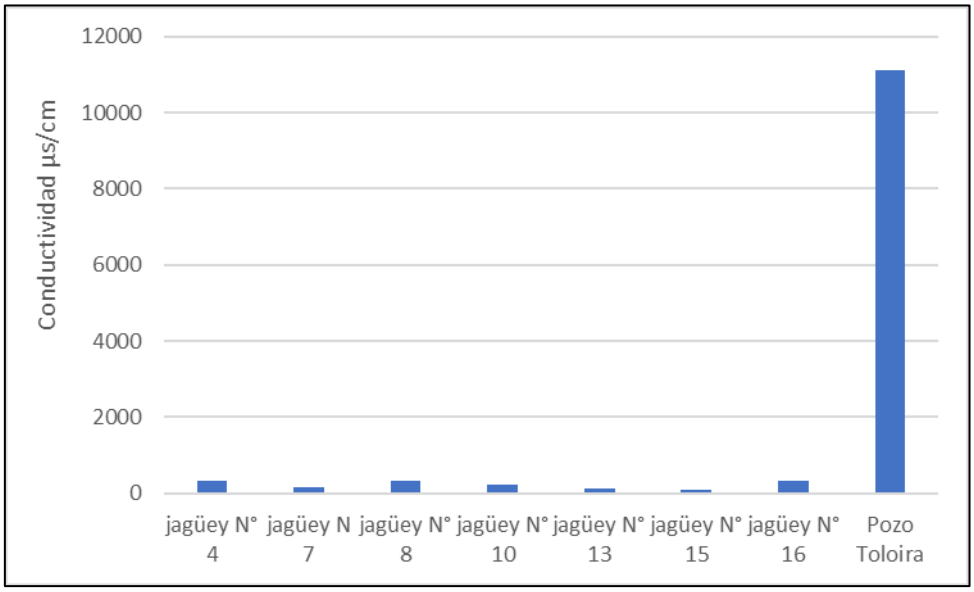


Figura 5-51. Conductividad de los cuerpos de agua analizados

Fuente: Renovatio 2017

[32] ROLDÁN, G. Bioindicación de la Calidad del Agua en Colombia. Uso del Método BMWP/Col. Ed Universidad de Antioquia. 170pp. Medellín, Colombia. 2003

5.1.5.1.2.3 *Temperatura*

La temperatura es un parámetro en función a la cantidad de energía calórica absorbida por un cuerpo de agua, y su valor depende, entre otros, de la profundidad, la hora de toma y la época climática. Esta variable está inmersa en todos los procesos biológicos, y presenta una relación muy fuerte con algunas otras variables como el pH, la conductividad, y el oxígeno disuelto, ya que, en este último caso, la solubilidad del oxígeno depende del aumento o disminución de la temperatura[33].

Las temperaturas de los cuerpos de agua analizados, mostraron valores entre 27,2 y 32,5 °C, los cuales se pueden considerar altos, pero normales para el ecosistema (zonobioma seco tropical del caribe) y la temperatura ambiental del área (Figura 5-52 y Figura 5-98 y Figura 5-100). El decreto 1594 de 1984 y la Resolución 2115 de 2007 no mencionan valores admisibles para temperatura.

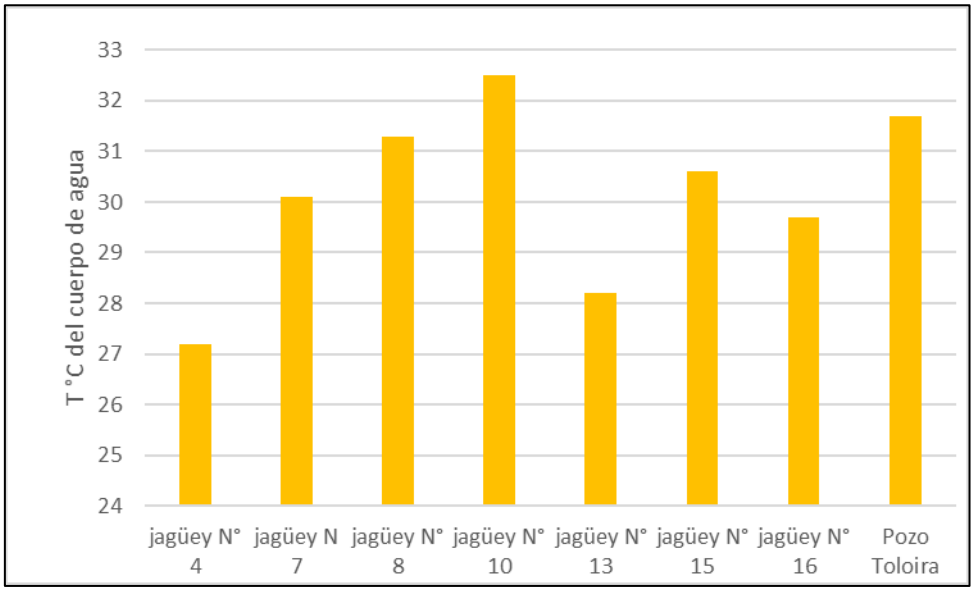


Figura 5-52. Temperaturas de los cuerpos de agua analizados

Fuente: Renovatio 2017

5.1.5.1.2.4 *Oxígeno disuelto*

El oxígeno disuelto es fundamental en los procesos metabólicos de los organismos acuáticos aerobios, y su concentración está estrechamente relacionada con la temperatura del agua, la presión atmosférica y los niveles de concentración de sales disueltas en el agua (a mayor salinidad menor oxígeno disuelto), así mismo el oxígeno se disuelve en el agua hasta la

[33] FUNDACIÓN ESPAÑOLA PARA LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA. Meteorología y Climatología. Madrid, España. 2004.

saturación que es un valor típico para una determinada temperatura. Al aumentar la temperatura, disminuye la cantidad de oxígeno disuelto en el agua. Cuando el agua contiene todo el oxígeno disuelto a una temperatura dada, se dice que está 100 por cien saturada de oxígeno[34].

El oxígeno disuelto en agua para los jagüeyes osciló entre 5,8 y 6,5 mg/l, el valor de saturación del oxígeno disuelto en agua a 30 °C es de 7,6 mg/l, por lo que en promedio dichas muestras tienen un 82 % de saturación de oxígeno, lo que indica que el agua es apta para el desarrollo de organismos aerobios. Contrasta con los resultados de los jagüeyes, el del pozo de Toloira que obtuvo un valor de 0,5 mg/l por lo que tiene un 6,5 % de saturación de oxígeno, lo que indica que la oxidación de sustancias orgánicas por microorganismos es reducida o nula en este pozo produciendo la insolubilidad de ciertos iones[35] (Figura 5-53). El decreto 1594 de 1984 y la Resolución 2115 de 2007 no mencionan valores admisibles para oxígeno disuelto en agua.

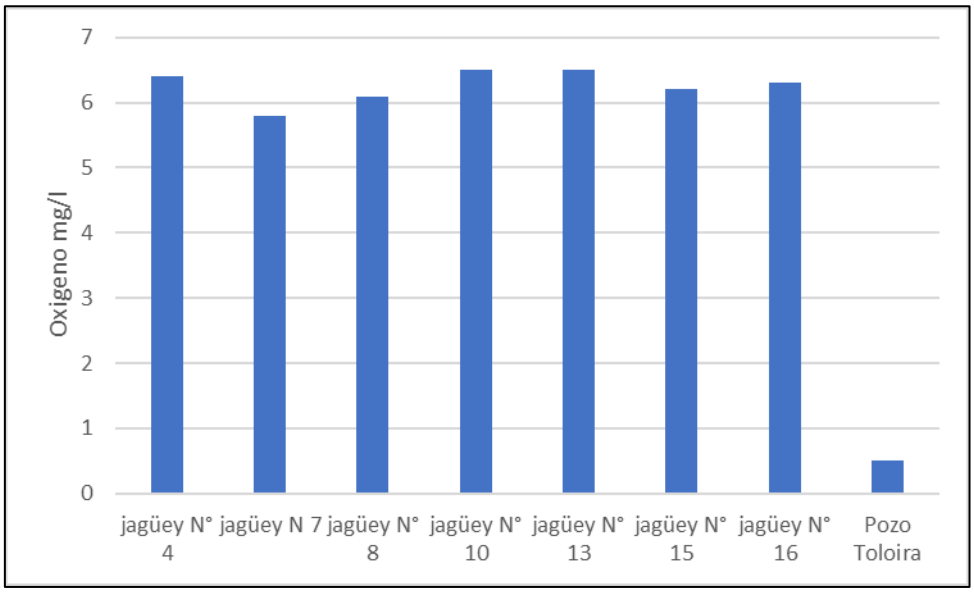


Figura 5-53. Oxígeno disuelto en los cuerpos de agua analizados

Fuente: Renovatio 2017

5.1.5.1.2.5 *Acidez*

La acidez de un cuerpo de agua es su capacidad cuantitativa para reaccionar con una base fuerte hasta un pH designado. Se puede deber a la presencia entre otros, de dióxido de carbono no combinado, de ácidos minerales o de sales de ácidos fuertes y bases débiles. En muchas aguas naturales, que se usan para propósitos potables, existe un equilibrio entre carbonato, bicarbonato y dióxido de carbono. Los contaminantes ácidos que entran a los

[34] ROLDÁN, G. Op. cit. p. 5-130.
[35] ROLDÁN, G. Op. cit. p. 5-130.

abastecimientos de aguas en cantidad suficiente, pueden alterar el equilibrio carbonato - bicarbonato - dióxido de carbono[36].

La acidez medida en los cuerpos de agua analizados, mostró valores entre 3 y 13 mg/l, el pozo de Toloira obtuvo el valor mayor con 13 mg/l del carbonato, por lo que es el cuerpo de agua analizado con la mayor capacidad buffer (de neutralizar una base), el jagüey N° 8 obtuvo el mayor valor en los jagüeyes con 8 mg/l y el jagüey N° 13 el menor valor con 3 mg/l por lo que es el cuerpo de agua analizado con menor capacidad de neutralizar bases. El decreto 1594 de 1984 y la Resolución 2115 de 2007 no mencionan valores admisibles para acidez.

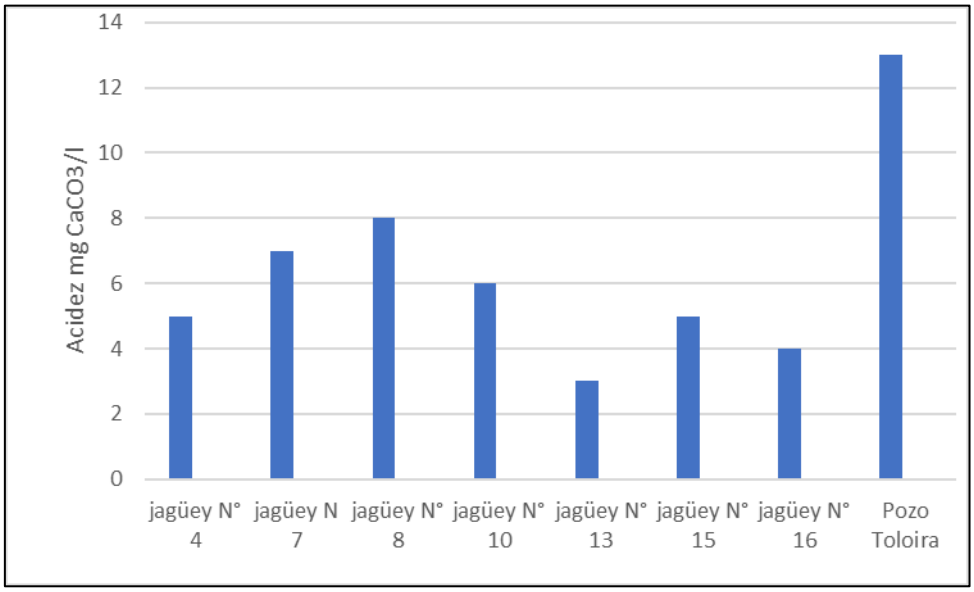


Figura 5-54. Acidez de los cuerpos de agua analizados

Fuente: Renovatio 2017

5.1.5.1.2.6 *Alcalinidad*

La alcalinidad es la capacidad del cuerpo de agua para neutralizar ácidos o aceptar protones. Esta representa la suma de las bases que pueden ser tituladas en una muestra de agua. Dado que la alcalinidad de aguas superficiales está determinada generalmente por el contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, ésta se toma como un indicador de dichas especies iónicas. No obstante, algunas sales de ácidos débiles como boratos, silicatos, nitratos y fosfatos pueden también contribuir a la alcalinidad de estar también presentes. Estos iones negativos en solución están comúnmente asociados o pareados con iones positivos de calcio, magnesio, potasio, sodio y otros cationes. El bicarbonato constituye la forma química de mayor contribución a la alcalinidad. Dicha especie iónica y el hidróxido son particularmente importantes cuando hay gran actividad fotosintética de algas[37].

[36] ROLDÁN, G. Op. cit. p. 5-130.
[37] ROLDÁN, G. Op. cit. p. 5-130.

La alcalinidad de los cuerpos de agua analizados, mostró valores que oscilan entre 20 y 553,2 mg/l de $CaCO_3$. Los mayores valores se presentaron en el pozo de Toloira con 553,2 mg/l, seguidos de jagüey 4 y jagüey 15 con 118 y 110,8 mg/l respectivamente, a nivel general estos tres cuerpos de agua, en especial el del pozo de Toloira son los cuerpos de agua con mayor nivel de alcalinidad. En contraste los demás jagüeyes registraron valores menores a 44, siendo el menor valor el de Jagüey 16 con 20 mg/l, estos jagüeyes tienen menor capacidad de amortiguamiento que los cuerpos de agua arriba mencionados (Figura 5-55). la Resolución 2115 de 2007 menciona como valor máximo admisible de alcalinidad, los 200 mg/l de $CaCO_3$, valor que es excedido por el pozo de Toloira con 553,2 mg/l, el agua de este pozo para consumo humano y/o uso doméstico, puede poner en riesgo la salud de las personas, por lo que es necesario tratar esta agua con un proceso de desionización-desmineralización.

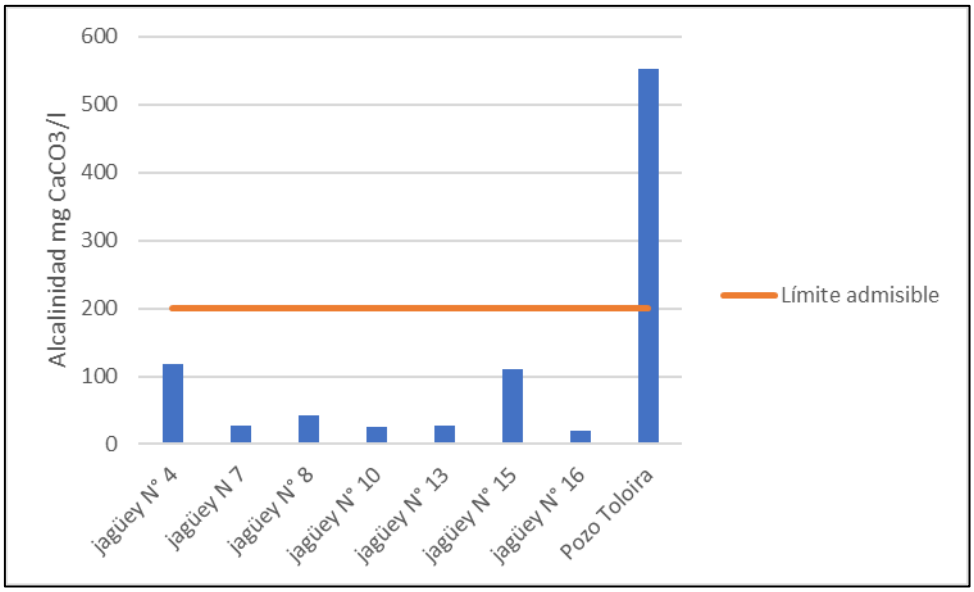


Figura 5-55. Alcalinidad de los cuerpos de agua analizados

Fuente: Renovatio 2017

5.1.5.1.2.7 *Cloruros*

Los cloruros son una de las sales que están presentes en mayor cantidad en todas las fuentes de abastecimiento de agua y de drenaje. El sabor salado del agua, producido por los cloruros, es variable y dependiente de la composición química del agua, cuando el cloruro está en forma de cloruro de sodio, el sabor salado es detectable a una concentración de 250 ppm de NaCl. Cuando el cloruro está presente como una sal de calcio ó de magnesio, el típico sabor salado de los cloruros puede estar ausente aún a concentraciones de 1000 ppm. Los cloruros se encuentran relacionados con la naturaleza geoquímica de las cuencas y puede llegar a incrementarse por la actividad humana debido a la generación de excrementos. Así mismo, es uno de los principales aniones que aportan a la salinidad en las aguas dulces y está inversamente relacionado con la diversidad de especies. El incremento de cloruro en el agua

ocasiona el aumento de la corrosividad del agua y puede dañar las conducciones y estructuras metálicas y perjudicar el crecimiento vegetal[38].

Esta variable presentó valores bajos entre 7,91 y 37,51 mgCl-/l. Todos los cuerpos de agua cumplieron con el valor descrito en el decreto 1594 de 1984 para consumo humano y/o uso doméstico, el cual es de 250 mgCl-/l (Figura 5-56).

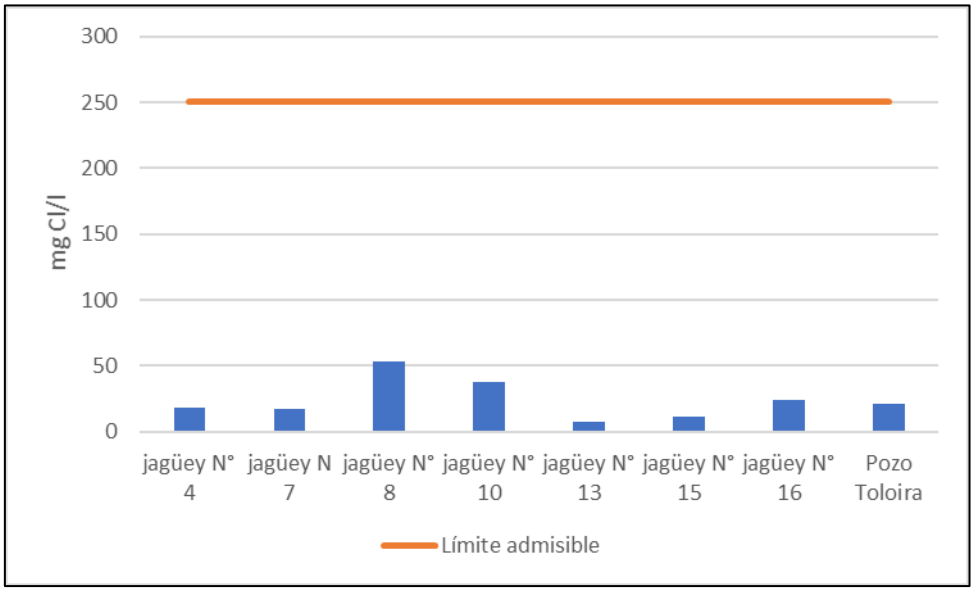


Figura 5-56. Cloruros de los cuerpos de agua analizados

Fuente: Renovatio 2017

5.1.5.1.2.8 *Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)*

La DBO5 es la medida de oxígeno requerida por los microorganismos acuáticos para degradar la materia orgánica presente, esta variable se utiliza como indicador de la calidad del agua. A pesar de no existir restricciones en cuanto a estos parámetros por parte de la normatividad ambiental, se consideran concentraciones altas de DBO5, cuando son superiores a 8 mg/l, pudiéndose considerar como agua contaminada, indicando así una elevada presencia de materia orgánica en descomposición[39].

Los valores de DBO_5 oscilaron entre 4,98 y 17,1 mg/l, teniendo en cuenta que la normatividad ambiental no contempla este parámetro, pero que la literatura reporta que concentraciones superiores a 8 mg/l son indicadoras de contaminación del cuerpo de agua por materia orgánica, Los jagüeyes 10, 15, 7, 13 y 8 y el pozo de Toloira superaron el mencionado valor, por lo que se pueden considerar como cuerpos de agua con contaminación con materia orgánica (Figura 5-57).

[38] ROLDÁN, G. Op. cit. p. 5-130.
[39] ROLDÁN, G. Op. cit. p. 5-130.

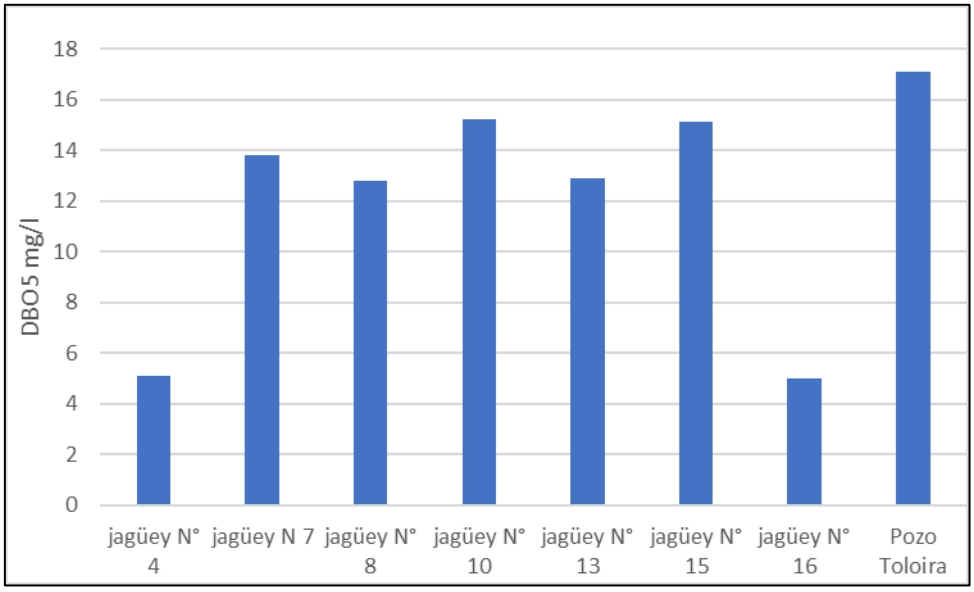


Figura 5-57. DBO5 en los cuerpos de agua analizados

Fuente: Renovatio 2017

5.1.5.1.2.9 *Detergentes*

Los detergentes son sustancias orgánicas activas de superficie que tienen la capacidad de reducir la tensión superior de una interfase. Al ser vertidos en los cuerpos de agua naturales suelen disminuir el acceso de oxígeno, ablandar el agua y aumentar la toxicidad causando efectos perjudiciales para la vida acuática[40].

Las muestras de los ocho cuerpos de agua analizados, registraron un valor para detergente (SAAM), por debajo del límite detectable de la prueba de 0,1 mg SAAM/l. El decreto 1594 de 1984 da como valor superior admisible 0,5 mg SAAM/l, por lo tanto, en base a este criterio, los cuerpos de agua cumplen la normatividad puesto que registraron valores < 0,1 mg SAAM/l (Tabla 5-68 y Tabla 5-69).

5.1.5.1.2.10 *Dureza total*

La dureza total del agua está definida por la cantidad de iones de calcio y magnesio presentes en ella. Las aguas con bajos valores de dureza se llaman también “aguas blandas” y biológicamente son poco productivas. Por el contrario, aguas con altos valores de dureza se denominan “duras” y por lo regular son muy productivas. La escala de dureza va de aguas que poseen menos de 10 mg/l las cuales son poco productivas, aguas medianamente productivas que poseen valores entre 10 y 25 mg/l y aguas muy productivas, que poseen valores superiores a los 25 mg/l. En términos de dureza las aguas pueden clasificarse como aguas

[40] TORRES A y CALVA B. Los detergentes en los sistemas marinos. Lab. Ecosistemas Costeros. D epto. H idrobiología. D.C.B.S. U A M. p. 36-49.

blandas (0-75 mg/l CaCO3), moderadamente duras (75-150 mg/l CaCO3), duras (150-300 mg/l CaCO3) y muy duras (mayor a 300 mg/l)[41].

Los resultados de dureza total de los cuerpos de agua analizados, oscilaron entre 30,8 y 720 mg $CaCO_3$/l. Los jagüeyes 10, 8, 7, 15 y 13 se clasifican como aguas blandas (0-75 mg $CaCO_3$/l), los jagüeyes 16 y 14 como moderadamente duras (75-150 mg/l $CaCO_3$) y el pozo de Toloira como muy dura (mayor a 300 mg/l). El decreto 1594 de 1984 da los 300 mg de $CaCO_3$/l como valor limite admisible, el cual es superado por el pozo de Toloira con 720 mg $CaCO_3$/l, lo cual evidencia el riesgo para la salud humana, que puede desencadenar el tomar de esta agua sin previo tratamiento de desmineralización (Figura 5-58).

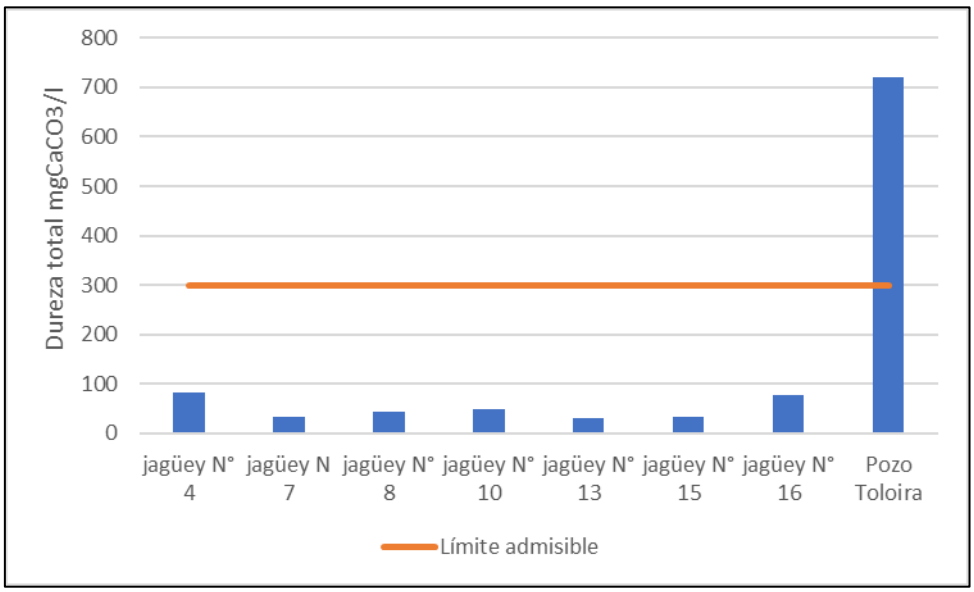


Figura 5-58. Dureza total de los cuerpos de agua analizados

Fuente: Renovatio 2017

5.1.5.1.2.11 *Fenoles totales*

Los compuestos fenólicos que ingresan en los cuerpos de agua, derivan del uso de plaguicidas, y el drenaje de las aguas residuales municipales e industriales, aunque algunos fenoles se forman como resultado de procesos naturales por la descomposición de materia orgánica y la síntesis de fenoles clorados por hongos y plantas. Los fenoles reaccionan fuertemente con el cloro generando olores y sabores desagradables. Además, son muy tóxicos para los seres vivos, en humanos el fenol es fácilmente asimilado por la piel, tracto

[41] OHLE, 1934. En ROLDÁN, G. Op. cit. p. 5-130.

gastrointestinal y pulmones, en cuya intoxicación se puede generar vasodilatación, insuficiencia cardiaca, hipotermia, coma y para respiratorio[42].

El decreto 1594 de 1984, da como valor admisible para fenoles 0,002 mg/l, el límite de detección del método de destilación fotométrico directo es 0,1 mg/l, por lo que no necesariamente las muestras no cumplen con el valor admisible, sino al no detectar la cantidad de fenoles presentes en los cuerpos de agua, optamos por reportar esta característica como riesgosa para destinar dicha agua para consumo humano y/o doméstico, siendo necesario en posteriores monitoreos examinar las muestras con una metodología que contenga un límite de detección al menos de 0,002 mg/l (Figura 5-59).

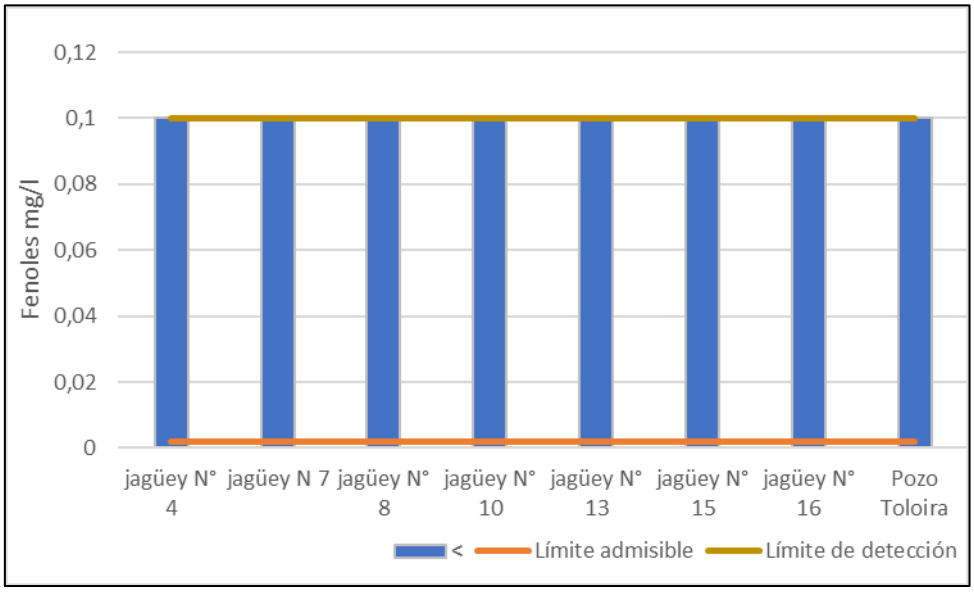


Figura 5-59. Fenoles totales en los cuerpos de agua analizados

Fuente: Renovatio 2017

5.1.5.1.2.12 *Fósforo total*

El fósforo es un nutriente esencial para los organismos vivientes; en aguas dulces y sistemas marinos está sujeto a procesos de transformación continua que incluyen consumo o desprendimiento del elemento en sus diferentes formas o especies. Es considerado como un parámetro crítico en la calidad de aguas debido a su influencia en el proceso de eutrofización. Las especies de fósforo más comunes en aguas naturales incluyen compuestos inorgánicos y orgánicos disueltos o suspendidos. Las especies inorgánicas incluyen ortofosfatos, polímeros lineales o polifosfatos y polímeros cíclicos o metafosfatos. Los compuestos orgánicos comprenden ésteres, fosfonatos, ácidos nucleicos, fosfolípidos, azúcares, proteínas, ácido aminofosfórico, fosfoamidas y otros. Entre las fuentes de fósforo de origen natural cabe

[42] STELLMAN JM. Encyclopaedia of occupational health and Safety. 4ta ed. International labour office. Geneva. 1998.

mencionar los depósitos de roca fosfórica las cuales desprenden fósforo, en forma de ortofosfato principalmente, mediante erosión. Las fuentes antropogénicas puntuales incluyen las aguas servidas domésticas e industriales; las fuentes no puntuales están asociadas con la escorrentía de áreas agrícolas y domésticas. Una fracción del fósforo en los fertilizantes orgánicos e inorgánicos es removida parcialmente por las plantas, otra fracción es arrastrada por el agua y el resto se acumula en el suelo trayendo como consecuencia la presencia de cantidades elevadas de este elemento en ríos y lagos[43].

Estos compuestos integrados por el elemento fósforo son usualmente encontrados en los sistemas acuáticos, siendo considerados macronutrientes. Su presencia es de suma importancia para la productividad primaria del fitoplancton y plantas acuáticas; no obstante, cuando se encuentran en gran abundancia es indicativo de condiciones eutróficas cuyo nivel crítico se considera cercano a 0,01 mg/l[44].

Los resultados obtenidos arrojaron valores altos de fósforo, los cuales oscilan entre < 0,15 hasta 0,67 mg P/l. Valores entre 0,15 y 0,67 mgP/l se consideran altos, los jagüeyes 7, 8, 10, 15 y 16, pueden estar revelando la eutrofización de dichos cuerpos de agua, la normatividad ambiental no reporta un límite admisible de fósforo (Figura 5-60).

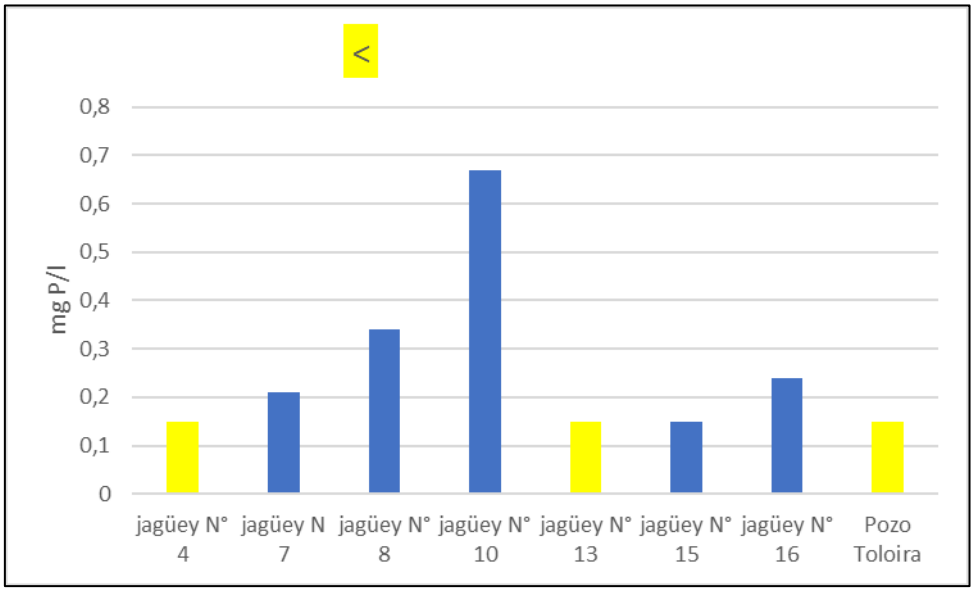


Figura 5-60. Fósforo total en los cuerpos de agua analizados

Fuente: Renovatio 2017

[43] BARBA HO. Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición. Universidad del Valle, facultad de ingenierías, escuela de ingeniería de recursos naturales y del ambiente, área académica ingeniería sanitaria y ambiental. Santiago de Cali. 2002. p. 48.
[44] Ibíd., p. 5-139.

5.1.5.1.2.13 *Grasas y/o aceites*

Las grasas y aceites son compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal, así como los hidrocarburos del petróleo, estas al ser inmiscibles con el agua, van a permanecer en la superficie dando lugar a la aparición de natas y espumas. Su efecto en aguas naturales se debe a que interfieren con el intercambio de gases entre el agua y la atmósfera, no permiten el libre paso del oxígeno hacia el agua, ni la salida del CO2 del agua hacia la atmósfera; en casos extremos pueden llegar a producir la acidificación del agua junto con bajos niveles del oxígeno disuelto, además de interferir con la penetración de la luz solar[45].

Todas las muestras para grasas y aceites resultaron indetectables por el método de partición gravimétrica con un mínimo de detección de 3 mg/l, además, no se observó película visible en los cuerpos de agua dando cumplimiento al decreto 1594 de 1984 (Tabla 5-68 y Tabla 5-69).

5.1.5.1.2.14 *Nitrógeno total*

Todo el Nitrógeno presente en compuestos orgánicos puede considerarse Nitrógeno orgánico. El contenido de Nitrógeno orgánico en un cuerpo de agua incluye el Nitrógeno de aminoácidos, aminas, polipéptidos, proteínas y otros compuestos orgánicos del Nitrógeno. El Nitrógeno amino de la mayoría de materiales orgánicos y el amoniaco libre son convertidos a amonio en presencia de H2SO4, sulfato de potasio (K2SO4), y sulfato de Cobre II (CuSO4) como catalizador. De acuerdo con el ciclo del Nitrógeno, una concentración alta de Nitrógeno es característica de una contaminación fresca o reciente, y por consiguiente de gran peligro potencial, puesto que puede eutrofizar los cuerpos de agua[46]. Este tipo de método mide la capacidad de Nitrógeno total orgánico capaz de ser nitrificado a nitritos y nitratos.

Todas las muestras para nitrógeno total resultaron indetectables por el método Kjeldahl con un mínimo de detección de 4 mg/l. La normativa ambiental no contempla valores límites para nitrógeno total, aunque contempla valores límites para Amoniaco con 1 mg/l en el decreto 1594 de 1984.

5.1.5.1.2.15 *Potasio*

El potasio es un elemento muy abundante y es el séptimo entre todos los elementos de la corteza terrestre. El 2,59% de ella corresponde a potasio en forma combinada. El ión potasio, K+, corresponde a sales de solubilidad muy elevada y difíciles de precipitar. Procede principalmente de evaporitas y también de algunos silicatos, en el agua es 10 veces menos abundante que en la corteza pues es retenido en las arcillas de alteración de los silicatos. Está íntimamente relacionado con el sodio, reportando en general concentraciones menores a las del sodio; normalmente la concentración de potasio en aguas superficiales es menor de 10-15 mg/l y en aguas subterráneas menor de 10 mg/l[47].

[45] Ibíd., p. 5-139

[46] IDEAM. Nitrogeno total en agua por el metodo semi-micro kjeldhl – electrodo de amoniaco. Subdirección de hidrología - grupo laboratorio de calidad ambiental. p. 9.

[47] BARBA HO. Op. cit. p. 5-139.

Los valores reportados para potasio en los cuerpos de agua analizados oscilaron entre 4,02 y 15,89. El jagüey 10 obtuvo 15,89 por lo que se considera con concentraciones altas de potasio, los demás cuerpos de agua presentaron valores considerados normales. La normatividad y literatura no reportan valores peligrosos para la salud humana por la presencia de potasio en el agua (Figura 5-61).

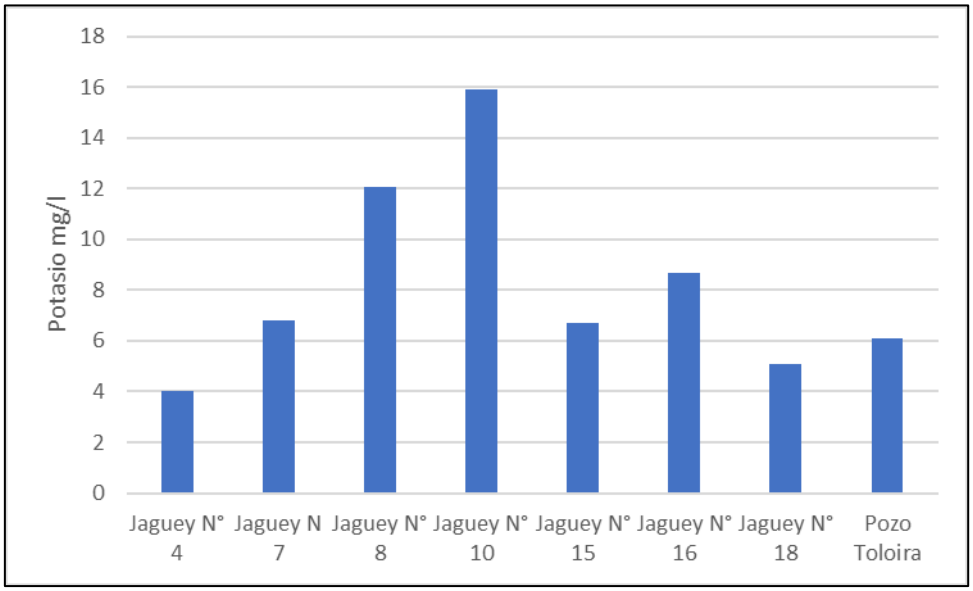


Figura 5-61. Potasio de los cuerpos de agua analizados

Fuente: Renovatio 2017

5.1.5.1.2.16 *Sólidos disueltos totales (SET)*

Los sólidos disueltos totales son la suma de los minerales, sales, metales, cationes o aniones disueltos en el agua. Esto incluye cualquier elemento presente en el agua que no sea (H20) molécula de agua pura y sólidos en suspensión. Las fuentes primarias de los SDT en aguas receptoras son la escorrentía agrícola y residencial, la lixiviación de la contaminación del suelo y fuente de punto de descarga, la contaminación del agua de las plantas de tratamiento industriales o de aguas residuales. Los componentes químicos más comunes son el calcio, fosfatos, nitratos, sodio, potasio y cloruro, que se encuentran en el escurrimiento de nutrientes, la escorrentía de aguas pluviales general y la escorrentía de climas nevados donde se aplican sales de deshielo de carreteras. Los productos químicos pueden ser cationes, aniones, moléculas o aglomeraciones en el orden de mil o menos moléculas, siempre y cuando se forma un micro-gránulo soluble. Los SDT están directamente relacionados con la conductividad eléctrico, cuanto mayor sea la cantidad de sales disueltas en el agua, mayor será el valor de la conductividad eléctrica[48].

[48] BARBA HO. Op. cit. p. 5-139.

Las muestras de los cuerpos de agua analizados para SDT, fueron semejantes a las obtenidas en conductividad, el pozo de Toloira presentó valores extremadamente altos con 6.584 mg/l, los jagüeyes presentaron valores bajos entre 52 y 216 mg/l, normales para cuerpos de agua dulce por la poca presencia de iones disueltos. La normatividad ambiental colombiana no estipula un valor límite para este parámetro, aunque la agencia de protección ambiental de Estados Unidos sugiere un máximo de 500 mg/l de SDT, por lo que el agua del pozo no es apta actualmente para consumo humano sin tratamiento desionizante previo (Figura 5-62).

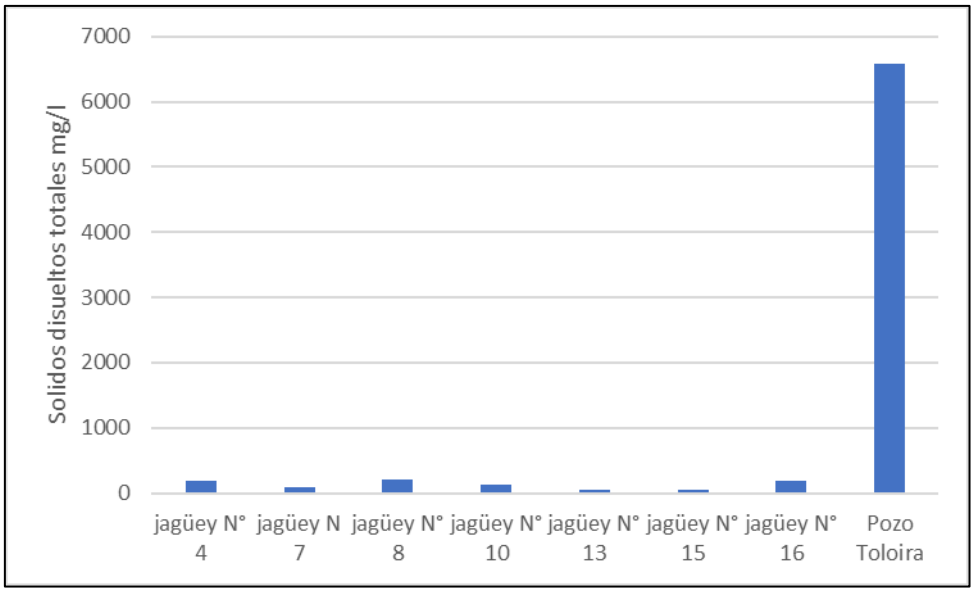


Figura 5-62. Sólidos disueltos totales de los cuerpos de agua analizados

Fuente: Renovatio 2017

5.1.5.1.2.17 *Sólidos sedimentables*

Los sólidos sedimentables se definen como aquella porción de los sólidos suspendidos que se precipitan como consecuencia de la gravedad después de un tiempo de reposo y cuya cantidad se determina precipitándolos en un cono[49].

Los sólidos sedimentables en las muestras analizadas, presentaron concentraciones indetectables (< 1 mg/l) por el método de sedimentación en cono IMHOFF en los jagüeyes 7, 4, 13, 15 y 10 y en el pozo de Toloira, los jagüeyes 8 y 16 presentaron concentraciones de 1,5 y 25 mg/l respectivamente. La normatividad ambiental colombiana no estipula un valor límite para este parámetro (Figura 5-63).

[49] BARBA HO. Op. cit. p. 5-139

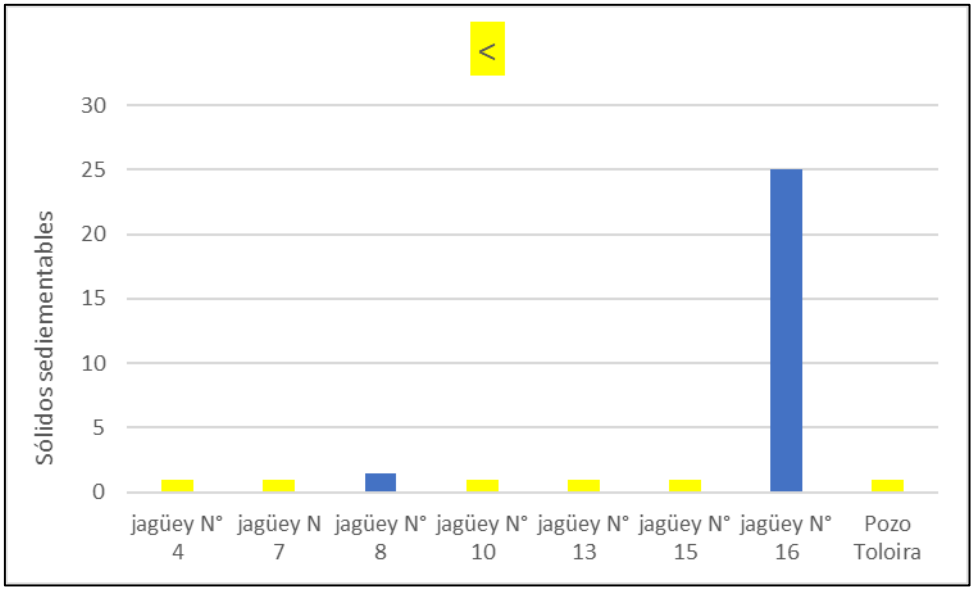


Figura 5-63. Sólidos sedimentables en los cuerpos de agua analizados

Fuente: Renovatio 2017

5.1.5.1.2.18 *Sólidos suspendidos*

Los sólidos suspendidos son todas aquellas sustancias en estado sólido, diferentes del agua, cuyo tamaño es mayor a los 0,2 µm y que se encuentran como su nombre lo indica, suspendidas en ella[50].

Los análisis de las muestras de los cuerpos de agua analizados para sólidos suspendidos mostraron valores entre los 7,5 hasta los 1.710 mg/l. Aunque la normatividad ambiental no menciona valor máximo admisible para este parámetro, valores superiores a 500 mg/l se pueden considerar altos, por lo que los jagüeyes 8 y 16, pueden presentar riesgo para el consumo humano sin previo tratamiento (Figura 5-64).

[50] BARBA HO. Op. cit. p. 5-139

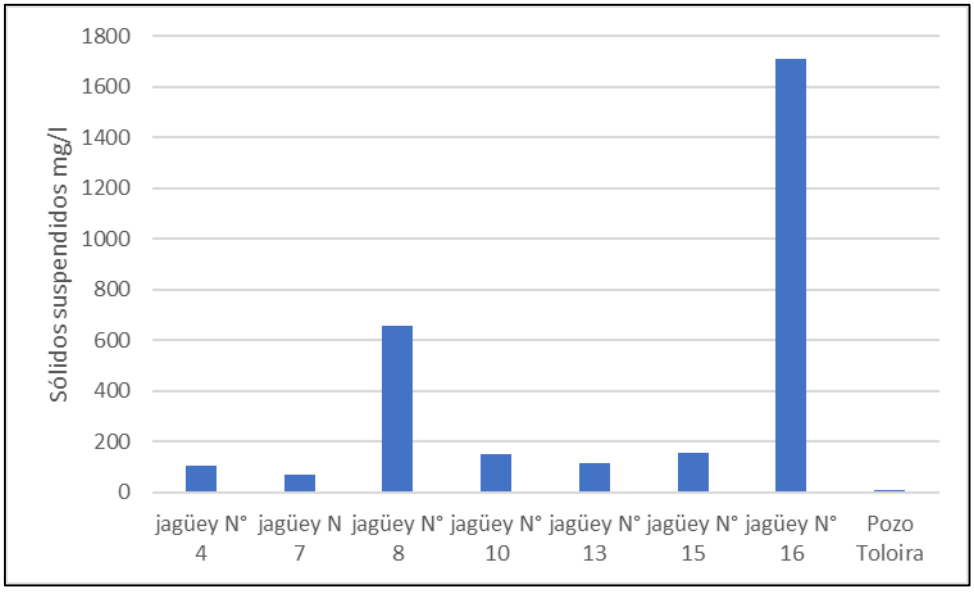


Figura 5-64. Sólidos suspendidos en los cuerpos de agua analizados

Fuente: Renovatio 2017

5.1.5.1.2.19 *Sulfatos*

El sulfato constituye uno de los iones ampliamente distribuidos en la naturaleza y pueden presentarse en aguas naturales desde unos pocos a varios miles de miligramos por mililitro. Cabe destacar que las concentraciones de sulfatos en el agua, pueden presentarse de manera natural o como consecuencia de descargas industriales y/o por utilización de fertilizantes agrícolas. Este nutriente es la principal forma de azufre que puede ser incorporado por varios grupos de organismos autótrofos, para la biosíntesis de sustancias orgánicas azufradas como algunos aminoácidos. En función del contenido de calcio, este ion puede impartirle un carácter ácido al agua. Los sulfatos de calcio y magnesio contribuyen a la dureza del agua y constituyen la dureza permanente[51]. El decreto 1594/84 establece en los artículos 38 y 39 un límite de 400 mg SO_4/l para destinar el recurso para uso doméstico y consumo humano previo tratamiento convencional o de desinfección.

Los valores de las muestras de sulfatos para los cuerpos de agua analizados obtuvieron valores bajos en todos los jagüeyes, los mismos cumplieron con el decreto 1594/84 que fija como valor limite 400 mg SO_4/l. El pozo de Toloira excedió el valor límite con 807,35 mg SO_4/l. Se concluye que existe riesgo para la salud humana al usar el agua del pozo de Toloira sin tratamiento previo para reducir las concentraciones de sulfato (Figura 5-65).

[51] ROLDÁN, G. Op. cit. p. 5-130.

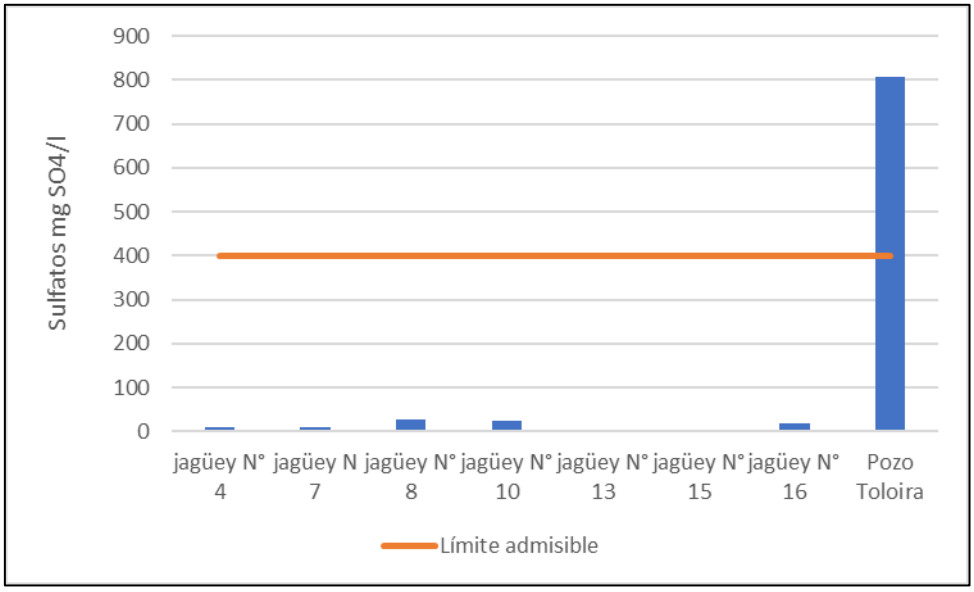


Figura 5-65. Sulfatos de los cuerpos de agua analizados

Fuente: Renovatio 2017

5.1.5.1.2.20 *Turbiedad*

La turbiedad es una expresión del efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua; es decir, es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea re-emitida y no transmitida a través de la suspensión. Es un término que se usa para describir el grado de opacidad del agua, en donde puede ser causada por una gran variedad de materiales en suspensión, que varían en tamaño desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otros, arcillas, limos, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos y otros microorganismos. Por esta razón se dice que este parámetro está relacionado con la cantidad de sólidos suspendidos, y dificulta la vida de algunos organismos, y los sedimentos que se van acumulando destruyen sitios de alimentación o desove de los peces, rellenan lagos o pantanos y obstruyen canales, ríos y puertos[52].

La turbiedad en los cuerpos de agua analizados presentó valores altos a excepción del pozo de Toloira con 3 NTU y el Jagüey 4 con 186 NTU, valor cercano al límite admisible del decreto 1594/84 que establece los 190 NTU como valor límite. Los demás jagüeyes excedieron el anterior decreto mencionado, tres de ellos (jagüeyes 8, 10 y 16) con valores superiores a los 1.000 NTU. Los cuerpos de agua que excedieron la norma, necesitan de un tratamiento de coagulación-floculación, asentamiento y filtración antes de usarse para consumo humano y/o doméstico (Figura 5-66).

[52] ROLDÁN, G. Op. cit. p. 5-130.

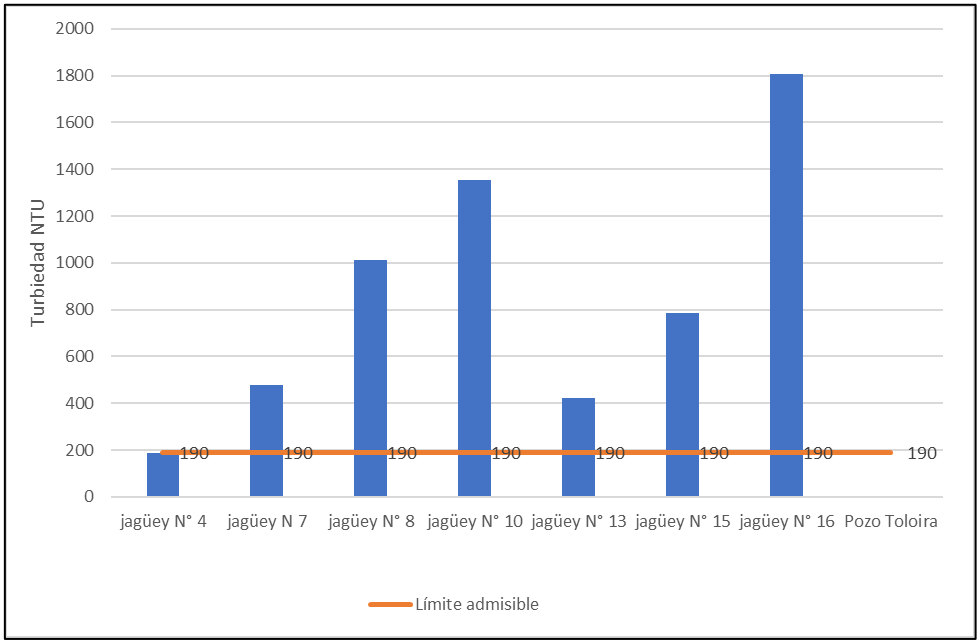


Figura 5-66. Turbiedad de los cuerpos de agua analizados

Fuente: Renovatio 2017

5.1.5.1.2.21 *Demanda química de oxígeno (DQO)*

Es un parámetro analítico de contaminación, que mide el contenido de materia orgánica oxidable químicamente, resultando de esta oxidación CO_2 y agua. La DQO sufre interferencias por la presencia de sustancias inorgánicas susceptibles de ser oxidadas (sulfuros, sulfitos, yoduros...), que también se reflejan en la medida[53]. La normativa ambiental no reporta un valor admisible para DQO, más sin embargo la literatura reporta que de 0 a 20 mg O_2/l, son normales para cuerpos de agua no contaminados.

Los cuerpos de agua analizados para DQO tuvieron valores entre 25,38 y 89,4 mg O_2/l, todos los cuerpos de agua excedieron los 20 mg O_2/l, lo que muestra una fuerte oxidación de materia orgánica proveniente de la contaminación de estos cuerpos de agua con materia orgánica (Figura 5-67).

[53] ROLDÁN, G. Op. cit. p. 5-130.

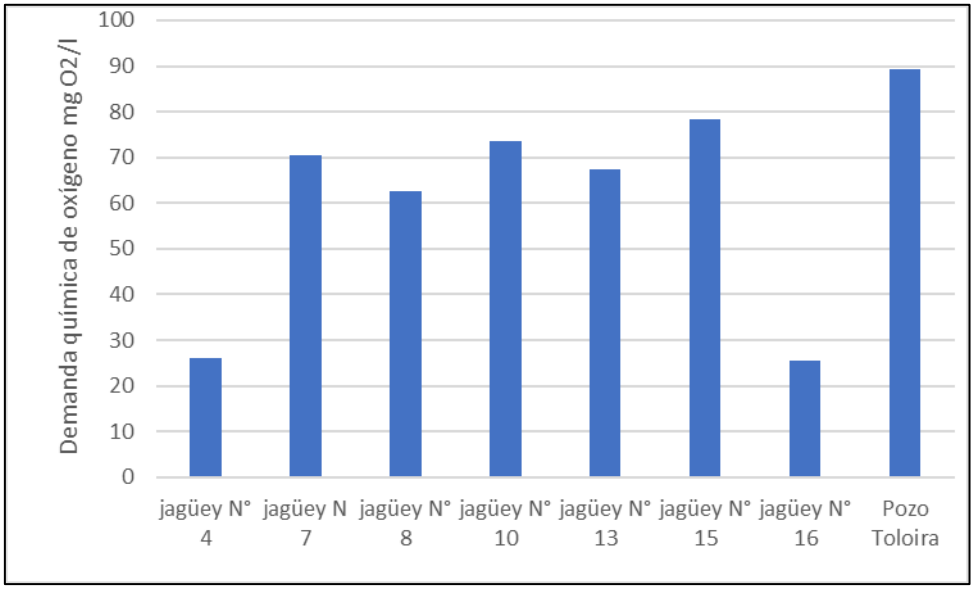


Figura 5-67. DQO en los cuerpos de agua analizados

Fuente: Renovatio 2017

5.1.5.1.2.22 *Dureza cálcica*

La dureza cálcica del agua está definida por la cantidad de iones de calcio presentes en ella. Las aguas con bajos valores de dureza se llaman también “aguas blandas” y biológicamente son poco productivas. Por el contrario, aguas con altos valores de dureza se denominan “duras” y por lo regular son muy productivas. La escala de dureza va de aguas que poseen menos de 10 mg/l las cuales son poco productivas, aguas medianamente productivas que poseen valores entre 10 y 25 mg/l y aguas muy productivas, que poseen valores superiores a los 25 mg/l. En términos de dureza las aguas pueden clasificarse como aguas blandas (0-75 mg/l CaCO3), moderadamente duras (75-150 mg/l CaCO3), duras (150-300 mg/l CaCO3) y muy duras (mayor a 300 mg/l)[54].

Las muestras de los cuerpos de agua analizados, mostraron una dureza cálcica variable con valores entre 20 y 240 mg/l $CaCO_3$. Todas las muestras de los jagüeyes se pueden considerar como aguas blandas por poseer menos de 75 mg/l $CaCO_3$; el pozo de Toloira se considera como un agua dura por estar entre 150-300 mg/l $CaCO_3$. La normatividad colombiana no fija un valor para este parámetro en el agua potable (Figura 5-68).

[54] ROLDÁN, G. Op. cit. p. 5-130.

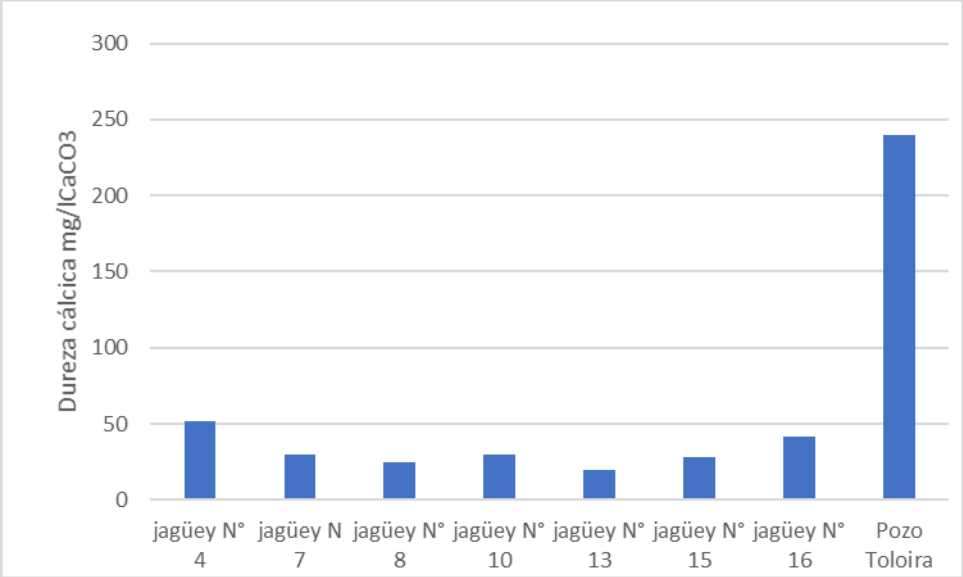


Figura 5-68. Dureza cálcica de los cuerpos de agua analizados

Fuente: Renovatio 2017

5.1.5.1.2.23 *Color real a 436, 525 y 620 nm*

El color interfiere en la transmisión de la luz en las aguas naturales y, por consiguiente, regula los procesos biológicos que en ella se realizan. Las aguas superficiales pueden parecer altamente coloreadas debido a la presencia de materia pigmentada en suspensión, cuando en realidad el agua no tiene color. El agua presenta un “color verdadero” o color específico producido por sustancia en solución o materiales en estado coloidal. El color del agua se debe al resultado de la acción de la luz sobre los materiales particulados suspendidos, junto con otros factores tales como el tipo de fondo o reflexión del cielo. Por su parte el color es definido como el producto de la reflexión de la luz sobre las partículas que se encuentran suspendidas en el agua. En las aguas naturales los causantes principales de color son residuos de material vegetal en descomposición, algunos tipos de ligninas, taninos, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y algas entre otros[55]

El color real a diferentes longitudes de onda en los cuerpos de agua analizados, presentó valores entre 0,71 y 6,94 m -1, el color real a 436 nm mostro los valores más altos de absorbancia, el color real a 525 nm valores intermedios y el color real a 620 nm los valores más bajos (Figura 5-69). Ningún valor excedió los límites permisibles del decreto 1594 de 1984 de 20 nm.

[55] ROLDÁN, G. Op. cit. p. 5-130.

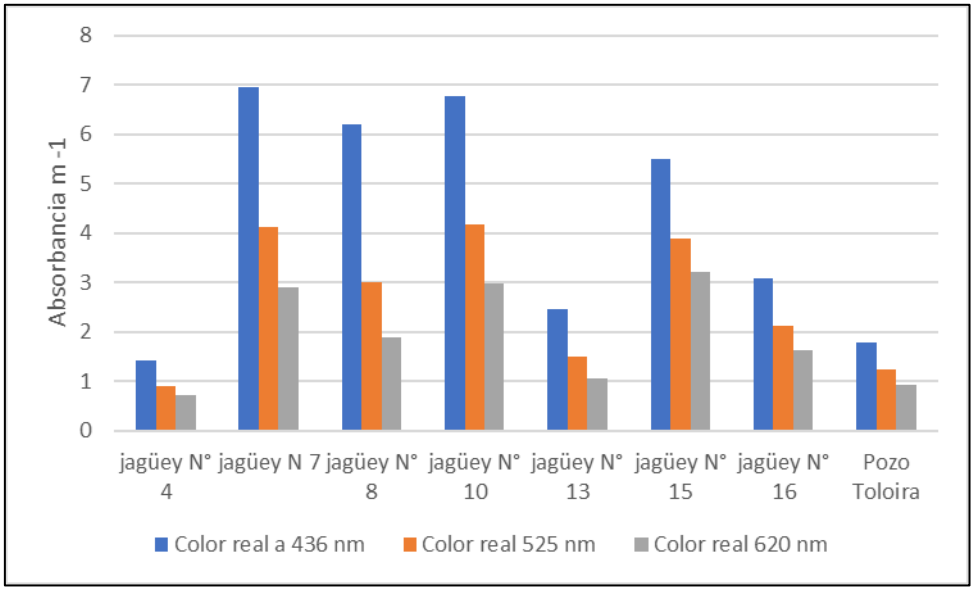


Figura 5-69. Absorbancia del color en diferentes longitudes de onda para los cuerpos de agua analizados

Fuente: Renovatio 2017

5.1.5.1.2.24 *Coliformes*

La denominación genérica coliformes designa a un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua, pertenecen a la familia Enterobacteriaceae y se caracterizan por su capacidad para fermentar la lactosa con producción de ácido y gas, más o menos rápidamente, en un periodo de 48 horas y con una temperatura de incubación comprendida entre 30-37ºC. Las bacterias coliformes fecales forman parte del total del grupo coliforme, son definidas como bacilos gram-negativos, no esporulados que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas a 44,4 °C +/− 0.2 °C dentro de las 24 +/− 2 horas, la mayor especie en el grupo de coliforme fecal es el *Escherichia coli*[56]

Para los coliformes totales, los cuerpos de agua analizados, mostraron valores que oscilaron entre 22 y 70.000 NMP/100 ml. El decreto 1594 de 1984, plantea como límite admisible para agua de consumo humano y/o doméstico 20.000 NMP/100 ml de coliformes totales, el jagüey 15 excede este valor con 70.000 NMP/100 ml, los demás cuerpos de agua analizados cumplen con dicha normatividad (Figura 5-69).

Para los coliformes fecales, los cuerpos de agua analizados, mostraron valores que oscilaron entre 17 y 28.000 NMP/100 ml. El decreto 1594 de 1984, plantea como límite admisible para agua de consumo humano y/o domestico 2.000 NMP/100 ml de coliformes fecales, el jagüey

[56] KONEMAN, E. W., y ALLEN, S. KONEMAN. Diagnostico Microbiologico/Microbiological diagnosis: Texto Y Atlas En Color/Text and Color Atlas. Ed. Médica Panamericana. (2008).

15 con 28.000 NMP/100 ml excede este valor, los demás cuerpos de agua analizados, cumplen con la mencionada normatividad (Figura 5-71).

Es importante mencionar, que el jagüey 15 excedió tanto en coliformes totales y fecales la normatividad ambiental, por lo que este cuerpo de agua presenta riesgo para la salud humana si se destina para uso humano y/o doméstico, sin previa desinfección.

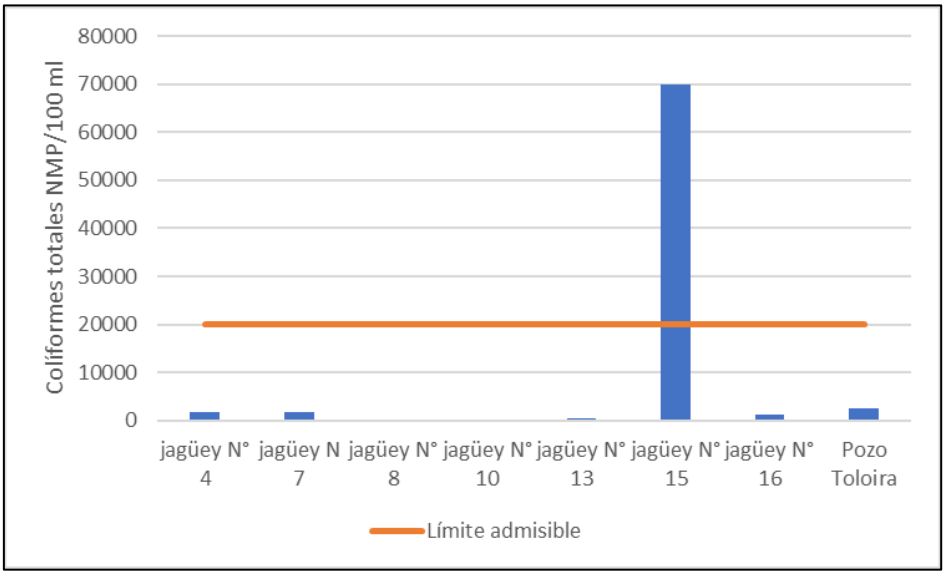


Figura 5-70. Coliformes totales de los cuerpos de agua analizados

Fuente: Renovatio 2017

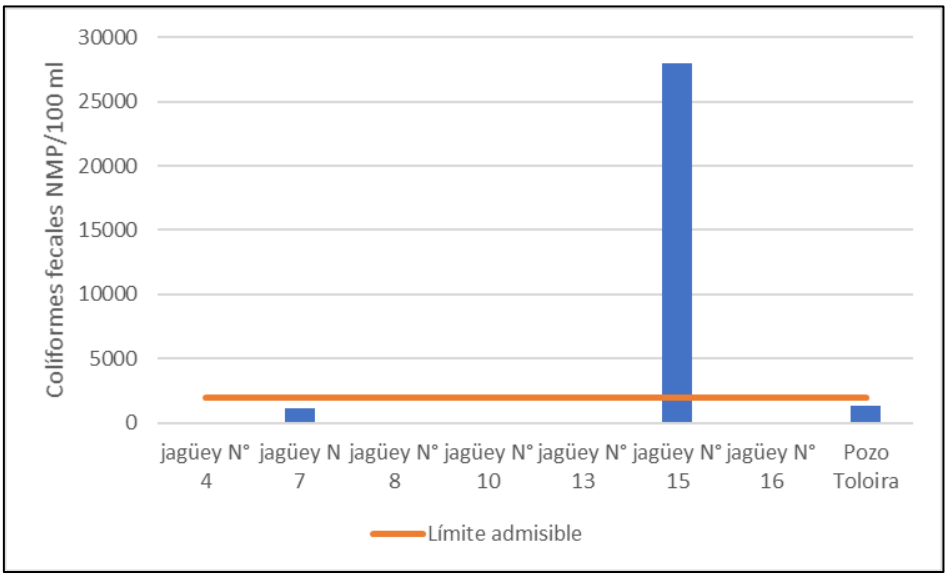


Figura 5-71. Coliformes fecales de los cuerpos de agua analizados

Fuente: Renovatio 2017

5.1.5.1.2.25 *Metales para el cuerpo de agua subterránea (Pozo Toloira)*

El término metal se refiere a cualquier elemento químico metálico que tiene una densidad relativamente alta. Los metales pesados son componentes naturales de la corteza terrestre. No pueden ser degradados o destruidos. Algunos metales pesados (por ejemplo, cobre, selenio, zinc) son esenciales para mantener el metabolismo del cuerpo humano. Sin embargo, a concentraciones más altas pueden conducir a la intoxicación[57]. La toxicidad de un metal pesado dependerá de la propia naturaleza del metal y de su disponibilidad en el ambiente, atendiendo a estos dos factores se clasifican los metales en tres categorías:

No crítico: Na, K, Mg, Ca, Fe, Br, Li, Rb, Si, Mn y Al*.

*El aluminio es tóxico para la biota, tanto terrestre como acuática cuando se moviliza a un bajo pH.

Tóxicos pero muy insolubles: Ti, Hf, Zr, W, Nb, Ta, Re, Ga, Os, Rh, Ir, Ru y Ba.

Muy tóxicos y relativamente disponibles: Be, Co, Ni, Cu, Zn, Sn, Cr, As, Se, Te, Pb, Ag, Cd, Pt, Au, Hg, Tl, Sb y B[58]i.

Con respecto a la caracterización de metales para el cuerpo de agua subterránea nombrado Pozo Toloira, existe certeza de que el Calcio excede los límites admisibles del decreto 1594 de 1984 de 60 mg/l, puesto que se reporta con 97 mg Ca/l. Para los otros metales que exceden la normatividad, no existe la certeza de si exceden los límites permisibles, puesto que las técnicas de laboratorio tienen como mínimo de detección valores mayores a los limites admisibles, por lo que se reportan estos valores por encima de la norma como medida de seguridad, teniendo en cuenta que en el próximo monitoreo que se realice en dicho cuerpo de agua se deberá utilizar en los análisis de estos metales técnicas más precisas de detección, los metales anteriormente mencionados son el Cadmio (Cd), el Cromo (Cr), el Níquel (Ni), la Plata (Ag) y el Plomo (Pb) (Tabla 5-69).

5.1.5.1.2.26 *Salinidad para el cuerpo de agua subterránea (Pozo Toloira)*

La salinidad del agua se define como la acumulación excesiva de sales, cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos y nitratos de sodio, potasio, calcio y magnesio. La salinidad es una propiedad importante de aguas naturales. Este parámetro se concibió como una medida de la cantidad total de sales disueltas en un volumen determinado de agua. La salinidad está directamente relacionada con la conductividad, densidad, índice de refracción ó velocidad del sonido en agua. La cantidad de sales en solución afecta varios procesos físicos importantes, así como propiedades importantes del agua y de substancias disueltas en agua tales como:

[57] CARBOTECNIA. Citado en https://www.carbotecnia.info/encyclopedia/metales-pesados/. [Consultado el 12 de septiembre del 2017].
[58] WOOD, J.M. Biological cycles for toxic elements in the environment: Science, v. 183, p. 1049-1052. 1974.

densidad, viscosidad, tensión superficial, presión osmótica, punto de fusión, punto de ebullición y solubilidad de gases[59].

El pozo Toloira presentó una salinidad alta de 5.600 mg/l (Tabla 5-69), aunque la normatividad colombiana no reporta un valor máximo admisible para este parámetro, esta agua representa riesgos para la salud humana al ser consumida sin previo tratamiento de desalinización, además, si esta agua se utiliza para riego de plantas o para calmar la sed de animales, también estos se pueden ver afectados.

5.1.5.1.2.27 *Hidrocarburos para el cuerpo de agua subterránea (Pozo Toloira)*

Los hidrocarburos son compuestos orgánicos formados únicamente por átomos de carbono e hidrógeno. La contaminación de las aguas por hidrocarburos en los sistemas de almacenamiento, en las fuentes de abastecimiento subterráneas y superficiales, así como en otros cuerpos de agua es un hecho que ocurre con relativa frecuencia. Este tipo de contaminación produce un cambio en las características organolépticas del agua que induce al rechazo de los consumidores, y su ingestión representa un riesgo para la salud; asimismo, el ecosistema puede sufrir afectaciones debidas al impacto negativo de estos contaminantes sobre sus diferentes componentes[60].

El Pozo Toloira presentó valores indetectables para hidrocarburos totales (Tabla 5-69), a su vez la normatividad ambiental colombiana no reporta un valor admisible para este parámetro.

5.1.5.1.2.28 *Índice de Langelier*

El Índice de Langelier es un índice para calcular el carácter incrustante o agresivo del agua y tiene que ver con los diversos equilibrios en el agua del anhídrido carbónico, bicarbonato-carbonatos, el pH, la temperatura, la concentración de calcio y la salinidad total. Es importante para poder controlar la incrustación o la corrosión en las redes de distribución del agua y para las instalaciones interiores domésticas. Las aguas que presentan este índice = 0 se consideran equilibradas, < 0 indican que el agua es corrosiva y > 0 indican que el agua es incrustante[61].

Los cuerpos de agua analizados presentaron un rango en este índice desde - 0,8 hasta 1,5. Los cuerpos de agua de naturaleza corrosiva son todos los jagüeyes excepto el jagüey 4, con valores entre – 0,8 y – 0,3, así mismo el jagüey 4 y el pozo Toloira contienen aguas de naturaleza incrustante con valores de 0,5 y 1,5 respectivamente (Figura 5-72). La literatura reporta que valores entre – 0,5 y 0,5 se pueden considerar normales y tienden al equilibrio, valores menores y superiores a estos hacen necesarios tratamientos (regulando el pH, osmosis, suavizando etc.) para dichos cuerpos de agua[62]. Por la anterior razón, el pozo Toloira se considera altamente incrustante, se puede corregir adicionando acido para neutralizar su

[59] PARAMETROS FISICO-QUIMICOS: SALINIDAD. Citado en < http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-salinidad.pdf>. [Consultado el 12 de septiembre del 2017].

[60] PRIETO DÍAZ VICENTE y AGUSTÍN MARTÍNEZ DE VILLA PÉREZ. instituto nacional de higiene, epidemiología y microbiología. 1999;37(1):13-20.

[61] CALCULO DEL ÍNDICE DE LANGELIER. Citado en < http://www.nordconsultors.es/indice-langelier.html>. [Consultado el 12 de septiembre del 2017].

[62] CARBOTECNIA. Citado en https://www.carbotecnia.info/agua-casa-empresa-puede-corrosiva-incrustante/. [Consultado el 13 de septiembre del 2017].

pH o reduciendo su dureza, así mismo los jagüeyes 10, 8, 13 y 16 necesitan medidas correctivas.

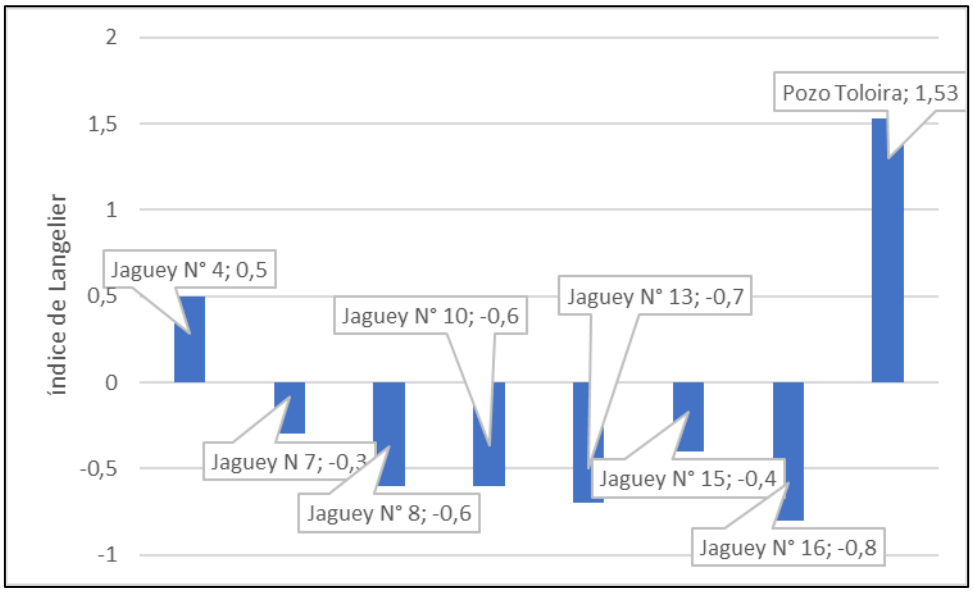


Figura 5-72. Índice de Langelier para los cuerpos de agua analizados

Fuente: Renovatio 2017

5.1.5.1.2.29 *Índice de calidad del agua (ICA)*

El Índice de calidad del agua es el valor numérico que califica en una de cinco categorías, la calidad del agua de una corriente superficial, con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de cinco o seis variables físico- químicas básicas, registradas en una estación de monitoreo j en el tiempo t. Los valores calculados del indicador se comparan con los establecidos en tablas de interpretación permitiéndose clasificar la calidad del agua de forma descriptiva en una de cinco categorías (buena, aceptable, regular, mala ó muy mala) que a su vez se asocian a un determinado color (azul, verde, amarillo, naranja y rojo, respectivamente) [63].

Los cuerpos de agua analizados presentaron valores para el ICA entre 0,24 el de peor calidad y 0,69 el valor mayor, el jagüey 8 presentó una calidad muy mala con un valor de 0,24, el pozo Toloira estuvo cerca de este valor con 0,26 mala, le sigue el jagüey 16 con 0,30 mala, el jagüey 10 con 0,37 mala, y el jaguey 4 con 0,41 mala; finalmente, los jagüeyes 13 y 15 se calificaron como moderados con 0,53 y 0,69 respectivamente (Tabla 5-70). Es importante anotar, que con las condiciones actuales la mayoría de los cuerpos de agua analizados representan riesgos para la salud humana, si esta agua se usa para consumo humano y/o domestico sin previo tratamiento, especialmente en los cuerpos de agua cuya calificación fue muy mala y

[63] IDEAM. Formato común hoja metodológica. Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA). Bogotá Colombia. 11 p.

mala, así mismo, los dos cuerpos de agua que se calificaron como aceptables deben de recibir tratamiento de potabilización si dichas aguas se destinan para consumo humano.

Tabla 5-70. ICA para los cuerpos de agua analizados

Variable/ cuerpo de agua	Oxígeno disuelto	Sólidos suspendidos totales	Demanda Química de oxigeno	Conductividad eléctrica	pH	ICA	Calificación
jagüey N° 4	0,16	0,13	0,11	0	0,04	0,41	Mala
jagüey N 7	0,154	0,162	0,057	0,108	0,004	0,48	Mala
jagüey N° 8	0,164	0	0,057	0	0,022	0,24	Muy mala
jagüey N° 10	0,179	0,086	0,057	0,032	0,022	0,37	Mala
jagüey N° 13	0,168	0,134	0,057	0,137	0,039	0,53	Regular
jagüey N° 15	0,166	0,111	0,057	0,156	0,2	0,69	Regular
jagüey N° 16	0,167	0	0,112	0	0,022	0,30	Mala
Pozo Toloira	0,014	0,199	0,027	0	0,022	0,26	Mala

Fuente: Renovatio 2017

5.1.5.1.2.30 *Índice de alteración potencial de la calidad del agua (IACAL)*

El índice de alteración potencial de la calidad de agua (IACAL), es el referente de la presión sobre las condiciones de calidad de agua en los sistemas hídricos superficiales del país. Se evalúa a partir del promedio de las jerarquías asignadas a las cargas contaminantes de materia orgánica, sólidos suspendidos y nutrientes ejercidas por el sector doméstico de 1099 municipios y el industrial de 186 municipios y agrícola (café y cultivo de coca)[64].

[64] IDEAM. Citado en <http://www.ideam.gov.co/web/agua/iacal>. [Consultado el 13 de septiembre del 2017]

El IACAL para la subzona hidrográfica Río Carraipia - Paraguachón -directos al Golfo Maracaibo, la cual es la subzona hidrográfica a la que pertenece el área del proyecto eólico ALPHA, presenta dos diferentes alteraciones con respecto a las condiciones de lluvia (año medio y año seco). Prácticamente la única contaminación para los cuerpos de agua tenida en cuenta para dicha subzona hidrográfica, corresponde a los vertimientos de aguas negras provenientes del municipio de Maicao, ya que la industria y agricultura que se presentan en la mencionada subzona es escasa.

Para las condiciones de año medio, la subzona hidrográfica presenta una calificación de la vulnerabilidad moderada (representada por un color verde en el IACAL), lo que significa que la potencial afectación en la calidad del agua de los cuerpos de agua de la subzona hidrológica, en un año de lluvia media es moderada (Figura 5-73).

Para las condiciones de año seco, la subzona hidrográfica presenta una calificación de la vulnerabilidad muy alta (representada por un color rojo en el IACAL), lo que significa que la potencial afectación en la calidad del agua de los cuerpos de agua de la subzona hidrológica, en un año seco es muy alto (Figura 5-74).

Las diferencias en el IACAL para un periodo de año medio y seco en la subzona hidrográfica Río Carraipia - Paraguachón -directos al Golfo Maracaibo, se debe a que la fuente principal de contaminación son los vertimientos de aguas negras del municipio de Maicao, dichos vertimientos permanecen constantes tanto en año seco como medio, mientras que el rio Carraipía y los arroyos de la subzona hidrográfica tienen marcadas diferencias en el caudal para un año seco en comparación con un año medio, lo que conlleva a que las concentraciones de los contaminantes analizados en los cuerpos de agua (nitrógeno y fosforo total, materia orgánica y solidos totales) sean mucho mayores en un año seco que para un año medio.

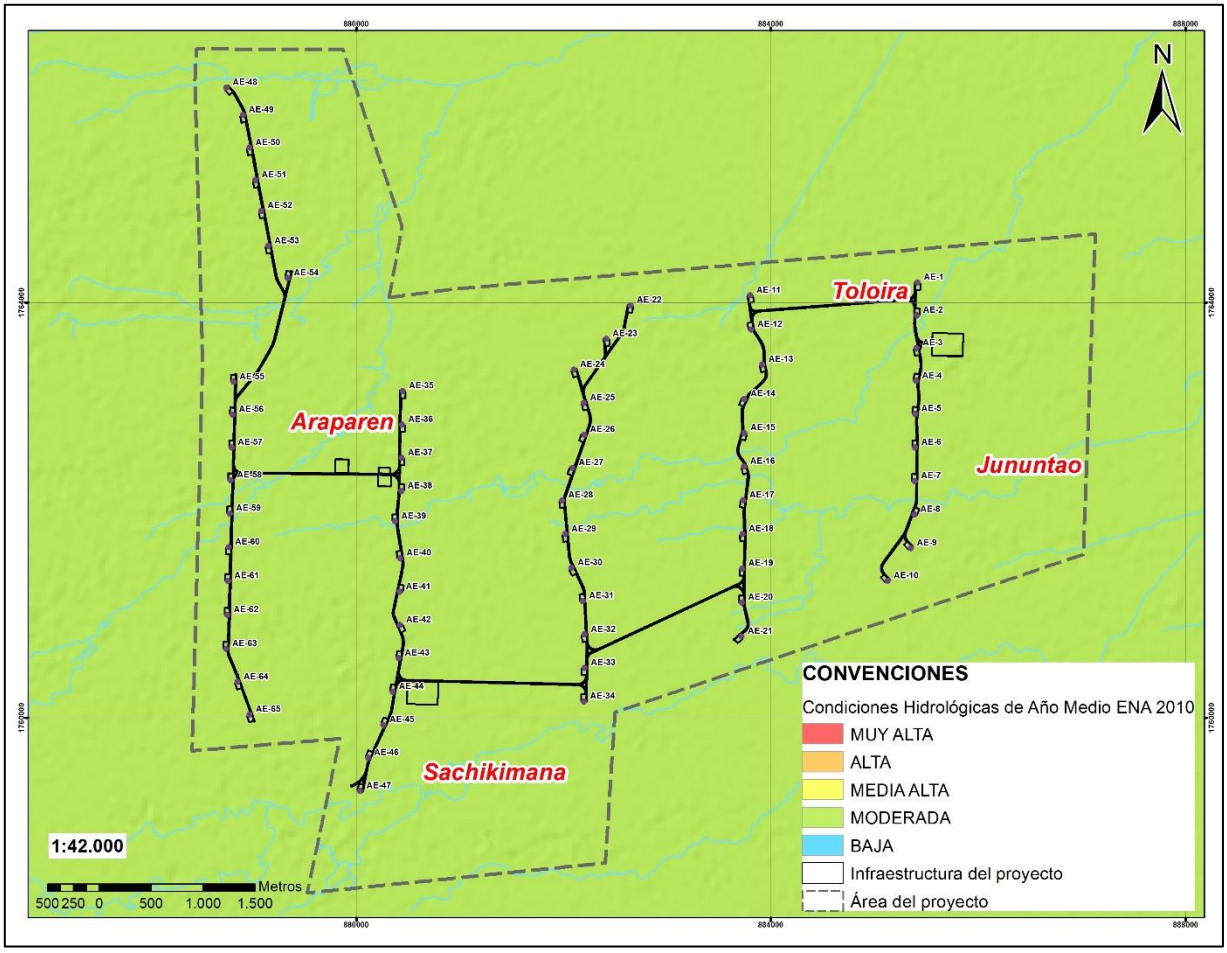


Figura 5-73. IACAL en condiciones de año medio en el área del proyecto

Fuente: IDEAM[65]

[65] IDEAM. Estudio nacional de agua. 2010.

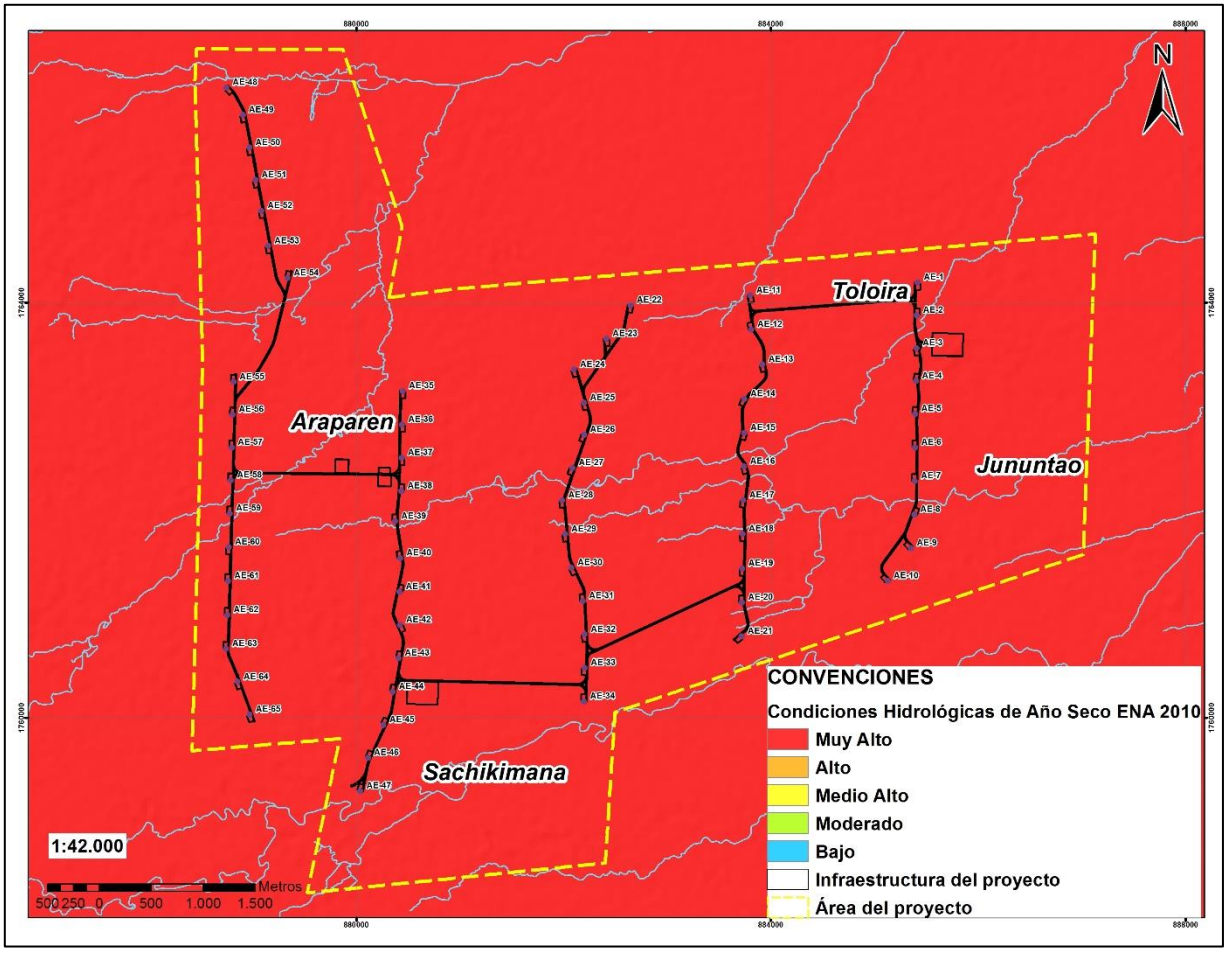


Figura 5-74. IACAL en condiciones de año seco en el área del proyecto

Fuente: IDEAM[66]

[66] Ibíd., p. 5-157.

5.1.5.2 *Caracterización de los cauces susceptibles de intervención*

Para las visitas a los arroyos susceptibles de intervención por ocupaciones de cauce se consideraron dos (2) periodos de sequía (febrero de 2017 y agosto de 2017) y uno (1) de lluvia (mayo de 2017), como lo establecen los términos de referencia para zonas desérticas. En todas las salidas de campo, los arroyos se encontraron secos, incluso en época húmeda debido al rápido drenaje de las aguas lluvias que es característico de los arroyos intermitentes y efímeros de esta zona, los arroyos pueden permanecer con agua por unos pocos días, dependiendo de la intensidad de la temporada invernal, según fuentes locales. Cabe resaltar que el proyecto no hará intervención a cauces por concesión de aguas o por vertimientos a corrientes hídricas. En la Figura 5-75 se muestran los puntos de ocupación de cauce donde se realizaron las visitas correspondientes y en la Tabla 5-71 las coordenadas respectivas:

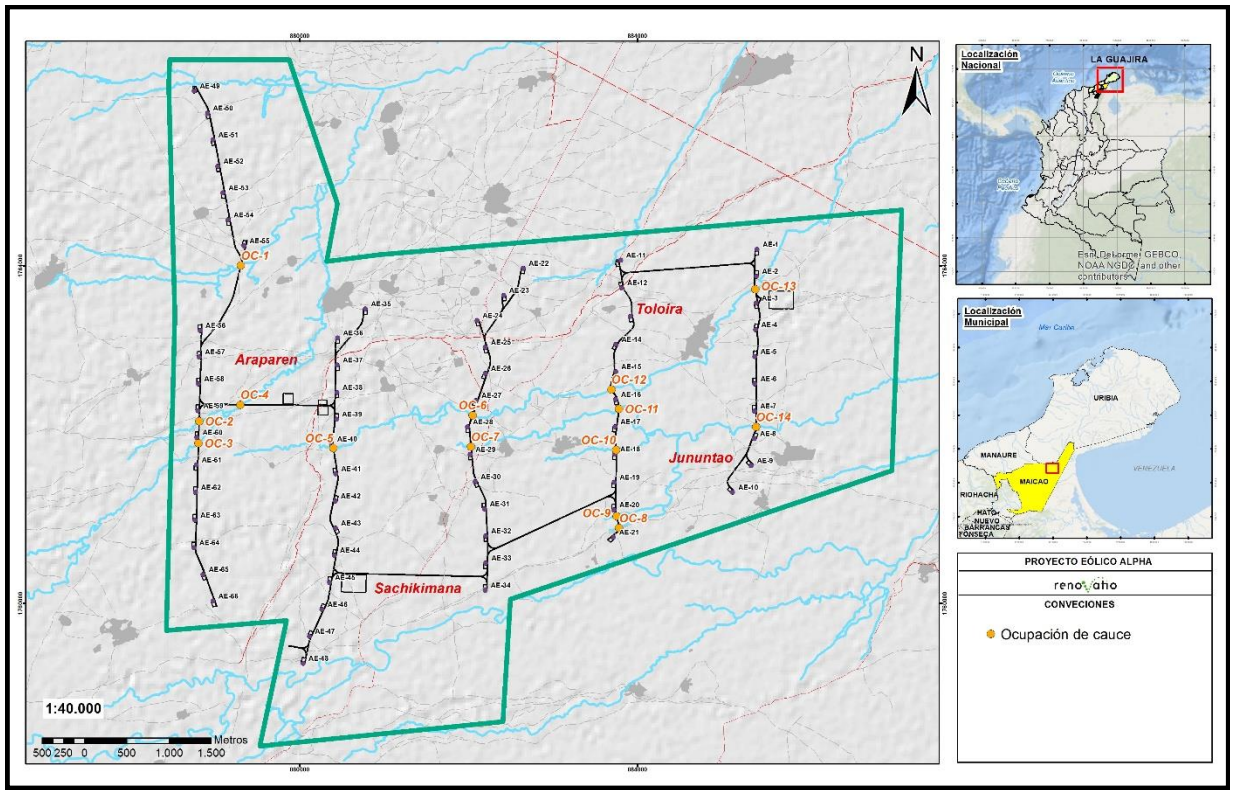


Figura 5-75. Ocupaciones de cauce visitadas en época seca (febrero y agosto) y época húmeda (mayo)

Fuente: Renovatio 2017

Tabla 5-71. Ocupaciones de cauce visitadas en época seca (febrero y agosto) y época húmeda (mayo)

Ocupación de cauce	Coordenadas (Magna Sirgas-Origen Este)	
	Este	Norte
OC 1	879300,0984	1764001,9433
OC 2	878806,8803	1762157,6503
OC 3	878798,9559	1761898,4491
OC 4	879294,3675	1762351,9964
OC 5	880396,3188	1761840,2839
OC 6	882043,8215	1762229,0569
OC 7	882026,3460	1761855,3234
OC 8	883777,3872	1760893,3493
OC 9	883749,6551	1761033,5222
OC 10	883744,8621	1761817,4772
OC 11	883777,4948	1762302,6887
OC 12	883688,1096	1762533,5041
OC 13	885393,0478	1763721,0176
OC 14	885400,5217	1762090,3753

Fuente: Renovatio 2017

5.1.5.2.1 Ocupación de Cauce Número 1 (OC1)

Ficha 5-1. Ocupación de cauce Número 1 (OC1)			
Nombre de la fuente.	Kashirain		
Ranchería	Araparen		
Coordenadas	879300,0984	1764001,9433	16 msnm
Obra de intervención proyecto	Vía		
Registro fotográfico época seca 1 **Fecha de la visita** 20 de febrero de 2017			
Caudal	Seco		
Registro fotográfico época húmeda **Fecha de la visita** 27 de mayo de 2017			
Caudal	Seco		

Ficha 5-1. Ocupación de cauce Número 1 (OC1)	
Registro fotográfico época seca 2 **Fecha de la visita** 28 de agosto de 2017	 

Ficha 5-1. Ocupación de cauce Número 1 (OC1)	
	
Caudal	Seco
Observaciones	Se observa vegetación de la zona alrededor del arroyo (Trupillos, dividivi, cactus) y estrofas dentro del curso del arroyo. Se encuentra con arena acumulada a lo largo del cauce. Esta ocupación se encontró seca en las tres visitas realizadas.

Fuente: Renovatio 2017

5.1.5.2.2 Ocupación de Cauce Número 2 (OC2)

Ficha 5-2. Ocupación de cauce Número 2 (OC2)			
Nombre de la fuente.	Jorotson		
Ranchería	Araparen		
Coordenadas	878806,8803	1762157,6503	24 msnm
Obra de intervención proyecto	Vía		
Registro fotográfico época seca 1 **Fecha de la visita** 21 de febrero de 2017			
Caudal	Seco		
Registro fotográfico época húmeda **Fecha de la visita** 27 de mayo de 2017	 		
Caudal	Seco		

Ficha 5-2. Ocupación de cauce Número 2 (OC2)	
Registro fotográfico época seca 2 **Fecha de la visita** 30 de agosto de 2017	 
Caudal	Seco
Observaciones	Se encuentra con vegetación alrededor del curso del arroyo, bastante trupillo y dividivi. El arroyo se encontró seco en las tres visitas realizadas.

Fuente: Renovatio 2017

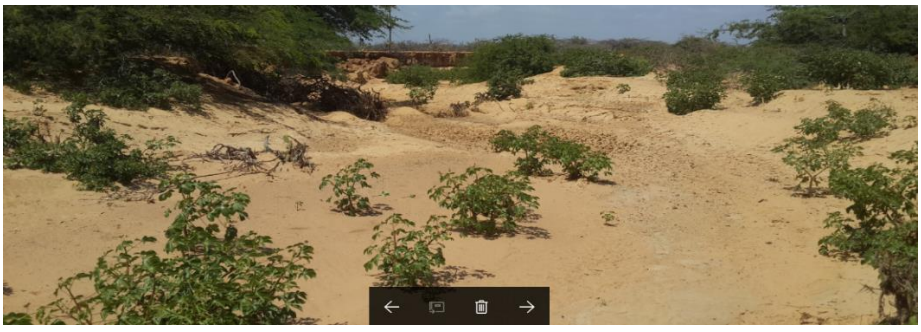
5.1.5.2.3 Ocupación de Cauce Número 3 (OC3)

Ficha 5-3. Ocupación de cauce Número 3 (OC3)			
Nombre de la fuente.	Sin Nombre		
Ranchería	Araparen		
Coordenadas	878798,9559	1761898,4491	25 msnm
Obra de intervención proyecto	Vía		
Registro fotográfico época seca 1 **Fecha de la visita** 21 de febrero de 2017	 		
Caudal	Seco		
Registro fotográfico época húmeda **Fecha de la visita** 27 de mayo de 2017	 		
Caudal	Seco		

Ficha 5-3. Ocupación de cauce Número 3 (OC3)	
Registro fotográfico época seca 2 **Fecha de la visita** 30 de agosto de 2017	 
Caudal	Seco
Observaciones	Se observa vegetación de la zona alrededor del arroyo (Trupillos, dividivi, cactus) y estrofas dentro del curso del arroyo. Se encuentra con arena acumulada a lo largo del cauce. Esta ocupación se encontró seca en las tres visitas realizadas.

Fuente: Renovatio 2017

5.1.5.2.4 Ocupación de Cauce Número 4 (OC4)

Ficha 5-4. Ocupación de cauce Número 4 (OC4)			
Nombre de la fuente.	Jorotson		
Ranchería	Araparen		
Coordenadas	879294,3675	1762351,9964	22 msnm
Obra de intervención proyecto	Vía		
Registro fotográfico época seca 1 **Fecha de la visita** 21 de febrero de 2017			
Caudal	Seco		
Registro fotográfico época húmeda **Fecha de la visita** 27 de mayo de 2017	 		
Caudal	Seco		

Ficha 5-4. Ocupación de cauce Número 4 (OC4)	
Registro fotográfico época seca 2 **Fecha de la visita** 30 de agosto de 2017	 
Caudal	Seco
Observaciones	En la segunda y tercera salida se evidenció vegetación dentro del cauce donde se ubicará la ocupación. En la tercera salida, se encontraban algunas zonas del arroyo empantanadas, sin embargo en ninguna de salidas se encontró corriente de agua.

Fuente: Renovatio 2017

5.1.5.2.5 Ocupación de Cauce Número 5 (OC5)

Ficha 5-5. Ocupación de cauce Número 5 (OC5)			
Nombre de la fuente.	Irruaín		
Ranchería	Araparen		
Coordenadas	880396,3188	1761840,2839	28 msnm
Obra de intervención proyecto	Vía		
Registro fotográfico época seca 1 **Fecha de la visita** 21 de febrero de 2017	 		
Caudal	Seco		
Registro fotográfico época húmeda **Fecha de la visita** 27 de mayo de 2017	 		
Caudal	Seco		

Ficha 5-5. Ocupación de cauce Número 5 (OC5)	
Registro fotográfico época seca 2 **Fecha de la visita** 27 de agosto de 2017	 
Caudal	Seco
Observaciones	En la tercera salida, se observó estancamiento de agua muy pequeño dentro del cauce, la flora se encuentra reverdecida por lluvias en días anteriores. Aunque era temporada seca, hubo lluvias debido a los coletazos de los huracanes del caribe. No se observó agua corriente en ninguna de las tres salidas realizadas.

Fuente: Renovatio 2017

5.1.5.2.6 Ocupación de Cauce Número 6 (OC6)

Ficha 5-6. Ocupación de cauce Número 6 (OC6)			
Nombre de la fuente.	Irruaín		
Ranchería	Sachikimana		
Coordenadas	882043,8215	1762229,0569	19 msnm
Obra de intervención proyecto	Vía		
Registro fotográfico época seca **Fecha de la visita** 18 de febrero de 2017			
Caudal	Seco		
Registro fotográfico época húmeda **Fecha de la visita** 23 de mayo de 2017			
			
Caudal	Seco		

Ficha 5-6. Ocupación de cauce Número 6 (OC6)	
Registro fotográfico época seca **Fecha de la visita** 29 de agosto de 2017	 
Caudal	Agua estancada. Cálculo de la sección del cauce: ancho 5m, altura de la lámina de agua 1.00 m.
Observaciones	En la tercera salida, se evidencia agua estancada en algunas partes del arroyo, y partes húmedas. se presume que la acumulación de agua fue como consecuencia de la tormenta Harvey. En las salidas de febrero y mayo de 2017, la ocupación de cauce se encontró seca.

Fuente: Renovatio 2017

5.1.5.2.7 Ocupación de Cauce Número 7 (OC7)

Ficha 5-7. Ocupación de cauce Número 7 (OC7)			
Nombre de la fuente.	Joumana		
Ranchería	Sachikimana		
Coordenadas	882026,3460	1761855,3234	22 msnm
Obra de intervención proyecto	Vía		
Registro fotográfico época seca 1 **Fecha de la visita** 18 de febrero de 2017			
Caudal	Seco. No se evidenció un arroyo con laderas definidas en temporada seca.		
Registro fotográfico época húmeda **Fecha de la visita** 23 de mayo de 2017	 		
Caudal	Seco		

Ficha 5-7. Ocupación de cauce Número 7 (OC7)	
Registro fotográfico época seca 2 **Fecha de la visita** 29 de agosto de 2017	 
Caudal	Seco
Observaciones	Se observa vegetación de la zona alrededor del arroyo (Trupillos, dividivi, cactus). Esta ocupación se encontró seca en las tres visitas realizadas.

Fuente: Renovatio 2017

5.1.5.2.8 Ocupación de Cauce Número 8 (OC8)

Ficha 5-8. Ocupación de cauce Número 8 (OC8)			
Nombre de la fuente.	Sin nombre		
Ranchería	Jununtao		
Coordenadas	883777,3872	1760893,3493	20 msnm
Obra de intervención proyecto	Vía		
Registro fotográfico época seca 1 **Fecha de la visita** 18 de febrero de 2017			
Caudal	Seco		
Registro fotográfico época húmeda **Fecha de la visita** 25 de mayo de 2017	 		
Caudal	Seco		

Ficha 5-8. Ocupación de cauce Número 8 (OC8)	
Registro fotográfico época seca 2 **Fecha de la visita** 30 de agosto de 2017	 
Caudal	Seco
Observaciones	Es un cauce pequeño con laderas poco definidas. Se encontró seco en las tres visitas realizadas.

Fuente: Renovatio 2017

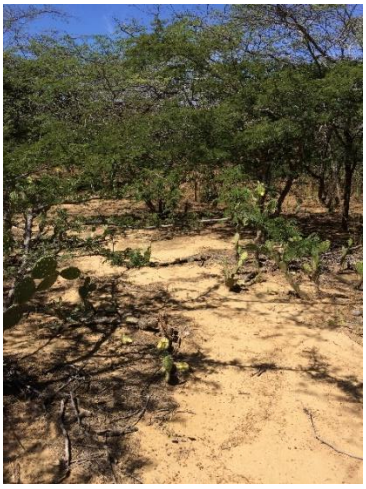
5.1.5.2.9 Ocupación de Cauce Número 9 (OC9)

Ficha 5-9. Ocupación de cauce Número 9 (OC9)			
Nombre de la fuente.	Sin nombre		
Ranchería	Jununtao		
Coordenadas	883749,6551	1761033,5222	20 msnm
Obra de intervención proyecto	Vía		
Registro fotográfico época seca 1 **Fecha de la visita** 18 de febrero de 2017	 		
Caudal	Seco		
Registro fotográfico época húmeda **Fecha de la visita** 25 de mayo de 2017	 		
Caudal	Seco		

Ficha 5-9. Ocupación de cauce Número 9 (OC9)		
Registro fotográfico época seca 2 **Fecha de la visita** 30 de agosto de 2017		
		
Caudal	Seco	
Observaciones	Es un cauce pequeño con laderas poco definidas. Se encontró seco en las tres visitas realizadas.	

Fuente: Renovatio 2017

5.1.5.2.10 Ocupación de Cauce Número 10 (OC10)

Ficha 5-10. Ocupación de cauce Número 10 (OC10)			
Nombre de la fuente.	Sin nombre		
Ranchería	Jununtao		
Coordenadas	883744,8621	1761817,4772	19 msnm
Obra de intervención proyecto	Vía		
Registro fotográfico época seca 1 **Fecha de la visita** 18 de febrero de 2017			
Caudal	Seco. No se observa bien definido un cauce en esta temporada seca.		
Registro fotográfico época húmeda **Fecha de la visita** 25 de mayo de 2017	 		
Caudal	Seco. No se observa bien definido un cauce en temporada húmeda.		

Ficha 5-10. Ocupación de cauce Número 10 (OC10)	
Registro fotográfico época seca 2 **Fecha de la visita** 30 de agosto de 2017	OC 10 este punto no se realizó por seguridad ya que estaba muy enmontado. En las visitas anteriores no se evidenció laderas del cauce definidas.
Caudal	N/A

Fuente: Renovatio 2017

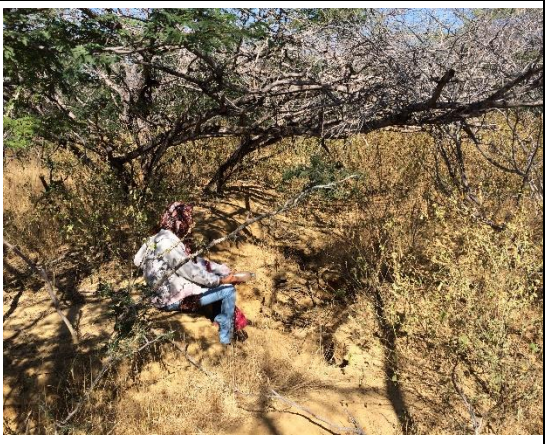
5.1.5.2.11 Ocupación de Cauce Número 11 (OC11)

Ficha 5-11. Ocupación de cauce Número 11 (OC11)			
Nombre de la fuente.	Joumana		
Ranchería	Jununtao (en límites con Toloira)		
Coordenadas	883777,4948	1762302,6887	21 msnm
Obra de intervención proyecto	Vía		
Registro fotográfico época seca 1 **Fecha de la visita** 17 de febrero de 2017			
Caudal	Seco		
Registro fotográfico época húmeda **Fecha de la visita** 24 de mayo de 2017	 		
Caudal	Seco		

Ficha 5-11. Ocupación de cauce Número 11 (OC11)	
Registro fotográfico época seca 2 **Fecha de la visita** 31 de agosto de 2017	 
Caudal	Seco
Observaciones	En la tercera salida, se encontraban algunas zonas del arroyo empantanadas, sin embargo en ninguna de salidas se encontró corriente de agua.

Fuente: Renovatio 2017

5.1.5.2.12 Ocupación de Cauce Número 12 (OC12)

Ficha 5-12. Ocupación de cauce Número 12 (OC12)			
Nombre de la fuente.	Irruaín		
Ranchería	Jununtao (cerca de Toloira)		
Coordenadas	883688,1096	1762533,5041	21 msnm
Obra de intervención proyecto	Vía		
Registro fotográfico época seca 1 **Fecha de la visita** 17 de febrero de 2017	 		
Caudal	Seco		
Registro fotográfico época húmeda **Fecha de la visita** 24 de mayo de 2017	 		
Caudal	Seco		

Ficha 5-12. Ocupación de cauce Número 12 (OC12)	
Registro fotográfico época seca 2 **Fecha de la visita** 31 de agosto de 2017	
Caudal	Seco
Observaciones	El lugar se encontró con palos secos de trupillo. Seco en las tres visitas realizadas.

Fuente: Renovatio 2017

5.1.5.2.13 Ocupación de Cauce Número 13 (OC13)

Ficha 5-13. Ocupación de cauce Número 13 (OC13)			
Nombre de la fuente.	Irruaín		
Ranchería	Toloira		
Coordenadas	885393,0478	1763721,0176	14 msnm
Obra de intervención proyecto	Vía		
Registro fotográfico época seca **Fecha de la visita** 19 de febrero de 2017			
Caudal	Seco.		
Registro fotográfico época húmeda **Fecha de la visita** 24 de mayo de 2017	 		
Caudal	Seco.		

Ficha 5-13. Ocupación de cauce Número 13 (OC13)	
Registro fotográfico época seca **Fecha de la visita** 30 de agosto de 2017	 
Caudal	Seco
Observaciones	Es una zona inundable alimentada por un arroyo. No es un arroyo definido.

Fuente: Renovatio 2017

5.1.5.2.14 Ocupación de Cauce Número 14 (OC14)

Ficha 5-14. Ocupación de cauce Número 14 (OC14)			
Nombre de la fuente.	Joumana		
Ranchería	Jununtao		
Coordenadas	885400,5217	1762090,3753	13 msnm
Obra de intervención proyecto	Vía		
Registro fotográfico época seca 1 **Fecha de la visita** 18 de febrero de 2017	 		
Caudal	Seco		
Registro fotográfico época húmeda **Fecha de la visita** 24 de mayo de 2017	 		
Caudal	Seco.		

Ficha 5-14. Ocupación de cauce Número 14 (OC14)	
Registro fotográfico época seca 2 **Fecha de la visita** 31 de agosto de 2017	 
Caudal	Seco
Observaciones	En la segunda y tercera salida, la ocupación estaba un poco húmeda, sin embargo no se encontró agua en ninguna de las tres salidas.

Fuente: Renovatio 2017

5.1.6 Usos del agua

En el área de influencia del proyecto no se registran Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas-POMCA o Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico – PORH. El instrumento más cercano que se encontró fue el POMCA del Río Carraipía-Paraguachón la cual es la cuenca más importante del municipio de Maicao, ya que es la que abastece al acueducto de la cabecera Municipal, tiene una extensión cercana a las 56.000 hectáreas, de las cuales aproximadamente el 57% corresponde a territorio colombiano (cerca de 32.000 Ha) en tanto que el 43% restante, es decir 24.000 Ha comprenden territorio Venezolano[67]. Sin embargo, esta cuenca en mención no se encuentra dentro del área de estudio del presente proyecto.

La Guajira es reconocida por ser una zona con alto déficit de agua[68], lo que ocasiona una disminución en la calidad de vida de las poblaciones que no tienen fácil acceso al recurso, como es el caso de las rancherías ubicadas en la alta y media Guajira, que no cuentan con servicio de acueducto ni alcantarillado.

En el área de influencia del proyecto, los carrotanques ocasionalmente brindan suministros de agua a las comunidades; por ejemplo entre el año 2014 y 2016, en el marco de la declaratoria de calamidad pública por la sequía en el departamento de La Guajira se suministraba agua a las rancherías puesto que, las fuentes superficiales de agua (jagüey) se agotaron y la Alcaldía enviaba una vez al mes un viaje de agua con capacidad de 10 mil litros.

En el caso particular de Araparen, Jununtao y Sachikimana las autoridades tradicionales están afiliadas a asociaciones indígenas que administran los recursos de resguardo en los que se encuentra además el costo por el servicio del agua. De este modo los habitantes no pagan por el agua, por lo general esto lo llevan a un solo punto de acopio (alberca comunitaria) y cada familia se aprovisiona del líquido por medio de pimpinas de 20 litros, es importante anotar tal y como se expresará líneas abajo, que el suministro de este recurso se ha venido disminuyendo desde el año 2016, lo cual ha llevado a las comunidades a que su principal fuente de abastecimiento sean los jagueyes que se encuentran dentro de cada ranchería.

La identificación de las fuentes de abastecimiento de agua en el área de influencia del proyecto y la identificación de usos y usuarios, se realizó por medio de las encuestas realizadas para el medio social del EIA y a través de reconocimiento en campo en cada Ranchería, para lo cual se georreferenciaron todos los lugares de abastecimiento de agua presentes en la zona.

A través de los instrumentos de caracterización social, (Ver Anexo 19), se estableció que el agua que consume la comunidad proviene: de Jagüeyes el 55,8%, en segundo lugar se encuentra el agua que proviene de jagüey y carrotanque (39,8%), el abastecimiento por carrotanques, se da solo en el 2,4% de los casos. La ranchería con mayor dependencia de los jagüeyes para su abastecimiento es Toloira con el 100% de uso por parte de sus habitantes;

[67] Informe técnico de PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO CARRAIPÍA PARAGUACHÓN http://www.corpoguajira.gov.co/web/attachments_Joom/article/877/POMCA%20CARRAIP%C3%8DA%20(completo).pdf

[68] Indice de aridez IDEAM http://www.ideam.gov.co/web/agua/ia

caso contrario a lo que ocurre en Jununtao, donde es marcada la tendencia al abastecimiento combinado por medio de carrotaque y jagüey (69,5%). Ver Tabla 5-72.

Tabla 5-72. Fuentes de abastecimiento de agua – rancherías del área de influencia del proyecto eólico Alpha.

Cuenta de agua	Araparen	Jununtao	Sachikimana	Toloira	Total general
Jaguey	61,5%	30,5%	0,0%	100,0%	55,8%
Jaguey y Carro Tanque	27,7%	69,5%	90,9%	0,0%	39,8%
Carrotanque	3,1%	0,0%	9,1%	0,0%	2,4%
jaguey, carro tanque y agua de bolsa	7,7%	0,0%	0,0%	0,0%	2,0%
Total general	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Fuente: Renovatio 2017 con informaión de fichas de caracterización territorial.

A pesar de que en la encuestas a las comunidades no se señale el uso de aguas lluvias, esta forma de de abastecimiento es también recurrente por parte de las comunidades del área de influencia del proyecto, aunque, dado su uso esporádico sólo en tiempos de lluvias, no fue considerado como una de las fuentes principales de abastecimiento continuo.

A continuación, se describen los sistemas de abastecimiento referenciados por las comunidades del área de influencia en función de las técnicas y herramientas empleadas, el tipo de consumo, las formas de aprovisionamiento y la durabilidad de los recursos.

5.1.6.1 *Aprovisionamiento de agua por medio de jagüey*

El jagüey es un reservorio de agua, de construcción natural o artificial, utilizado para el aprovechamiento humano o animal y cuya fuente principal es el agua de lluvia. Desde el punto de vista del origen, el agua que se encuentra embalsada en los jagüeyes se considera como agua superficial. Esta agua, básicamente se han originado por una combinación de procedencias como: 1) escorrentias superficiales debido a la lluvia que ha caído sobre el terreno y que fluye directamente sobre la superficie hacia la masa de agua; 2) precipitación directa, que corresponde a la lluvia que cae directamente en la masa de agua; 3) manto intermedio, que hace referencia al exceso de humedad en el suelo que está continuamente drenando en la masa de agua[69].

En la zona de influencia del proyecto de generación de energía eólica “Alpha”, los habitantes consideran que es importante tener fuentes de agua permanentes para ellos y para sus animales. Sin embargo, las condiciones del medio y las características geográficas de esta parte del departamento sólo permiten la provisión temporal de arroyos durante las épocas de

[69] CARLOS DORIA, ALCIDES DAZA, HAROLDO DELUQUE, ÁLVARO LÓPEZ, JOHN SERNA GI. Territorios semiáridos del Caribe 2 Fundación Cerrejón para el Agua en La Guajira. Caracterización fisicoquímica y microbiológica de las aguas de reservorios en los resguardos indígenas localizados en la zona de influencia del Complejo Carbonífero Cerrejón, La Guajira-Colombia.

lluvias. Debido a la inestabilidad de sus cauces, los wayuu optaron desde hace mucho tiempo por recolectar en jagüeyes la mayor cantidad de agua lluvia; estas depresiones pueden ser naturales o construidas por los mismos indígenas y se espera que el preciado líquido almacenado allí dure hasta la siguiente temporada de lluvias, tal como afirman que ocurre con el jagüey de Chimalitchi ubicado en la ranchería de Araparen.

Todas las rancherías del sector cuentan con su propio jagüey en lugares cercanos a las viviendas. De forma particular, en la zona de estudio, los habitantes clasifican los jagüeyes entre los de consumo humano y los de consumo animal; los primeros son cercados entrelazados y están provistos de abrevaderos para animales, mientras que los segundos carecen de tales infraestructuras.

Así, los jagüeyes son los sitios donde los wayuu obtienen agua para su consumo. Algunos de estos sitios, son cercanos, como a 200 o 300 m. Por ello, dependiendo de la distancia, utilizan para el acarreo bicicletas, motos, burros, carretillas o simplemente van a pie.

El agua es transportada en canecas o pimpinas de 20 litros de la fuente a la casa, trabajo realizado por las mujeres y los niños. El número de desplazamientos en época de verano es de dos recorridos diarios. Así mismo los litros de agua transportados son proporcionales al número de desplazamientos diarios, teniendo en cuenta que en verano se requieren más litros de agua para consumo doméstico, consumo humano y consumo animal que en invierno. Una vez obtenida el agua, los wayuu, la almacenan principalmente en tanques plásticos de 1000 litros, envases plásticos de 20 litros.

Los jagüeyes de las rancherías de Toloira, Jununtao y Araparen cuentan con cerramiento o cercados construidos con maderas trupillos, esto con el fin de restringir el ingreso de animales y evitar la contaminación por parte de chivos, vacas y burros.



Imagen 5-14. Jagüey comunitario ranchería Jununtao y Jagüey cercado con maderas de trupillos. Jununtao

Fuente: Renovatio 2017

5.1.6.2 *Aprovisionamiento con pozo profundo*

En la ranchería de Toloira, existe un pozo de agua subterránea, el cual tiene 18 metros de profundidad, anillado en concreto, actualmente se extrae el agua con una planta eléctrica que funciona con combustible (gasolina) la cual activa una bomba sumergible de 0,5 caballos de potencia. Según manifiesta el líder Ruben Gonzalez Granadillo, el pozo tiene buena capacidad de recarga, pero la calidad del agua es salobre, en la actualidad no existe ningún tipo de sistema para el tratamiento de la calidad del agua. Cabe anotar, que este pozo fue gestionado y construido por la comunidad con los recursos de transferencia asignados a los Resguardos Indígenas.



Pozo de agua subterránea. Ranchería Toloira.



Planta eléctrica para la extracción de agua subterránea.



Tanque de almacenamiento de agua proveniente del pozo

Imagen 5-15. Sistema de aprovisionamiento por pozo profundo en la ranchería Toloira

Fuente: Renovatio 2017

El agua extraída del pozo a través de la bomba sumergible es transportada por una tubería de PVC de diámetro 2 pulgadas hasta un tanque de almacenamiento o alberca de 20 m^3 de capacidad. Para la recolección de agua del pozo, las personas la acarrean con bicicletas, motos o de forma manual ya que el sistema carece de distribución por redes domiciliarias.

5.1.6.3 *Aprovisionamiento por agua lluvia:*

La recolección de agua lluvia es limitada y sujeta a las estaciones de lluvia en la zona, en algunas de las viviendas con techos de zinc y eternit cuentan con dispositivos para la recolección del agua lluvia, con accesorios artesanales en láminas de zinc, canoeras con una longitud aproximada de la cuarta parte de la extensión lateral del techo, en la parte inferior se ubican los recipientes plásticos como pimpinas y baldes de 100 litros o tanques plásticos de 1.000 litros para la recolección del agua, tal como se muestra en la Imagen 5-16. No cuentan con bajantes ni accesorios para el control de las primeras aguas de lavado de techos. Las aguas de lluvias son de gran valor para los pobladores lo perciben como agua limpia y de buena calidad. Por ende, la emplean únicamente para la preparación de alimentos y consumo humano.



Imagen 5-16 Sistemas de captación de aguas lluvias. Ranchería Jununtao

Fuente: Renovatio 2017

5.1.6.4 *Aprovisionamiento de agua por carro tanque*

Debido al incremento de la crisis por el fenómeno del niño en La Guajira, en julio 2014 en el departamento de La Guajira se realizó la declaratoria de calamidad pública por la sequía. Diversas entidades Gobernación, Alcaldías, la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo se articularon para atender y abastecer de agua a las comunidades.

Posteriormente esta declaratoria se amplió al 2015 y parte del 2016, durante este tiempo las comunidades área de influencia del proyecto “Alpha” recibieron el suministro de agua por carro tanque, que consistía en un viaje de agua de 10.000 litros cada semestre, el cual era dispuesto en el centro de acopio en cada una de las comunidades. En la comunidad de Araparen el agua se depositaba en una alberca de concreto con capacidad de almacenamiento de 20 metros

cúbicos, desde este punto el agua era acarreada por cada familia en pimpinas de 20 litros y el agua tenía una duración de un mes y era empleado exclusivamente para el consumo humano y la preparación de alimentos. En las otras rancherías el agua de carrotanque fue depositada en tanques de 500 litros y 1000 litros.

En lo que va corrido del 2017 estas comunidades no han sido beneficiadas por el suministro de agua por carrotanque debido que la administración municipal alega no tener contratos ni recursos para el suministro de agua en la zona rural.





Imagen 5-17. Tanques de almacenamiento de agua y alberca de agua.

Fuente: Renovatio 2017

En la siguiente figura y tablas se muestran los lugares de abastecimiento de agua de las comunidades del área de influencia del proyecto, relacionando sus usos y usuarios:

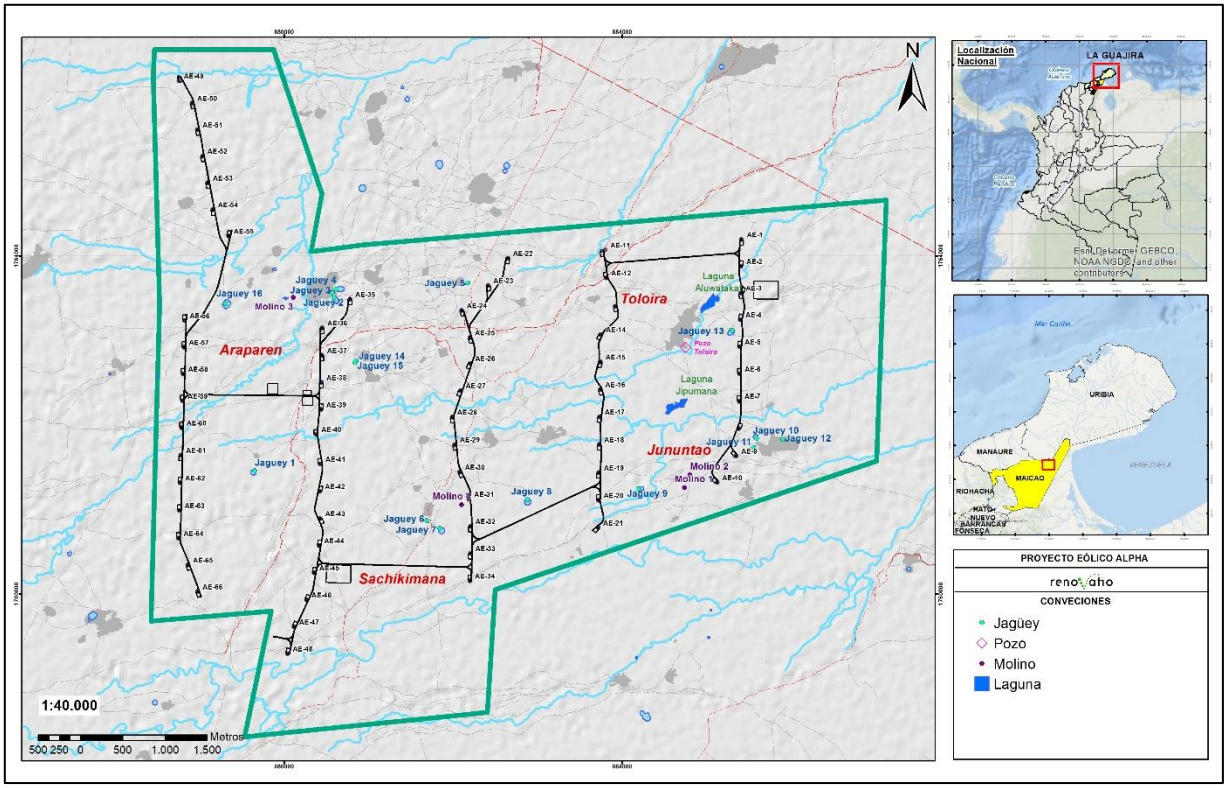


Figura 5-76. Localización jagueyes, pozos y molinos

Fuente: Renovatio 2017

Tabla 5-73. Lugares de abastecimiento de agua por medio de jagueyes, sus usos y usuarios

Nombre del cuerpo de agua	Coordenadas (Magna Sirgas Origen Este)		Uso	Ranchería	Consumo humano	Número de usuarios
	Este	Norte				
Jagüey 1	879647,00	1761459,00	Consumo animal Usos varios	Araparen	No	0
Jagüey 2	880583,71	1763503,10				
Jagüey 3	880567,00	1763561,00				
Jagüey 4	880614,00	1763605,00	Consumo humano Usos varios	Araparen	Si	65
Jagüey 5	882172,25	1763679,57	Consumo animal Usos varios	Toloira (límites con Araparén)	No	0

Nombre del cuerpo de agua	Coordenadas (Magna Sirgas Origen Este)		Uso	Ranchería	Consumo humano	Número de usuarios
	Este	Norte				
Jagüey 6	881687,41	1760869,00	Consumo animal Usos varios	Sachikimana	No	0
Jagüey 7	881838,10	1760775,00	Consumo humano Consumo animal Usos varios	Sachikimana	Si	44
Jagüey 8	882879,00	1761117,00	Consumo humano Consumo animal Usos varios	Jununtao	Si	59
Jagüey 9	884192,00	1761243,00	Consumo animal Usos varios	Jununtao	No	0
Jagüey 10	885592,10	1761839,00	Consumo humano Consumo animal Usos varios	Jununtao	Si	59
Jagüey 11	885552,00	1761731,00	Consumo animal Usos varios	Jununtao	No	0
Jagüey 12	885902,20	1761828,33	Consumo animal	Jununtao	No	0
Jagüey 13	885301,00	1763118,00	Consumo humano Usos varios	Toloira	Si	81
Jagüey 14	880847,21	1762756,90	Consumo animal	Araparén	No	0
Jagüey 15	880837,20	1762737,00	Consumo humano Usos varios	Araparén	Si	65
Jagüey 16	879300,30	1763433,00	Consumo humano	Araparén	Si	65

Nombre del cuerpo de agua	Coordenadas (Magna Sirgas Origen Este)		Uso	Ranchería	Consumo humano	Número de usuarios
	Este	Norte				
			Usos varios			
Pozo Toloira	884747,80	1762916,00	Consumo humano Consumo animal Usos varios	Toloira	Si	81

Tabla 5-74. Localización de lagunas y molinos (sin uso actual)

Fuente: Renovatio 2017

Laguna	Este	Norte	Uso	Ranchería	Consumo humano	Número de usuarios
Laguna Aluwatakat	884956,15	1763385,95	Consumo animal cuando tiene agua	Toloira	No	0
Laguna Jipumana	884771,00	1762303,00	Consumo animal cuando tiene agua	Jununtao	No	0
Laguna Araparen 1	880016,00	1763488,00	Consumo animal cuando tiene agua	Araparen	No	0
Laguna Araparen 2	880350,00	1763522,00	Consumo animal cuando tiene agua	Araparen	No	0
Molino 1	884735,07	1761257,60	Ninguno	Jununtao	No	0
Molino 2	884801,00	1761409,00	Ninguno	Jununtao	No	0
Molino 3	880106,00	1763506,00	Ninguno	Araparen	No	0
Molino 4	882098,00	1761056,00	Ninguno	Sachikimana	No	0

Las lagunas no son fuentes de abastecimiento de agua de las comunidades debido a que se encuentran secas la mayor parte del año. Estos lugares son identificados por la comunidad como elementos que hacen parte de su territorio pero a los cuales no les dan ningún uso.

Los arroyos presentes en el área del proyecto, no son fuente de abastecimiento de agua para las comunidades locales, solo son usados por el ganado caprino u ovino en temporada de lluvias; adicionalmente se verificó con Corpoguajira si estos arroyos poseen alguna concesión de agua y no se encontraron concesiones otorgadas, debido a que son fuentes hídricas que permanecen secas la mayor parte del tiempo.

Las rancherías de Sachikimana, Jununtao y Araparén, son abastecidos por medio de los jagüeyes existentes y no cuentan con pozos subterráneos; la ranchería Toloira cuenta con un pozo subterráneo, donde se extrae el agua por medio de una bomba sumergible que utiliza una planta de energía. Este sistema de extracción de agua subterránea, no cuenta con un desalinizador por lo que el agua no es apta para consumo humano, por contener altas concentraciones de sales y metales; los excedentes del agua extraída por el molino van a un pequeño jagüey donde continuamente llegan animales domésticos a beber. A esta ranchería no llega el servicio de agua por carrotanques.

En cuanto a los molinos identificados, todos se encuentran fuera de uso y no han funcionado por más de ocho años según informa la comunidad, debido a robos de infraestructura, daños que no fueron reparados o colmataciones debido a fuertes lluvias, por lo tanto, las rancherías del área del proyecto no cuentan actualmente con molinos para extracción de aguas subterráneas.

En el área de influencia se encuentran ubicados 16 jagüeyes, ocho (8) en la ranchería de Araparen, cinco (5) en Jununtao, dos (2) en Sachikimana y uno (1) en Toloira. Son utilizados para dar de beber a sus animales, para labores de aseo y de construcción e incluso el agua de algunos jagüeyes es usada para preparar alimentos y beber. Los jagüeyes solo se abastecen de agua en época de lluvias.

El diseño del proyecto se realizó manteniendo unos retiros establecidos a las fuentes hídricas y en general a la infraestructura social existente para evitar su afectación (ver captitulo 3, Numeral 3.2.3).



(a)



(b)

Imagen 5-18. Tanques de almacenamiento de agua. (a) Ranchería de Toloira, (b) Ranchería de Araparen

Fuente: Renovatio 2017



Imagen 5-19. Transporte de agua desde jagüeyes hasta las viviendas, ranchería de Jununtao

Fuente: Renovatio 2017



Imagen 5-20. Utencilio para el lavado de ropa en la ranchería de Toloira

Fuente: Renovatio 2017

5.1.6.5 *Fichas de campo para los jagüeyes identificados en el área de influencia del proyecto*

5.1.6.5.1 Jagüey 1, Ranchería de Araparen.

Ficha 5-15. Jagüey 1		
Ranchería	Araparen	
Coordenadas	879647,00	1761459,00
Uso del agua	Consumo animal	
Observaciones	El jagüey no tenía uso en el momento de las visitas, debido a que las viviendas que se abastecían de él se encuentran abandonadas. El jagüey se encontraba con agua en las tres salidas de campo, se evidenció que sus aguas teneían un color café-amarillo con mucha turbidez. Se evidencian algunos trupillos alrededor del reservorio.	
Registro fotográfico época seca 1 **Fecha de la visita:** 20 de febrero de 2017		
Registro fotográfico época húmeda **Fecha de la visita:** 27 de mayo de 2017		

Ficha 5-15. Jagüey 1	
Registro fotográfico época seca 2 **Fecha de la visita:** 30 de agosto de 2017	

Fuente: Renovatio 2017

5.1.6.5.2 Jagüey 2, Ranchería de Araparen.

Ficha 5-16. Jagüey 2		
Ranchería	Araparen	
Coordenadas	880583,71	1763503,10
Uso del agua	Consumo animal	
Observaciones	Fue el primer jagüey que se construyó en la ranchería de Araparén. Se encuentra colmatado. En época de lluvia se llena un poco pero se seca con facilidad. En la primer salida se encontró seco, en la segunda salida se encontraba con poca cantidad de agua de color café-amarillo con mucha turbidez y en la tercera salida se encontró con más cantidad de agua. Se evidencian algunos trupillos alrededor del reservorio, pero se encuentra con poca vegetación alrededor	
Registro fotográfico época seca 1 **Fecha de la visita:** 20 de febrero de 2017		
Registro fotográfico época húmeda **Fecha de la visita:** 27 de mayo de 2017		

Ficha 5-16. Jagüey 2	
Registro fotográfico época seca 2 **Fecha de la visita:** 30 de agosto de 2017	

Fuente: Renovatio 2017

5.1.6.5.3 Jagüey 3, Ranchería de Araparén.

Ficha 5-17. Jagüey 3		
Ranchería	Araparen	
Coordenadas	880567,00	1763561,00
Uso del agua	Consumo animal	
Observaciones	Este jagüey es únicamente para consumo animal (chivos, cabras y animales en general). El jagüey se encontraba con poca agua en la primera y tercera salida, en la segunda salida se encontró totalmente seco. Es un jagüey que se ha sedimentado mucho casi no tiene capacidad de recibir agua. El color del agua es café claro. Se evidencia algunos trupillos alrededor del reservorio, pero se encuentra con poca vegetación alrededor. De los 3 jagueyes que se encuentran en la Rancheria de Araparén es el que menor capacidad tiene.	
Registro fotográfico época seca 1 **Fecha de la visita:** 20 de febrero de 2017		
Registro fotográfico época húmeda **Fecha de la visita:** 27 de mayo de 2017		

Ficha 5-17. Jagüey 3	
Registro fotográfico época seca 2 **Fecha de la visita:** 30 de agosto de 2017	

5.1.6.5.4 Jagüey 4, Ranchería de Araparén.

Ficha 5-18. Jagüey 4		
Ranchería	Araparen	
Coordenadas	880614,00	1763605,00
Uso del agua	Consumo humano y usos varios	
Observaciones	Este jagüey es únicamente para consumo humano y labores domésticas. Se encuentra cercado para protegerlo del ingreso de animales. En este jaguey se realizó muestreo por el laboratorio para análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. El reservorio se encontró con agua en las tres salidas realizadas.	
Registro fotográfico época seca 1 **Fecha de la visita:** 20 de febrero de 2017		

Ficha 5-18. Jagüey 4	
Registro fotográfico época húmeda **Fecha de la visita:** 25 de mayo de 2017	
Registro fotográfico época seca 2 **Fecha de la visita:** 30 de agosto de 2017	

Fuente: Renovatio 2017

5.1.6.5.5 Jagüey 5, Ranchería de Araparen.

Ficha 5-19. Jagüey 5		
Ranchería	Toloira (límites con Araparén)	
Coordenada	882172,25	1763679,57
Uso del agua	Consumo animal y usos varios (no es agua para consumo humano)	
Observaciones	Este jagüey es únicamente para consumo animal. Lo construyó la misma comunidad. Es alimentado por un arroyo que pasa cerca del jagüey. La comunidad cuenta con tanques de almacenamiento de agua y abastecimiento por carrotanques provenientes de Maicao. El jagüey se encontró con agua en las tres salidas, su color es amarillo con mucha turbidez, se evidencia que el jagüey fue hecho manualmente.	
Registro fotográfico época seca 1 **Fecha de la visita:** 19 de febrero de 2017		
Registro fotográfico época húmeda **Fecha de la visita:** 27 de mayo de 2017		

Ficha 5-19. Jagüey 5	
Registro fotográfico época seca 2 **Fecha de la visita:** 30 de agosto de 2017	

Fuente: Renovatio 2017

5.1.6.5.6 Jagüey 6, Ranchería de Sachikimana

Ficha 5-20. Jagüey 6		
Ranchería	Sachikimana	
Coordenadas	881687,41	1760869,00
Uso del agua	Consumo animal, usos varios.	
Observaciones	Este jagüey es usado por la comunidad para lavar la ropa, los *"chismes"* u ollas, tambien para bañarse. Transportan el agua en baldes para realizar estas actividades, ya que no las realizan en el lugar. También es para consumo animal. El jagüey se encontraba con agua en las tres salidas. El agua es de color marrón y con turbidez. Es un jagüey pequeño.	
Registro fotográfico época seca 1 **Fecha de la visita:** 18 de febrero de 2017		
Registro fotográfico época húmeda **Fecha de la visita:** 23 de mayo de 2017		

Ficha 5-20. Jagüey 6	
Registro fotográfico época seca 2 **Fecha de la visita:** 29 de agosto de 2017	

Fuente: Renovatio 2017

5.1.6.5.7 Jagüey 7, Ranchería de Sachikimana

Ficha 5-21. Jagüey 7		
Ranchería	Sachikimana	
Coordenadas	881838,10	1760775,00
Uso del agua	Consumo humano, animal, usos varios.	
Observaciones	Es el jagüey principal de la ranchería de Sachikimana. Para consumo humano, consumo animal y usos varios. El jagüey se encontró con agua en las tres salidas realizadas. El agua es color marrón amarillenta y con turbidez. Se realizó muestreo para análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.	
Registro fotográfico época seca 1 **Fecha de la visita:** 18 de febrero de 2017		
Registro fotográfico época húmeda **Fecha de la visita:** 25 de mayo de 2017		

Ficha 5-21. Jagüey 7	
Registro fotográfico época seca 2 **Fecha de la visita:** 28 de agosto de 2017	

Fuente: Renovatio 2017

5.1.6.5.8 Jagüey 8, Ranchería de Jununtao

Ficha 5-22. Jagüey 8		
Ranchería	Jununtao	
Coordenada	882879,00	1761117,00
Uso del agua	Consumo humano, animal, usos varios.	
Observaciones	Se abastecen los caceríos que quedan al norte del jagüey. Para consumo humano, consumo animal y usos varios. El jagüey se encontraba con agua en las tres visitas realizadas. El color del agua era marrón amarillenta y con turbidez. Se realizó muestreo para análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.	
Registro fotográfico época seca 1 **Fecha de la visita:** 17 de febrero de 2017		
Registro fotográfico época húmeda **Fecha de la visita:** 25 de mayo de 2017		

Ficha 5-22. Jagüey 8	
Registro fotográfico época seca 2 **Fecha de la visita:** 30 de agosto de 2017	

Fuente: Renovatio 2017

5.1.6.5.9 Jagüey 9, Ranchería de Jununtao

Ficha 5-23. Jagüey 9		
Ranchería	Jununtao	
Coordenada	884192,00	1761243,00
Uso del agua	Consumo animal, usos varios.	
Observaciones	Este jaguey es llamado Guarirumana o Mariló. Para consumo animal y usos varios. El jagüey se encontró seco en la primer y segunda salida, en la tercera se encontró con un poco de agua almacenada. Agua color café claro, este jaguey no tiene profundidad.	
Registro fotográfico época seca 1 **Fecha de la visita:** 17 de febrero de 2017		
Registro fotográfico época húmeda **Fecha de la visita:** 23 de mayo de 2017		

Ficha 5-23. Jagüey 9	
Registro fotográfico época seca 2 **Fecha de la visita:** 28 de agosto de 2017	

Fuente: Renovatio 2017

5.1.6.5.10 Jagüey 10, Ranchería de Jununtao

Ficha 5-24. Jagüey 10		
Ranchería	Jununtao	
Coordenada	885592,10	1761839,00
Uso del agua	Consumo humano, animal, usos varios.	
Observaciones	Es para consumo humano cuando hay escasez de agua. También para consumo animal y para lavar. El jagüey se encontraba con agua en las tres salidas realizadas. El color del agua era marrón claro amarillento. Se le tomaron muestras para análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Existe alguna vegetación alrededor del reservorio	
Registro fotográfico época seca 1 **Fecha de la visita:** 17 de febrero de 2017		
Registro fotográfico época húmeda **Fecha de la visita:** 25 de mayo de 2017		

Ficha 5-24. Jagüey 10	
Registro fotográfico época seca 2 **Fecha de la visita:** 27 de agosto de 2017	

Fuente: Renovatio 2017

5.1.6.5.11 Jagüey 11, Ranchería de Jununtao

Ficha 5-25. Jagüey 11		
Ranchería	Jununtao	
Coordenadas	885552,00	1761731,00
Uso del agua	Consumo animal y usos varios	
Observaciones	En las tres visitas realizadas el cuerpo de agua se encontró seco. Es un jagüey pequeño, que según la comunidad, es usado principalmente por las mujeres de avanzada edad por la facilidad de acceso. Más que un jaguey parece más bien una laguna muy pequeña que se sedimentó totalmente. Llama la atención que todos los jagüeyes del área tienen agua depositada menos este.	
Registro fotográfico época seca 1 **Fecha de la visita:** 17 de febrero de 2017		

Ficha 5-25. Jagüey 11	
Registro fotográfico época húmeda **Fecha de la visita:** 23 de mayo de 2017	
Registro fotográfico época seca 2 **Fecha de la visita:** 27 de agosto de 2017	

Fuente: Renovatio 2017

5.1.6.5.12 Jagüey 12, Ranchería de Jununtao

Ficha 5-26. Jagüey 12		
Ranchería	Jununtao	
Coordenada	885902,20	1761828,33
Uso del agua	Consumo animal y usos varios	
Observaciones	En el momento de la primera y segunda visita el jaguey se encontró seco. En la tercera salida se encontró con agua. Es un jaguey pequeño.	
Registro fotográfico época seca 1 **Fecha de la visita:** 17 de febrero de 2017		
Registro fotográfico época húmeda **Fecha de la visita:** 27 de mayo de 2017		

Ficha 5-26. Jagüey 12	
Registro fotográfico época seca 2 **Fecha de la visita:** 30 de agosto de 2017	

Fuente: Renovatio 2017

5.1.6.5.13 Jagüey 13, Ranchería de Toloira

Ficha 5-27. Jagüey 13		
Ranchería	Toloira	
Coordenadas	885301,00	1763118,00
Uso del agua	Consumo humano y usos varios.	
Observaciones	Es el único jagüey de la ranchería de Toloira, por lo tanto el principal de la ranchería. No se permite a nadie bañarse ahí, ya que es agua para consumo humano. Esta bien protegido por una cerca. La comunidad carga agua en baldes para actividades de lavado y usos varios. El jagüey se encontró con abundante agua en las tres salidas realizadas, el agua es de color café oscuro. Se observa algunos árboles alrededor del reservorio. Se realizó monitoreo de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.	
Registro fotográfico época seca **Fecha de la visita:** 19 de febrero de 2017		

Ficha 5-27. Jagüey 13	
Registro fotográfico época húmeda **Fecha de la visita:** 25 de mayo de 2017	
Registro fotográfico época seca **Fecha de la visita:** 30 de agosto de 2017	

Fuente: Renovatio 2017

5.1.6.5.14 Jagüey 14, Ranchería de Araparen

Ficha 5-28. Jagüey 14		
Ranchería	Araparen	
Coordenadas	880847,21	1762756,90
Uso del agua	Consumo animal y usos varios	
Observaciones	Son 2 jagüeyes contiguos (14 y 15), es un reservorio hecho manualmente. Son pequeños depósitos de agua, el color del agua es café oscuro se observa vegetación alrededor. En la primera salida se encontró seco y en la segunda y tercera salida estaba lleno.	
Registro fotográfico época seca **Fecha de la visita:** 20 de febrero de 2017		

Ficha 5-28. Jagüey 14	
Registro fotográfico época húmeda **Fecha de la visita:** 27 de mayo de 2017	
Registro fotográfico época seca **Fecha de la visita:** 30 de agosto de 2017	

Fuente: Renovatio 2017

5.1.6.5.15 Jagüey 15, Ranchería de Araparén

Ficha 5-29. Jagüey 15		
Ranchería	Araparén	
Coordenadas	880837,20	1762737,00
Uso del agua	Consumo humano y usos varios	
Observaciones	Jagüey para consumo humano debido a que la comunidad que se abastece de este jagüey no recibe aguas de carrotanque. Se le tomaron muestras para análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Es un reservorio hecho manualmente, se aprecia vegetación alrededor del deposito, al lado se encuentra otro jaguey (14 y 15 jagueyes contiguos).	
Registro fotográfico época seca 1 **Fecha de la visita:** 20 de febrero de 2017		
Registro fotográfico época húmeda **Fecha de la visita:** 25 de mayo de 2017		

Ficha 5-29. Jagüey 15	
Registro fotográfico época seca 2 **Fecha de la visita:** 30 de agosto de 2017	

Fuente: Renovatio 2017

5.1.6.5.16 Jagüey 16, Ranchería de Araparen

Ficha 5-30. Jagüey 16		
Ranchería	Araparen	
Coordenadas	879300,30	1763433,00
Uso del agua	Consumo humano y usos varios	
Observaciones	Para consumo humano y usos varios. Se le tomaron muestras para análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Color del agua marrón amarillenta con turbidez. Se evidenció que tenía agua en las tres salidas realizadas.	
Registro fotográfico época seca 1 **Fecha de la visita:** 20 de febrero de 2017		
Registro fotográfico época húmeda **Fecha de la visita:** 25 de mayo de 2017		

Ficha 5-30. Jagüey 16	
Registro fotográfico época seca 2 **Fecha de la visita:** 30 de agosto de 2017	

Fuente: Renovatio 2017

5.1.6.6 *Fichas de campo para las lagunas identificadas en el área de influencia del proyecto*

5.1.6.6.1 Laguna Aluwatakat, Ranchería de Toloira

Ficha 5-31. Laguna Aluwatakat		
Ranchería	Toloira	
Municipio	Maicao	
Coordenada	884956,15	1763385,95
Uso del agua	Consumo animal	
Observaciones	Laguna seca en los tres momentos de las visitas. Únicamente usada para consumo animal. Se evidencia presencia de arbustos y pasto secos y en algunas partes verdes, es una laguna extensa con bastante vegetación, se observa también bastante huellas de animales.	
Registro fotográfico época seca 1 **Fecha de la visita:** 19 de febrero de 2017		

Ficha 5-31. Laguna Aluwatakat	
Registro fotográfico época húmeda **Fecha de la visita:** 24 de mayo de 2017	
Registro fotográfico época seca 2 **Fecha de la visita:** 28 de agosto de 2017	

Fuente: Renovatio 2017

5.1.6.6.2 Laguna Jipumana, Ranchería de Toloira

Ficha 5-32. Laguna Jipumana		
Ranchería	Toloira límite con Jununtao	
Municipio	Maicao	
Coordenada	884771,00	1762303,00
Uso del agua	Consumo animal	
Observaciones	La comunidad no se abastece de estas aguas debido a que se secan con rapidez luego de temporada de lluvias. Solo para consumo animal. Jipu significa restos o huesos, mana tierra. La laguna se encuentra seca totalmente, sin vestigios de agua. Se evidencia pasto secos y poca presencia de arbustos. .Es una laguna de tamaño mediana, en la tercera salida la flora se encontraba verde como evidencia que cayeron algunas lluvias. Con bastante huellas de animales.	
Registro fotográfico época seca 1 **Fecha de la visita:** 19 de febrero de 2017		

Ficha 5-32. Laguna Jipumana	
Registro fotográfico época húmeda **Fecha de la visita:** 24 de mayo de 2017	
Registro fotográfico época seca 2 **Fecha de la visita:** 28 de agosto de 2017	

Fuente: Renovatio 2017

5.1.6.6.3 Laguna Ranchería Araparen 1

Ficha 5-33. Laguna Araparen 1		
Ranchería	Araparen	
Municipio	Maicao	
Coordenadas	880016,00	1763488,00
Uso del agua	Consumo animal	
Observaciones	Laguna seca en el momento de las visitas. Únicamente usada para consumo animal. Las personas de la comunidad informan que dura una semana con agua después de la temporada de lluvia. Se evidencia presencia de arbustos y dunas, se encuentra sedimentada en el centro se encuentra arbustos llamados aichuwua (llamado así por los indígenas).	
Registro fotográfico época seca 1 **Fecha de la visita:** 21 de febrero de 2017		

Ficha 5-33. Laguna Araparen 1	
Registro fotográfico época húmeda **Fecha de la visita:** 27 de mayo de 2017	
Registro fotográfico época seca 2 **Fecha de la visita:** 27 de agosto de 2017	

Fuente: Renovatio 2017

5.1.6.6.4 Laguna Ranchería Araparen 2

Ficha 5-34. Laguna Araparen 2		
Ranchería	Araparen	
Municipio	Maicao	
Coordenadas	880350,00	1763522,00
Uso del agua	Consumo animal	
Observaciones	Es una depresión natural en el terreno, pequeña en tamaño, que se llena en época de lluvias. Únicamente usada para consumo animal. Se encontraba seca en el momento de las visitas. Se evidencia presencia de arbustos llamados aichuwua, ésta se encuentra sedimentada en su mayoría, es una laguna muy pequeña.	
Registro fotográfico época seca 1 **Fecha de la visita:** 21 de febrero de 2017		

Ficha 5-34. Laguna Araparen 2	
Registro fotográfico época húmeda **Fecha de la visita:** 27 de mayo de 2017	
Registro fotográfico época seca 2 **Fecha de la visita:** 26 de agosto de 2017	

Fuente: Renovatio 2017

5.1.6.7 *Fichas de campo para los molinos y pozos identificados en el área de influencia del proyecto*

5.1.6.7.1 Molino 1 en desuso, Ranchería de Jununtao

Ficha 5-35. Molino en desuso 1		
Ranchería	Jununtao	
Uso del agua	Sin uso	
Coordenadas	884735,07	1761257,60
Observaciones	Es el molino mas antiguo de la ranchería de Jununtao. Está fuera de funcionamiento hace mas de 8 años porque el pozo se secó.	
Fecha de la visita: 27 de mayo de 2017	  	

Fuente: Renovatio 2017

5.1.6.7.2 Molino 2 en desuso, Ranchería de Jununtao

Ficha 5-36. Molino en desuso 2		
Ranchería	Jununtao	
Uso del agua	Sin uso	
Coordenadas	884801,00	1761409,00
Observaciones	Está fuera de funcionamiento hace más de 8 años por robo de equipos según informó el auxiliar que acompañó la salida. No tiene presencia de tubería en la parte de arriba, tampoco tiene la torre del molino. Para activar el pozo es necesario hacer un trabajo de pesca de tubería subterránea, lavado del pozo y hacerle prueba de bombeo. Un aspecto importante a tener en cuenta este pozo se encuentra casi a un kilómetro de las casas de la comunidad, el cual no sería muy funcionable por la distancia.	
Fecha de la visita: 27 de mayo de 2017		
		

Fuente: Renovatio 2017

5.1.6.7.3 Molino 3 en desuso, Ranchería de Araparen

Ficha 5-37. Molino en desuso 3		
Ranchería	Araparen	
Uso del agua	Sin uso	
Coordenadas	880106,00	1763506,00
Observaciones	Único molino de la ranchería de Araparén. Hace 10 años está fuera de funcionamiento, según habitantes de la comunidad. Tiene presencia de tubería en la parte de arriba, así como la torre. Para activar el pozo es necesario hacer un trabajo de pesca de tubería subterránea, lavado del pozo y hacerle prueba de bombeo.	
Fecha de la visita: 27 de mayo de 2017		
		

Fuente: Renovatio 2017

5.1.6.7.4 Molino 4 en desuso, Ranchería de Sachikimana

Ficha 5-38. Molino en desuso 4		
Ranchería	Sachikimana	
Fecha de la visita	17 de febrero de 2017	
Coordenadas	882085,035	1761045,79
Uso del agua	Sin uso	
Observaciones	El molino está fuera de funcionamiento hace mas de 10 años según habitantes de la comunidad. No hay ingreso. La vegetación no permite el ingreso. No tiene presencia de tubería en la parte de arriba. Para activar el pozo es necesario hacer un trabajo de pesca de tubería subterránea, lavado del pozo y hacerle prueba de bombeo.	
Fecha de la visita: 27 de mayo de 2017		
		

Fuente: Renovatio 2017

5.1.6.7.5 Pozo Ranchería de Toloira

Ficha 5-39. Pozo Toloira		
Ranchería	Toloira	
Uso del agua	Consumo animal, consumo humano y usos varios	
Coordenadas	884747,80	1762916,00
Observaciones	A Toloira no llega carrotanque. El agua que usan proviene de la lluvia, jagüeyes y pozo. Es el único pozo en funcionamiento que se encuentra actualmente en el área de influencia. Cuenta con bebederos, alberca y jagüey para el almacenamiento del agua que se extrae del pozo. El pozo cuenta con planta eléctrica para extracción. Cuenta con bomba sumergible. El pozo tiene 18 metros de profundidad, con diámetro de exterior de 1,40 metros y diámetro interior de 1.20 metros. El agua se encuentra a 15,5 metros del suelo. El agua tiene un alto grado de salinidad según informó la autoridad tradicional de la ranchería, la usan esporádicamente para cocinar. Se tomaron muestras para analizar parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos. El pozo fue construido en 1994..	
Fecha de la visita: 25 de mayo de 2017		

Ficha 5-39. Pozo Toloira		
		
		

Fuente: Renovatio 2017

5.1.7 Geotecnia

A partir de la información de los mapas geológicos de la zona de actuación, se realizó la propuesta y diseño de una campaña de investigación geotécnica de campo y de laboratorio para el estudio preliminar tanto de las cimentaciones como de los viales y plataformas del parque eólico.

Esta campaña de investigación geotécnica es preliminar y, en todo caso, para el diseño definitivo de las cimentaciones, los viales y las plataformas, deberá complementarse con una campaña de investigación más amplia, alcanzando profundidades mayores a las de las calicatas realizadas.

En el área de estudio se realizaron 9 calicatas de 3,5 metros de profundidad, de las cuales 7 se abrieron en la planicie y 2 en los cauces aluviales, a partir de la descripción de las mismas se identifica una uniformidad en el tipo de material, conservando textura, gama de colores y presencia de carbonatos. A continuación, se presenta la ubicación y descripción de cada una de ellas[70].

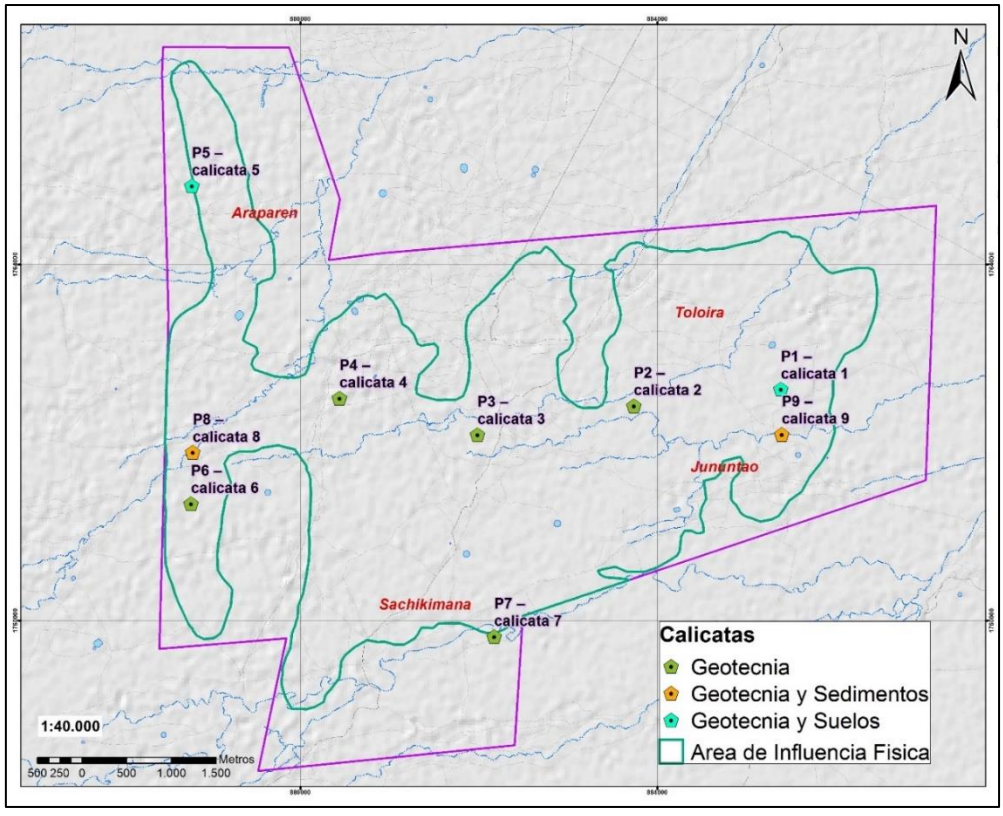


Figura 5-77. Mapa de ubicación de calicatas

Fuente: Renovatio 2017

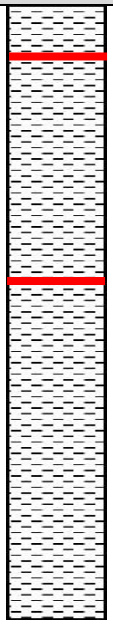
[70] INGEOMINAS 2002, Memoria Geológica del Departamento de la Guajira. Escala 1:250.000

Tabla 5-75. Localización de los perfiles estratigráficos realizados en el área de estudio

Identificación del perfil de suelo (P)	Tema	Localización Ranchería	Coordenadas		Profundidad (m)
			E	N	
P1 – Calicata 1	Suelos y geotecnia	Jununtao	885385	1762601	3,50
P2 – Calicata 2	Geotecnia	Jununtao	883736	1762415	3,50
P3 – Calicata 3	Geotecnia	Sachikimana	881984	1762090	3,50
P4 – Calicata 4	Geotecnia	Araparén	880436	1762500	3,50
P5 – Calicata 5	Suelos y geotecnia	Araparén	878781	1764885	3,50
P6 – Calicata 6	Geotecnia	Araparén	878774	1761315	3,50
P7 – Calicata 7	Geotecnia	Sachikimana	882173	1759823	3,50
P8 – Calicata 8*	Sedimentos	Araparen	878791	1761892	1,00
P9 – Calicata 9*	Sedimentos	Jununtao	885396	1762093	1,00

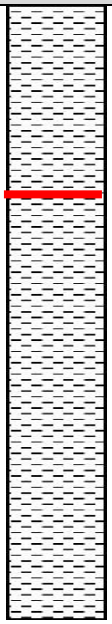
Fuente: Renovatio 2017

Tabla 5-76. Descripción geológica perfil estratigráfico-Calicata No. 1

PERFIL ESTRATIGRÁFICO No 1			
Prof (m)	**Columna**	**Descripción**	**Fotografía**
0,0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0 1,2 1,4 1,6 1,8 2,0 2,2 2,4 2,6 2,8 3,0 3,2 3,4 3,5		Material de textura arcillo limosa, Color pardo amarillento claro (10YR6/6), Dificultad media para la excavación. Compacto y muy seco. Resistencia a la penetración de 3.5 Kg/cm^2. Material de textura arcillo limosa. Presencia de material calcáreo. Muy compacto y seco, dificultad alta para la excavación. Resistencia a la penetración de 4.0 Kg/cm^2. Material textura arcillo limosa. Color pardo amarillento. Se observa material calcáreo en mayor cantidad. Muy compacto y seco, dificultad alta para la excavación. Resistencia a la penetración de 4.5 Kg/cm^2.	

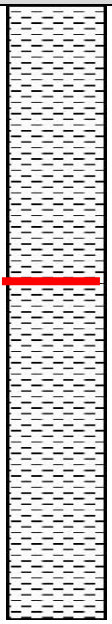
Fuente: Renovatio 2017

Tabla 5-77. Descripción geológica perfil estratigráfico-Calicata No. 2

PERFIL ESTRATIGRÁFICO No 2			
Prof (m)	**Columna**	**Descripción**	**Fotografía**
0,0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0 1,2 1,4 1,6 1,8 2,0 2,2 2,4 2,6 2,8 3,0 3,2 3,4 3,5		Material de textura arcillo limosa, Color pardo claro (10YR6/6), Dificultad media para la excavación. Compacto y muy seco. Resistencia a la penetración de 3.0 Kg/cm^2. Material de textura arcillo limosa. Color pardo claro (10YR6/8) a gris claro (5Y7/2) Presencia de material calcáreo. Muy compacto y seco, dificultad alta para la excavación. Resistencia a la penetración de 4.5 Kg/cm^2.	

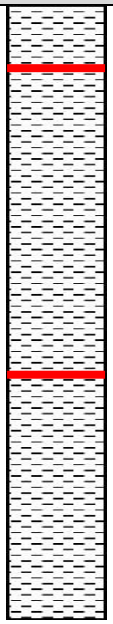
Fuente: Renovatio 2017

Tabla 5-78. Descripción geológica perfil estratigráfico-Calicata No. 3

PERFIL ESTRATIGRÁFICO No 3			
Prof (m)	**Columna**	**Descripción**	**Fotografía**
0,0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0 1,2 1,4 1,6 1,8 2,0 2,2 2,4 2,6 2,8 3,0 3,2 3,4 3,5		Material de textura arcillo limosa, Color pardo amarillento claro (10YR6/6), Dificultad media para la excavación. Compacto y muy seco. Resistencia a la penetración de 3.5 Kg/cm^2. Material textura arcillo limosa. Color pardo amarillento (10YR5/6. Se observa material calcáreo en mayor cantidad. Muy compacto y seco, dificultad alta para la excavación. Resistencia a la penetración de 4.5 Kg/cm^2.	

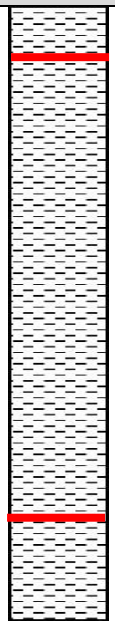
Fuente: Renovatio 2017

Tabla 5-79. Descripción geológica perfil estratigráfico-Calicata No. 4

PERFIL ESTRATIGRÁFICO No 4			
Prof (m)	**Columna**	**Descripción**	**Fotografía**
0,0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0 1,2 1,4 1,6 1,8 2,0 2,2 2,4 2,6 2,8 3,0 3,2 3,4 3,5		Material de textura arcillo limosa, Color pardo rojizo (5YR4/6), Dificultad media para la excavación. Compacto y muy seco. Resistencia a la penetración de 2.5 Kg/cm^2. Material de textura arcillo limosa arcillo, Color pardo claro (10YR7/6), material muy seco y compacto. Presencia de material blanco asociado posiblemente a carbonatos, y negros por meteorización de minerales máficos. Dificultad alta para la excavación. Resistencia a la penetración de 4.0 Kg/cm^2. Material textura arcillo limosa. Color pardo amarillento (10YR5/6). Se observa material calcáreo y manchas oscuras asociadas a la meteorización de minerales máficos. Muy compacto y seco, dificultad alta para la excavación. Resistencia a la penetración de 4.5 Kg/cm^2.	

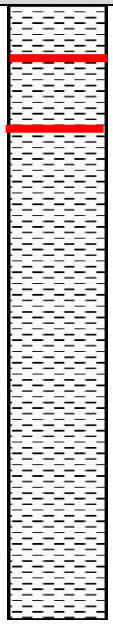
Fuente: Renovatio 2017

Tabla 5-80. Descripción geológica perfil estratigráfico-Calicata No. 5

PERFIL ESTRATIGRÁFICO No 5			
Prof (m)	**Columna**	**Descripción**	**Fotografía**
0,0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0 1,2 1,4 1,6 1,8 2,0 2,2 2,4 2,6 2,8 3,0 3,2 3,4 3,5		Material de textura franco arcillo limosa, Color pardo (10YR4/4). Dificultad alta para la excavación. Compacto y muy seco. Resistencia a la penetración de 4.0 Kg/cm^2. Material de textura arcillo limosa. Color pardo amarillento (5YR7/2). Presencia de material calcáreo y manchas negras asociadas a la meteorización de minerales máficos. Muy compacto y seco, dificultad alta para la excavación. Resistencia a la penetración de 4.5 Kg/cm^2. Material textura arcillosa. Color pardo (10YR4/6) a gris pardo (10YR8/2). Se observa material calcáreo en mayor cantidad. Muy compacto y seco, dificultad alta para la excavación. Resistencia a la penetración de 4.5 Kg/cm^2.	

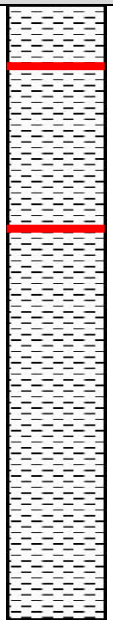
Fuente: Renovatio 2017

Tabla 5-81. Descripción geológica perfil estratigráfico-Calicata No. 6

PERFIL ESTRATIGRÁFICO No 6			
Prof (m)	**Columna**	**Descripción**	**Fotografía**
0,0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0 1,2 1,4 1,6 1,8 2,0 2,2 2,4 2,6 2,8 3,0 3,2 3,4 3,5		Material de textura arcillo limosa, Color gris (2.5YR5/4), Dificultad media para la excavación. Compacto y muy seco. Resistencia a la penetración de 3.5 Kg/cm^2. Material de textura franco arcillo limosa. Color pardo amarillento (10YR5/6). Presencia de material calcáreo. Muy compacto y seco, dificultad alta para la excavación. Resistencia a la penetración de 4.0 Kg/cm^2. Material textura arcillo limosa. Color pardo claro (10YR6/6). Se observa material calcáreo en mayor cantidad. Muy compacto y seco, dificultad alta para la excavación. Resistencia a la penetración de 4.0 Kg/cm^2.	

Fuente: Renovatio 2017

Tabla 5-82. Descripción geológica perfil estratigráfico-Calicata No. 7

PERFIL ESTRATIGRÁFICO No 7			
Prof (m)	**Columna**	**Descripción**	**Fotografía**
0,0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0 1,2 1,4 1,6 1,8 2,0 2,2 2,4 2,6 2,8 3,0 3,2 3,4 3,5		Material de textura arcillo arenosa, Color pardo amarillento grisáceo (10YR6/2). Dificultad alta para la excavación. Compacto y muy seco. Resistencia a la penetración de 4.5 Kg/cm^2. Material de textura franco arcillo limosa. Color pardo amarillento (10YR5/6). Presencia de material calcáreo. Muy compacto y seco, dificultad alta para la excavación. Resistencia a la penetración de 4.5 Kg/cm^2. Material textura arcillosa. Color pardo amarillento (10YR5/6). Se observa material calcáreo en mayor cantidad. Muy compacto y seco, dificultad alta para la excavación. Resistencia a la penetración de 4.5 Kg/cm^2.	

Fuente: Renovatio 2017

Tabla 5-83. Descripción geológica perfil estratigráfico-Calicata No. 8

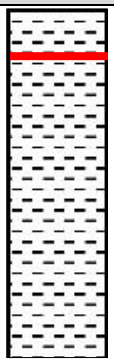
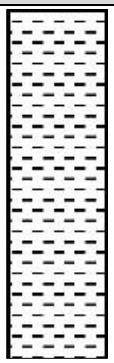
PERFIL ESTRATIGRÁFICO No 8			
Prof (m)	**Columna**	**Descripción**	**Fotografía**
0,0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0		Arena media y fina, suelta, compuesta de partículas de cuarzo y fragmentos oscuros; deposito superficial sobre el lecho del canal, color pardo amarillento. Material de textura franco arcillosa. Color pardo amarillento (10YR5/6). Presencia de material calcáreo. Muy compacto y seco, dificultad media para la excavación. Resistencia a la penetración de 3,5 Kg/cm^2.	

Tabla 5-84. Descripción geológica perfil estratigráfico-Calicata No. 9

PERFIL ESTRATIGRÁFICO No 9			
Prof (m)	**Columna**	**Descripción**	**Fotografía**
0,0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0		Material de textura franco limosa. Color pardo amarillento (10YR5/6). Presencia de material calcáreo. Muy compacto y seco, dificultad media para la excavación. Resistencia a la penetración de 3,5 Kg/cm^2.	

Fuente: Renovatio 2017

5.1.7.1 *Caracterización geotécnica*

La caracterización que se detalla a continuación, se basa en los ensayos de laboratorio realizados sobre las muestras obtenidas de las calicatas y la toma de datos de campo. Como reseñado previamente (numeral 0) todas las muestras analizadas pertenecen a las formaciones Qale (depósitos aluviomarinos y eólicos).

5.1.7.1.1 Compacidad (penetrómetro del bolsillo)

En todas las calicatas se midió la compacidad de las capas atravesadas mediante penetrómetro de bolsillo. Los valores medidos se representan en función de la profundidad de cada ensayo en la figura siguiente.

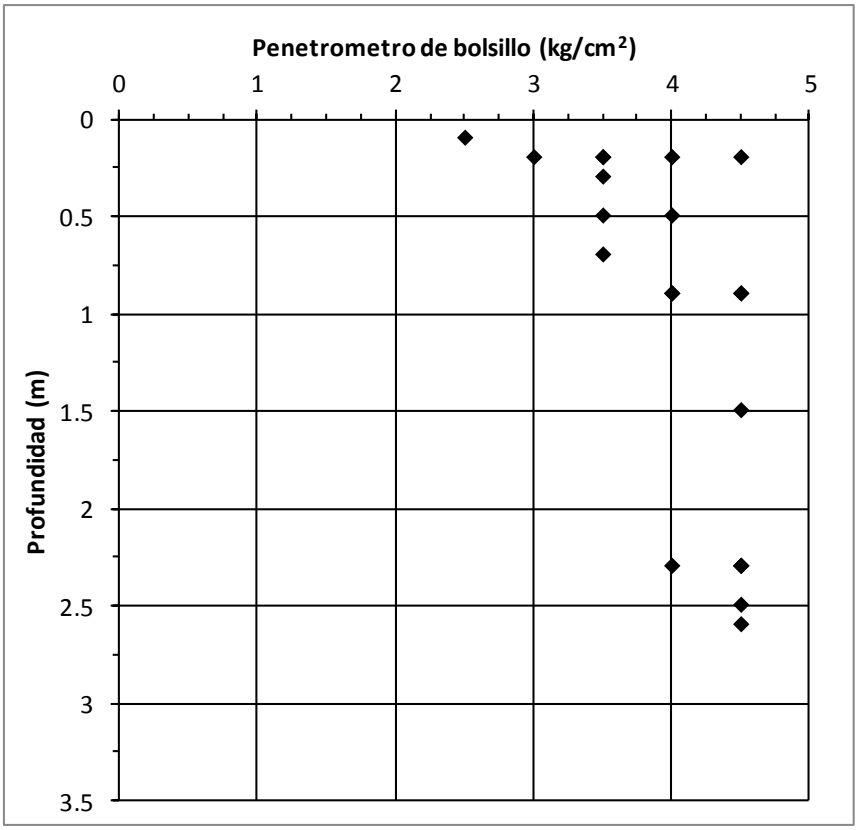


Figura 5-78. Penetrómetros de bolsillo con la profundidad.

Fuente: Renovatio 2017

Los valores medidos son altos a muy altos indicando compacidades elevadas de los suelos cohesivos atravesados.

5.1.7.1.2 Resultados de los ensayos de laboratorio

- Humedad natural, densidades, granulometrías y límites de Atterberg.
- Clasificación de suelos según USCS y AASHTO.
- Ensayos químicos.
- Proctor modificado y resultados obtenidos a partir del estudio de los ensayos de los CBR.

Tabla 5-85. Humedad natural, densidades, granulometrías y límites de Atterberg.

Calicata (Nº)	Muestra	Profundidad (m)	Humedad Natural (%)	Densidad Real (g/cm^3)	Densidad Aparente (g/cm^3)	Granulometría			Límites Atterberg		
						Grava (%)	Arenas (%)	Finos (%)	Límite Líquido LL (%)	Límite Plástico LP (%)	Índice de Plasticidad IP (%)
1	M1	0.00-0.30	4.3	2.71	1.83	0	22.2	77.8	81.5	34.5	47
1	M2	0.30-1.70	3.9	2.58	1.94	0	28.4	71.6	74.3	33.9	40.4
1	M3	1.70-3.50	7.9	2.64	1.97	0	22.3	77.7	87.2	32.7	54.5
2	M1	0.00-1.00	1.4			0	48.1	51.9	46.5	27.9	18.6
2	M2	1.00-3.50	2.7			0	29	71	73.4	31.4	42
3	M1	0.00-1.50	4.3			0	13.9	86.1	88.5	33.7	54.8
3	M2	1.50-3.50	6.3			0	17.4	82.6	84.9	35.4	49.5
4	M1	0.00-0.40	4.8			0	26.5	73.5	78.6	34.2	44.4
4	M2	0.40-1.30	5.1			0	25.5	74.5	90.7	37.4	53.3
4	M3	1.30-3.50	10.9			0	24.5	75.5	92.9	57.3	35.6
5	M1	0.00-0.30	3.4	2.68	1.97	0	20.1	79.9	68.6	31.5	37.1
5	M2	0.30-3.20	6.2	2.65	1.94	0	20	80	73.1	32.5	40.6
5	M3	3.20-3.50	7.7	2.76	2.06	0	24.9	75.1	77.4	37.6	39.8
6	M1	0.00-0.35	3.6			0	18.9	81.1	82.6	32.3	50.3
6	M2	0.35-0.80	4.4			0	16.5	83.5	68	31.6	36.4
6	M3	0.80-3.50	4.8			0	19.3	80.7	80.9	33.5	47.4
7	M1	0.00-0.40	3.1			0	5.8	94.2	91.7	37.4	54.3
7	M2	0.40-1.40	6.2			0	6.1	93.9	88.7	36.4	52.3
7	M3	1.40-3.50	5.7			0	18.8	81.2	85.6	35.5	50.1
8	M1	0.00-0.15	0.1			0	95.3	4.7	-	-	NP
8	M2	0.15-1.00	9			0	13.2	86.8	-	-	-
9	M1	0.00-0.20	4.1			0	23.5	76.5	-	-	-
9	M2	0.20-1.00	10.8			0	25.8	74.2	-	-	-
Vía	M1	0.00-0.20	1.1	2.83		0	39.2	60.8	-	-	-

Fuente: Renovatio 2017, con base en resultados de laboratorio

En las gráficas siguientes se representan:

- La variación del contenido de finos con la profundidad. En ella se puede apreciar una buena homogeneidad (excepto una muestra) de dicho contenido variando entre el 70 y el 90%. Será objeto de estudio la determinación de la fracción arcillosa y de la fracción limosa en estudios posteriores.
- La carta de plasticidad de Casagrande, en la que se confirma que los suelos cohesivos se clasifican como CH-MH, excepto una muestra (ML).
- La variación de la humedad natural en relación a los límites plásticos y líquidos con la profundidad.
- Estos datos se sintetizan mediante el índice de liquidez en la gráfica siguiente.

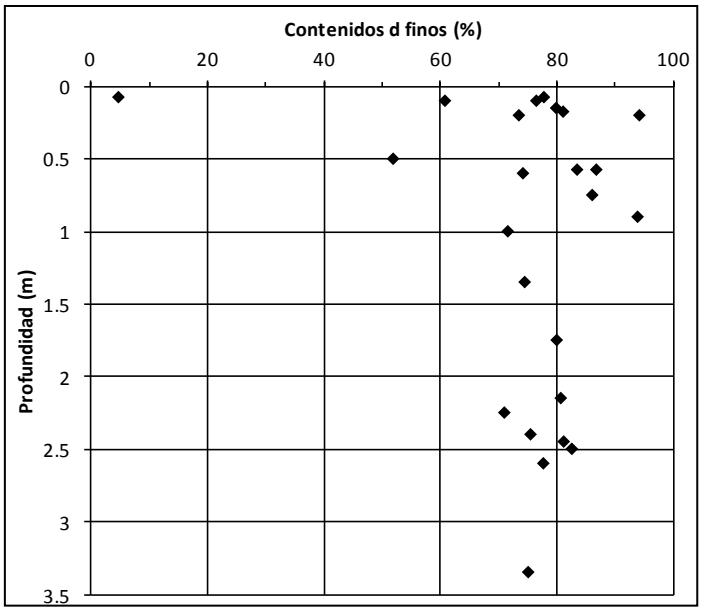


Figura 5-79. Contenido de Finos con la profundidad.

Fuente: Renovatio 2017

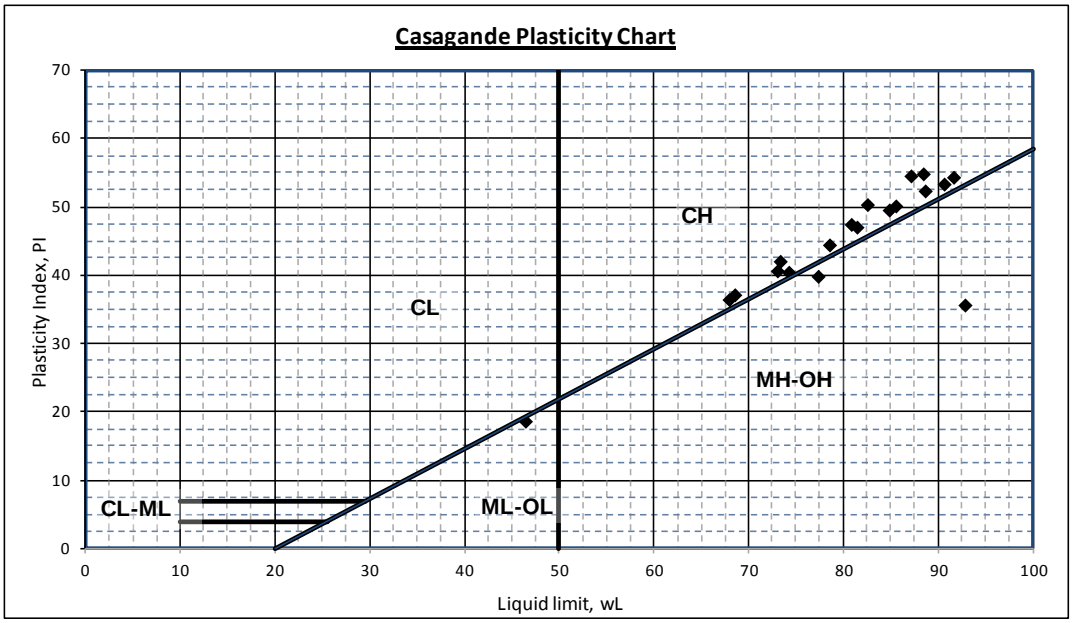


Figura 5-80. Carta de Plasticidad de Casagrande.

Fuente: Renovatio 2017

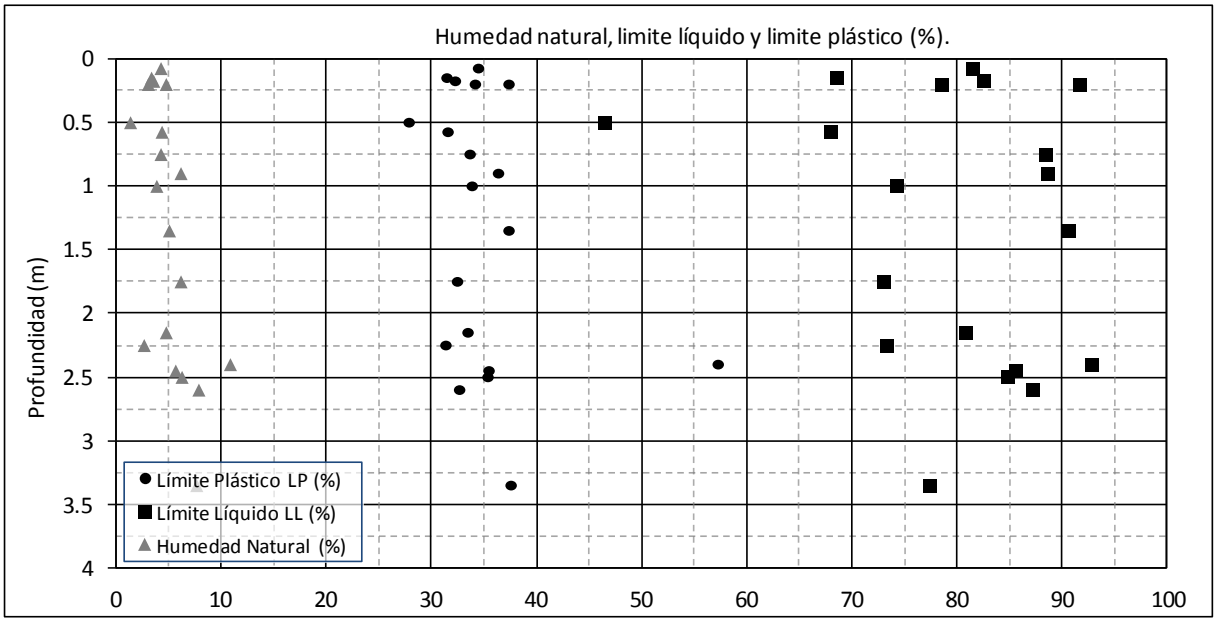


Figura 5-81. Humedad natural, límites líquidos y plásticos con la profundidad.

Fuente: Renovatio 2017

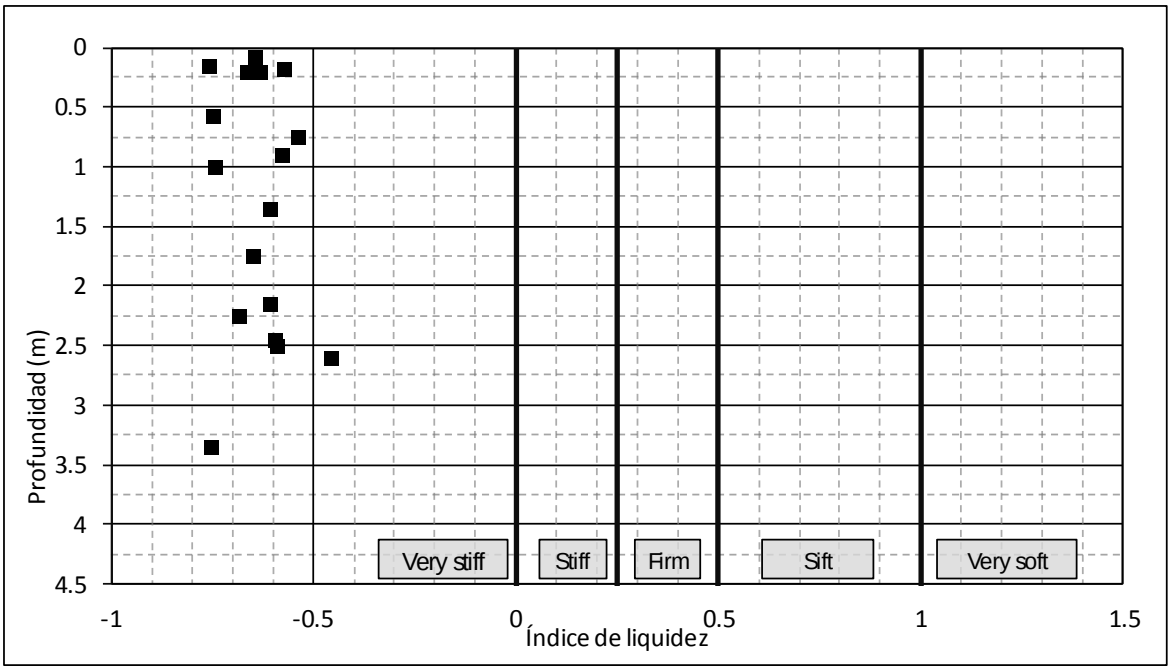


Figura 5-82. Índice de liquidez (LI) con la profundidad.

Fuente: Renovatio 2017

Tabla 5-86. Clasificación de suelos según USCS y AASHTO.

Calicata (Nº)	Muestra	Profundidad (m)	Clasificación Suelos	
			USCS	AASHTO
1	M1	0.00-0.30	CH	A-7-5
1	M2	0.30-1.70	CH	A-7-5
1	M3	1.70-3.50	CH	A-7-5
2	M1	0.00-1.00	ML	A-7-6
2	M2	1.00-3.50	CH	A-7-5
3	M1	0.00-1.50	CH	A-7-5
3	M2	1.50-3.50	CH	A-7-5
4	M1	0.00-0.40	CH	A-7-5
4	M2	0.40-1.30	CH	A-7-5
4	M3	1.30-3.50	CH	A-7-5
5	M1	0.00-0.30	CH	A-7-5
5	M2	0.30-3.20	CH	A-7-5

Calicata (Nº)	Muestra	Profundidad (m)	Clasificación Suelos	
			USCS	AASHTO
5	M3	3.20-3.50	MH	A-7-5
6	M1	0.00-0.35	CH	A-7-5
6	M2	0.35-0.80	CH	A-7-5
6	M3	0.80-3.50	CH	A-7-5
7	M1	0.00-0.40	CH	A-7-5
7	M2	0.40-1.40	CH	A-7-5
7	M3	1.40-3.50	CH	A-7-5
8	M1	0.00-0.15	SP	A-3
8	M2	0.15-1.00	CH o MH	A-7-5 o A-7-6
9	M1	0.00-0.20	CH o MH	A-7-5 o A-7-6
9	M2	0.20-1.00	CH o MH	A-7-5 o A-7-6
Vía	M1	0.00-0.20	CH o MH	A-7-5 o A-7-6

Fuente: Renovatio 2017, con base en resultados de laboratorio

Tabla 5-87. Ensayos químicos.

Calicata (Nº)	Muestra	Profundidad (m)	Ensayos Químicos				
			Sales Solubles SS (%)	Materia Orgánica MO (%)	Carbonatos CO_3 (meq/l)	Sulfatos SO_4^{2-} (%)	Acidez Baumann-Gully (ml/kg)
1	M1	0.00-0.30					
1	M2	0.30-1.70					
1	M3	1.70-3.50					
2	M1	0.00-1.00	0.063	0.048	0.010	0.012	50.0
2	M2	1.00-3.50	0.253	0.010	49.630	0.003	38.0
3	M1	0.00-1.50					
3	M2	1.50-3.50					
4	M1	0.00-0.40	0.578	0.190	89.520	0.084	112.0
4	M2	0.40-1.30	0.752	0.010	359.680	0.066	0.1
4	M3	1.30-3.50	0.907	0.010	157.310	0.190	14.0

Calicata (Nº)	Muestra	Profundidad (m)	Ensayos Químicos				
			Sales Solubles SS (%)	Materia Orgánica MO (%)	Carbonatos CO_3 (meq/l)	Sulfatos SO_4^{2-} (%)	Acidez Baumann-Gully (ml/kg)
5	M1	0.00-0.30					
5	M2	0.30-3.20					
5	M3	3.20-3.50					
6	M1	0.00-0.35	0.446	0.280	68.430	0.024	130.0
6	M2	0.35-0.80	0.823	0.010	148.380	0.049	0.1
6	M3	0.80-3.50	2.300	0.010	501.360	0.520	0.1

Fuente: Renovatio 2017, con base en resultados de laboratorio

Tabla 5-88. Proctor modificado y resultados obtenidos a partir del estudio de los ensayos de los CBR.

Calicata (Nº)	Muestra	Profundidad (m)	Proctor Modificado		Estudio de CBR			
			Densidad Seca Máx. gd (g/cm3)	Humedad Óptima wopt (%)	CBR 100 % PM (%)	CBR 98 % PM (%)	CBR 95 % PM (%)	CBR Representativo In situ (%)
1	M1	0.00-0.30						
1	M2	0.30-1.70						
1	M3	1.70-3.50						
2	M1	0.00-1.00	2.06	6.67	23	19	13	3
2	M2	1.00-3.50						
3	M1	0.00-1.50						
3	M2	1.50-3.50						
4	M1	0.00-0.40	1.98	9.46	25	20	9	3
4	M2	0.40-1.30						
4	M3	1.30-3.50						
5	M1	0.00-0.30						
5	M2	0.30-3.20						
5	M3	3.20-3.50						

Calicata (Nº)	Muestra	Profundidad (m)	Proctor Modificado		Estudio de CBR			
			Densidad Seca Máx. gd (g/cm3)	Humedad Óptima wopt (%)	CBR 100 % PM (%)	CBR 98 % PM (%)	CBR 95 % PM (%)	CBR Representativo In situ (%)
6	M1	0.00-0.35	2.09	9.04	19	17	14	3
6	M2	0.35-0.80						
6	M3	0.80-3.50						

Fuente: Renovatio 2017, con base en resultados de laboratorio

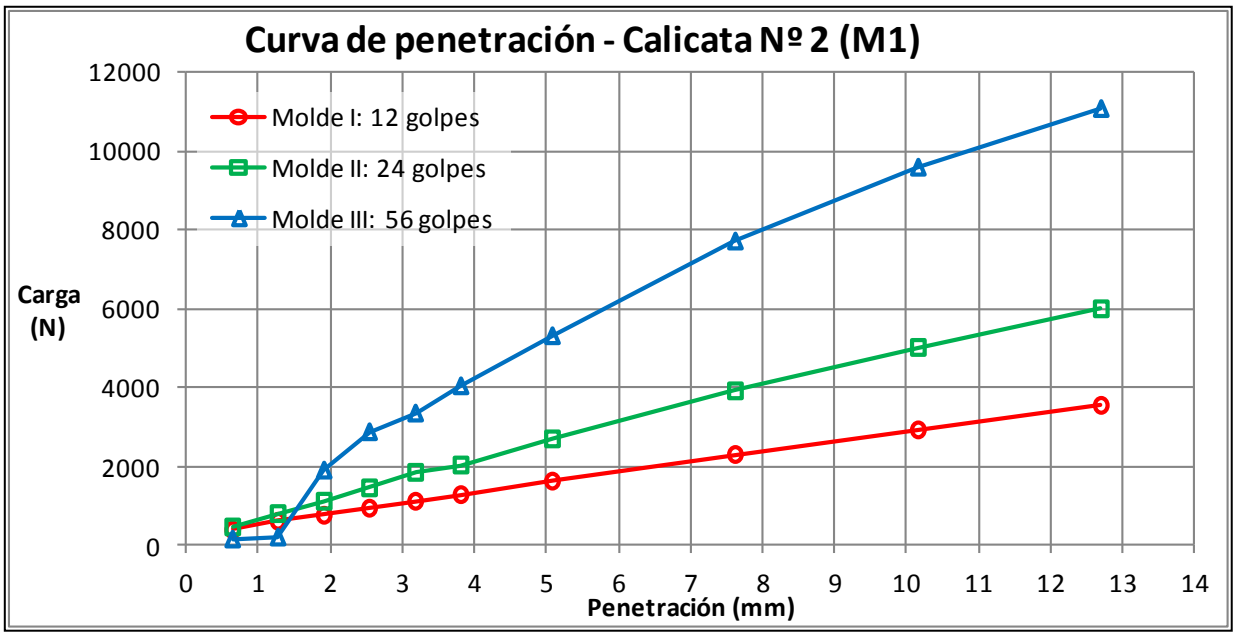


Figura 5-83. Ensayo CBR: Carga vs Penetración. Calicata Nº2.

Fuente: Renovatio 2017

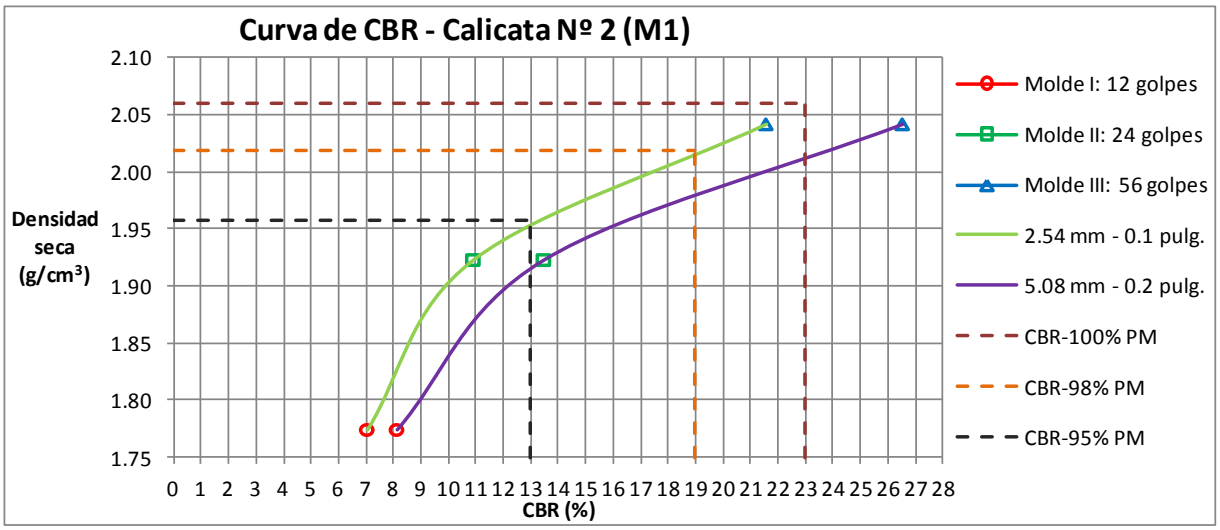


Figura 5-84. Curva CBR: Densidad seca vs CBR. Calicata Nº2.

Fuente: Renovatio 2017

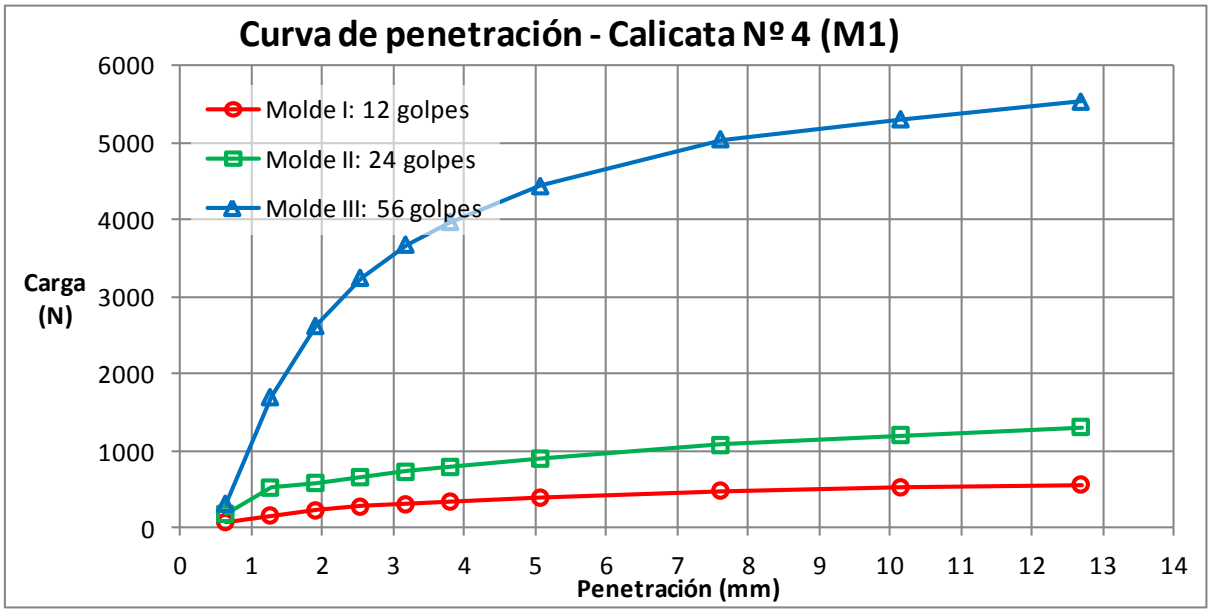


Figura 5-85. Ensayo CBR: Carga vs Penetración. Calicata Nº4.

Fuente: Renovatio 2017

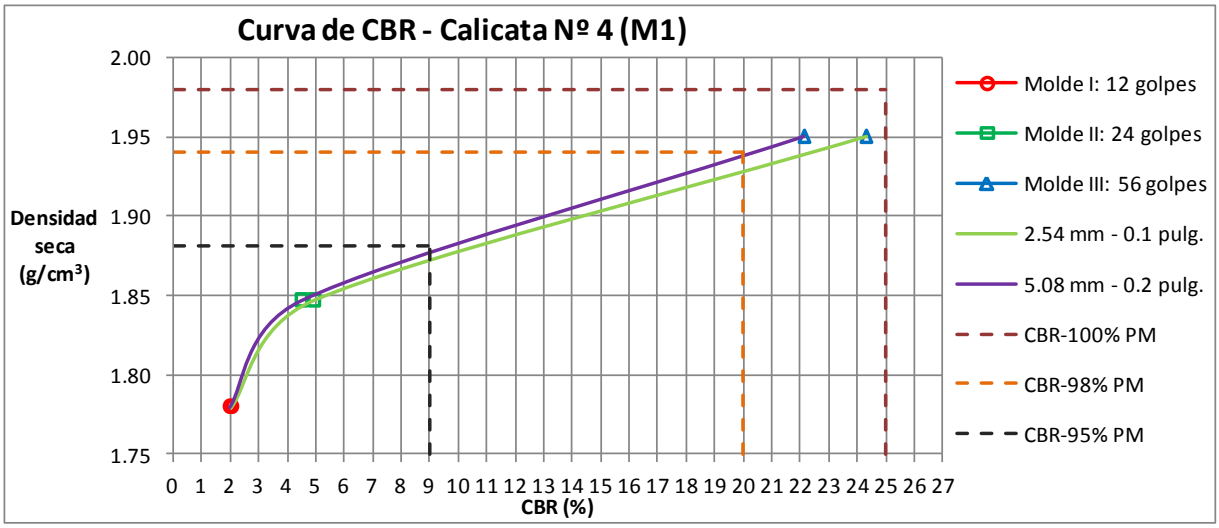


Figura 5-86. Curva CBR: Densidad seca vs CBR. Calicata Nº4.

Fuente: Renovatio 2017

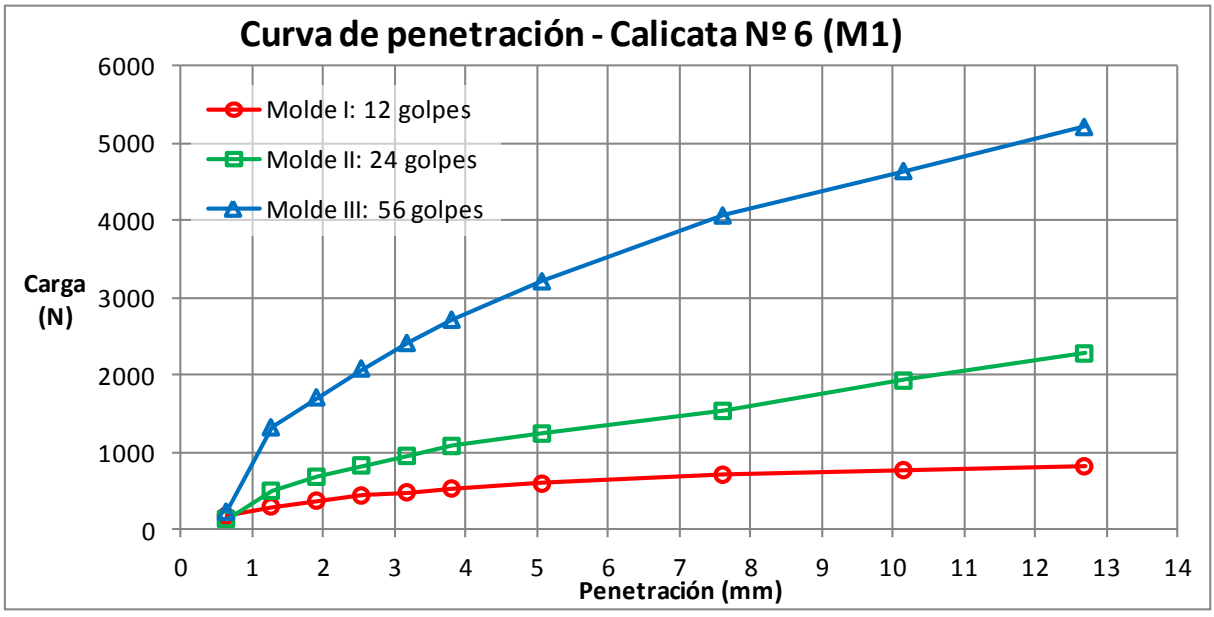


Figura 5-87. Ensayo CBR: Carga vs Penetración. Calicata Nº6.

Fuente: Renovatio 2017

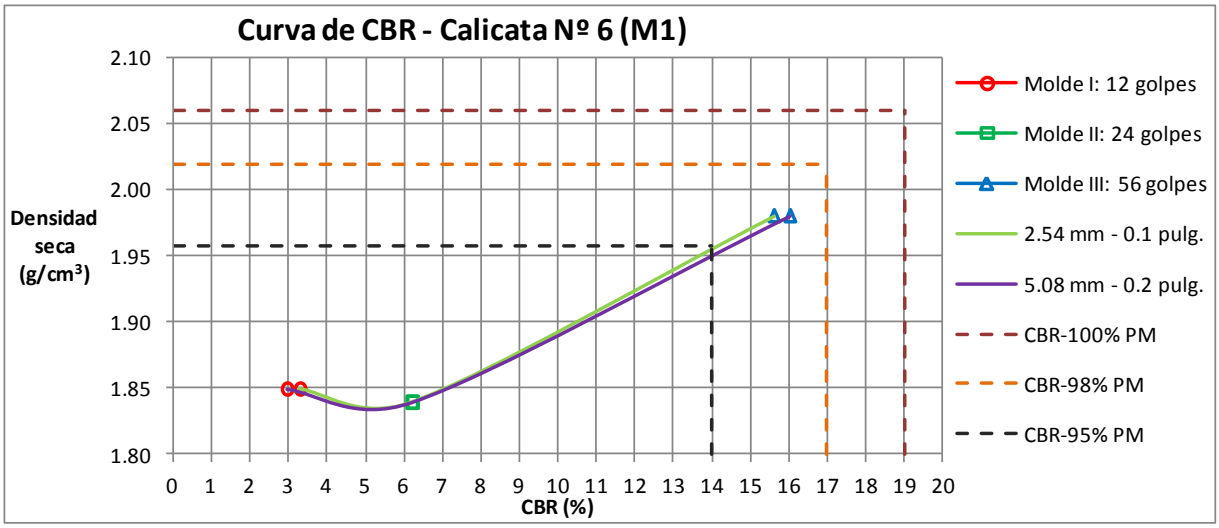


Figura 5-88. Curva CBR: Densidad seca vs CBR. Calicata Nº6.

Fuente: Renovatio 2017

5.1.7.1.3 Agresividad del suelo

Durante la investigación geotécnica se han realizado ensayos químicos sobre 8 muestras con objeto de analizar el grado de ataque del suelo al hormigón de elementos estructurales o de cimentación. Todas estas muestras fueron obtenidas de calicatas.

Se ha analizado el contenido en sulfatos, carbonatos, sales solubles, materia orgánica y la acidez de Baumann-Gully. Los resultados se pueden ver en la Tabla 5-89.

Para valorar la agresividad del suelo al hormigón por la presencia de sulfatos se ha seguido lo indicado en la normativa ACI 318M-11, donde se incluye la clasificación de exposición a sulfatos en función de la cantidad de sulfatos detectada en las muestras analizadas.

TABLE 4.2.1 — EXPOSURE CATEGORIES AND CLASSES

Category	Severity	Class	Condition	
F Freezing and thawing	Not applicable	F0	Concrete not exposed to freezing-and-thawing cycles	
	Moderate	F1	Concrete exposed to freezing-and-thawing cycles and occasional exposure to moisture	
	Severe	F2	Concrete exposed to freezing-and-thawing cycles and in continuous contact with moisture	
	Very severe	F3	Concrete exposed to freezing-and-thawing and in continuous contact with moisture and exposed to deicing chemicals	
S Sulfate			**Water-soluble sulfate (SO_4) in soil, percent by mass***	**Dissolved sulfate (SO_4) in water, ppm†**
	Not applicable	S0	$SO_4 < 0.10$	$SO_4 < 150$
	Moderate	S1	$0.10 \le SO_4 < 0.20$	$150 \le SO_4 < 1500$ Seawater
	Severe	S2	$0.20 \le SO_4 \le 2.00$	$1500 \le SO_4 \le 10{,}000$
	Very severe	S3	$SO_4 > 2.00$	$SO_4 > 10{,}000$
P Requiring low permeability	Not applicable	P0	In contact with water where low permeability is not required	
	Required	P1	In contact with water where low permeability is required.	
C Corrosion protection of reinforcement	Not applicable	C0	Concrete dry or protected from moisture	
	Moderate	C1	Concrete exposed to moisture but not to external sources of chlorides	
	Severe	C2	Concrete exposed to moisture and an external source of chlorides from deicing chemicals, salt, brackish water, seawater, or spray from these sources	

*Percent sulfate by mass in soil shall be determined by ASTM C1580.
†Concentration of dissolved sulfates in water in ppm shall be determined by ASTM D516 or ASTM D4130.

Figura 5-89. ACI 318M-11. Clase de exposición a sulfatos.

Fuente: Renovatio 2017

De acuerdo con la clase de exposición, el diseñador debe establecer en los planos estructurales las especificaciones del concreto estructural empleado para fabricar los distintos elementos estructurales.

En este caso, a partir de los resultados obtenidos en los ensayos de sulfatos en calicatas, tenemos que 6 de 8 muestras presentan una exposición a sulfatos despreciable (“No aplica”) de acuerdo con la ACI 318M-11 mientras que las dos restantes presentan una exposición a Moderada y Severa.

Tabla 5-89. Exposición a sulfatos. Ensayos en calicatas.

Calicata (Nº)	Muestra	Profundidad (m)	Ensayos Químicos	Exposición por sulfatos ACI 318M-11
			Sulfatos SO_4^{2-}(%)	
2	M1	0.00-1.00	0.012	No aplica
2	M2	1.00-3.50	0.003	No aplica
4	M1	0.00-0.40	0.084	No aplica
4	M2	0.40-1.30	0.066	No aplica
4	M3	1.30-3.50	0.190	Moderado
6	M1	0.00-0.35	0.024	No aplica
6	M2	0.35-0.80	0.049	No aplica
6	M3	0.80-3.50	0.520	Severo

Fuente: Renovatio 2017, con base en resultados de laboratorio

5.1.7.1.4 Nivel freático

No se ha detectado la presencia de agua en ninguna de las calicatas realizadas. Cabe apuntar que este dato es puntual en el tiempo y no representativo de todo el año salvo confirmación en contra.

La configuración geomorfológica de la zona de estudio muestra la existencia de arroyos más o menos encajados con circulación de agua, por lo general, estacional o localizada en periodos de lluvias.

Durante las visitas de campo no se detectó la presencia de agua circulando por dichos arroyos.

Si bien a priori no se espera la afección de niveles freáticos sobre las cimentaciones de los aerogeneradores, en siguientes campañas de investigación geotécnica se recomienda estudiar la presencia del nivel freático a los largo del año especialmente en aquellas posiciones de aerogenerador que se encuentren cercanas a arroyos.

5.1.7.1.5 Riesgos Geológicos-Geotécnicos

5.1.7.1.5.1 *Estabilidad de laderas*

El parque eólico se ubica en una zona llana con alturas que varían entre los 14 y los 30 m sobre el nivel del mar en un área de 30-35 km2.

No se encontraron evidencias de fenómenos de inestabilidad de laderas que puedan afectar a las cimentaciones y/o a las infraestructuras viarias del parque eólico.

5.1.7.1.5.2 *Sismicidad*

En la Figura 5-90 se muestra el mapa de zonificación sísmica de Colombia contenido en el Reglamento NSR-10, en Figura 5-91 el mapa de valores de Aa, y en la Figura 5-92 el mapa de valores de Av. Los dos últimos mapas corresponden a las aceleraciones horizontales del sismo de diseño del Reglamento en roca y expresadas como porcentaje de la aceleración de la gravedad, para períodos de vibración cortos y para períodos de vibración intermedios, respectivamente.

Según estos mapas de zonificación sísmica, la zona del parque eólico tiene un riesgo Intermedio dentro de una escala que clasifica el riesgo como Bajo, Intermedio y Alto. En cuanto a la aceleración pico efectiva horizontal de diseño para períodos de vibración cortos el parque se encuentra en la Región 2 mientras que para la aceleración pico efectiva horizontal de diseño para períodos de vibración intermedios está en la Región 3.

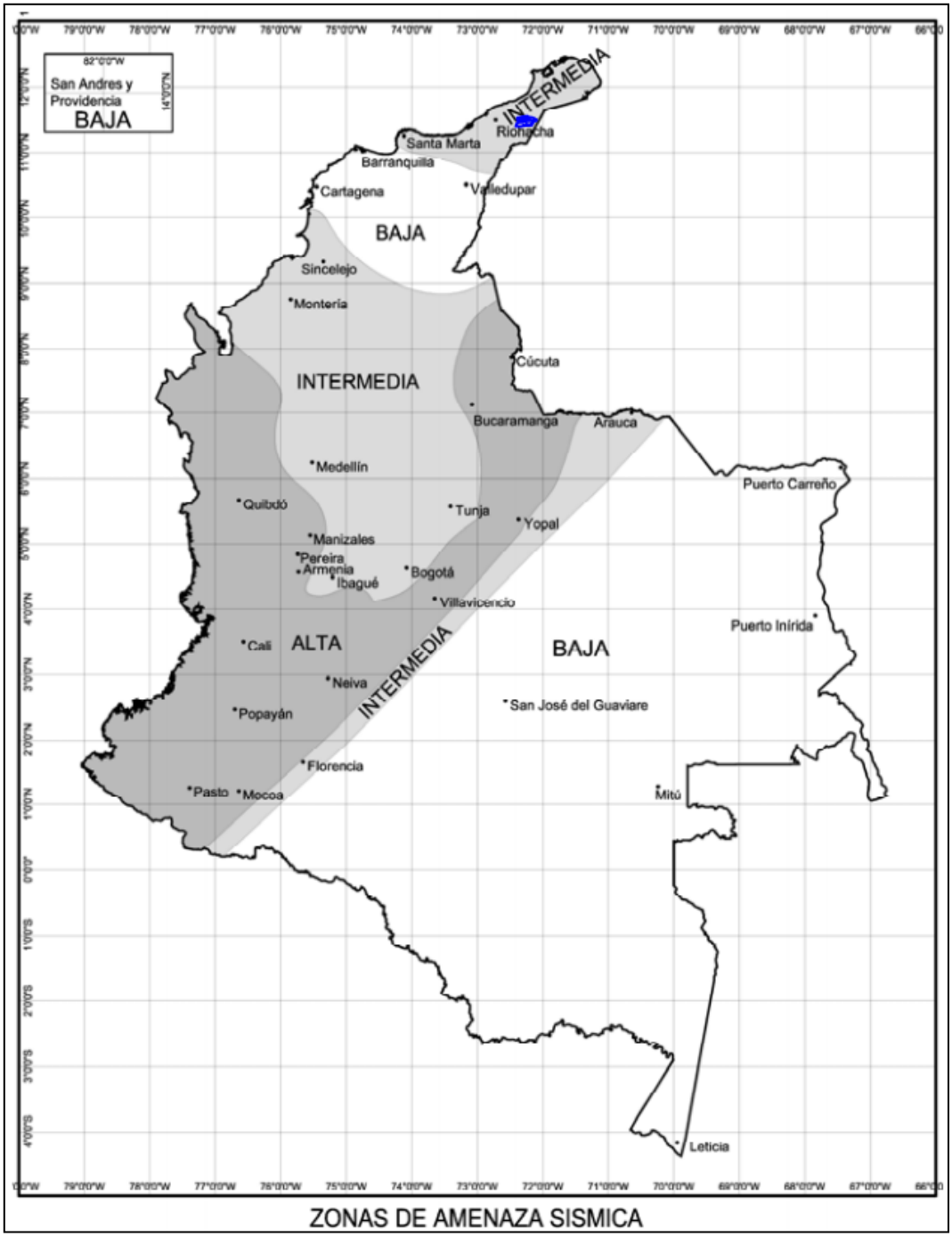


Figura 5-90. Mapa de zonificación sísmica de Colombia.

Fuente: Renovatio 2017

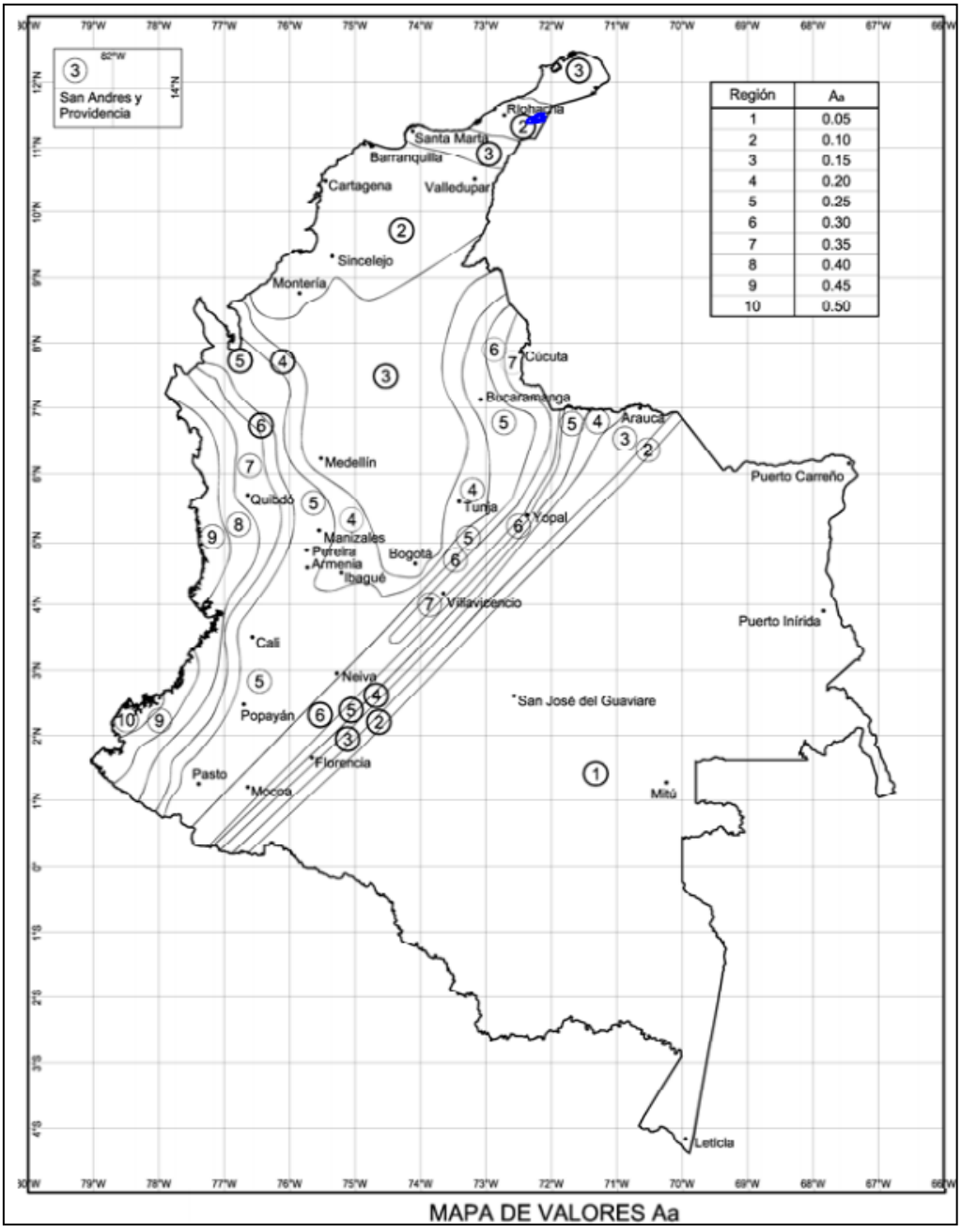


Figura 5-91. Mapa de Aa (aceleración pico efectiva horizontal de diseño para períodos de vibración cortos expresada como fracción de la aceleración de la gravedad, g = 9.8 m/s²).

Fuente: Renovatio 2017

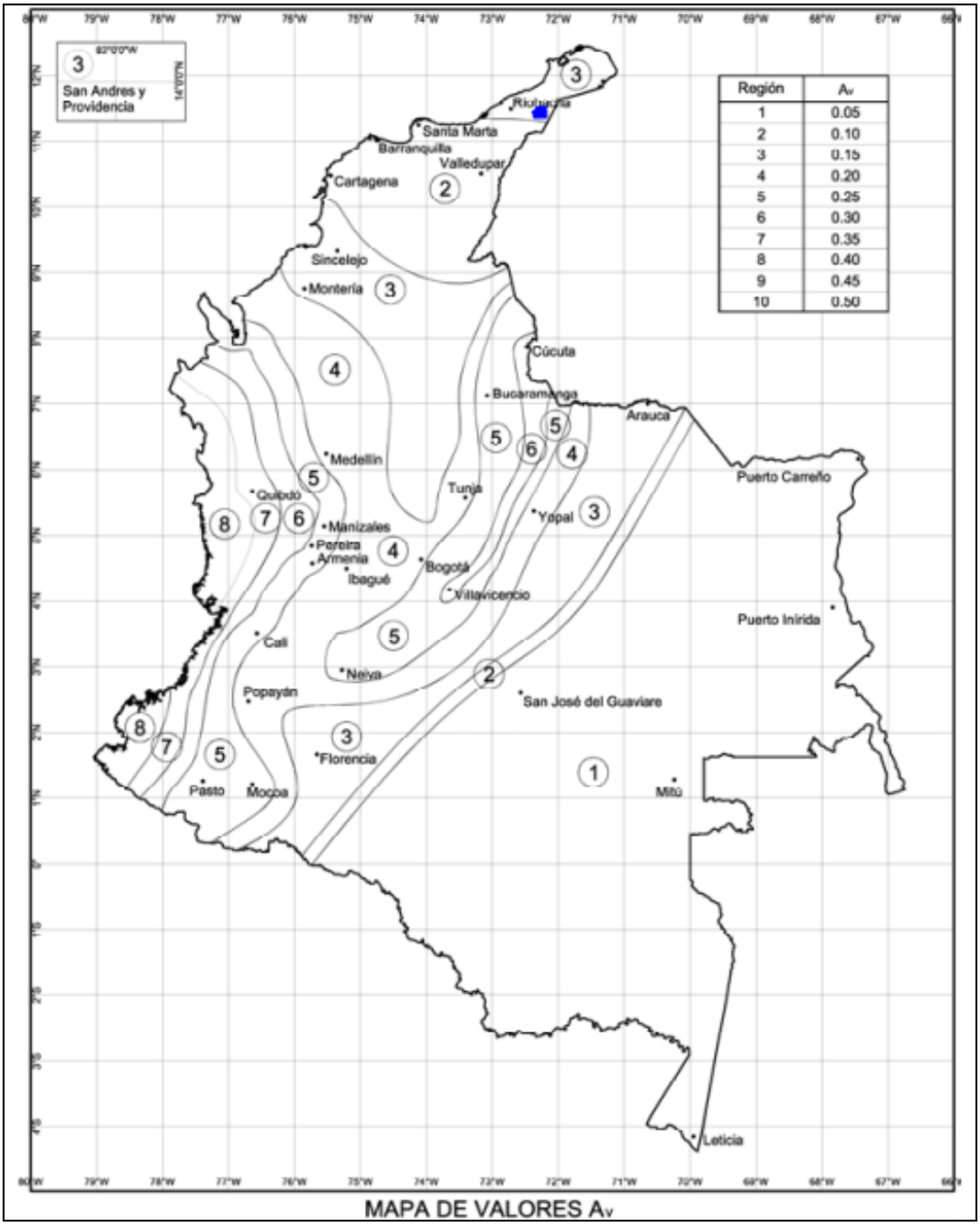


Figura 5-92. Mapa de Av (aceleración pico efectiva horizontal de diseño para períodos de vibración intermedios expresada como fracción de la aceleración de la gravedad, g = 9.8 m/s²).

Fuente: Renovatio 2017

5.1.7.1.6 Expansividad

A partir de los límites de Atterberg se puede tener estimadores del potencial de expansividad de suelos cohesivos. En este caso se han utilizado dos criterios, el de Sowers y el de Daksanamurthy & Raman, cuyas referencias se dan a continuación:

- Dakshanamurthy and, V., and Raman, V., (1973), A Simple Method of Identifying an Expansive Soil, Soils and Foundation, Japan Society of SMFE, Vol. 13, No. 1, pp. 97-104.
- Sowers, G.B., (1970), Introductory Soil Mechanics and Foundations", 3rd Ed.

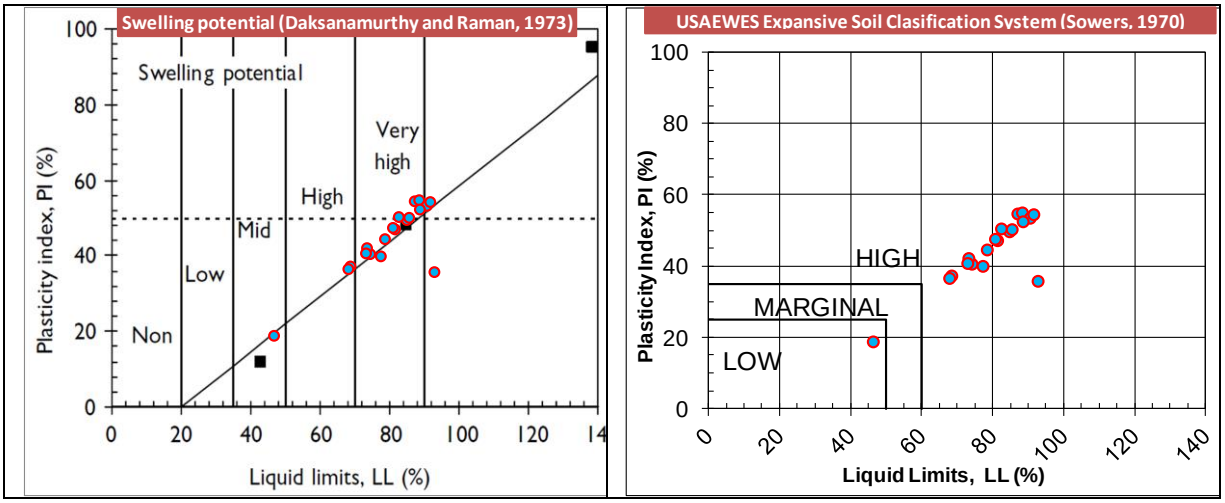


Figura 5-93. Potencial de expansividad según Sowers y Daksanamurthy & Raman.

Fuente: Renovatio 2017

Como se puede apreciar, la mayoría de las muestras analizadas tienen límites líquidos e índices de plasticidad altos, lo que les confiere potenciales de expansividad elevados.

Este riesgo deberá ser objeto de un estudio más avanzado en fases posteriores del proyecto. En particular, se recomienda caracterizar la presión de hinchamiento, el hinchamiento libre y el espesor de la capa activa en las zonas sensibles del parque.

5.1.7.2 *Estabilidad de taludes*

5.1.7.2.1 Taludes permanentes

Se prevé que los desmontes y terraplenes que se diseñen en las infraestructuras viarias de este proyecto sean de pequeña envergadura debido a lo llana que es la zona del parque eólico.

Recomendaciones para los taludes permanentes:

- Desmontes: 3H/2V.
- Terraplenes: 3H/2V.

5.1.7.2.2 Taludes temporales

Se excavarán taludes provisionales para alcanzar el nivel de desplante de las estructuras.

Como regla general se adoptarán taludes 1H/1V.

Para el caso de las cimentaciones de los aerogeneradores, se hacen las siguientes recomendaciones:

- La excavación hasta el nivel de desplante se hará con pendientes adecuadas según las condiciones del terreno. Las pendientes no deben exceder un talud 1H/1V en suelos. Los taludes deben ser inspeccionados por un ingeniero geotécnico o geólogo, y si es necesario, se adoptarán pendientes más horizontales.
- Se prestará especial atención al primer medio metro de excavación donde pueden aparecer capas de suelos granulares blandas. Los taludes deberán ser inspeccionados por un ingeniero geotécnico o geólogo, y si es necesario, se adoptarán pendientes más horizontales que la 1H/1V, al menos 3H/2V.

5.1.7.3 *Estudio de materiales*

5.1.7.3.1 Tierra vegetal

La tierra vegetal deberá ser retirada y llevada a los depósitos de materiales. A priori parece razonable adoptar para todo el parque eólico un espesor medio de tierra vegetal de 0,15 m, ya que a partir de la información de campo, se aprecia que el espesor de tierra vegetal puede ser despreciable o inexistente.

En cualquier caso, este valor tendrá que ser valorado y estudiado en mayor detalle en campañas de investigación geotécnica complementarias posteriores.

5.1.7.3.2 Excavabilidad de los materiales encontrados

Los materiales se clasifican, según su excavabilidad, en:

- Excavable: puede ser retirado mediante la pala de la excavadora.
- Ripable: puede ser retirado mediante el ripado con excavadora.
- Marginal: en función de su fracturación, estructura y buzamiento puede llegar a ser ripado.
- No ripable: no puede ser retirado ni con pala ni ripando. Tendría que ser excavado mediante voladuras o con martillo rompedor.

A partir de la información obtenida en la investigación geotécnica se prevé que todos los materiales afectados por los movimientos de tierras y las cimentaciones sean excavables. No obstante, cabe la posibilidad de que se requiera el uso puntual del ripado con la excavadora ante la presencia de suelos muy compactos.

5.1.7.3.3 Aprovechamiento de los materiales de la zona de estudio para capas base o subbase de las vías

Los materiales encontrados en las calicatas se clasifican como A-7-6 y A-7-5 según la ASSHTO y como MH o CH según la USCS. Por lo tanto, dichos materiales no se recomiendan para su uso en capas de base o subbase de los viales.

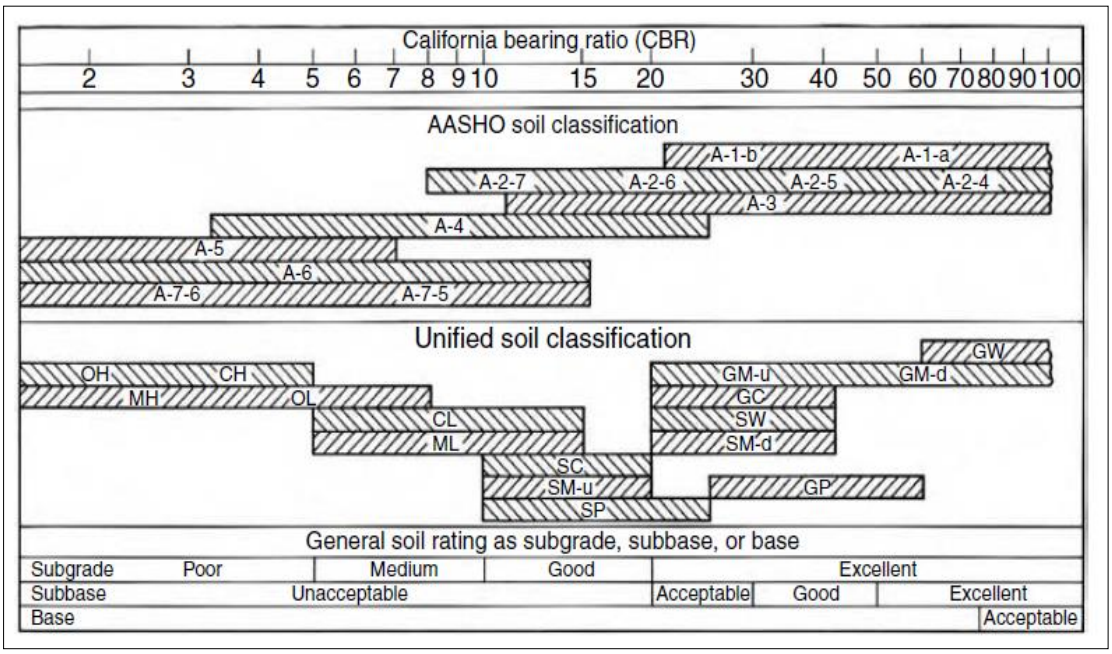


Figura 5-94. Valores de CBR característicos según las clasificaciones AASHTO y USCS.

Fuente: Renovatio 2017

5.1.7.3.4 CBR para el dimensionamiento del firme

A partir de los tres ensayos realizados y de la bibliografía consultada (ver Figura 5-95 y Figura 5-96), se recomienda considerar un CBR de 3 para el dimensionamiento de los firmes.

Table 13.12 Consistency of cohesive soil.

Term	*Field assessment*	*Undrained shear strength (kPa)*	*Approximate CBR %*	
			Undisturbed	*Remoulded*
Very soft	Exudes between fingers when squeezed	<12	≤1	≤1
Soft	Can be moulded by light finger pressure	12–25		1–2
Firm	Can be moulded by strong finger pressure	25–50	1–2	2–4
Stiff	Cannot be moulded by fingers Can be indented by thumb pressure	50–100	2–5	5–10
Very stiff	Can be indented by thumb nail	100–200	5–10	10–20
Hard	Difficult to indented by thumb nail	>200	>10	>20

Figura 5-95. Valores de CBR en suelos cohesivos (Look, 2014).

Fuente: Renovatio 2017

Table 13.13 Typical values of subgrade CBR.

Soil type	*USC symbol*	*Description*	*Drainage*	*CBR % (Standard)*
Competent broken rock, gravel sizes	GW, GP	e.g. Sandstone, granite, greywacke Well graded, poorly graded	All	20
Competent broken rock – some fines formed during construction gravel sizes, sands	GM, GC SW, SP	e.g. Phyllites, siltstones Silty, clayey, well graded, poorly graded	All	15
Weathered rock likely to weather or degrade during construction	ALL	e.g. Shales, mudstones	All	Treat as soil below
Sands	SM, SC	Silty, clayey	Good	10
Sands	SM, SC	Silty, clayey	Poor	7
Inorganic silts	ML	Low plasticity	Good	
Inorganic silts	ML	Low plasticity	Poor	5
Inorganic clays	CL	Low plasticity	Good	
Inorganic clays	CH	High plasticity	Good	
Inorganic silts	MH	High plasticity	Good	3
Inorganic clays	CL	Low plasticity	Poor	
Inorganic silts	MH	High plasticity	Poor	<3
Inorganic clays	CH	High plasticity	Poor	

Figura 5-96. Valores de CBR según la clasificación USCS (Look, 2014).

Fuente: Renovatio 2017

5.1.7.4 *Recomendaciones de cimentaciones de aerogeneradores*

Las calicatas realizadas han puesto de manifiesto terrenos de compacidad alta en los primeros 3.5 m bajo la cota del terreno natural. No se ha evidenciado la presencia de depósitos de consistencia blanda o de densidad suelta en los puntos estudiados.

Teniendo en cuenta los condicionantes y los datos disponibles, las cimentaciones de los aerogeneradores podrían plantearse mediante zapatas de hormigón sin necesidad de cimentaciones profundas. La cota de apoyo se ubicará entre 2.0 y 3.0 m bajo la cota del terreno natural.

No obstante, cabe apuntar que las tensiones transmitidas por una cimentación superficial de un aerogenerador pueden llegar a profundidades de 2,0-2,5 veces el ancho efectivo de la zapata (20-25 m de profundidad aproximadamente) mientras que en las investigaciones realizadas se ha llegado a profundidades máximas de 3,5 m. Por ello se requiere investigación geotécnica adicional que llegue a tales profundidades por si hubiera capas blandas y de menor compacidad que las detectadas hasta los 3,5 m.

La necesidad de mejora del terreno en los primeros metros vendrá dictada principalmente por los requerimientos de asientos y rigidez rotacional dinámica.

5.1.7.5 *Zonificación geotécnica*

La siguiente figura muestra el mapa geotécnico resultado del cruce de los resultados obtenidos en el estudio geológico, estudio geomorfológico y de la campaña de investigación geotécnica ejecutada.

En el mismo se puede observar la distribución de los suelos con baja capacidad portante, en la que se agrupan las arenas eólicas, los depósitos de cauce aluvial y los depósitos antrópicos. En esta unidad se pueden esperar asimismo y de modo preliminar, asientos elevados.

Subyacendo a éstos materiales se muestra la distribución de los materiales de compacidad, que se corresponden con los materiales de la Planicie fluvio-marina-eólica. En estos materiales, debido a los límites de Atterberg estudiados, debe estudiarse con detenimiento el potencial riesgo de expansividad.

Por otro lado, y tomando los datos del insumo Geomorfología Numeral 5.1.2, se ha superpuesto mediante trama vertical a la base del mapa geotécnico las zonas con problemas erosivos en las que se han reconocido elementos de socavación lateral y zona de surcos.

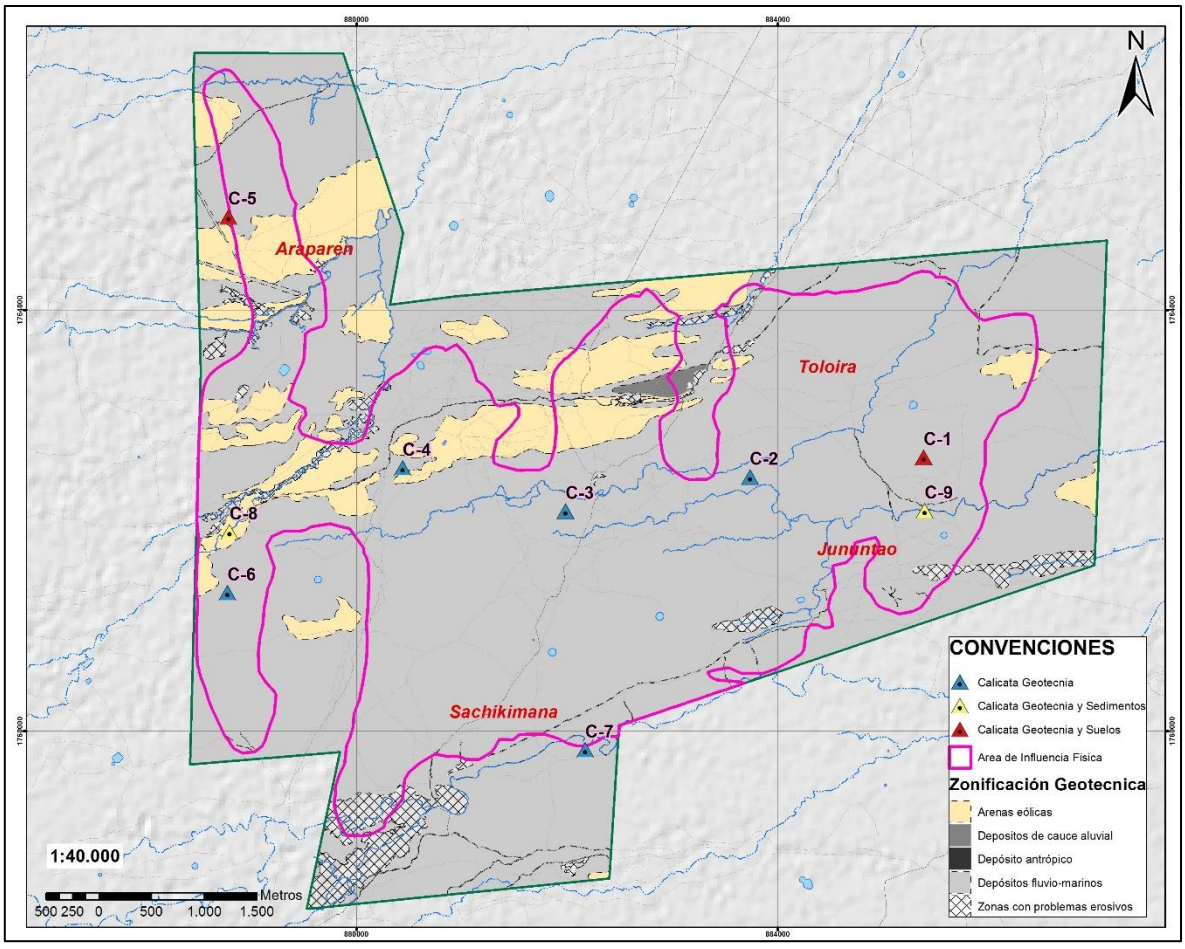


Figura 5-97. Zonificación geotécnica

Fuente: Renovatio 2017

5.1.7.6 *Recomendaciones de investigaciones geotécnicas futuras*

La investigación geotécnica realizada para este informe es preliminar y en ningún caso definitiva.

A continuación, se hacen recomendaciones de una campaña geotécnica más completa para el diseño de las infraestructuras viarias y las cimentaciones de los aerogeneradores. Esta campaña es una propuesta inicial sujeta a modificaciones y mejoras.

Trabajos de campo:

- Calicatas mecánicas (14, aproximadamente 1 calicata cada 2 km de viales) hasta un máximo de 4 m de profundidad incluyendo:
  - Testificación y registro de los materiales encontrados diferenciando también el espesor de la tierra vegetal.
  - Reportaje fotográfico.
  - Recogida de muestras y transporte al laboratorio.
  - Supervisión de calicata por técnico especialista.
- Sondeo a rotación (aproximadamente 70, 1 para cada posición de aerogenerador (65), 1 para la ubicación/es de la/s torre/s meteorológica/s y el resto para otras zonas donde se localizarán cimentaciones como la subestación) incluyendo:
  - Testificación y registro de los materiales encontrados diferenciando también el espesor de la tierra vegetal.
  - Perforación con toma de muestras continua de sondeo hasta al menos 20 metros, en suelo incluyendo cajas portatestigos (transporte y custodia), toma de Standard Penetration Test (SPT) cada 2 metros, muestras inalteradas de pared gruesa en suelos cohesivos cada 2 metros y supervisión técnica in situ por personal especializado.
  - Reportaje fotográfico.
  - Recogida de muestras y transporte al laboratorio.
  - Tubería piezométrica ranurada, transporte, colocación y medida del nivel de agua hasta su estabilización en algunas posiciones puntuales.
- Geofísica. Las investigaciones geofísicas que a continuación se proponen deberían realizarse en al menos un 25% de las posiciones del parque eólico con carácter representativo del conjunto.
  - Perfil de sísmica de refracción para medir ondas longitudinales vp. La longitud media investigada de cada perfil en 120 m y hasta una profundidad de 20 m bajo cimentación. Este ensayo proporciona información sobre la excavabilidad de los materiales.
  - Perfil de sísmica MASW para medir ondas de corte vs. La longitud media investigada de cada perfil en 120 m y hasta una profundidad de 25-30 m bajo cimentación. Este ensayo proporciona información para el cálculo de la rigidez rotacional dinámica de la cimentación.
  - Sondeo eléctrico vertical para medida de la resisitividad del suelo. La profundidad media investigada en cada sondeo eléctrico es 12m. Este ensayo proporciona información para cálculos eléctricas.

Trabajos de laboratorio:

- Ensayos de identificación y estado (en muestras provenientes de calicatas y sondeos):
  - Análisis granulométrico por tamizado.
  - Análisis granulométrico pr sedimentación para diferenciar entre arcillas y limos en los finos.
  - Límites de Atterberg (límites líquido y plástico, índice de plasticidad).
  - Determinación del contenido en humedad.
  - Determinación de la densidad aparente y seca.
  - Determinación de la densidad de las partículas.
- Ensayos de resistencia (a realizar en muestras inalteradas procedentes de sondeos):
  - Determinación de la resistencia a la compresión simple en suelos.
  - Determinación de la resistencia al corte mediante corte directo (CD, Consolidado- Drenado).
  - Determinación de la resistencia al corte mediante corte directo (UU, No consolidado - No drenado).
- Ensayos de consolidación y deformación (a realizar en muestras inalteradas procedentes de sondeos):
  - Ensayo de consolidación unidimensional en edómetro.
  - Hinchamiento libre en la celda edométrica.
  - Ensayo para la determinación de la presión de hinchamiento.
- Ensayos de Compactación (a realizar en muestras procedentes de calicatas):
  - Ensayo Proctor Modificado (densidad seca máxima y humedad óptima).
  - Determinación del índice C.B.R. en laboratorio.
- Ensayos en roca (en caso de encontrarse en sondeos en profundidad):
  - Ensayo de Compresión simple en roca.
  - Point Load Test.
  - Ensayo Brasileño.
- Ensayos Químicos en Agua y Suelo.
  - Análisis químico del agua (agresividad al hormigón): pH, magnesio, ammonio, sulfatos, cloro y dióxido de carbono libre (a realizar en muestras provenientes de sondeos a profundidades de entre 0.5 y 3.0 m de profundidad en caso de encontrarse aguas freáticas).
  - Análisis químico del suelo (agresividad al hormigón): Acidez de Baumann-Gully, sulfatos y cloruros (a realizar en muestras provenientes de sondeos a profundidades de entre 0.5 y 3.0 m de profundidad).
  - Determinación del contenido en Carbonato (a realizar en muestras provenientes de calicatas).
  - Determinación del contenido en Materia orgánica (a realizar en muestras provenientes de calicatas).
  - Determinación del contenido en sales solubles (a realizar en muestras provenientes de calicatas).
  - Determinación del contenido en yesos (a realizar en muestras provenientes de calicatas).

5.1.8 Atmósfera

5.1.8.1 *Meteorología*

En el numeral 5.1.4.1 representación espacial de las variables climáticas para el componente hidrológico, se presentan las estaciones del IDEAM con datos disponibles que se analizaron para realizar los estudios meteorológicos e hidrológicos del proyecto.

Cabe resaltar que a partir de la información proporcionada por el IDEAM y presentada en el numeral anteriormente mencionado, se procedió a analizar los datos con influencia en la zona de estudio. De las estaciones analizadas, 11 tienen interés para análisis pluviométricos (numeral 5.1.4.1.1), 3 para análisis termométricos (5.1.4.1.2) y 14 para los demás parámetros analizados; esto debido a que las estaciones se eligen de acuerdo a un cierto número mínimo de registros y a la cercanía de las mismas con respecto al área de estudio.

5.1.8.1.1 Temperatura

La temperatura es la magnitud de lo que se percibe como calor o frio, los cambios en la temperatura a nivel geográfico están dados principalmente por la latitud y la altitud, siendo las zonas sobre el nivel del mar y las más cercanas al Ecuador, las que registran las mayores temperaturas[71].

En la Figura 5-98 y la Fuente: Renovatio 2017, a partir de datos suministrados por el IDEAM

Tabla 5-90, se presenta la información de temperatura media mensual multianual y en la Figura 5-99 los máximos y minimos diarios de temperatura, para tres estaciones de monitoreo, cercanas al área del proyecto ALPHA. La elección de estas tres estaciones para análisis de temperatura se presenta en el numeral 5.1.4.1.2.

Los datos promedio mensuales de temperatura están por encima de los 25 °C y rara vez superan los 30°C; se observa una tendencia de temperaturas mayores entre junio y julio, la estación Manaure presentó los valores máximos medios mensuales con 30,3 ºC en junio y 30,4 ºC en julio; a su vez, se observa una tendencia de reducción de la temperatura en los meses de diciembre y enero, siendo la estación de Apto Maicao la que registró las menores temperaturas promedio mensuales con 26,9 °C en el mes de enero (Figura 5-98 y Fuente: Renovatio 2017, a partir de datos suministrados por el IDEAM

Tabla 5-90).

[71] IDEAM, IGAC, IAvH, INVEMAR, I. SINCHI e IIAP. Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia. Bogotá D. C: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico Jhon von Neumann, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andréis e Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI., 2007. p. 276. + 37 hojas cartográficas.

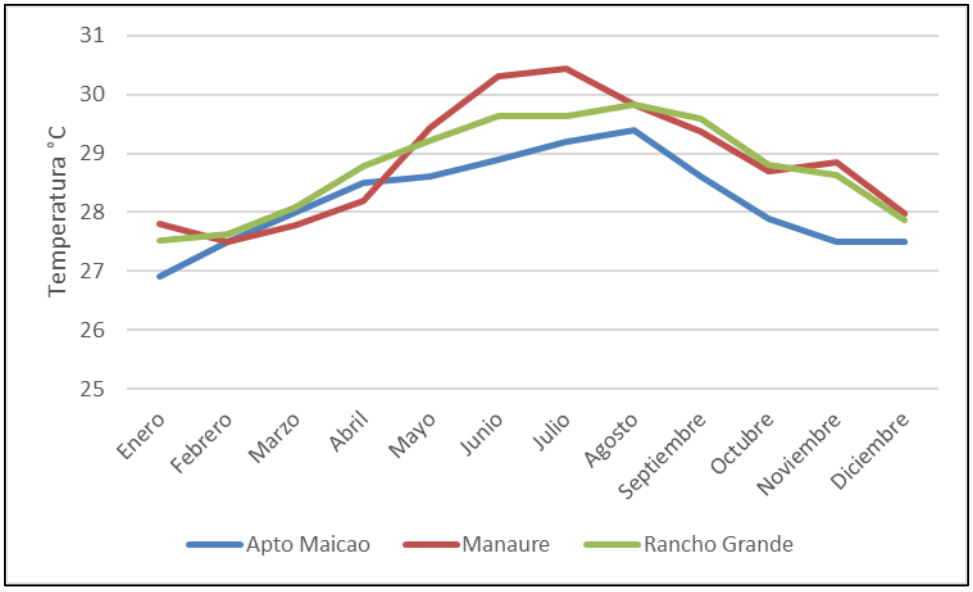


Figura 5-98. Temperatura media mensual multianual

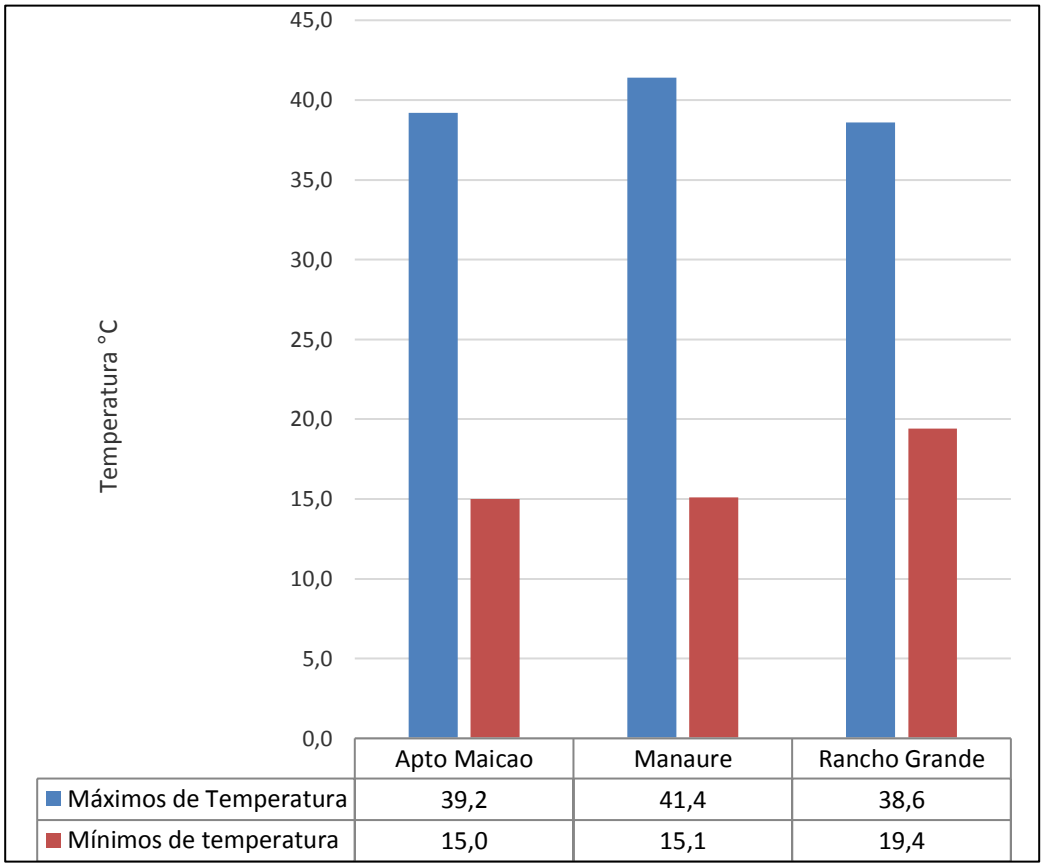
Fuente: Renovatio 2017, a partir de datos suministrados por el IDEAM

Tabla 5-90. Temperatura media mensual multianual

Estación/mes	Apto Maicao	Manaure	Rancho Grande
Enero	26,9	27,8	27,5
Febrero	27,5	27,5	27,6
Marzo	28	27,8	28,1
Abril	28,5	28,2	28,8
Mayo	28,6	29,4	29,2
Junio	28,9	30,3	29,6
Julio	29,2	30,4	29,6
Agosto	29,4	29,8	29,8
Septiembre	28,6	29,4	29,6
Octubre	27,9	28,7	28,8
Noviembre	27,5	28,8	28,6
Diciembre	27,5	28,0	27,9

Fuente: Renovatio 2017, a partir de datos suministrados por el IDEAM

Con respecto a los máximos y mínimos históricos de temperatura diaria, las máximas temperatura oscilan en un rango entre los 38,5 °C y los 41,4 °C, siendo este último dato reportado en la estación Manaure el mayor. A su vez, los mínimos históricos de temperatura oscilan entre los 15 °C y los 19,4 °C, siendo la estación Apto Maicao la que registró el menor valor con 15 °C (Figura 5-99). La diferencia marcada entre los máximos y mínimos de temperatura, puede deberse principalmente a cielos despejados en el día los cuales no obstaculizan el paso de los rayos solares a la superficie y en la noche igualmente la falta de nubes no obstaculiza que se disperse el calor acumulado en el transcurso del día.



	Apto Maicao	Manaure	Rancho Grande
Máximos de Temperatura	39,2	41,4	38,6
Mínimos de temperatura	15,0	15,1	19,4

Figura 5-99. Máximos y mínimos de temperatura

Fuente: Renovatio 2017, a partir de datos suministrados por el IDEAM

Con los datos de temperaturas medias anuales, coordenadas y cotas de tres estaciones del IDEAM (Apto Maicao, Manaure y Rancho Grande) cercanas al proyecto eólico ALPHA, se construyeron las isotermas utilizando el software Arcgis 10.3. Las isotermas consisten en curvas que unen puntos que contienen las mismas temperaturas en tiempos determinados. El

área del proyecto es atravesada por isotermas entre un rango de 28,75 a 28,80 °C[72] (Figura 5-100).

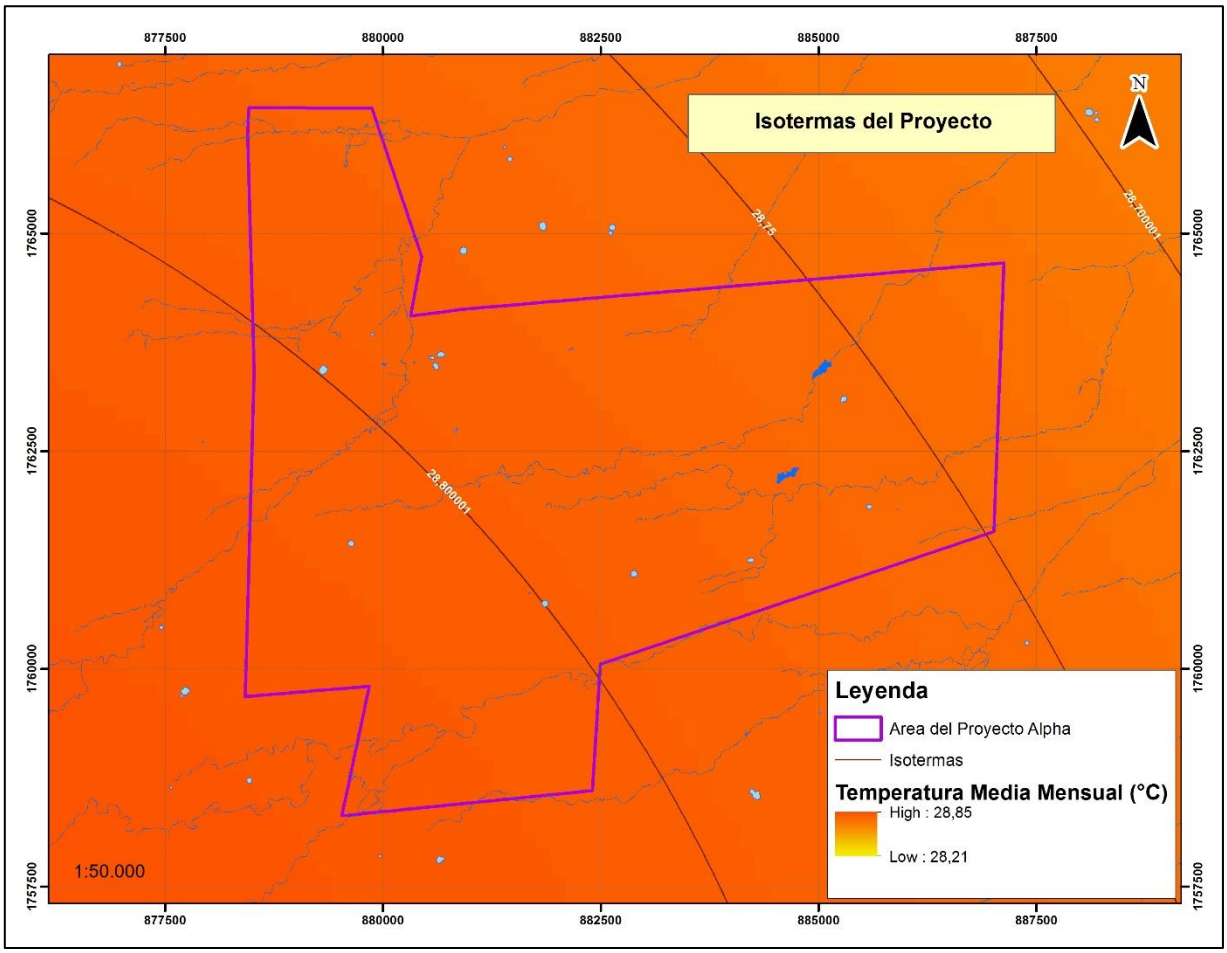


Figura 5-100. Isotermas promedio anual en el área del proyecto eólico ALPHA

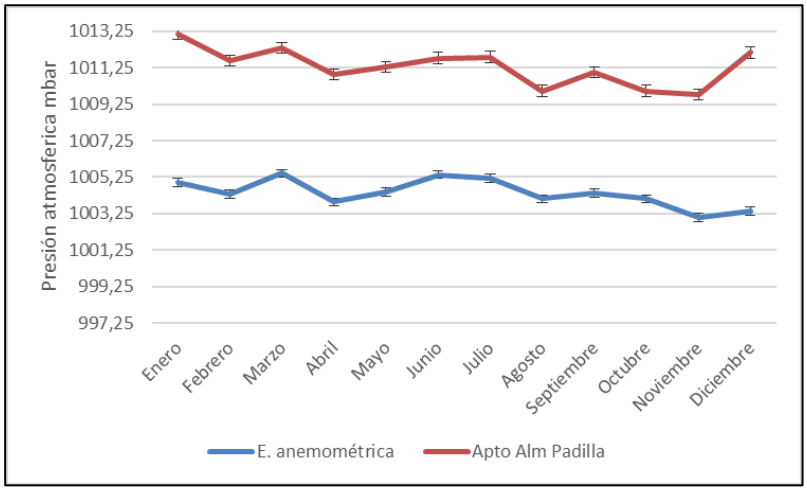
Fuente: Renovatio 2017, a partir de datos suministrados por el IDEAM

[72] INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Subdirección de suelos. Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de La Guajira. Escala 1: 100.000. Imprenta nacional de Colombia. Bogotá. 2009. p. 489.

5.1.8.1.2 Presión atmosférica

La presión atmosférica es la fuerza por unidad de área que ejerce el aire sobre la superficie terrestre, la mayor presión atmosférica se observa a los 0 metros sobre el nivel del mar y disminuye a medida que aumenta la altitud[73].

La presión atmosférica media mensual para dos estaciones de monitoreo cercanas al área del proyecto, registra valores altos, comunes para las tierras bajas; se observa como la presión atmosférica en las dos estaciones permanece *cuasi* constante a través de los meses (variando menos de 2 mbar). Se observa una mayor presión atmosférica en la estación Alm Padilla con 1011,31 mbar anuales a diferencia de la E. anemométrica que registra 1004,37 mbar anuales, siendo esto el resultado de las diferencias en la altitud, puesto que en Alm Padilla es de 4 m y en E. Anemométrica de 20 m (Figura 5-101). La E. anemométrica esta aledaña al área del proyecto ALPHA, por lo que es de esperarse que la presión atmosférica en el área del proyecto sea muy similar a la de esta estación.



	E. anemométrica	Apto Alm Padilla
Enero	1004,96	1013,10
Febrero	1004,32	1011,66
Marzo	1005,45	1012,34
Abril	1003,88	1010,89
Mayo	1004,42	1011,28
Junio	1005,39	1011,78
Julio	1005,19	1011,84
Agosto	1004,06	1009,98
Septiembre	1004,36	1011,02
Octubre	1004,06	1009,98
Noviembre	1003,04	1009,78
Diciembre	1003,40	1012,08
Anual	1004,37	1011,31

Figura 5-101. Presión atmosférica media mensual

Fuente: Renovatio 2017, a partir de datos suministrados por el IDEAM

5.1.8.1.3 Precipitación

La precipitación es la cantidad de agua que cae del cielo en forma de lluvia, nieve, granizo entre otros, esta juega un importante papel en el ciclo del agua y es de los factores primordiales para el desarrollo de las comunidades humanas, las plantas y los animales[74].

[73] FUNDACIÓN ESPAÑOLA PARA LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA. Meteorología y Climatología. Madrid, España. 2004..
[74] Ibíd., p. 5-284.

En la Figura 5-102 y la Tabla 5-91, se presenta la precipitación media mensual multianual para 7 estaciones meteorológicas del IDEAM, cercanas al área de influencia del proyecto eólico ALPHA. La elección de estas estaciones de análisis se presenta en el numeral 5.1.4.1.1.

Se observa un patrón de lluvias bimodal, con aumento de las precipitaciones en los meses de abril-mayo-junio y septiembre-octubre-noviembre, al comparar los dos periodos de lluvia, se observa como el periodo septiembre-octubre-noviembre es el que aporta mayor cantidad de lluvia. El mes de octubre presenta la mayor magnitud en precipitación para la mayoría de las estaciones, siendo la estación Maicao la que registra la mayor precipitación promedio para este mes con 229,9 mm. Así mismo, las estaciones muestran dos periodos de disminución de la precipitación a través del año, el uno comprendido entre los meses de junio-julio-agosto y el otro entre diciembre-enero-febrero-marzo, siendo los meses de febrero y marzo los que en promedio presentan la menor cantidad de precipitación a través del año, la estación meteorológica del IDEAM Huimpecht en siete años de medición (1972-1979) no registró precipitaciones para estos dos meses.

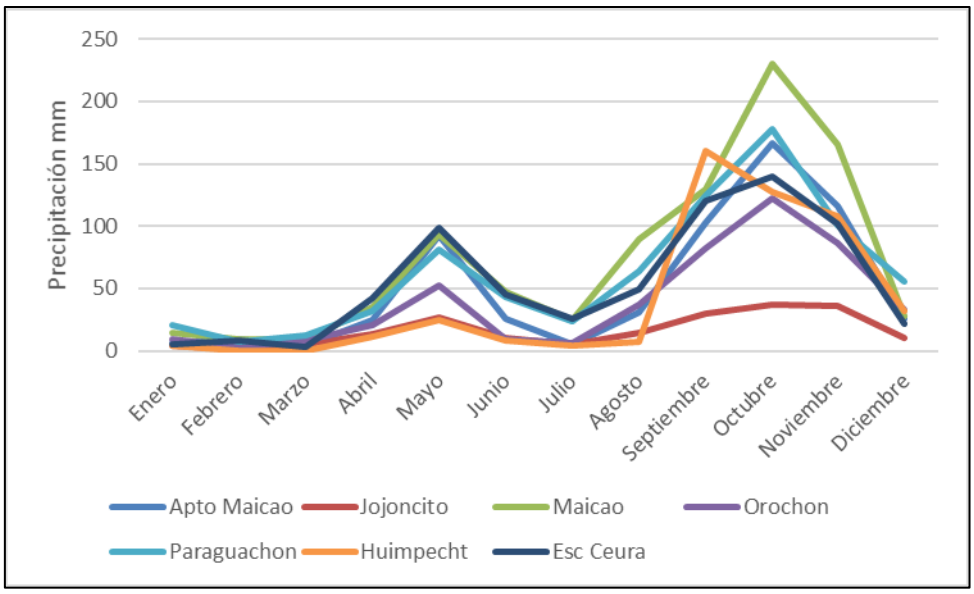


Figura 5-102. Precipitación media mensual

Fuente: Renovatio 2017, a partir de datos suministrados por el IDEAM

Tabla 5-91. Precipitación media mensual

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Apto Maicao	6	9	4	25	93	26	5	31	103	167	116	26

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Jojoncito	4	1	5	13	27	10	5	14	30	37	36	10
Maicao	14,5	9,7	8,8	34,9	94	47,7	24,5	89,9	129,3	229,9	165,6	28,2
Orochon	9,5	2,7	8,7	20,6	52,0	9,4	6,4	37,1	82,5	122,0	86,7	33,3
Paraguachon	20,3	6,8	12,0	31,4	81,3	43,3	24,1	64,2	124,8	177,5	100,9	55,1
Huimpecht	4,0	0,0	0,0	11,7	24,7	8,0	4,1	7,5	160,0	127,7	107,7	31,7
Esc Ceura	4,7	8,7	3,5	41,9	98,7	45,0	25,3	49,0	119,8	140,2	101,3	21,6

Fuente: Renovatio 2017, a partir de datos suministrados por el IDEAM

En la Figura 5-103 se observa la precipitación promedio anual para las estaciones del IDEAM analizadas, el rango de precipitación anual en las estaciones oscila entre los 192 mm para la estación de Jojoncito, la cual registra el menor valor, hasta los 877 mm para la estación Maicao, la cual registra el mayor valor. Los datos presentan una mediana de 611 mm anuales. La precipitación anual para la zona refleja las condiciones áridas de la misma, puesto que la evaporación directamente relacionada con las altas temperaturas, registra datos de más de 2000 mm anuales (ver anexo 11. Clima), lo que conlleva a que se presente un déficit hídrico la mayor parte del año. Se observa, además, un patrón en el cual las estaciones ubicadas hacia la alta Guajira (Norte), son las que registran menos precipitaciones, y las estaciones ubicadas hacia el sur del departamento registran las precipitaciones mayores (se profundizará este punto en el mapa de las isoyetas, ver Figura 5-107).

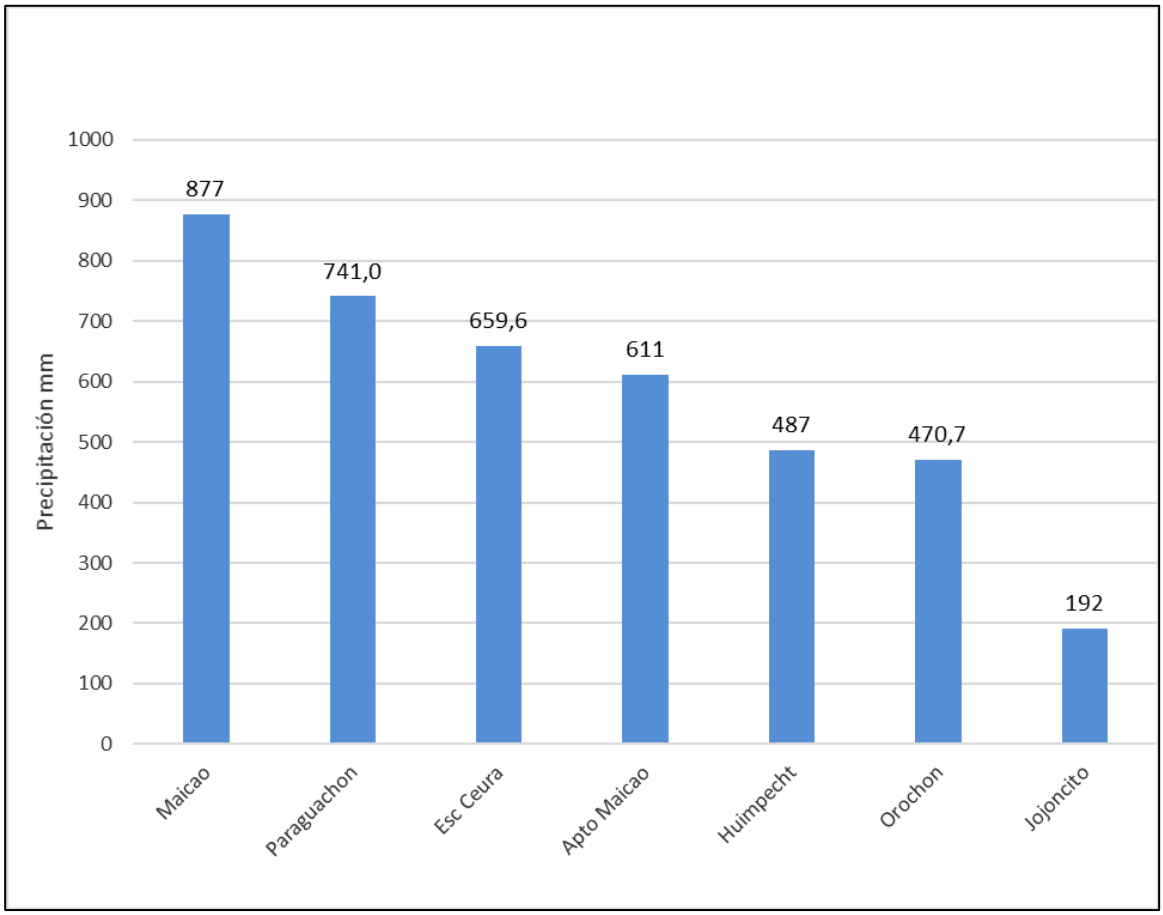


Figura 5-103. Precipitación promedio anual

Fuente: Renovatio 2017, a partir de datos suministrados por el IDEAM

En la Figura 5-104 y la Tabla 5-92, observamos la variación de la precipitación anual para cuatro estaciones del IDEAM, cercanas al proyecto ALPHA, en una serie de 45 años, para algunas estaciones. Los datos muestran picos altos y bajos de precipitación con una tendencia marcada en todas las estaciones. Estos picos abruptos se conocen como el Ciclo El Niño, La Niña – Oscilación del Sur (ENOS), El Niño trae consigo una reducción de las precipitaciones y La Niña un aumento de las mismas en Colombia, el fenómeno es generado por cambios en las temperaturas del océano pacifico[75]. Se registran picos muy altos de precipitación en 1981, 2000, 2005 y 2010, registrándose 1.907,8 mm anuales en la estación Paraguachón el 2010, la

[75] INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM - Subdirección de Meteorología. Actualización del componente Meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia, como insumo para el Atlas Climatológico. Bogotá, D.C., Agosto 20 de 2014. 134. p.

cual tiene un promedio de 784 mm anuales; las bajas precipitaciones se observan en los años 1972, 1978, 1983-1984, 1990-1991-1992, 2001, 2006, 2009, 2012, 2014-2015-2016.

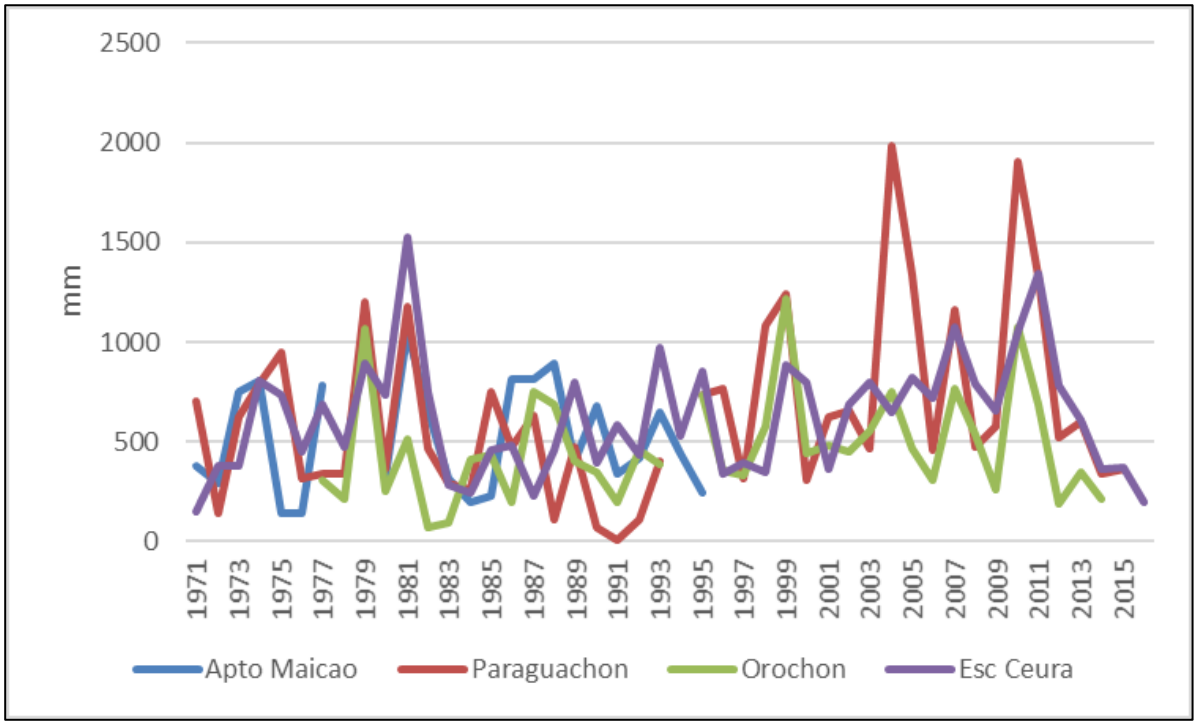


Figura 5-104. Variación en la precipitación anual

Fuente: Renovatio 2017, a partir de datos suministrados por el IDEAM

Tabla 5-92. Precipitación anual histórica

Estación/año	Apto Maicao	Paraguachón	Orochon	Esc Ceura
1971	382,2	707		150,5
1972	289,3	144		377
1973	750,3	624		376
1974	804,2	789		805
1975	141,5	951		737
1976	143,1	313		450
1977	779,7	339	309	687
1978		337	213	473
1979		1205	1068	893
1980	327,3	362	255	736

Estación/año	Apto Maicao	Paraguachón	Orochon	Esc Ceura
1981	1051	1176	511	1524,3
1982	659,15	469	70	754
1983	316	291	98	282
1984	198,3	264	411	248
1985	227,51	749	434	461,8
1986	814,45	475	199	482,7
1987	813,33	633	752	231
1988	896,36	113	688	459,3
1989	406,3	478	405	798
1990	683,01	73	344	399
1991	340,29	6,1	200	587
1992	415,3	107,6	461	438
1993	651,13	401,6	389	971
1994	445,35			528
1995	245,91	732,9	737	856
1996		768	352	343
1997		313,5	335	392
1998		1081,2	578	348,4
1999		1239	1216	885,7
2000		312	441,2	797
2001		621,5	485	366,5
2002		653	452	685
2003		466,8	553	800
2004		1985,2	748,3	647
2005		1335,7	470	825,2
2006		459	312	717,1
2007		1165,6	765	1077
2008		475,4	540	788
2009		579,6	260	655
2010		1907,8	1074	1054
2011		1332	691	1347

Estación/año	Apto Maicao	Paraguachón	Orochon	Esc Ceura
2012		520,7	188	786
2013		599,6	347	611
2014		341	210	361
2015		361,8		372
2016				195

Fuente: Renovatio 2017, a partir de datos suministrados por el IDEAM

En la Figura 5-105, se observa la precipitación promedio diaria para siete estaciones meteorológicas del IDEAM, cercanas al área del proyecto eólico ALPHA, la precipitación oscila en un rango entre los 1,5 mm registrados para la estación Orochon (el menor) y 1,87 mm diarios para Paraguachón (el mayor). Además, en la Figura 5-106 se muestra la distribución media diaria a través del año para estas estaciones, en donde se observa el patrón bimodal de la precipitación, y la mayor participación de los meses septiembre-octubre-noviembre en la cantidad de lluvia.

Entre las características más notorias de la precipitación de la media-alta Guajira, están los periodos prolongados de sequía, precedidos por precipitaciones altas (algunas veces superiores a los 100 mm en un día), (ver anexo 11. clima), lo cual influye profundamente en la aridez de la zona, pues además de ser insuficiente el acumulado de lluvia que cae en el transcurso del año, los fuertes aguaceros que ocasionalmente caen generan que la mayoría del agua precipitada se drene a través de los arroyos existentes.

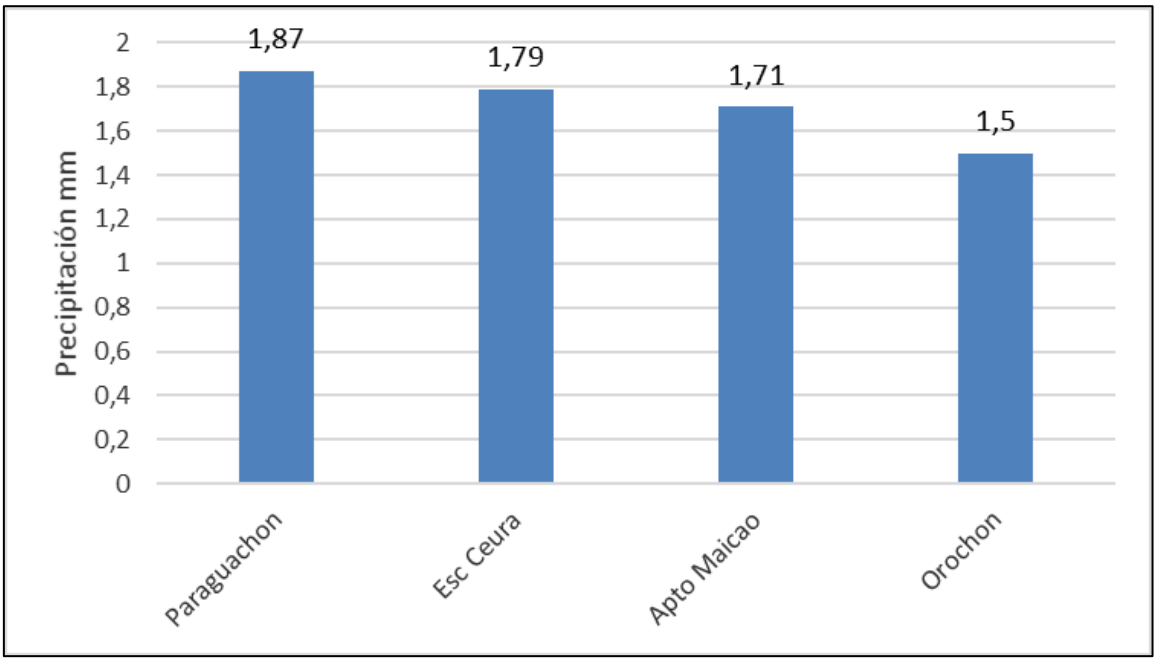


Figura 5-105. Precipitación media diaria

Fuente: Renovatio 2017, a partir de datos suministrados por el IDEAM

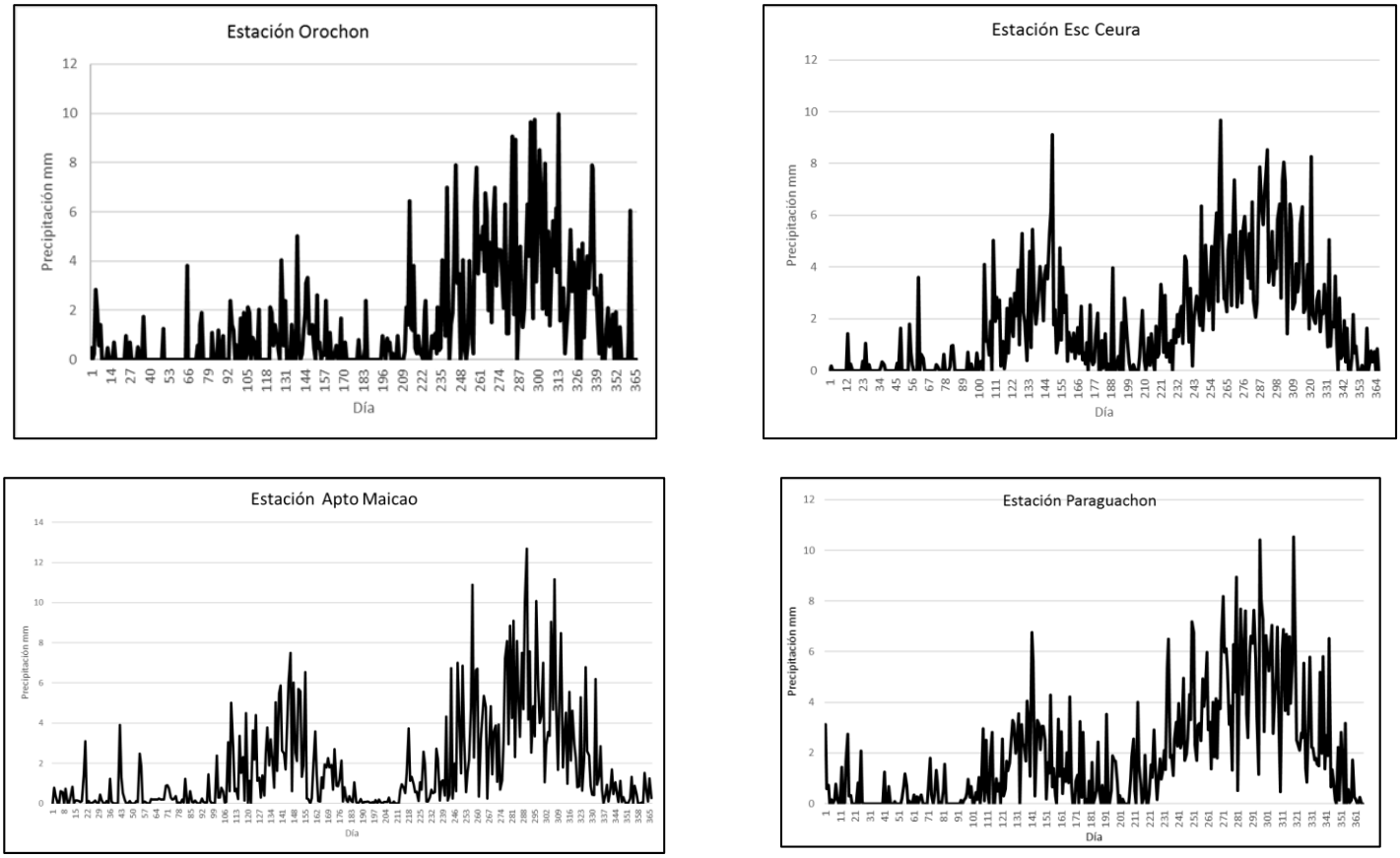


Figura 5-106. Precipitación promedio diaria en el transcurso del año, en cuatro estaciones del IDEAM

Fuente: Renovatio 2017, a partir de datos suministrados por el IDEAM

Con los datos de precipitaciones medias anuales, coordenadas y cotas de 7 estaciones del IDEAM (Maicao, Paraguachon, Esc Ceura, Apto Maicao, Huimpecht, Orochon y Jojoncito) cercanas al proyecto eólico ALPHA, se construyeron las isoyetas utilizando el software Arcgis 10.3. Las isoyetas consisten en curvas que unen puntos que contienen las mismas precipitaciones en tiempos determinados. El proyecto es cruzado por un rango de isoyetas entre los 705 en su extremo suroeste hasta los 640 mm de lluvia anual en su extremo noreste, se observa un patrón de aumento de las precipitaciones hacia el sur del polígono y disminución de las mismas hacia el norte (Figura 5-107).

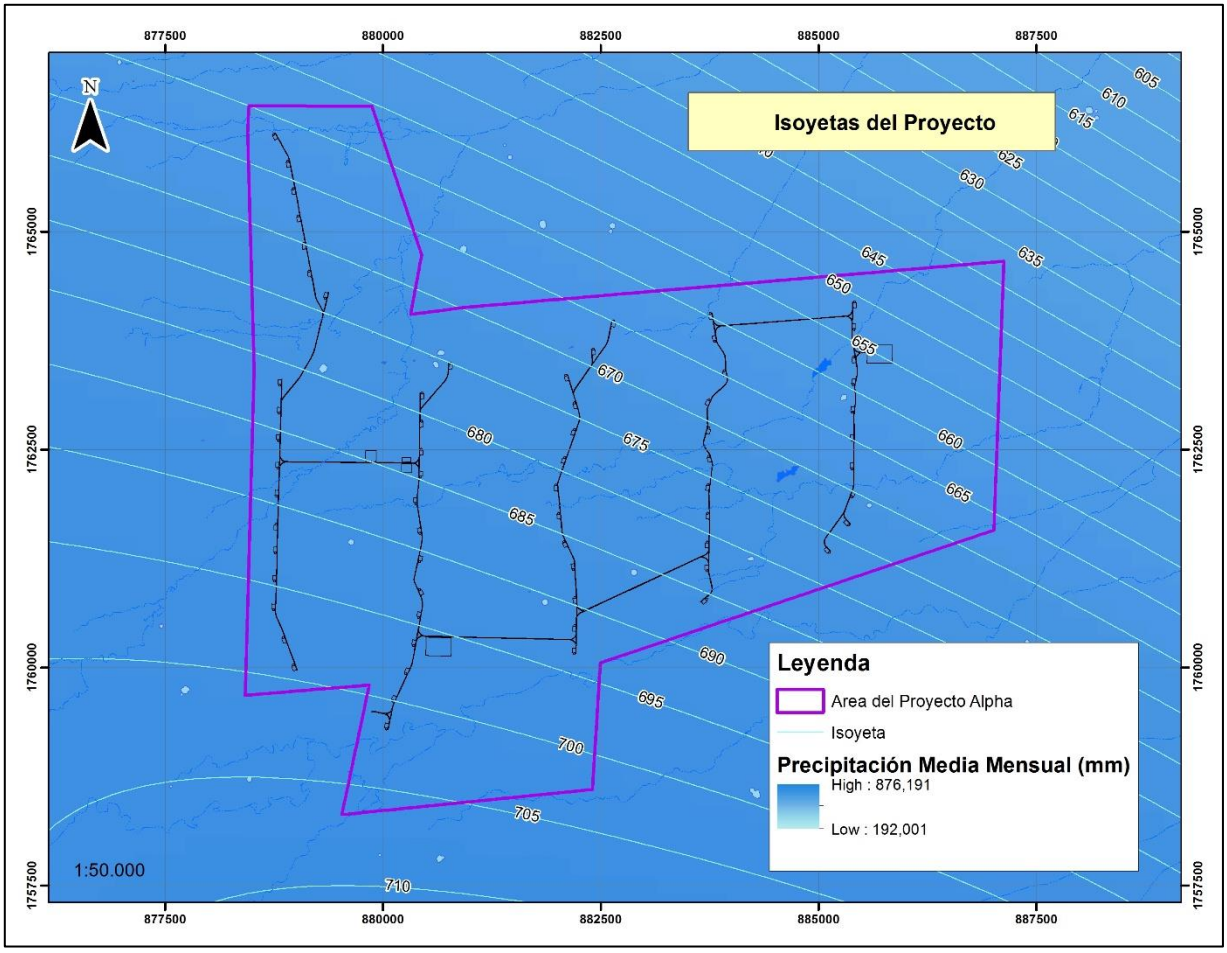


Figura 5-107. Isoyetas promedio anual en el área del proyecto eólico ALPHA

Fuente: Renovatio 2017, a partir de datos suministrados por el IDEAM

5.1.8.1.4 Humedad relativa

La humedad relativa se refiere al vapor de agua que está contenido en la atmosfera, esta proviene de la evaporación del agua en los mares, océanos, ríos, suelo, plantas y demás seres vivos; entre mayor temperatura tenga el aire mayor cantidad de vapor de agua puede contener. La humedad relativa se calcua como el porcentaje de la humedad necesaria para saturar el aire con vapor de agua[76].

De acuerdo a seis estaciones meteorológicas del IDEAM cercanas al proyecto, la humedad relativa mensual multianual posee una tendencia a reducirse en los meses de junio y julio, donde además se presentan los valores multianuales con mayor temperatura, las estaciones Manaure y Rancho Grande presentan el valor más bajo con 65 % de humedad relativa en el

[76] INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Op. cit. p. 5-283.

mes de julio, la estación Nazareth presenta los mayores valores, teniendo como pico el mes de noviembre con el 84 % (Figura 5-108 y Tabla 5-93).

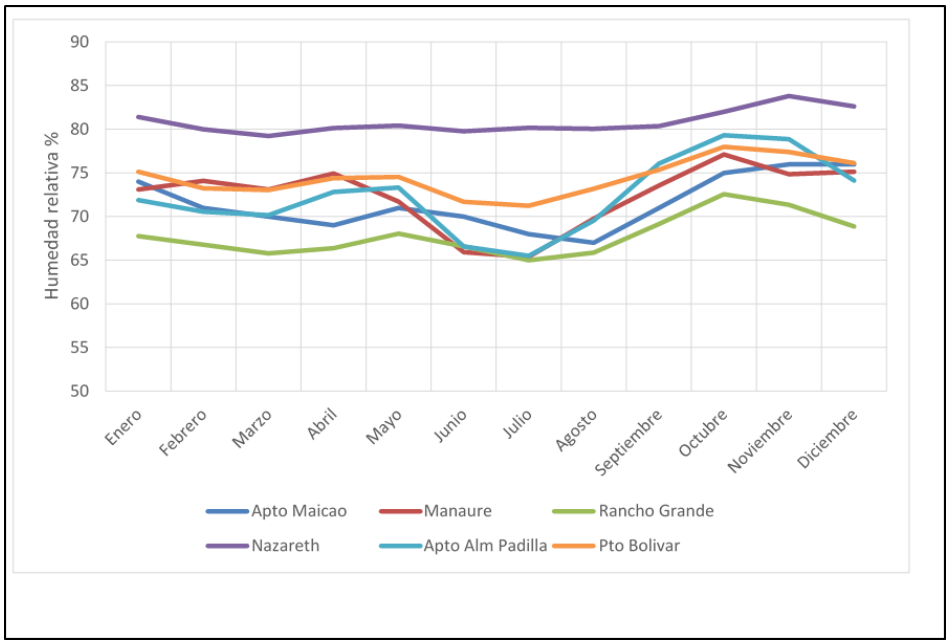


Figura 5-108. Humedad relativa media mensual

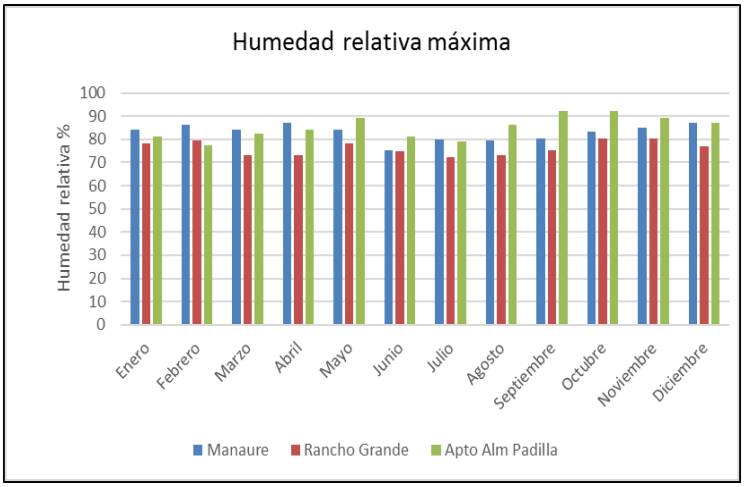
Fuente: Renovatio 2017, a partir de datos suministrados por el IDEAM

Tabla 5-93. Humedad relativa mensual multianual

Mes	Apto Maicao	Manaure	Rancho Grande	Nazareth	Apto alm Padilla	Pto Bolívar
Enero	74	73	68	81	72	75
Febrero	71	74	67	80	71	73
Marzo	70	73	66	79	70	73
Abril	69	75	66	80	73	74
Mayo	71	72	68	80	73	75
Junio	70	66	67	80	67	72
Julio	68	65	65	80	66	71
Agosto	67	70	66	80	70	73
Septiembre	71	74	69	80	76	75
Octubre	75	77	73	82	79	78
Noviembre	76	75	71	84	79	77
Diciembre	76	75	69	83	74	76

Fuente: Renovatio 2017, a partir de datos suministrados por el IDEAM

Con respecto a la humedad relativa máxima media mensual, para tres estaciones del IDEAM cercanas al proyecto, las estaciones registran valores máximos entre los 72,3 y 92,1 %, la estación Apto Alm Padilla reporta los valores medios más altos con 92 y 92,1 % para los meses de septiembre y octubre respectivamente (Figura 5-109).

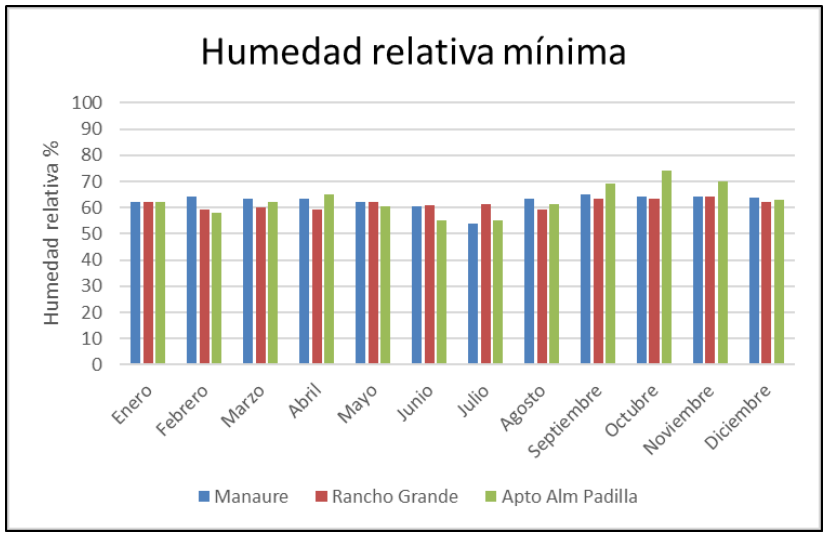


	Manaure	Rancho Grande	Apto Alm Padilla
Enero	84,3	78,3	81,1
Febrero	86,3	79,3	77,3
Marzo	84,3	73,3	82,3
Abril	87,3	73,3	84,1
Mayo	84,1	78,3	89,1
Junio	75,3	75	81,3
Julio	80	72,3	79,1
Agosto	79,3	73	86,1
Septiembre	80,3	75,3	92,1
Octubre	83,3	80,3	92
Noviembre	85	80,3	89,1
Diciembre	87,1	77,1	87

Figura 5-109. Humedad relativa máxima media mensual

Fuente: Renovatio 2017, a partir de datos suministrados por el IDEAM

Con respecto a la humedad relativa mínima media mensual, para tres estaciones del IDEAM cercanas al proyecto, las estaciones registran valores mínimos entre los 54 y 74,1 %, la estación Manaure reporta el valor medio menor con 54 % para el mes de julio, seguido por Apto Alm Padilla con el 55 % para los meses de junio y julio (Figura 5-110).



	Manaure	Rancho Grande	Apto Alm Padilla
Enero	62,3	62,3	62
Febrero	64,1	59,1	58,1
Marzo	63,3	60,1	62,3
Abril	63,3	59,1	65,1
Mayo	62,1	62,3	60,3
Junio	60,3	61,1	55
Julio	54	61,3	55
Agosto	63,3	59,1	61,3
Septiembre	65	63,3	69
Octubre	64,3	63,3	74,1
Noviembre	64,1	64,1	70
Diciembre	64	62,1	63,1

Figura 5-110. Humedad relativa mínima media mensual

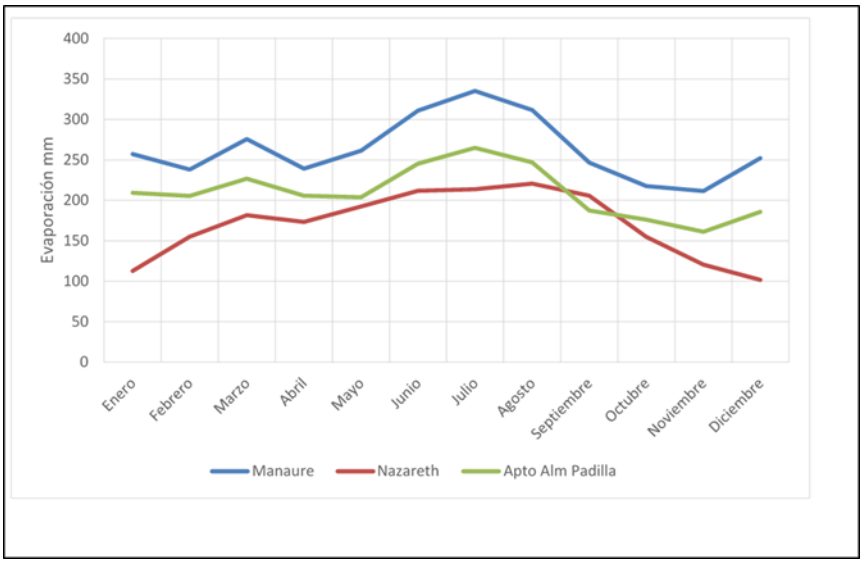
Fuente: Renovatio 2017, a partir de datos suministrados por el IDEAM

5.1.8.1.5 Evaporación

La evaporación consiste en el cambio de estado del agua de liquida a gaseosa (vapor de agua), la evaporación aumenta con el aumento de la temperatura[77].

En la Figura 5-111, se observa la evaporación mensual multianual para tres estaciones meteorológicas del IDEAM, cercanas al proyecto. Los datos de evaporación muestran un pico máximo en los meses de junio y julio, coincidiendo con el pico máximo de temperatura observado también en esta época del año. El dato de evaporación máxima se reporta en el mes de julio en la estación Manaure con un valor de 335 mm y el mínimo el mes de diciembre en la estación Nazareth con un valor de 102 mm.

[77] FUNDACIÓN ESPAÑOLA PARA LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA. Op. cit. p. 5-284.



	Manaure	Nazareth	Apto Alm Padilla
Enero	257	113	209
Febre	238	155	205
Marzo	276	182	227
Abril	239	173	206
Mayo	261	193	204
Junio	311	212	245
Julio	335	214	265
Agost	312	221	247
Septiem	247	206	187
Octub	218	155	176
Noviem	212	121	161
Diciem	252	102	186

Figura 5-111. Evaporación media mensual

Fuente: Renovatio 2017, a partir de datos suministrados por el IDEAM

A continuación, en la Figura 5-112, observamos la diferencia entre el vapor de agua que se encuentra en la atmósfera (evaporación) y lo que realmente cae en forma de lluvia (precipitación), para tres estaciones del IDEAM cercanas al proyecto. A excepción de octubre y noviembre para la estación Nazareth en donde las precipitaciones superan la evaporación, en los otros meses y las otras dos estaciones la evaporación siempre está por encima de las precipitaciones, esto se debe a dos razones principalmente, la una son las altas temperaturas que se presentan durante todo el año, que ocasionan que prácticamente toda el agua disponible en la superficie se evapore y la otra se refiere a los fuertes vientos (Alisisos), los cuales impiden las precipitaciones, al arrastrar el vapor de agua contenido en la atmosfera a zonas montañosas como la Sierra Nevada de Santa Marta[78]

[78] INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Op. cit. p. 5-283.

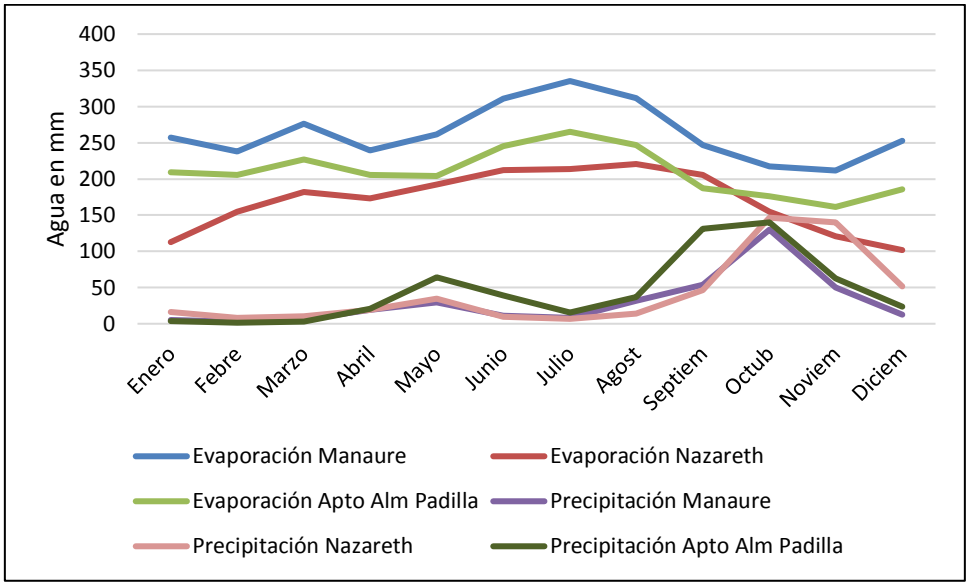


Figura 5-112. Evaporación y precipitación media mensual

Fuente: Renovatio 2017, a partir de datos suministrados por el IDEAM

5.1.8.1.6 Viento

El movimiento del aire es originado por las diferencias de temperatura en la atmósfera y la rotación de la tierra, Colombia se encuentra ubicada entre los trópicos de Cáncer y Capricornio, por esta razón la impactan los vientos Alisios, que impactan desde el noreste en el hemisferio norte y del sureste en el hemisferio sur[79].

A continuación, se muestra la compilación de la campaña de vientos en la E. anemometrica a una altura de 70 metros, la cual tiene una distancia de 500 metros de los límites del proyecto ALPHA y a 6.750 m del posible aerogenerador más lejano, con datos tomados entre el 10 de junio del 2015 al 28 de febrero del 2017.

- Media mensual histórica

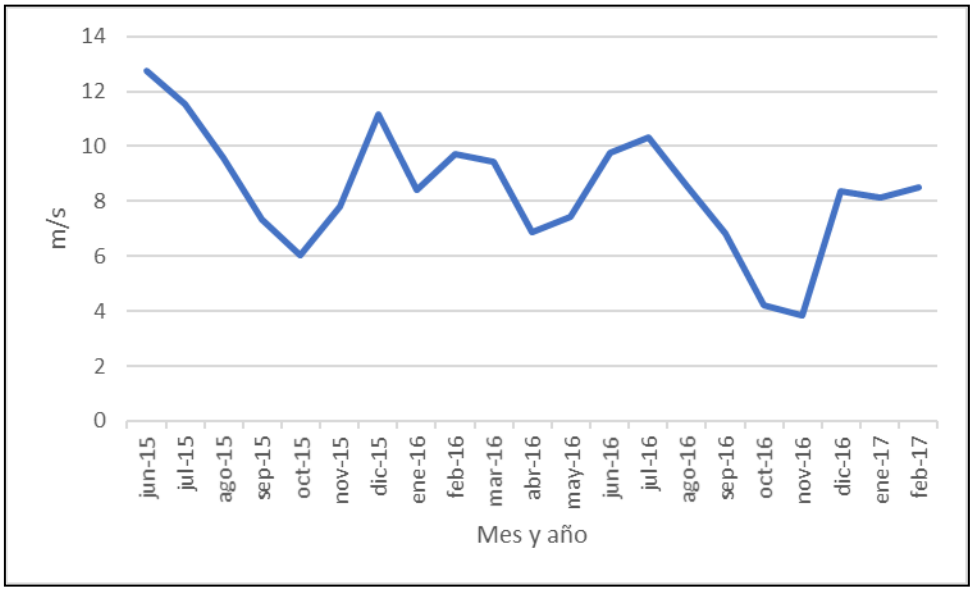
En la Figura 5-113, se observa la velocidad media mensual histórica, en donde se presentan los picos altos de velocidad en los meses de junio y diciembre de los años 2015 y 2016, el valor mayor se presentó el mes de junio de 2015 con 12,76 m/s; en cuanto a los picos bajos se presentaron en los meses de abril, mayo, septiembre, octubre y noviembre, siendo el mes de noviembre de 2016 el que registró el menor valor con 3,86 m/s.

En la Figura 5-114, observamos la roza de los vientos promedio mensual histórica para la E. anemométrica, en donde la dirección Este es la predominante con el 65 % de los datos,

[79] IDEAM. Atlas climatológico de Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, Colombia. 2005. p. 217.

seguido de la dirección estesureste (ESE) con el 25%, finalmente la dirección sur (S) se registra con el 10 % de los datos, las demás direcciones y la calma no contienen datos.

En la Figura 5-115, se observa la distribución de la velocidad (m/s) promedio mensual del viento, el rango de 5,7 a 8,8 (m/s) presenta la mayor frecuencia con el 55% de los datos, seguido del rango entre 8,8 y 11,1 (m/s) con el 20 % de los datos, las velocidades mayores a los 11,1 (m/s) ocupan el tercer lugar con el 15 % de los datos, las velocidades entre 3,6 y 5,7 (m/s) representan el 10 % de los datos, velocidades menores a 3,6 (m/s) y la calma no contienen datos.

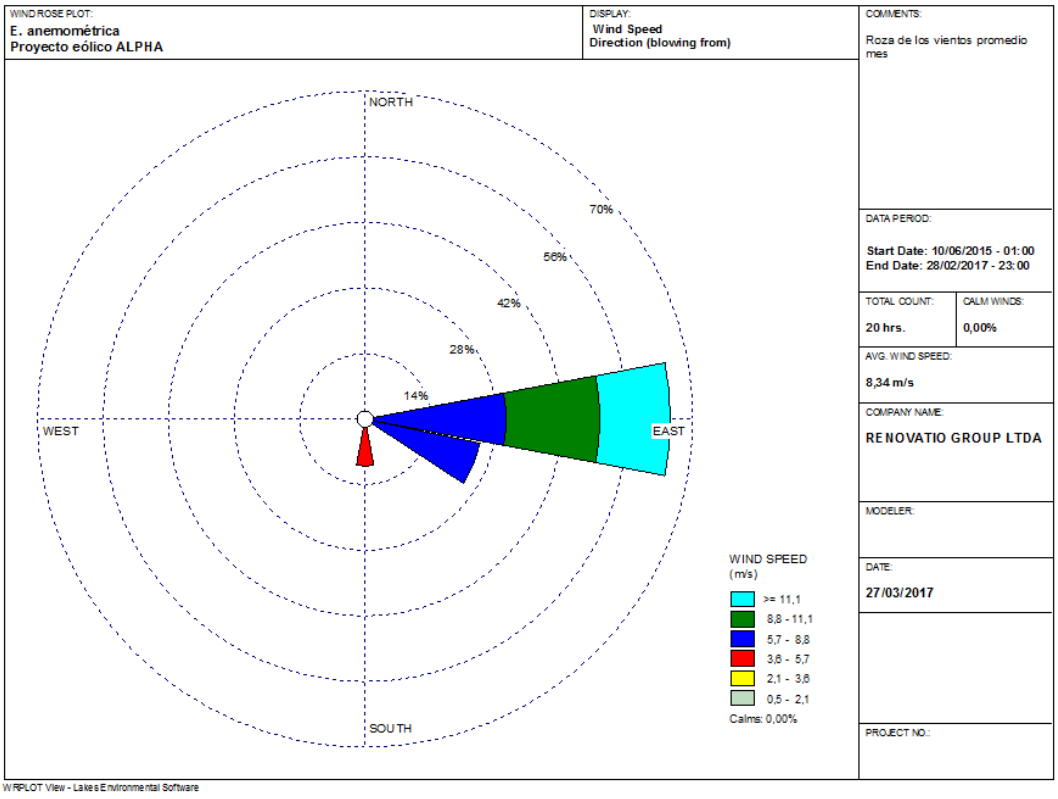


Fuente: Renovatio 2017

Mes y año	jun-15	jul-15	ago-15	sep-15	oct-15	nov-15	dic-15	ene-16	feb-16	mar-16	abr-16
Velocidad del viento m/s	12,76	11,52	9,60	7,36	6,03	7,79	11,15	8,40	9,70	9,43	6,86
Mes y año	may-16	jun-16	jul-16	ago-16	sep-16	oct-16	nov-16	dic-16	ene-17	feb-17	
Velocidad del viento m/s	7,43	9,76	10,34	8,54	6,84	4,22	3,86	8,37	8,12	8,50	

Figura 5-113. Velocidad del viento media mensual histórica para la E. anemométrica

Fuente: Renovatio 2017



Directions / Wind Classes (m/s)	0,5 - 2,1	2,1 - 3,6	3,6 - 5,7	5,7 - 8,8	8,8 - 11,1	>= 11,1	Total
N	0	0	0	0	0	0	0
NNE	0	0	0	0	0	0	0
NE	0	0	0	0	0	0	0
ENE	0	0	0	0	0	0	0
E	0	0	0	6	4	3	13
ESE	0	0	0	5	0	0	5
SE	0	0	0	0	0	0	0
SSE	0	0	0	0	0	0	0
S	0	0	2	0	0	0	2
SSW	0	0	0	0	0	0	0

Directions / Wind Classes (m/s)	0,5 - 2,1	2,1 - 3,6	3,6 - 5,7	5,7 - 8,8	8,8 - 11,1	>= 11,1	Total
SW	0	0	0	0	0	0	0
WSW	0	0	0	0	0	0	0
W	0	0	0	0	0	0	0
WNW	0	0	0	0	0	0	0
NW	0	0	0	0	0	0	0
NNW	0	0	0	0	0	0	0
Total	0	0	2	11	4	3	20
Calma	-	-	-	-	-	-	0

Figura 5-114. Roza de los vientos promedio histórico E. anemométrica

Fuente: Renovatio 2017

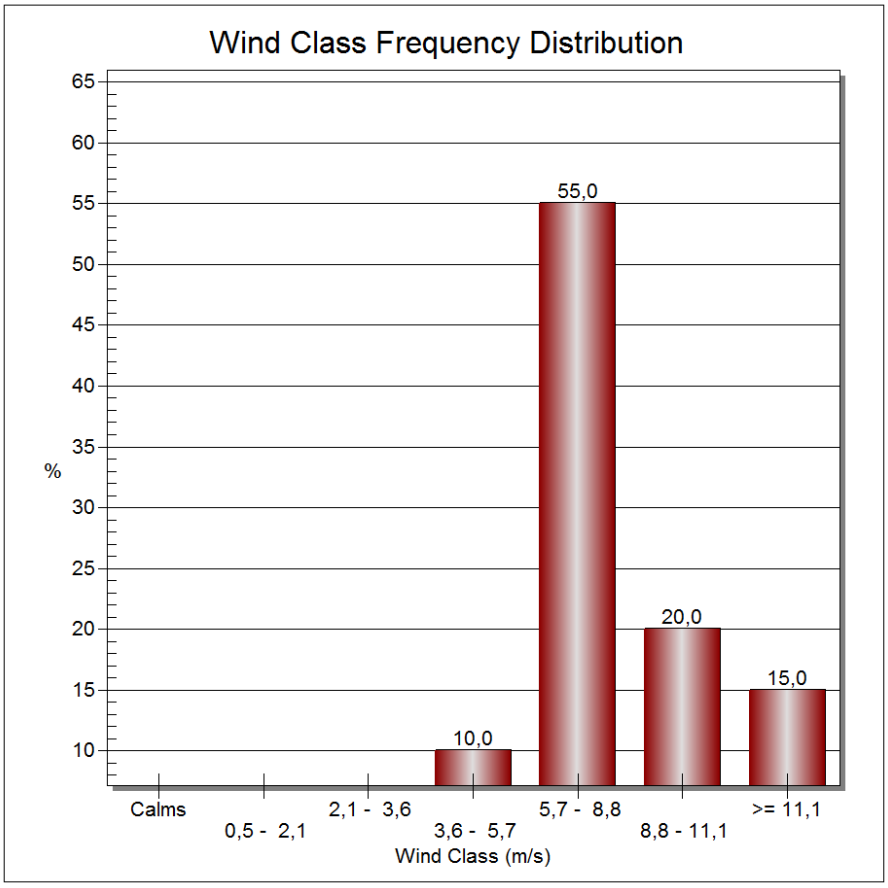


Figura 5-115.Distribución de frecuencias en la velocidad del viento (m/s) media histórica

Fuente: Renovatio 2017

- Velocidad del viento horaria

A continuación en la Figura 5-116 y Tabla 5-94, observamos las diferencias entre el promedio horario histórico y la medición horaria puntual (1/2/2017), para la campaña de monitoreo de los vientos en la E. anemométrica. En cuanto a la velocidad horaria, ambos datos (puntual y medio horario) muestran una tendencia de aumento en la velocidad entre las 5:00 hasta las 12:00, presentándose el mayor dato en el monitoreo puntual a las 7:00 con 11,4 m/s, el valor más alto para los datos medios horarios se presenta a las 8:00 con un valor de 9,98 m/s. Posterior a las 12:00 se presenta una tendencia de reducción en la velocidad, la cual alcanza su punto menor en las horas de la noche, siendo el valor de 6,82 (m/s) a las 20:00 el menor reportado para el dato puntual y de 7,34 (m/s) a las 3:00 el menor reportado para la media histórica. A nivel general podemos relacionar la velocidad del viento horaria, con el aumento de las temperaturas en la atmosfera, puesto que las horas con sol poseen las mayores velocidades y las horas oscuras las menores.

A nivel comparativo, los datos puntuales, están en la mayoría de las horas por encima a los medios horarios a excepción de las 18:00 hasta las 22:00, en donde los promedios horarios superan en velocidad a los datos puntuales. Las velocidades (puntual y medio horario), no difieren notoriamente en magnitud, puesto que el promedio de la puntual esta en 9,07 y en la media horaria en 8,46 (m/s), probablemente esta diferencia poco marcada, en los datos puntuales y medios historicos se deba a que el mes de febrero en promedio presenta velocidades del viento intermedias (ver Figura 5-113), por lo que el dato puntual (tomado este mes) tenderá a mostrar una tendencia similar a la del promedio histórico horario, (Figura 5-116 y Tabla 5-94).

Tabla 5-94. Velocidad y dirección del viento horaria (m/s) puntual y media historica en la E. anemométrica

Hora	Velocidad (m/s) Puntual (1/2/2017)	Velocidad (m/s) Media historica	Dirección (°) Puntual (1/2/2017)	Dirección (°) Media historica
0	8,36	7,55	91,66	111
1	8,22	7,48	95,66	111
2	8,3	7,39	94,91	109
3	7,88	7,34	94,91	109
4	8,92	7,76	94,91	111
5	10,17	8,82	97,91	114
6	11,1	9,69	98,91	109
7	11,47	9,94	100,16	111
8	10,19	9,98	102,91	111
9	10,46	9,89	101,31	110

Hora	Velocidad (m/s) Puntual (1/2/2017)	Velocidad (m/s) Media historica	Dirección (°) Puntual (1/2/2017)	Dirección (°) Media historica
10	10,82	9,72	99,91	110
11	11,06	9,47	100,16	109
12	10,5	9,15	91,33	109
13	9,26	8,82	96,25	109
14	9,07	8,57	99,5	111
15	8,97	8,26	98,58	114
16	8,93	8,03	91,33	115
17	9,08	7,96	82,25	111
18	7,97	7,98	78,16	113
19	7,27	7,99	81,5	111
20	6,82	8	86,91	113
21	7,56	7,91	89,83	110
22	7,14	7,76	90,3	109
23	8,37	7,65	90,1	109
Media	9,07	8,46		
Desviación estandar	1,36	0,9		
Máximo	11,47	9,98		
Mínimo	6,82	7,34		
Mediana	8,95	8,01		

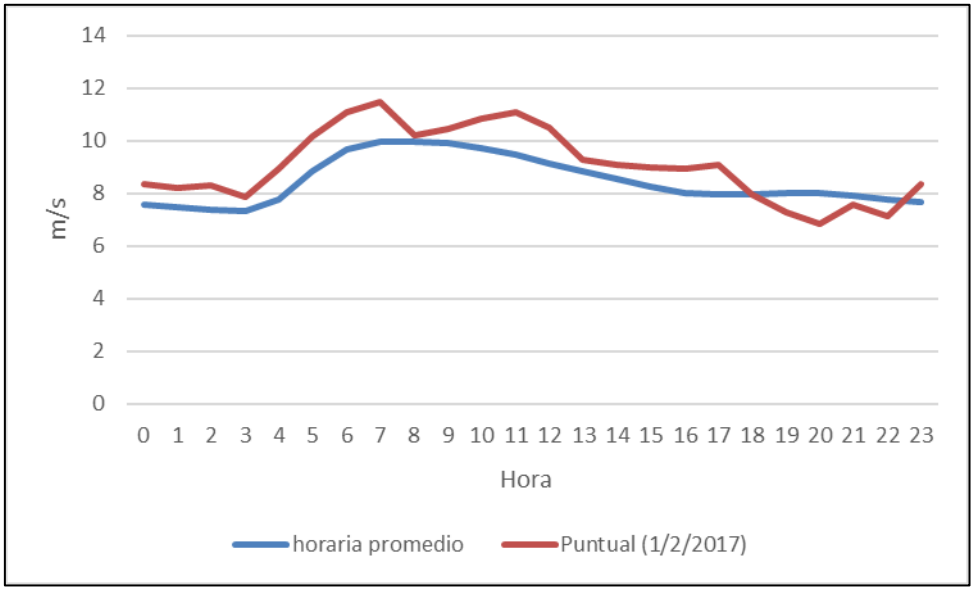
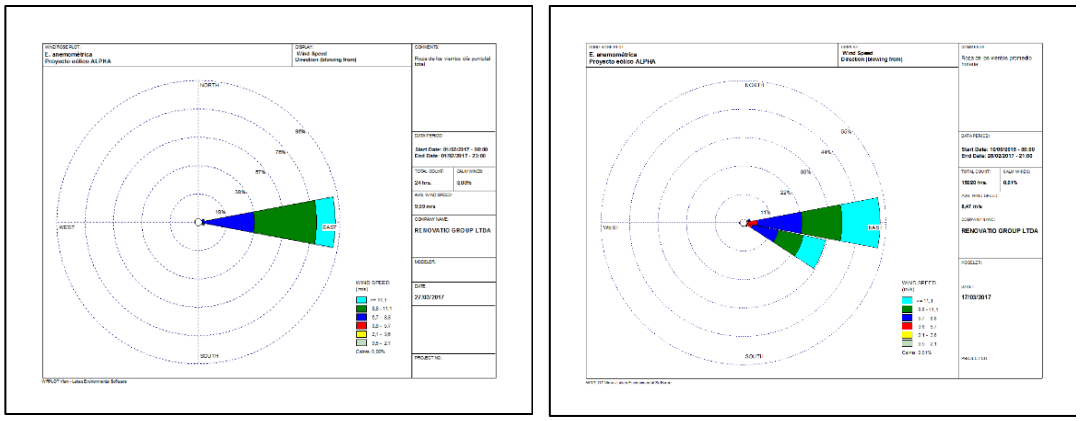


Figura 5-116. Velocidad del viento horaria promedio y puntual (día especifico) para la E. anemométrica

Fuente: Renovatio 2017

A continuación, en la Figura 5-117, observamos las rozas de los vientos horarias (puntual y media), para la E. anemométrica y las frecuencias en las direcciones del mismo. Ambas rozas, presentan una dirección predominante de este (E), aunque para la puntual representa el 91,6% y para el promedio histórico el 52,6%, los datos puntuales solo tienen dos direcciones más estenoreste (ENE) y estesureste (ESE) con el 4,2 % cada una. Los datos horarios promedio históricos, presentan distribución de datos en las 16 direcciones y la calma, siendo los mayores el ya mencionado este (E), seguido por estesureste (ESE) y estenoreste (ENE) con el 32,3 y 2,7 respectivamente, las otras 13 direcciones y la calma representan el 12,4 % de los datos (Figura 5-117 y Tabla 5-94).

(a) **(b)**



Directions / Wind Classes (m/s)	Puntual (%)	Promedio horario (%)
N	0	0,8
NNE	0	0,59
NE	0	0,7
ENE	4,2	2,7
E	91,6	52,6
ESE	4,2	32,3
SE	0	1,8
SSE	0	0,7
S	0	0,6
SSW	0	0,4
SW	0	0,7
WSW	**0**	1,1
W	**0**	1,8
WNW	**0**	1,4
NW	**0**	0,8
NNW	**0**	0,7
Calma	**0**	0,013

Figura 5-117. Roza de los vientos (a) horaria puntual y (b) promedio horario para la E. anemométrica

Fuente: Renovatio 2017

Así mismo, al comparar las frecuencias en la velocidad del viento horaria, se observan diferencias marcadas entre los datos puntuales y media histórica, los datos medios históricos presentan velocidades en seis diferentes rangos, mientras los datos puntuales presentan velocidades en tres rangos. La distribución de las velocidades del viento horaria para la medición puntual, presenta sus mayores distribuciones en el rango comprendido entre los 8,8 y 11,1 m/s con un 45,6 %, seguido del rango entre 5,7 y 8,8 m/s con un 41,7 %, finalmente las velocidades mayores a los 11,1 m/s representan el 12,5 % de los datos. A su vez, la distribución horaria en la velocidad media histórica del viento, presenta sus máximas distribuciones en el rango entre los 5,7 y 8,8 m/s con un 29,7 %, seguido del rango entre 8,8 y 11,1 m/s con un 25,6 %, seguido por velocidades mayores a los 11,1 m/s con el 23,4 % de los datos, por último, las velocidades menores a los 5,7 m/s representan el 21,3 % de los datos (Figura 5-118).

(a) **(b)**

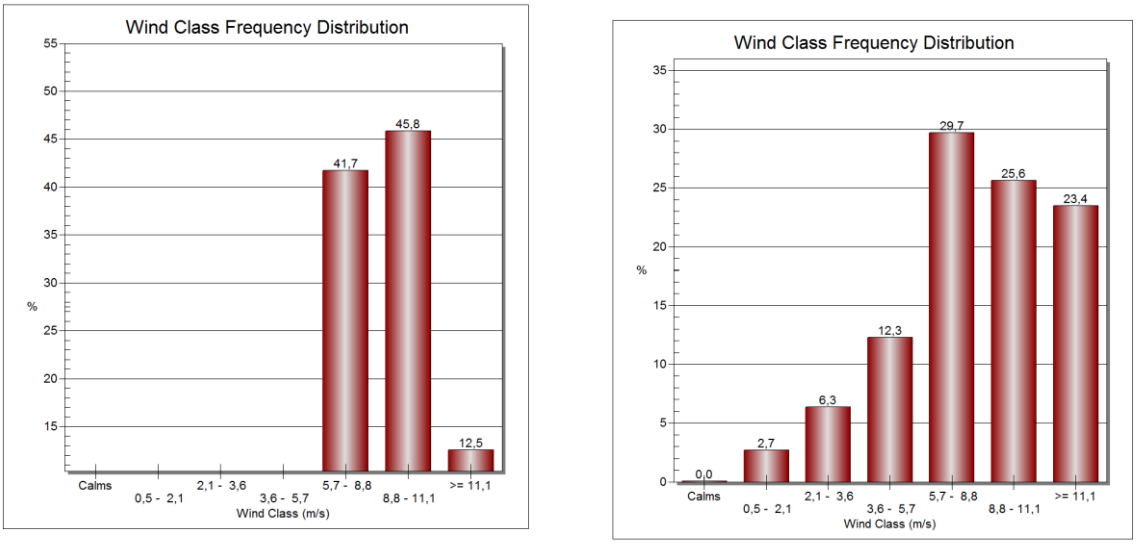
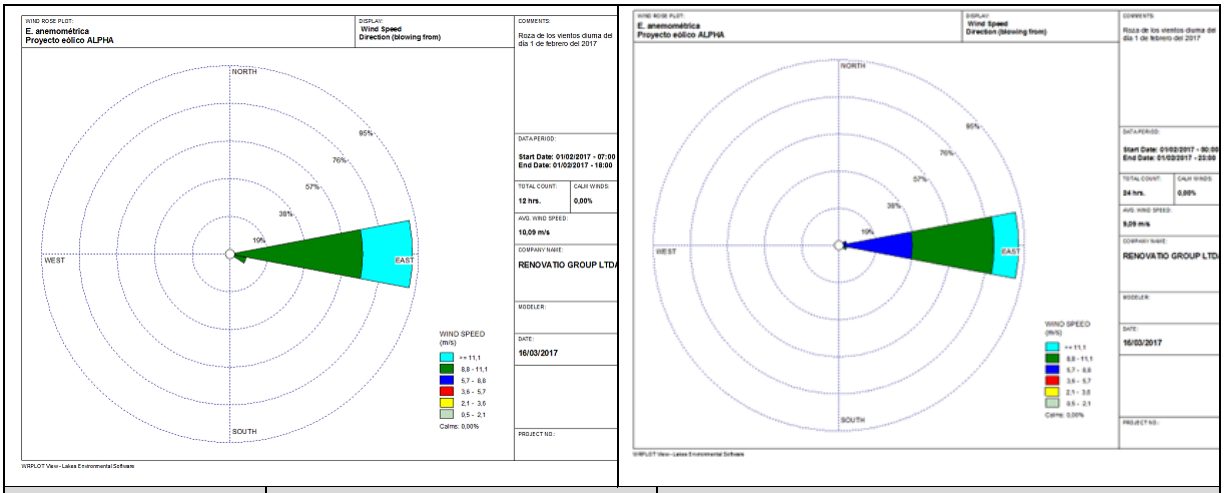


Figura 5-118. Distribución de las frecuencias en las velocidades del viento horario en (a) puntual y (b) media histórica

Fuente: Renovatio 2017

Con respecto a las diferencias entre la campaña de medición de vientos horaria puntual, entre el día (medido entre las 6:00 y las 18:00) y la noche (de las 0:00 a las 6:00 y las 18:00 a las 24:00). La velocidad del viento presenta una tendencia de aumento en las horas del día, y una disminución de la velocidad en las horas nocturnas (Figura 5-116 y Tabla 5-94). Con respecto a la dirección del viento, ambos datos (nocturnos y diurnos), presentan la dirección este (E) como la predominante con el 91,6 % de los datos (Figura 5-119). Con respecto a la frecuencia de distribución de los vientos, los datos diurnos presentan el mayor rango entre velocidades de 8,8 y 11,1 m/s con el 75 % de los datos y el 25 % restante en velocidades superiores a los 11,1 m/s; a su vez los datos nocturnos presentas tres rangos, el mayor comprendido entre los 8,8 y 11,1 m/s con el 45,8 % de los datos, el segundo el rango entre 5,7 y 8,8 m/s con el 41,7 % de los datos, finalmente las velocidades mayores a los 11,1 m/s representan el 12,5 % de los datos (Figura 5-120).

(a)	(b)



Directions / Wind Classes (m/s)	Puntual diurna (%)	Puntual nocturna (%)
N	0	0
NNE	0	0
NE	0	0
ENE	0	4,2
E	91,6	91,6
ESE	8,4	4,2
SE	0	0
SSE	0	0
S	0	0
SSW	0	0
SW	0	0
WSW	**0**	0
W	**0**	0
WNW	**0**	0
NW	**0**	0
NNW	**0**	0
Calma	**0**	0

Figura 5-119. Roza de los vientos horaria puntual (1/2/2017) (a) diurna y (b) nocturna

Fuente: Renovatio 2017

(a) **(b)**

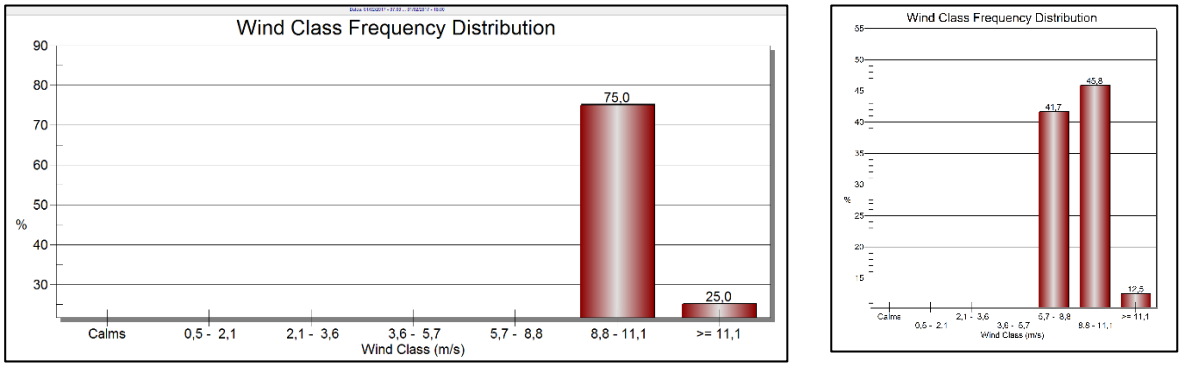


Figura 5-120. Distribución de los vientos horario puntual (1/2/2017) (a) diurna y (b) nocturna

Fuente: Renovatio 2017

- Análisis del recurso del viento para el proyecto eólico ALPHA

Los criterios de evaluación Measnet[80], establecen el radio de validez para una torre anemométrica, dependiendo de las características del terreno, debido a que el área del proyecto ALPHA y sus vecindades se encuentran en un terreno plano, carente de montañas y demás accidentes topográficos que se interpongan en el recorrido del aire, estos criterios clasifican la zona del proyecto como terreno simple, en cuyo caso el radio valido de medición de la torre anemométrica es de 10 kilómetros (Figura 5-121).

[80] MEASNET. Evaluation of site-specific wind conditions. Versión 1. November 2009.

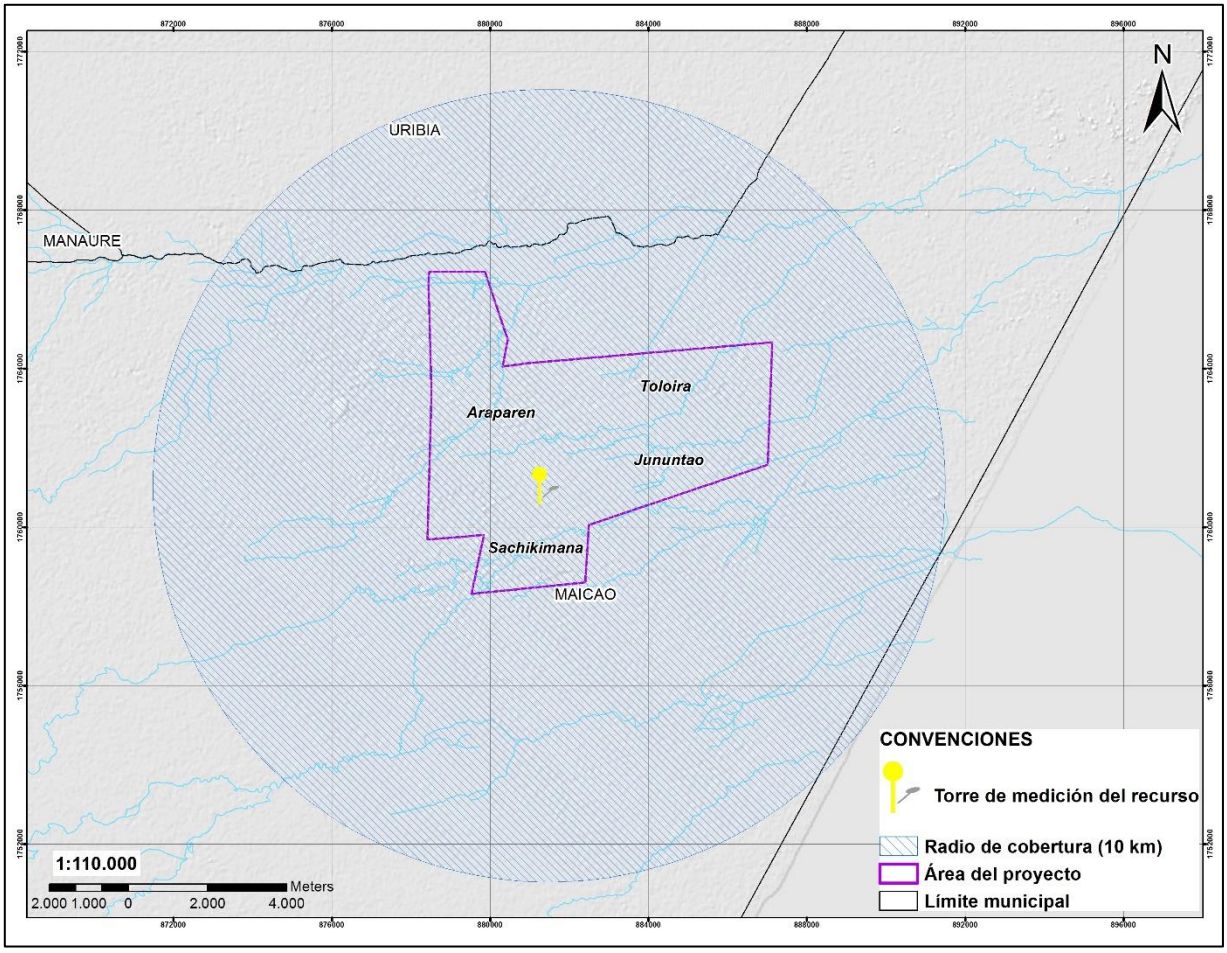


Figura 5-121. Radio de cobertura de la torre E. anemométrica con el polígono del proyecto ALPHA

Fuente: Renovatio 2017

En la Figura 5-122, se muestra el mapa de velocidad del viento para el proyecto eólico ALPHA, a 80 metros de altura, elaborado con los datos de la E. anemométrica; las zonas en naranja, terracota y amarillo representan velocidades de viento en un rango entre 8,72 y 8,75 m/s y las zonas en verde representan velocidades de viento en un rango entre 8,75 y 8,76 m/s. Este mapa justifica por sí mismo la instalación del parque eólico ALPHA en esta zona, pues el área de estudio cuenta con una velocidad excelente a 80 metros de altura, que sin duda será mayor a mayor altura. Cabe resaltar que se ha realizado el cálculo de la velocidad de viento a 80 metros bajo una perspectiva conservadora.

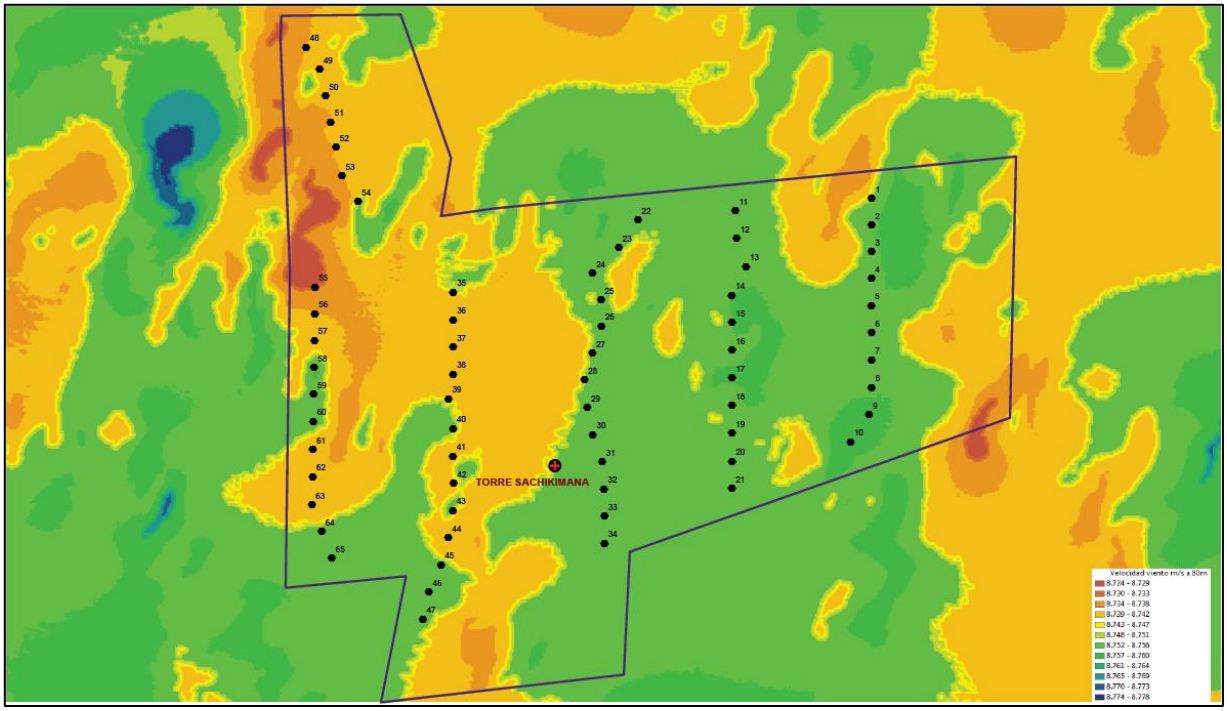


Figura 5-122. Mapa de viento para el proyecto ALPHA, con datos de la E. anemométrica (torre Wourre)

Fuente: Renovatio 2017

Según Wind Power Class[81] "la escala de viento definida en el emplazamiento del proyecto eólico ALPHA, tiene clasificación "excelente" para la calidad del sitio, con una calificación de 6 sobre 7 (6/7) a 80 metros de altura, y posiblemente de máxima categoría de 7 sobre 7 (7/7) a la altura de buje (120 m) (Tabla 5-95).

Tabla 5-95. Escalas de calidad del de viento

Velocidad del viento m/s	Velocidad del viento millas/h	Calidad del sitio	Clasificación
4	8,9	No aceptable	1
5	11,2	Pobre	1
6	13,4	Moderado	2
7	15,7	Bueno	3
7.5	16,8	Muy Bueno	4
8	17,9	Excelente	5

[81] WIND POWER CLASS. [En línea]. < http://turbinegenerator.org/wind/types-wind-turbines/power-class/>. [Citado el 29 de marzo del 2017].

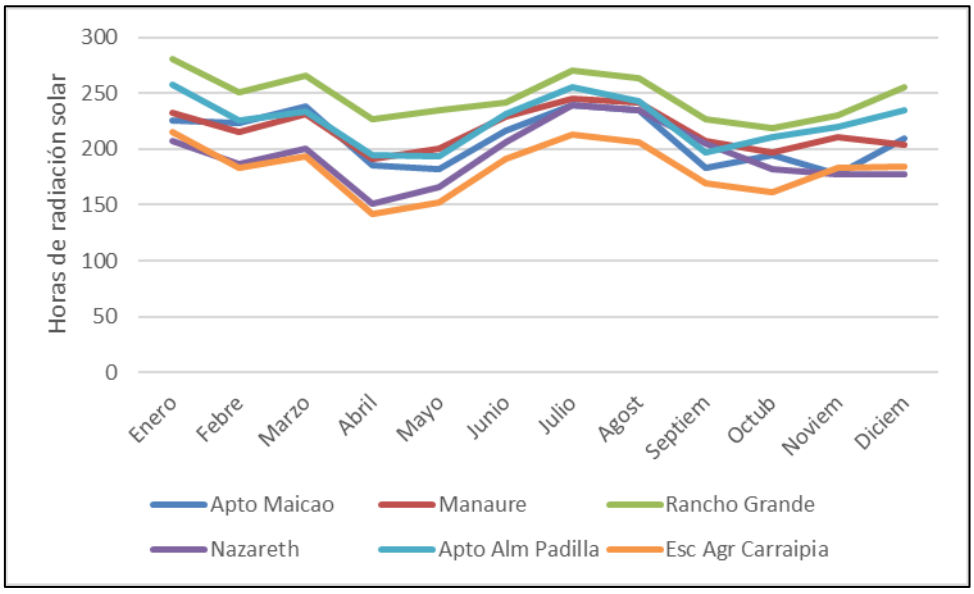
Velocidad del viento m/s	Velocidad del viento millas/h	Calidad del sitio	Clasificación
8.5	19,0	Excelente	6
9.0	20,1	Excelente-Alto	7

Fuente: Renovatio 2017

5.1.8.1.7 Radiación solar

La radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol y que llegan hasta la superficie del planeta, su magnitud está fuertemente influenciada por la nubosidad y la precipitación, los cuales son inversamente proporcionales en su magnitud a la radiación solar[82].

En la Tabla 5-96 y la Figura 5-123, se presenta la radiación mensual multianual para seis estaciones meteorológicas del IDEAM, cercanas al área del proyecto ALPHA. La radiación solar muestra los máximos valores entre los meses de junio-agosto y diciembre-enero, los cuales son los meses con menor precipitación, los picos más bajos de horas de radiación solar mensual se presentan en los meses más lluviosos abril-mayo y septiembre-octubre. El valor más alto de radiación solar lo presenta la estación de Rancho Grande con 281 horas de radiación en el mes de enero, el valor mínimo de radiación solar lo presenta la estación Esc Agr Carraipía con 142 horas de radiación solar en el mes de abril.



[82] FUNDACIÓN ESPAÑOLA PARA LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA. Meteorología y Climatología. Madrid, España. 2004.

Figura 5-123. Radiación olar mensual multianual

Fuente: Renovatio 2017, a partir de datos suministrados por el IDEAM

Tabla 5-96. Radiación solar mensual multianual

	Apto Maicao	Manaure	Rancho Grande	Nazareth	Apto Alm Padilla	Esc Agr Carraipia
Enero	226	233	281	207	258	216
Febre	223	215	251	186	225	183
Marzo	239	232	266	200	233	193
Abril	186	192	227	151	194	142
Mayo	182	200	235	166	194	152
Junio	217	230	242	206	231	192
Julio	239	245	270	239	255	213
Agost	235	242	264	235	243	206
Septiem	184	208	226	205	198	169
Octub	195	197	218	182	210	161
Noviem	177	211	230	177	219	183
Diciem	209	204	256	177	235	184
Total anual	2511	2608	2966	2333	2695	2194

Fuente: Renovatio 2017, a partir de datos suministrados por el IDEAM

5.1.8.1.8 Nubosidad

La nubosidad es la fracción de cielo cubierto con nubes, las nubes contienen el agua que posteriormente precipitará, por ende, la nubosidad y la precipitación están directamente relacionados; en contraste, a medida que aumenta la nubosidad, disminuye la radiación solar[83]. En cuanto a la descripción de las octas, cuando el cielo se describe con 0/8 está despejado, de 1 a 3 parcialmente nublado, de 4 a 7 nublado y de 8/8 se considera cubierto.

En la Figura 5-124 y la Tabla 5-97, se presenta la nubosidad mensual multianual para cuatro estaciones meteorológicas del IDEAM, cercanas al área del proyecto ALPHA. Las estaciones Apto Alm Padilla, Manaure y Esc Agr Carraipía presentan una tendencia de aumento en la nubosidad en los meses de abril, mayo, octubre y noviembre, los cuales a su vez corresponden a los meses de mayores precipitaciones. La estación Apto Maicao presenta valores que no se ajustan al patrón que muestran las otras tres estaciones, debido a que sus valores menores

[83] FUNDACIÓN ESPAÑOLA PARA LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA. Op. cit. p. 5-310.

de nubosidad (3/8) se dan en los meses de mayo, septiembre y octubre y en los demás meses a excepción de marzo con 4/8 se presenta una nubosidad de 5/8.

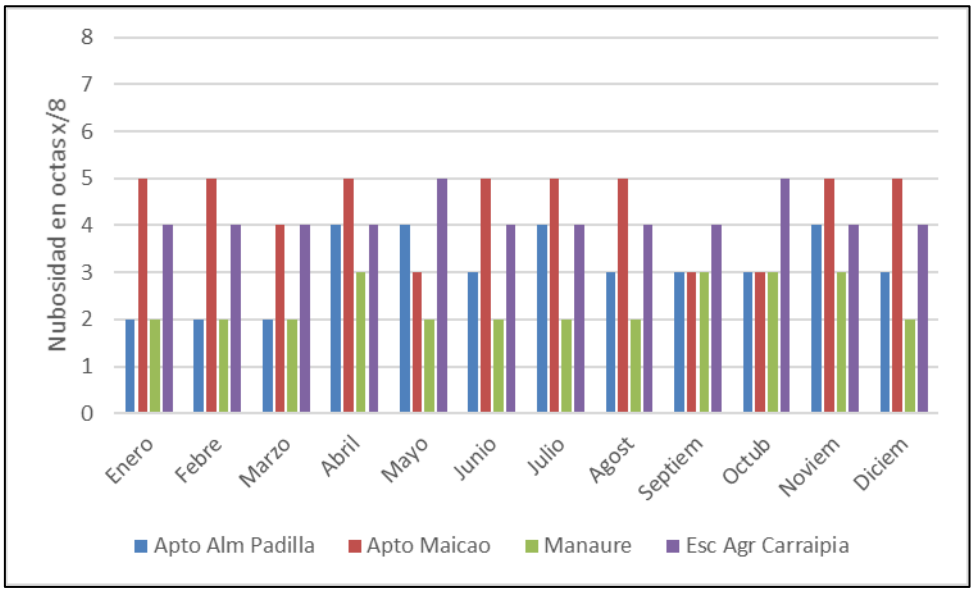


Figura 5-124. Nubosidad mensual multianual

Fuente: Renovatio 2017, a partir de datos suministrados por el IDEAM

Tabla 5-97. Nubosidad mensual multianual

	Apto Alm Padilla	Apto Maicao	Manaure	Esc Agr Carraipia
Enero	2/8	5/8	2/8	4/8
Febre	2/8	5/8	2/8	4/8
Marzo	2/8	4/8	2/8	4/8
Abril	4/8	5/8	3/8	4/8
Mayo	4/8	3/4	2/8	5/8
Junio	3/8	5/8	2/8	4/8
Julio	4/8	5/8	2/8	4/8
Agost	3/8	5/8	2/8	4/8
Septiem	3/8	3/4	3/8	4/8
Octub	3/8	3/4	3/8	5/8
Noviem	4/8	5/8	3/8	4/8
Diciem	3/8	5/8	2/8	4/8

Fuente: Renovatio 2017 a partir de datos suministrados por el IDEAM

5.1.8.1.9 Zonificación climática

El área del proyecto eólico ALPHA, se encuentra ubicada en piso térmico Cálido, en el cual se presentan temperaturas mayores a los 24 °C y una altitud entre los 0 y los 1.000 msnm. En cuanto a las unidades climáticas, en el área del proyecto se presenta la unidad climática Muy Seco, la precipitación en esta unidad oscila entre los 500 y los 1.000 mm/año con dos periodos lluviosos el primero en mayo y el segundo entre octubre y noviembre, así mismo la altitud en esta unidad es inferior a los 300 m, los déficit hídricos anuales alcanzan los 1.550 mm y las temperaturas oscilan entre 26,8 °C a 28,4 °C[84] (Figura 5-125).

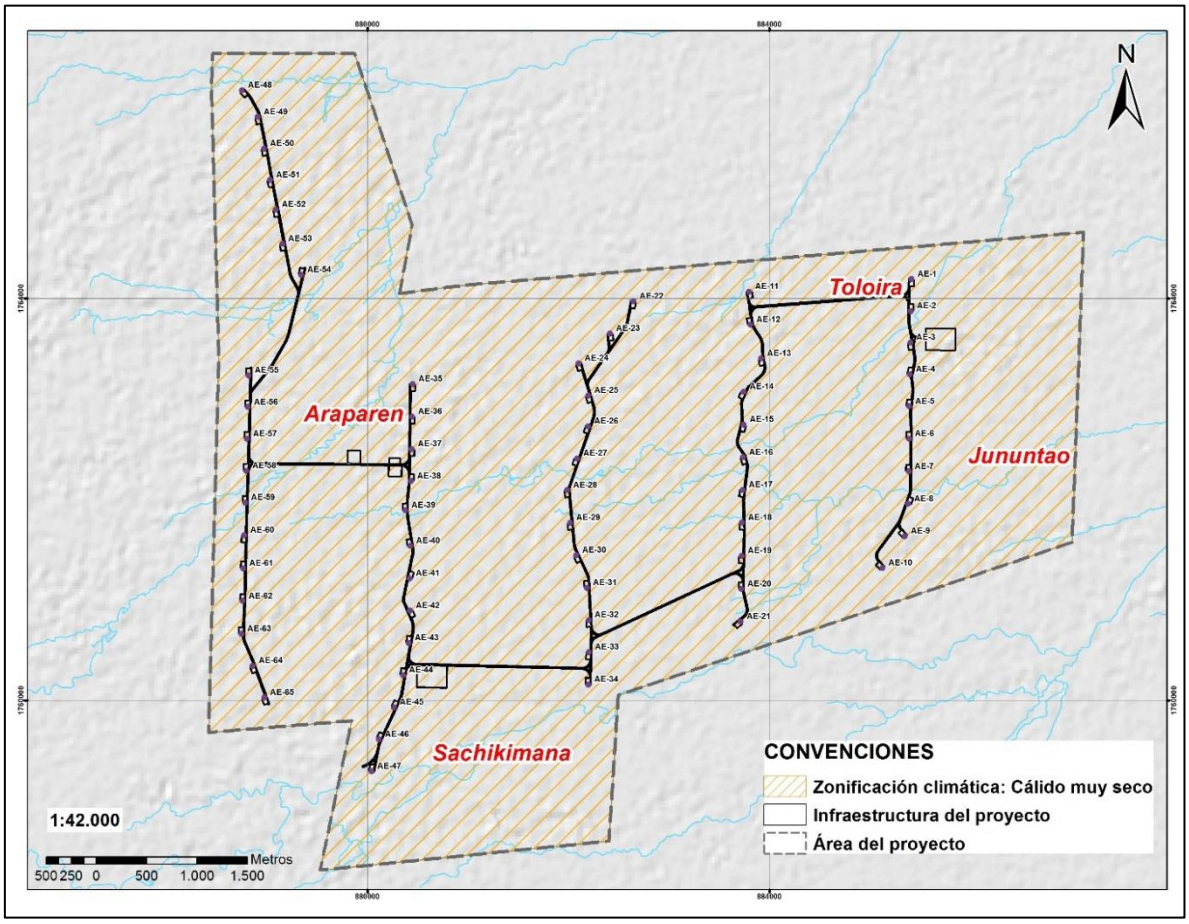


Figura 5-125. Zonificación climática en el área del proyecto eólico ALPHA

Fuente: Renovatio 2017

[84] IDEAM, IGAC, IAvH, INVEMAR, I. SINCHI e IIAP. Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia. Bogotá D. C: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico Jhon von Neumann, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andréis e Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI., 2007. p. 276. + 37 hojas cartográficas.

5.1.8.1.9.1 *Diagrama ombrotérmico de Walter-Gaussen*

Un diagrama ombrotermico, ombrograma o climograma de un lugar concreto es un gráfico en el cual se representan las precipitaciones y las temperaturas relativas a un periodo de tiempo determinado (habitualmente un año por periodos mensuales y por medias mensuales)

En el climodiagrama de Walter y Gaussen se representan conjuntamente el régimen pluviométrico medio anual y el termométrico, de tal forma que la escala de los valores de precipitación sea el doble que la de temperatura.

Con los datos de precipitación media mensual en cada una de las estaciones pluviométricas estudiadas y de la temperatura media mensual disponible en la estación Florida, se ha realizado el climodiagrama que permite calcular directamente los meses áridos según el índice de Gaussen, que establece que un mes es árido si P< 2T.

Para disponer del diagrama ombrotérminco representativo de la cuenca de estudio, éste se calcula a partir de la precipitación ponderada mediante aplicación de los pesos de influencia determinados mediante el cálculo de los polígonos de Thiessen, metodología desarrollada en numerales anteriores del presente documento:

Tabla 5-98. Pesos de influencia correspondientes al cálculo de los polígonos de Thiessen

PESOS PRECIPITACIONES						
Esc Ceura	**Maicao**	**Apto Maicao**	**Huimpecht**	**Orochon**	**Paraguachon**	**Jojoncito**
0.033	0.100	0.422	0.274	0.108	0.063	0.001

Fuente: Renovatio 2017 a partir de los datos facilitados por el IDEAM

Tabla 5-99. Temperaturas. Clasificación climática según Walter-Gaussen

	TMED (ºC)				
MES	**Manaure**	**Rancho Grande**	**Apto Maicao**	**TMED (ºC) PONDERADA**	**2TMED**
Enero	27.8	27.5	26.9	27.0	53.9
Febrero	27.5	27.6	27.5	27.5	55.0
Marzo	27.8	28.1	28.0	28.0	56.0
Abril	28.2	28.8	28.5	28.5	57.1
Mayo	29.4	29.2	28.6	28.7	57.3
Junio	30.3	29.6	28.9	29.0	58.0
Julio	30.4	29.6	29.2	29.3	58.5
Agosto	29.8	29.8	29.4	29.4	58.9
Septiembre	29.4	29.6	28.6	28.7	57.4
Octubre	28.7	28.8	27.9	28.0	56.0

	TMED (ºC)				
Noviembre	28.8	28.6	27.5	27.6	55.3
Diciembre	28.0	27.9	27.5	27.5	55.1

Fuente: Renovatio 2017 a partir de los datos facilitados por el IDEAM

Tabla 5-100. Clasificación climática según Walter-Gaussen

	PMED (mm)							
MES	**Esc Ceura**	**Maicao**	**Apto Maicao**	**Huimpecht**	**Orochon**	**Paraguachon**	**Jojoncito**	**PMED (MM) PONDERADA**
Enero	4.7	14.5	6.5	4.0	9.5	20.3	4.0	7.7
Febrero	8.7	9.7	9.1	0.0	2.7	6.8	1.0	5.8
Marzo	3.5	8.8	3.9	0.0	8.7	12.0	5.0	4.3
Abril	41.9	34.9	24.9	11.7	20.6	31.4	13.0	22.8
Mayo	98.7	94.0	93.2	24.7	52.0	81.3	27.0	69.4
Junio	45.0	47.7	26.3	8.0	9.4	43.3	10.0	23.3
Julio	25.3	24.5	4.6	4.1	6.4	24.1	5.0	8.6
Agosto	49.0	89.9	30.6	7.5	37.1	64.2	14.0	33.6
Septiembre	119.8	129.3	102.9	160.0	82.5	124.8	30.0	120.8
Octubre	140.2	229.9	166.8	127.7	122.0	177.5	37.0	157.2
Noviembre	101.3	165.6	115.6	107.7	86.7	100.9	36.0	113.8
Diciembre	21.6	28.2	26.1	31.7	33.3	55.1	10.0	30.3

Fuente: Renovatio 2017 a partir de los datos facilitados por el IDEAM

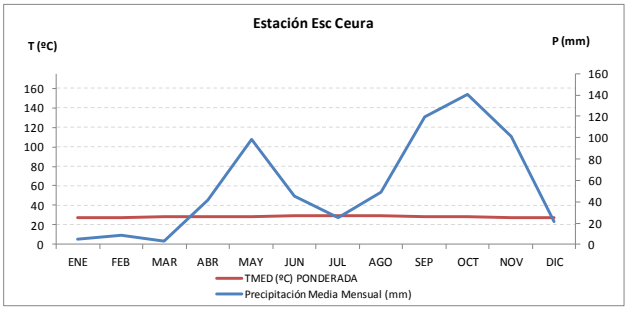
Tabla 5-101. Clasificación mensual según Walter-Gaussen

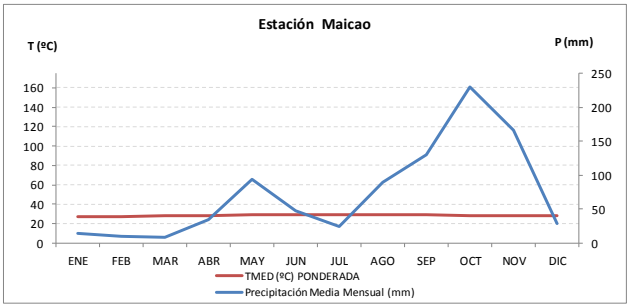
MES	$2T_{MED}$	PMED (MM) PONDERADA	Clasificación mensual
Enero	53.9	7.7	Mes Árido
Febrero	55.0	5.8	Mes Árido
Marzo	56.0	4.3	Mes Árido
Abril	57.1	22.8	Mes Árido
Mayo	57.3	69.4	Mes húmedo

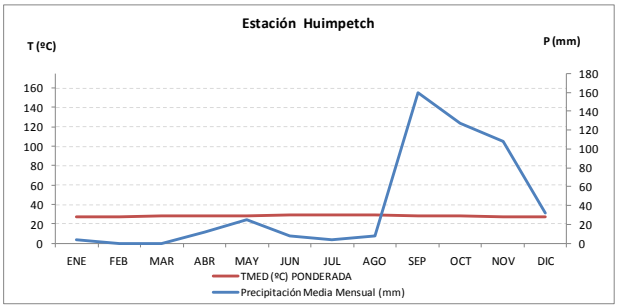
MES	$2T_{MED}$	PMED (MM) PONDERADA	Clasificación mensual
Junio	58.0	23.3	Mes Árido
Julio	58.5	8.6	Mes Árido
Agosto	58.9	33.6	Mes Árido
Septiembre	57.4	120.8	Mes húmedo
Octubre	56.0	157.2	Mes húmedo
Noviembre	55.3	113.8	Mes húmedo
Diciembre	55.1	30.3	Mes Árido

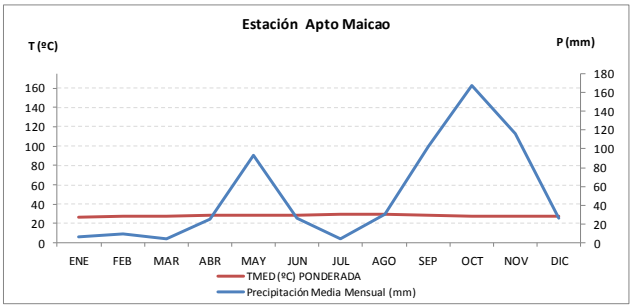
Fuente: Renovatio 2017 a partir de los datos facilitados por el IDEAM

A continuación se adjunta los climogramas representativos en cada estación meteorológica estudiada:









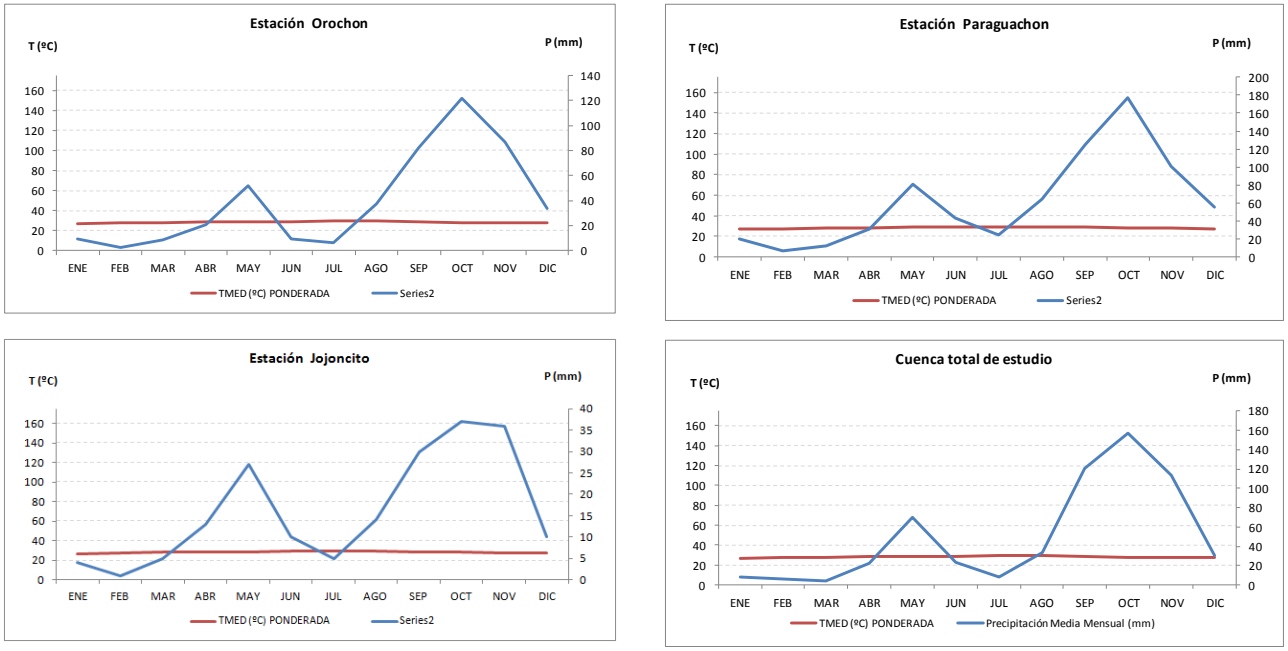


Figura 5-126. Climogramas de Walter-Gaussen en cada una de las estaciones estudiadas

Fuente: Renovatio 2017 a partir de los datos facilitados por el IDEAM

En la Figura 5-126 se adjuntan los ombrogramas de cada una de las estaciones empleadas, así como de la cuenca total de estudio con variables ponderadas. Se observa que todas ellas responden a una relación entre precipitación y temperatura homogéneo y de valores similares, con lo que se determina que el clima es uniforme en toda la cuenca de estudio.

5.1.8.2 *Inventario de fuentes de emisiones atmosféricas*

A continuación, se relacionan las principales fuentes de emisión identificadas en campo durante las mediciones de la línea base del proyecto eólico ALPHA:

5.1.8.2.1 Fuentes móviles

5.1.8.2.1.1 *Flujo vehicular*

Según datos recolectados en campo durante el monitoreo calidad del aire y ruido, por las vías del proyecto, el tráfico vehicular que se presenta es de máximo 25 vehículos al día. Sin embargo, de las vías la que más tráfico presentó es la que se encuentra al NorOeste (NW) del área de estudio. Con un promedio vehicular de 14 vehículos al día principalmente motos, número que se incrementa a 25 vehículos (entre livianos y pesados) durante los días dominicales y horarios nocturnos, producto del tráfico de gasolina por encontrarse en inmediaciones de la frontera colombo – venezolana. Las demás vías presentan un promedio de 5 y 2 vehículos. Los vehículos que transitan por estas vías, corresponden a vehículos livianos (motos, automóviles) y de carga (camiones de 2 ejes).

5.1.8.2.2 Fuentes fijas

5.1.8.2.2.1 *Erosión eólica:*

La zona de estudio se caracteriza por ser zona árida con presencia de áreas abiertas sin o con poca vegetación, lo que conlleva a que la fuerza de los vientos presente resuspensión de material particulado en el aire. Adicionalmente a esto, es una zona seca donde la precipitación es escasa, lo que implica la acción permanente del viento.

5.1.8.2.2.2 *Quemas*

Los habitantes de las rancherías cercanas realizan a menudo quemas de residuos. Por otro lado, realizan quema de leña para la cocción de alimentos.

Dentro del área del proyecto no se encuentran actividades industriales que puedan aportar a la calidad del aire. Teniendo en cuenta lo anterior, el monitoreo de calidad de aire cuantifica de manera real el aporte de las fuentes que se encuentran en la zona del proyecto, estableciendo el estado actual antes de la ejecución del proyecto del Parque Eólico.

5.1.8.3 *Calidad del aire y modelación de contaminantes*

5.1.8.3.1 Monitoreo de la calidad del aire

5.1.8.3.1.1 *Variables climáticas*

En la Tabla 5-102 se muestran los datos diarios obtenidos a partir de la estación meteorológica instalada en la ranchería de Sachikimana durante el periodo de monitoreo entre el 27 de enero y el 13 de febrero de 2017, en ella se consolida el valor promedio de: velocidad del viento, temperatura, presión barométrica y humedad relativa, así como la precipitación acumulada.

Tabla 5-102. Resumen de los parámetros meteorológicos de muestreo

Parámetro	Temperatura (°C)	Presión Barométrica (mmHg)	Precipitación (mm)	Velocidad del viento (m/s)	Humedad (%)
2017-01-27	28,08	755,96	0,00	5,33	70
2017-01-28	28,22	755,66	0,00	5,10	72
2017-01-29	28,10	755,33	0,00	5,37	71
2017-01-30	28,00	756,72	0,00	5,02	72
2017-01-31	27,65	758,94	0,00	3,97	67
2017-02-01	26,82	758,19	0,00	4,12	72
2017-02-02	26,89	757,34	0,00	4,33	71
2017-02-03	25,10	713,70	0,00	1,55	83
2017-02-04	28,15	756,40	0,00	5,41	72
2017-02-05	27,84	756,50	0,00	5,19	74
2017-02-06	27,95	756,00	0,00	5,29	74
2017-02-07	27,51	756,84	0,00	4,09	66
2017-02-08	27,52	756,68	0,00	4,59	68
2017-02-09	27,77	756,52	0,00	5,00	71
2017-02-10	28,17	757,17	0,00	4,48	72
2017-02-11	27,95	757,73	0,00	4,23	72
2017-02-12	27,78	757,04	0,00	3,99	69
2017-02-13	27,16	756,50	0,00	3,43	69
Promedio	**27,44**	**754,50**	**0,00***	**4,32**	**72**
Máximo	**28,22**	**758,94**	**0,00**	**5,41**	**83**
Mínimo	**24,67**	**713,70**	**0,00**	**1,55**	**66**

* Precipitación acumulada

Fuente: Renovatio 2017

5.1.8.3.1.1.1 Temperatura

La Figura 5-127 muestra el comportamiento de la temperatura promedio durante el periodo de monitoreo. A nivel general, se observa que la temperatura media del periodo es de 27,44 °C con una variación de ± 2,0 ° C. La temperatura máxima estimada se presentó el 28 de enero, alcanzando los 28,2 °C; y el registro promedio mínimo fue determinado el día 3 de febrero con un valor de 25,1 °C.

El perfil de temperatura horario (Figura 5-128) presenta sus mayores promedios entre las 13 y 16 horas, durante este mismo periodo se esperan valores de radiación solar más elevados.

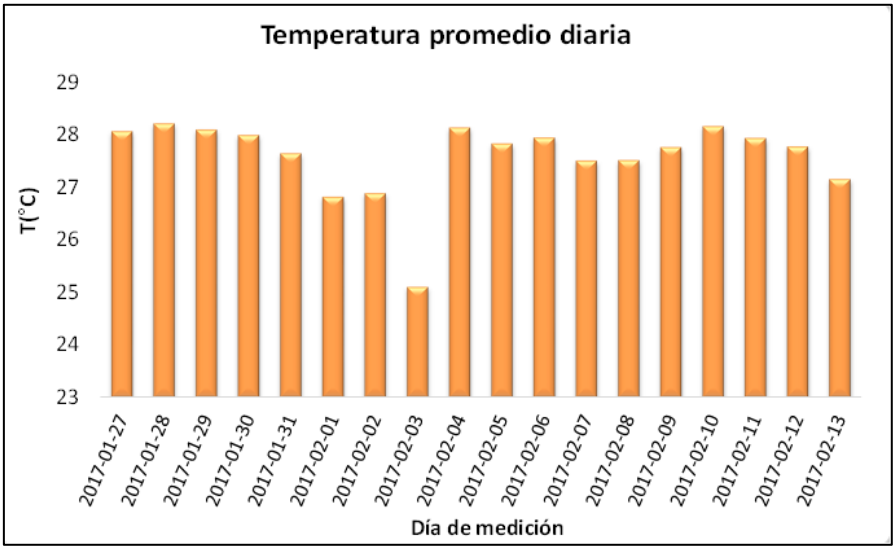
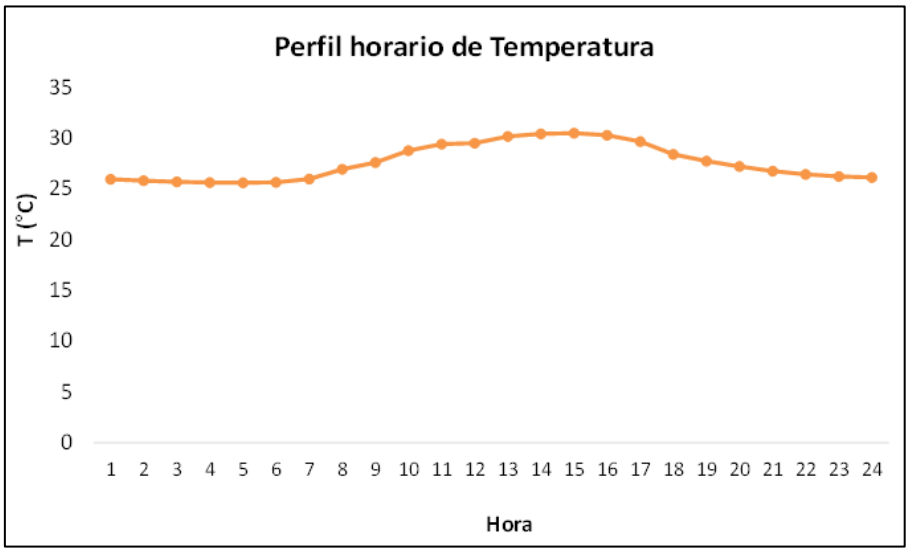


Figura 5-127. Temperatura promedio diaria

Fuente: Renovatio 2017



Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T °C	25,9	25,8	25,7	25,6	25,6	25,6	26,0	26,9	27,6	28,8	29,4	29,5
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
T °C	30,2	30,4	30,5	30,3	29,6	28,4	27,7	27,2	26,7	26,4	26,2	26,1

Figura 5-128.Temperatura promedio horaria

Fuente: Renovatio 2017

5.1.8.3.1.1.2 Precipitación

Durante el periodo de monitoreo no se registraron precipitaciones en la zona, teniendo en cuenta la escala presentada en la Tabla 5-103 (rango de 0 – 20 mm de agua/mes), el nivel de precipitación se puede clasificar como “Escaso”.

Tabla 5-103. Escalas del nivel de precipitación

Denominación	Precipitación diaria (mm)	Precipitación Mensual (mm)
Escaso	0 - 5	0 - 20
Ligero	6 - 10	21 - 40
Moderado	11 - 20	41 - 80
Fuerte	21 - 50	81 - 200
Muy Fuerte	51 - 70	201 - 280
Intenso	> 70	> 281

Fuente: Secretaria Distrital de Ambiente, Dirección de Control Ambiental, Red de monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. Informe anual consolidado sobre niveles de concentración de contaminantes, 2008.

Fuente: Renovatio 2017

5.1.8.3.1.1.3 Presión barometrica

En la Figura 5-129 se puede observar la presión barométrica promedio diaria registrada. Las variaciones de los promedios diarios de presión no superaron los 2 mm de Hg, el promedio durante el periodo de monitoreo fue de 756,8 +- 1.3 mm de Hg.

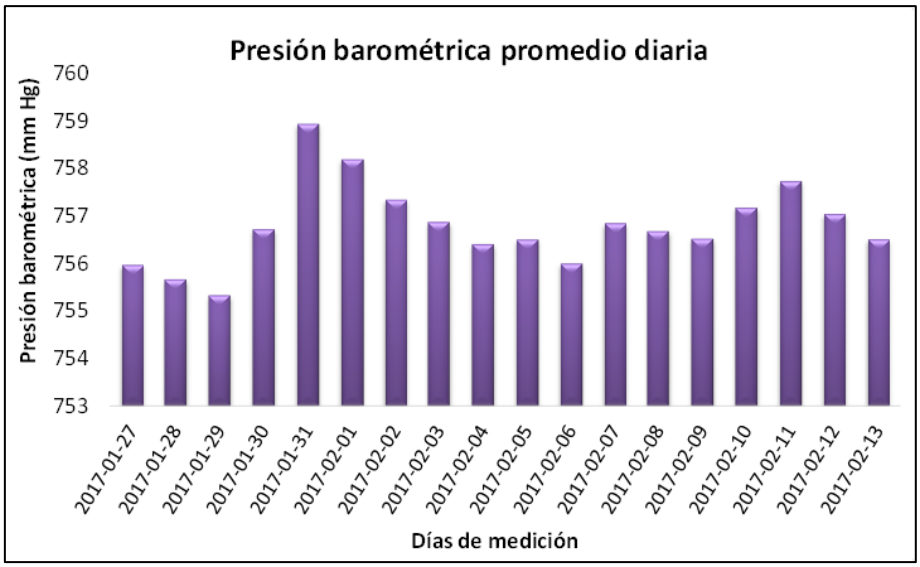
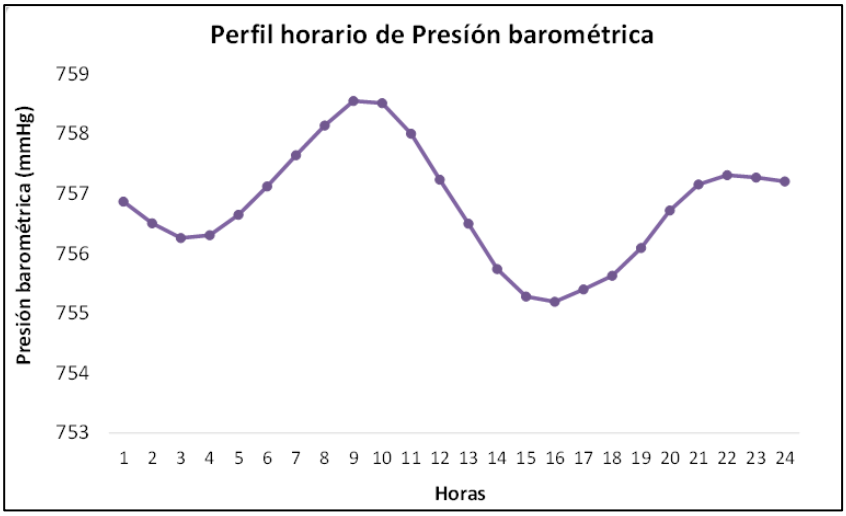


Figura 5-129. Presión barométrica promedio diaria

Fuente: Renovatio 2017

En la Figura 5-130 se puede observar el comportamiento de la presión barométrica promedio para las diferentes horas del día en el área de interés; se observa un comportamiento cíclico con incrementos en horas de la mañana (entre las 4:00 A.M. a 9:00 A.M.) y tarde/noche (entre las 4:00 P.M. a 10:00 P.M.) y una tendencia decreciente entre las horas 9:00 A.M. a 3:00 P.M. y de 11:00 P.M. a 3:00 A.M.



Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P(mmHg)	756,9	756,5	756,3	756,3	756,6	757,1	757,6	758,1	758,6	758,5	758,0	757,2
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
P(mmHg)	756,5	755,7	755,3	755,2	755,4	755,6	756,1	756,7	757,2	757,3	757,3	757,2

Figura 5-130. Presión barométrica promedio horaria

Fuente: Renovatio 2017

5.1.8.3.1.1.4 Velocidad y dirección del viento

En la Figura 5-131 se presenta la velocidad promedio del viento diaria de la estación durante el periodo de monitoreo. El promedio de velocidad del periodo (27 de enero al 13 de febrero de 2017) es de 4,47 m/s. Las velocidades más elevadas se presentaron el día 4 de febrero, alcanzando un promedio diario de 5.41 m/s.

En la Figura 5-132 se presenta la velocidad promedio del viento horaria de la estación durante el periodo de monitoreo. El promedio de velocidad del periodo (27 de enero al 13 de febrero de 2017) es de 4.47 m/s. Las velocidades más elevadas se presentaron el día 4 de febrero, alcanzando un promedio diario de 5.41 m/s.

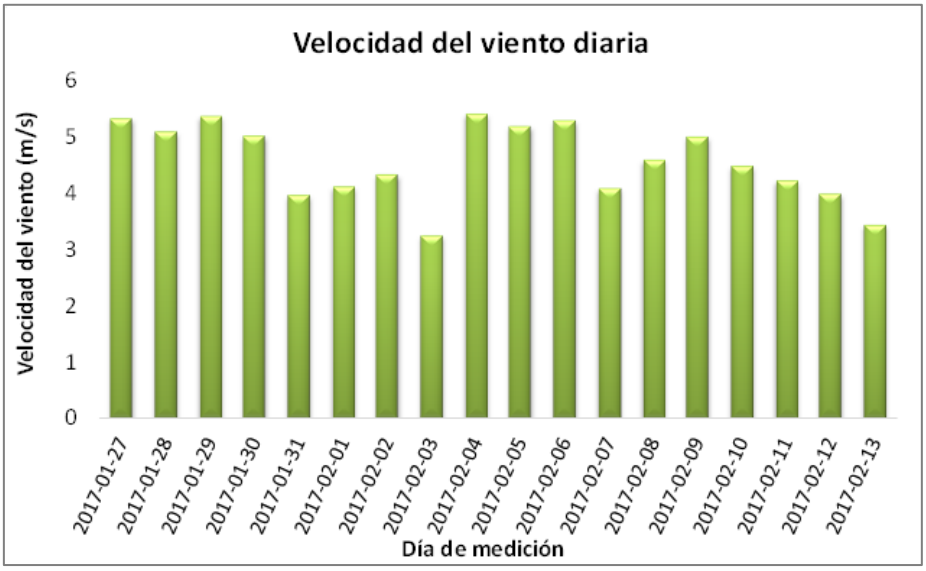
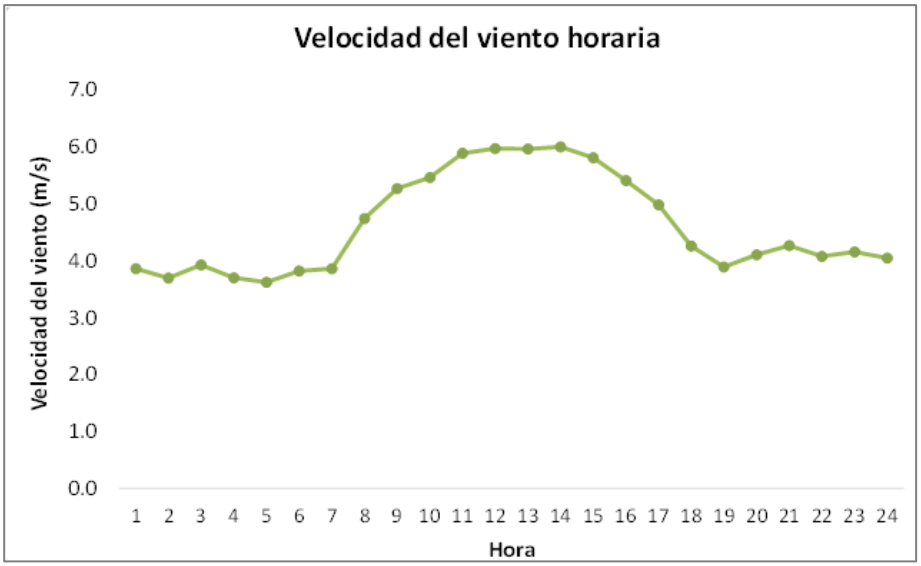


Figura 5-131. Velocidad del viento promedio diaria

Fuente: Renovatio 2017



Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
V (m/s)	3,9	3,7	3,9	3,7	3,6	3,8	3,9	4,7	5,3	5,5	5,9	6,0
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
V (m/s)	6,0	6,0	5,8	5,4	5,0	4,3	0,0	4,1	4,3	4,1	4,2	4,0

Figura 5-132. Velocidad del viento promedio horaria

Fuente: Renovatio 2017

En la Tabla 5-104 se presenta la distribución de frecuencias de dirección y velocidad del viento; de acuerdo a la escala de Beaufort, en la Tabla 5-105 se muestran los efectos del viento según su distribución. No se registran periodos de calma, el 62% de los registros obtenidos se clasifican como brisa suave, seguidos de un 21% de registros clasificados como brisa moderada. Como se puede apreciar en la Figura 5-133, se presenta una marcada predominancia de los vientos provenientes de la dirección este (E). Los valores obtenidos de velocidad y las condiciones planas del terreno pueden favorecer a que se presente resuspensión de material particulado.

Tabla 5-104. Distribución de registros de acuerdo al rango de velocidad y dirección del viento

Direcciones / Clases de viento (m/s)	Aire ligero	Brisa Ligera	Brisa Suave	Brisa Moderada y mayores	Total
	0,2 - 1,5	1,5 - 3,3	3,3 - 5,4	>= 5,4	
N	0%	0%	0%	0%	0%
NNE	0%	0%	0%	0%	0%
NE	0%	0%	0%	0%	0%
ENE	0%	5%	11%	0%	16%
E	0%	9%	48%	20%	75%
ESE	0%	0%	4%	1%	6%
SE	0%	0%	0%	0%	0%
SSE	0%	0%	0%	0%	0%
S	0%	0%	0%	0%	0%
SSW	0%	0%	0%	0%	0%
SW	0%	0%	0%	0%	0%
WSW	0%	0%	0%	0%	0%
W	0%	0%	0%	0%	0%
WNW	0%	0%	0%	0%	0%
NW	0%	0%	0%	0%	0%
NNW	0%	0%	0%	0%	0%
Sub-Total	0%	14%	62%	21%	97%
Calmas	-	-	-	-	0%
Incompletos	-	-	-	-	3%
Total	-	-	-	-	100%

Fuente: Renovatio 2017

Tabla 5-105. Descripción de los efectos del viento según el rango

Denominación	Descripción del efecto del viento	Rango vel. (m/s)
Calma	Calma, el humo asciende verticalmente.	0 - 0.2
Aire ligero	El humo indica la dirección del viento,	0,3 - 1,5
Brisa ligera	Se mueven las hojas de los árboles, empiezan a moverse los molinos,	1,6 - 3,3
Brisa suave	Se agitan las hojas, ondulan las banderas,	3,4 - 5,4
Brisa moderada	Se levanta polvo y papeles, se agitan las copas de los árboles,	5,5 - 7,9
Brisa fresca	Pequeños movimientos de los árboles, superficie de los lagos ondulada,	8 - 10,8
Brisa fuerte	Se mueven las ramas de los árboles, dificultad para mantener abierto el paraguas,	10,9 - 13,8
Viento casi temporal	Se mueven los árboles grandes, dificultad para andar contra el viento,	13,9 - 16,9
Viento temporal	Se quiebran las copas de los árboles, circulación de personas dificultosa,	17 - 20,5
Viento temporal fuerte	Daños en árboles, imposible andar contra el viento,	20,6 - 24,1
Tormenta	Árboles arrancados, daños en la estructura de las construcciones,	24,2 - 28,3
Tormenta violenta	Estragos abundantes en construcciones, tejados y árboles,	28,4 - 32,6
Huracán	Destrucción total,	>32,7

Fuente: NOAA, 2008[85]

[85] NATIONAL HURRICANE CENTER. [En línea]< http://www.nhc.noaa.gov/archive/2008/> . [Citado el 28 de noviembre de 2017]

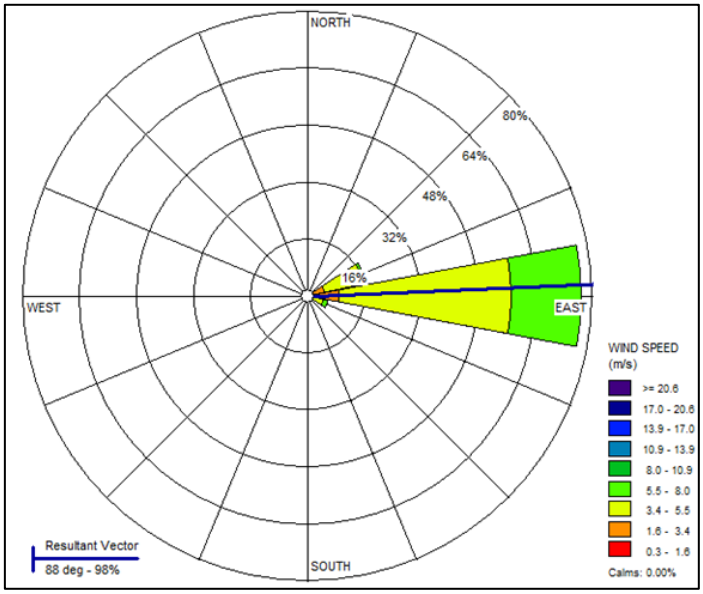


Figura 5-133. Rosa de vientos – Estación Meteorológica

Fuente: K2 INGENIERÍA S.A.S datos meteorológicos procesados en software WRPLOT View – Freeware V:6.7.165 – Lakes Environmental

5.1.8.3.1.2 *Resultados de los monitoreos de calidad del aire*

A continuación, se presentan los análisis de los contaminantes de interés evaluados (PM10, SO_2, NO_2, BTX y CO) durante el periodo de monitoreo comprendido entre el 27 de enero y el 13 de febrero de 2017.

Los monitoreos de calidad del aire se realizaron por medio de la Empresa Consultora K2 Ingeniería, mediante la ubicación de cinco (5) estaciones en la zona de influencia del proyecto Parque Eólico ALPHA por un periodo de 18 días continuos. En el Anexo 12. Resultados monitoreos calidad del aire - reporte de laboratorio, se pueden observar todas las variables obtenidas en el monitoreo y por medio de las cuales se calculan las concentraciones de los contaminantes monitoreados.

La representatividad de los puntos se eligió con base en la selección de las áreas más sensibles, que son cada uno de los asentamientos de las comunidades indígenas. En cuanto al punto blanco, se decidió tener un punto de referencia fuera del área del proyecto que no tuviera incidencia por parte este, para poder hacer análisis y comparaciones en escenarios futuros.

En el Anexo 12 se adjuntan los documentos que soportan el presente análisis; a continuación se presentan los resultados obtenidos para los monitoreos de calidad de aire realizados.

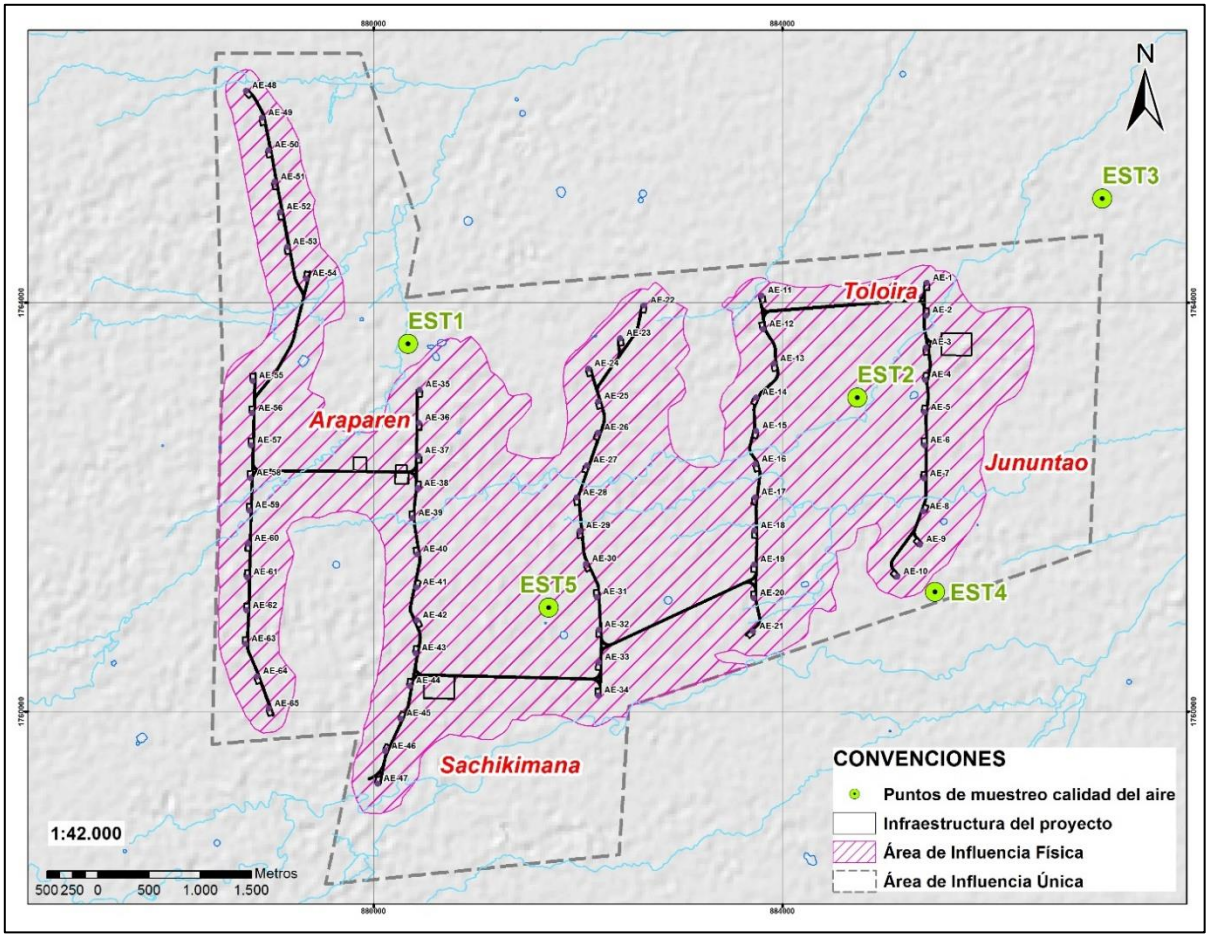


Figura 5-134. Puntos de monitoreo de calidad de aire

Fuente: Renovatio 2017

Tabla 5-106. Coordenadas puntos de monitoreo de calidad de aire

Identificador punto	Coordenada Este	Coordenada Norte
EST1	880335,8199	1763598,129
EST2	884731,9954	1763071,463
EST3	887127,5151	1765017,329
EST4	885491,9232	1761169,403
EST5	881711,3115	1761017,462

Fuente: Renovatio 2017

5.1.8.3.1.2.1 Concentraciones de PM10 vs norma

En la Tabla 5-107 se presenta el consolidado de los resultados para PM10 diarios obtenidos de cada una de las estaciones evaluadas durante el periodo de monitoreo. Durante el periodo

de la campaña ninguno de los niveles de concentración medidos supera la norma diaria para PM10 de 100 µg/m^3 establecido por la Resolución 610 de 2010 del MAVDT actual MADS.

En la Figura 5-135 se observa que los niveles más elevados de concentración registrados para las diferentes estaciones se presentaron los días: 5 de febrero de 2017, estaciones Araparen y Toloira (91.3 µg/m^3 y 36.2 µg/m^3, respectivamente); 2 de febrero en la estación Blanco – 99.3 µg/m^3 (este valor coincide a su vez con la concentración más elevada de todas las estaciones durante el periodo de monitoreo) y el 9 de febrero en las estaciones Jununtao y Sachikimana, con valores de 55.8 µg/m^3 y 37.9 µg/m^3, en ese mismo orden. Los tiempos de medición para PM10 en las muestras válidas de las estaciones de calidad del aire oscilaron entre 23 y 24 horas, es decir, los equipos cumplieron con el tiempo requerido para las mediciones. No se presentaron datos inválidos durante el periodo de monitoreo.

Tabla 5-107. Concentraciones diarias de PM10 vs. Norma diaria

Fecha	Estaciones					Norma diaria (µg/m^3)	Excede o no excede la norma
	Araparen (µg/m^3)	Toloira (µg/m^3)	Blanco (µg/m^3)	Jununtao (µg/m^3)	Sachikimana (µg/m^3)		
27/01/2017	61,5	20,3	35,6	24,2	18,6	100	No Excede
28/01/2017	53,2	24,6	40,0	26,3	24,0	100	No Excede
29/01/2017	38,9	21,6	34,5	23,0	23,5	100	No Excede
30/01/2017	27,8	9,7	24,7	20,6	21,1	100	No Excede
31/01/2017	34,8	17,2	18,1	16,5	17,5	100	No Excede
1/02/2017	25,2	18,6	19,9	17,9	20,9	100	No Excede
2/02/2017	65,4	20,2	99,3	33,1	31,1	100	No Excede
3/02/2017	65,1	31,0	41,6	35,7	34,4	100	No Excede
4/02/2017	62,9	30,6	38,4	33,9	34,6	100	No Excede
5/02/2017	91,3	36,2	51,1	37,6	29,5	100	No Excede
6/02/2017	50,9	25,6	40,9	30,3	25,9	100	No Excede
7/02/2017	34,9	25,4	34,0	21,0	9,2	100	No Excede
8/02/2017	50,7	13,2	42,1	34,1	21,5	100	No Excede
9/02/2017	65,4	28,9	53,9	55,8	37,9	100	No Excede
10/02/2017	29,4	17,6	21,1	22,9	16,3	100	No Excede
11/02/2017	20,5	14,3	14,2	15,0	14,7	100	No Excede
12/02/2017	20,4	3,2	15,4	10,2	13,9	100	No Excede
13/02/2017	14,5	12,3	13,1	8,5	12,3	100	No Excede
Promedio*	45,1	20,6	35,4	25,9	22,6	-	-
Máximo	91,3	36,2	99,3	55,8	37,9	100	No Excede
Mínimo	14,5	3,2	13,1	8,5	9,2	-	-

Fuente: Renovatio 2017

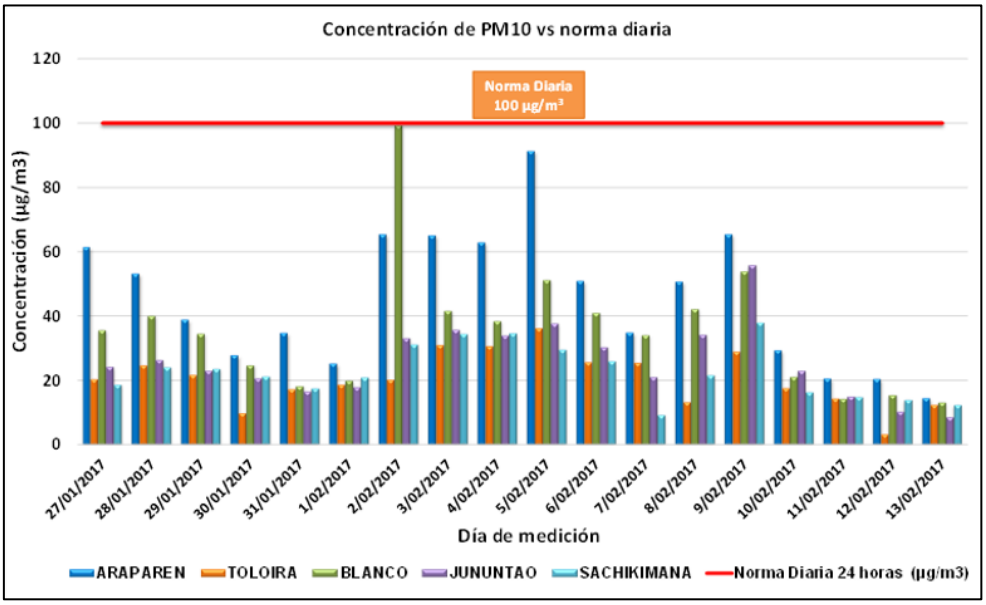


Figura 5-135. Concentraciones diarias de PM10 vs. Norma

Fuente: Renovatio 2017

Con base a los lineamientos establecidos por la Resolución 610/2010, el cual establece un nivel máximo permisible de exposición anual para PM_{10} de 50 µg/m³; las concentraciones promedio obtenidas por las estaciones de monitoreo durante la campaña, se comparan solo de *forma indicativa*, para establecer una tendencia de la calidad del aire durante el periodo del año indicando el porcentaje de reducción o aumento con respecto a la norma. En la Tabla 5-108 se relaciona lo antes expuesto.

Tabla 5-108. Consolidado de resultados de PM10 para el periodo evaluado

Estación	Promedio PM10* (µg/m³)	Norma anual (µg/m³)	Porcentaje respecto a la norma
Araparen	45,1	50	90,3%
Toloira	20,6	50	41,2%
Blanco	35,4	50	70,9%
Jununtao	25,9	50	51,9%
Sachikimana	22,6	50	45,2%

*Promedio aritmético

Fuente: Renovatio 2017

Así mismo, la Figura 5-136 presenta los valores promedios del consolidado de datos obtenidos, al comparar con la norma anual de 50 µg/m³, todos los valores promedios en las estaciones

resultan ser inferiores al límite permisible anual, lo que indica que en estas estaciones es altamente probable encontrar concentraciones que cumplan con la normatividad anual, sin embargo, cabe desctacar que se presenta cierta aproximación entre el nivel promedio de concentración de la estación Araparen y el valor establecido en la normatividad anual; debido a que en este punto es donde se encuentra la mayor parte de suelo arenoso del parque, por ende la erosión eólica puede ser el factor mas influyente.

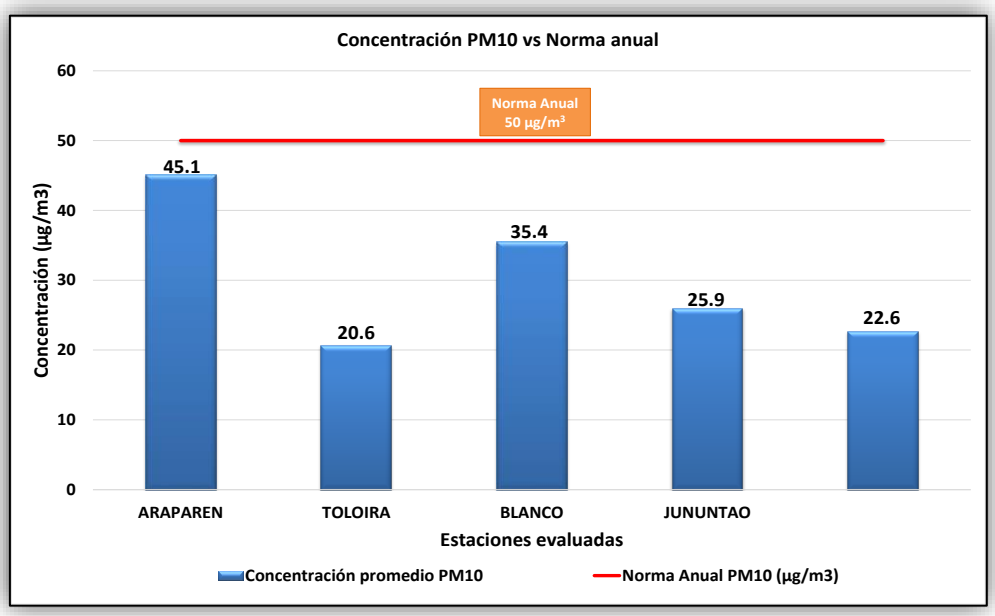


Figura 5-136. Concentraciones promedio PM_{10} vs norma anual

Fuente: Renovatio 2017

A continuación, se describe de forma gráfica y numérica, la distribución estadística de los niveles de inmisión de PM10 reportados por las estaciones de calidad del aire teniendo en cuenta lo recomendado en el manual de operación del protocolo de calidad de aire capítulo 7, pág. 112, referente a elaborar diagramas de caja por contaminante para evaluar la consistencia de los datos.

Tabla 5-109. Parámetros estadísticos estaciones de Calidad del Aire evaluadas – PM10

Parámetro	Estaciones				
	Araparen	Toloira	Blanco	Jununtao	Sachikimana
Numero de datos (n)	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
Promedio geométrico (X)	45,15	20,59	35,43	25,93	22,60
Valor más alto registrado (µg/m^3)	91,31	36,19	99,28	55,79	37,93

Parámetro	Estaciones				
	Araparen	Toloira	Blanco	Jununtao	Sachikimana
Día de registro	2017-02-05	2017-02-05	2017-02-02	2017-02-09	2017-02-09
Valor más bajo registrado (µg/m^3)	14,48	3,22	13,10	8,52	9,17
Día de registro	2017-02-13	2017-02-12	2017-02-13	2017-02-13	2017-02-07
Desviación estándar (S)	20,89	8,38	20,33	11,43	8,28
Parámetro de Distribución T	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11
Intervalo de confianza media (95%) µ1	34,76	16,43	25,32	20,24	18,48
Intervalo de confianza media (95%) µ2	55,53	24,76	45,54	31,61	26,71
Mediana	44,78	20,24	35,03	23,57	21,34
Percentil 25	27,84	14,33	19,86	17,87	16,29
Percentil 75	63,43	26,45	41,71	33,98	29,88

Fuente: Renovatio 2017

En términos generales, teniendo en cuenta la información estadística presentada en la Tabla 5-109 y el diagrama de caja (Figura 5-137), la estación que presenta la mayor dispersión de datos es la identificada como Araparen, sin embargo, en esta estación no se registraron valores atípicos; La variabilidad en los datos de concentración puede obedecer a la diversidad de fuentes aportantes de material particulado, esto puede ser producto de la erosión eólica de la zona y posibles quemas en sectores aledaños.

Se registró un valor atípico en la estación Blanco, este se encuentra representado mediante un asterisco (*) en la Figura 5-137.

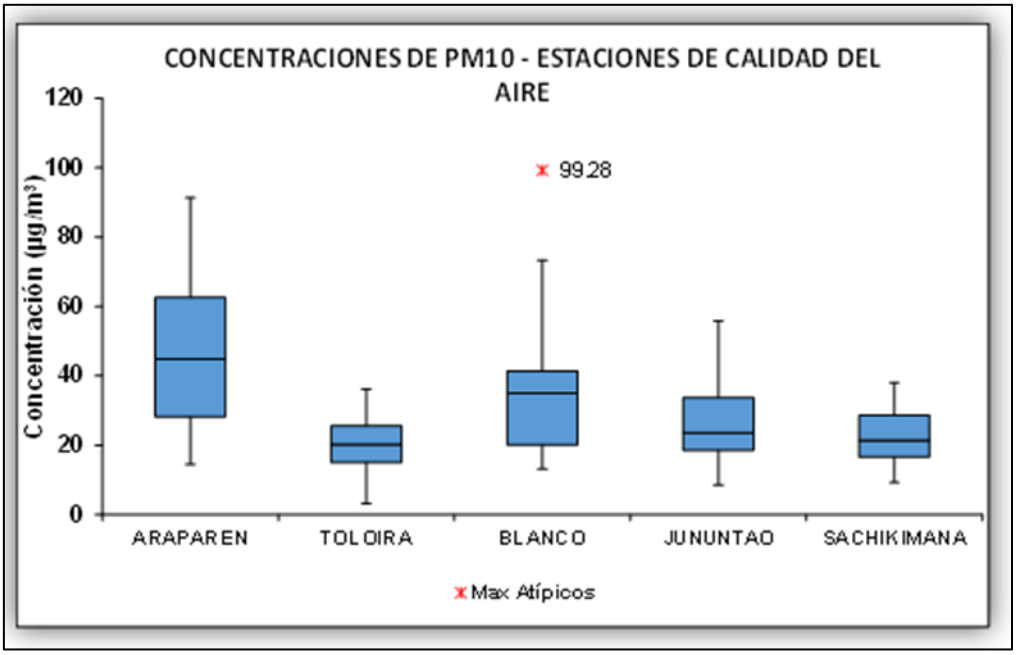


Figura 5-137. Diagrama de cajas de contaminantes evaluados – PM10

Fuente: Renovatio 2017

- Índice de calidad del aire (ICA) para PM10

En todas las estaciones de calidad del aire se realizaron mediciones de PM10. En la Tabla 5-110 se muestra el ICA calculado para cada día muestreado. En la Figura 5-138 se consolida el total de Índices de Calidad del Aire calculados para el periodo de monitoreo de calidad del aire.

Tabla 5-110. Valores Índice de calidad del aire – PM10

Fecha	Estaciones – valores ICA				
	Araparen	Toloira	Blanco	Jununtao	Sachikimana
27/01/2017	54	19	33	22	18
28/01/2017	49	23	37	24	22
29/01/2017	36	20	31	21	22
30/01/2017	26	9	23	19	19
31/01/2017	32	16	17	16	16
01/02/2017	23	18	19	17	19
02/02/2017	56	19	73	31	29
03/02/2017	56	29	39	33	31
04/02/2017	55	29	35	31	32

Fecha	Estaciones – valores ICA				
	Araparen	Toloira	Blanco	Jununtao	Sachikimana
05/02/2017	69	33	47	35	27
06/02/2017	47	24	38	28	24
07/02/2017	32	23	31	19	8
08/02/2017	47	12	39	31	20
09/02/2017	56	27	50	51	35
10/02/2017	27	17	19	21	15
11/02/2017	19	13	13	14	14
12/02/2017	19	3	14	9	13
13/02/2017	13	11	12	8	11

Fuente: Renovatio 2017

De acuerdo a las condiciones de calidad del aire de la zona, obtenidas durante el periodo de muestreo, se observa que el 91 % (82 registros) de los valores estimados corresponden a la banda del color verde que significa “Calidad del Aire Buena”, sólo se presentaron ocho (8) registros cuya clasificación fue de “Moderada”, seis de ellos se registraron en la estación Araparen; lo anterior indica que mayoritariamente no se presenta riesgo actual en la salud de las poblaciones de la zona de estudio (Figura 5-138). Cabe resaltar, que el análisis y los efectos sobre la salud son los establecidos por el Protocolo de SVCAs, y no son el objeto propio de este estudio.

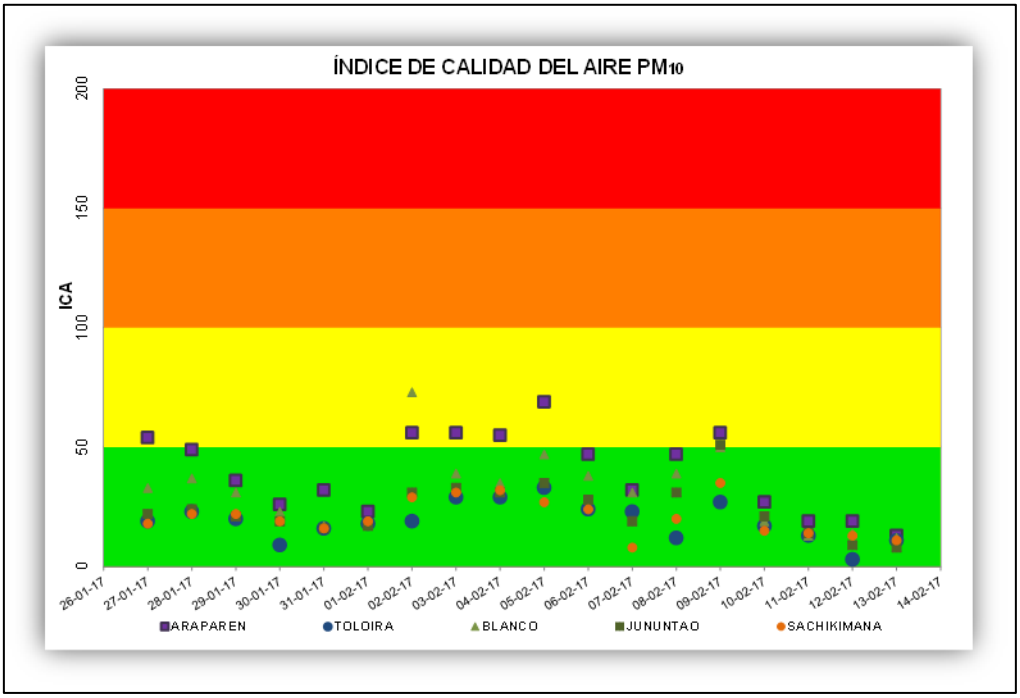


Figura 5-138. Índice de calidad de aire para PM10

Fuente: Renovatio 2017

5.1.8.3.1.2.2 Concentraciones de NO2 vs. norma

En la Tabla 5-111 se presentan los resultados de NO2 obtenidos en cada estación durante el periodo de monitoreo. El 100% de los valores de concentración reportados en las diferentes estaciones no superan el límite cuantificable del método de análisis empleado en el laboratorio (LCM NO2 = 0.05 µg/10 ml de Solución). Para efectos de cálculo y estimar una concentración máxima aproximada, se tomó el valor del límite de cuantificación del método para los datos reportados por el laboratorio, y con esto poder determinar la concentración máxima que se podría presentar (ver Anexo 12. Resultados monitoreos calidad del aire, reporte de laboratorio).

Tabla 5-111. Concentraciones diarias de NO2 vs. Norma diaria

Fecha	Estaciones					Norma diaria (µg/m^3)	Excede o no excede la norma
	Araparen (µg/m^3)	Toloira (µg/m^3)	Blanco (µg/m^3)	Jununtao (µg/m^3)	Sachikimana (µg/m^3)		
27/01/2017	<11*	<11,8*	<11,6*	<11,8*	<11*	150	No Excede
28/01/2017	<11,2*	<10,9*	<10,6*	<10,9*	<9,6*	150	No Excede
29/01/2017	<10,5*	<11,5*	<11*	<11,6*	<11,8*	150	No Excede

Fecha	Estaciones					Norma diaria (µg/m³)	Excede o no excede la norma
	Araparen (µg/m³)	Toloira (µg/m³)	Blanco (µg/m³)	Jununtao (µg/m³)	Sachikimana (µg/m³)		
30/01/2017	<10,6*	<11,4*	<11,1*	<11,2*	<8,8*	150	No Excede
31/01/2017	<11,3*	<10,9*	<11,1*	<10,4*	<10,9*	150	No Excede
1/02/2017	<10,1*	<11,1*	<11,3*	<8,1*	<11,2*	150	No Excede
2/02/2017	<10,9*	<10,4*	<10,7*	<10,2*	<10,6*	150	No Excede
3/02/2017	<11,5*	<11,8*	<11,1*	<11,1*	<11,2*	150	No Excede
4/02/2017	<10,7*	<10,8*	<10,7*	<10,7*	<11*	150	No Excede
5/02/2017	<11,1*	<11*	<11,1*	<11*	<11*	150	No Excede
6/02/2017	<11,2*	<10,4*	<11,6*	<10,5*	<10,7*	150	No Excede
7/02/2017	<10,8*	<10,8*	<10,8*	<10,9*	<10,6*	150	No Excede
8/02/2017	<10,9*	<11,1*	<10,7*	<10,8*	<10,8*	150	No Excede
9/02/2017	<10,7*	<10,5*	<10,5*	<10,6*	<10,5*	150	No Excede
10/02/2017	<10,9*	<10,9*	<10,9*	<11,1*	<11,2*	150	No Excede
11/02/2017	<10,8*	<10,8*	<10,6*	<10,3*	<10,7*	150	No Excede
12/02/2017	<10,9*	<11*	<11,1*	<11,1*	<11,1*	150	No Excede
13/02/2017	<10,4*	<10,2*	<10*	<10,8*	<10,6*	150	No Excede
Promedio*	<10,9*	<11*	<10,9*	<10,7*	<10,7*	---	-
Máximo	<11,5*	<11,8*	<11,6*	<11,8*	<11,8*	150	No Excede
Mínimo	<10,1*	<10,2*	<10*	<8,1*	<8,8*	150	No Excede

Fuente: Renovatio 2017

La Figura 5-139 muestra las concentraciones diarias de NO2 para las estaciones evaluadas, en ella se comparan las concentraciones medidas con la norma diaria respectiva. Ninguno de estos valores supera la norma diaria para NO2 de 150 µg/m^3 establecido en la Resolución 610 de 2010 del MAVDT actual MADS.

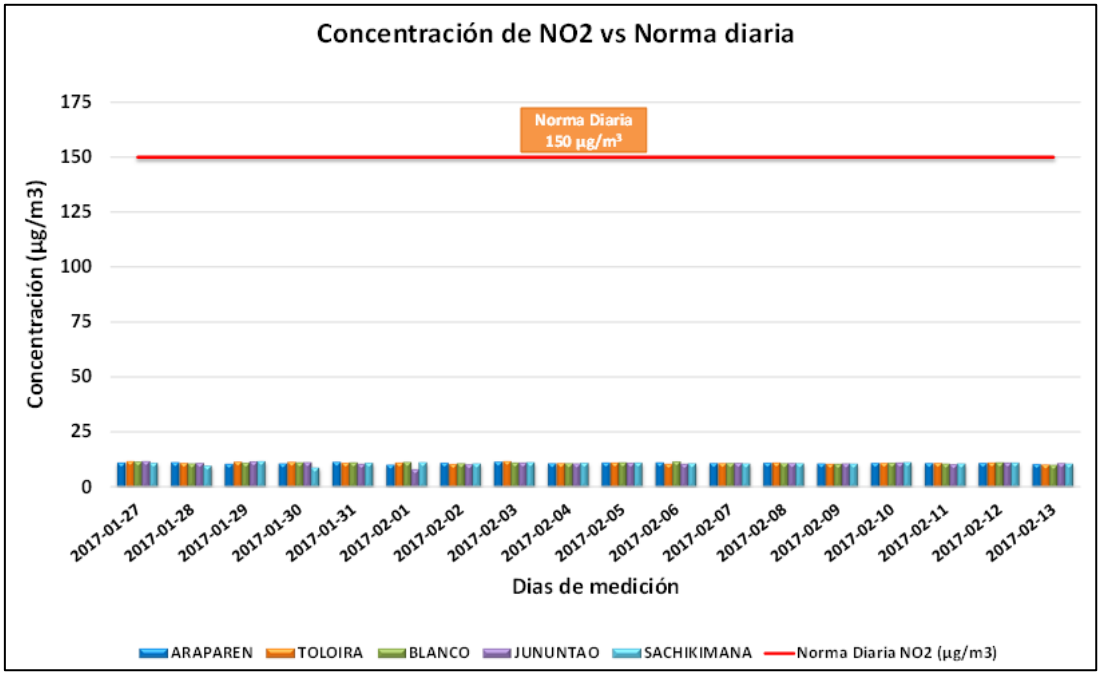


Figura 5-139. Concentraciones diarias de NO2 vs. Norma diaria

Fuente: Renovatio 2017

Con base en los lineamientos establecidos por la Resolución 610 de 2010, la cual establece un nivel máximo permisible de exposición anual para NO2 de 100 µg/m³; las concentraciones promedio obtenidas por las estaciones de monitoreo durante la campaña, se comparan de forma indicativa para establecer una tendencia de la calidad del aire durante el periodo del año, indicando el porcentaje de reducción o aumento con respecto a la norma. Esta comparación indicativa se presenta en la Tabla 5-112.

Tabla 5-112. Comparación indicativa NO2 Vs Norma anual

Estación	Promedio PM10* (µg/m³)	Norma anual (µg/m³)	Porcentaje respecto a la norma
Araparen	<10.9*	100	<10.9%*
Toloira	<11*	100	<11%*
Blanco	<10.9*	100	<10.9%*
Jununtao	<10.7*	100	<10.7%*
Sachikimana	<10.7*	100	<10.7%*

* Media aritmética

Fuente: Renovatio 2017

En la Figura 5-140 se exponen los valores promedios del consolidado de los datos obtenidos durante el monitoreo, y allí se puede observar que las concentraciones reportadas por las estaciones son similares y al ser comparados (concentraciones promedio) con la norma anual de 100 μg/m^3, se puede concluir que en el área de estudio es posible encontrar concentraciones anuales que cumplan con la normatividad.

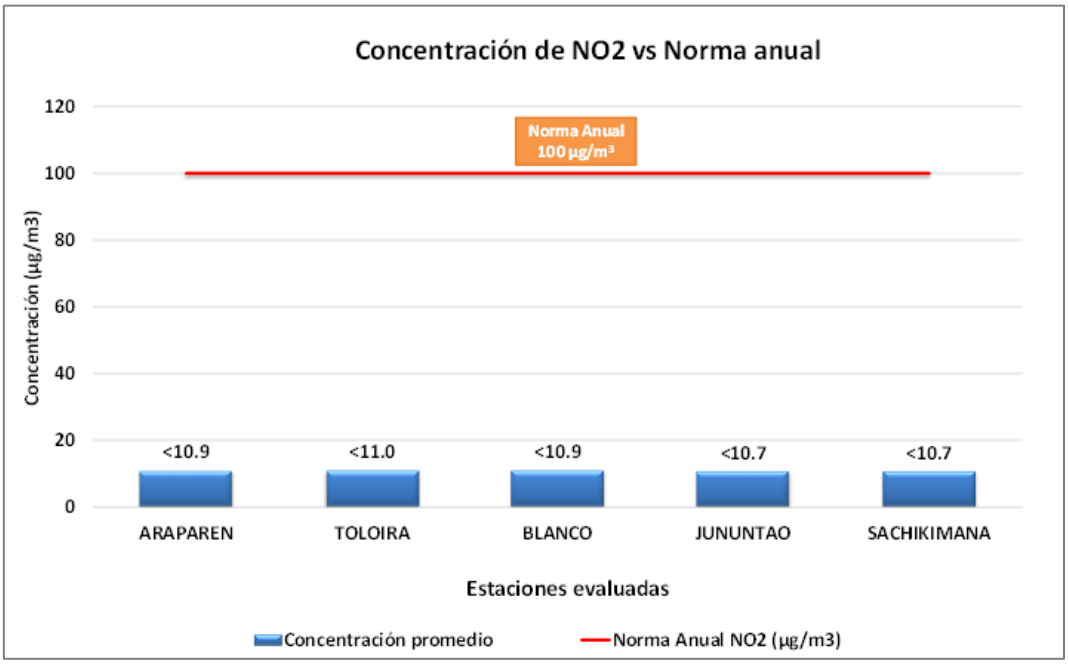


Figura 5-140. Concentración promedio NO2 Vs Norma anual

Fuente: Renovatio 2017

5.1.8.3.1.2.3 Concentraciones de SO2 vs. norma

Al igual que para NO_2, Las muestras de SO_2 fueron recolectadas mediante equipos Rac 3 gases y cuentan con los criterios de aceptación de calidad establecidos por el Protocolo de Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire desarrollado por el MADS, el cual establece un tiempo mínimo de 23 horas de monitoreo[86].

En la Tabla 5-113 se presentan los resultados de SO_2 obtenidos en cada estación durante el periodo de monitoreo. De los valores de concentración reportados solo una (1) muestra alcanzó o superó el límite cuantificable del método de análisis empleado en el laboratorio (LCM SO_2 = 0.77 µg/ml de Solución), en la estación Sachikimana (el 9/02/2017), sin embargo, los niveles medidos de dicha muestra no superan el 6% de los niveles máximos permisibles establecidos en la resolución 610 de 2010 – MADS (Figura 5-141). Para efectos de cálculo y estimar una concentración aproximada, se tomó el valor del límite de cuantificación del método para todos los datos reportados por el laboratorio para determinar la concentración máxima

[86] Resolución 2154 del 2010 // Protocolo de monitoreo y seguimiento de la Calidad del Aire.

que se podría presentar (ver anexo 12. Resultados monitoreos calidad del aire, reporte de laboratorio).

Tabla 5-113. Concentraciones diarias de SO2 vs. Norma diaria

Fecha	Estaciones					Norma diaria (µg/m³)	Excede o no excede la norma
	Araparen (µg/m³)	Toloira (µg/m³)	Blanco (µg/m³)	Jununtao (µg/m³)	Sachikimana (µg/m³)		
27/01/2017	<15,1*	<16,1*	<15,2*	<15,6*	<15,7*	250	No Excede
28/01/2017	<15,1*	<15,4*	<15,7*	<15*	<15,1*	250	No Excede
29/01/2017	<14,5*	<15,4*	<15,5*	<15,3*	<14,8*	250	No Excede
30/01/2017	<15,2*	<14,6*	<13,9*	<14,1*	<13,8*	250	No Excede
31/01/2017	<15,9*	<15,2*	<15*	<15,7*	<16,3*	250	No Excede
1/02/2017	<15*	<15,3*	<13,9*	<13,8*	<15,5*	250	No Excede
2/02/2017	<15,1*	<14,6*	<15,3*	<15,2*	<14,9*	250	No Excede
3/02/2017	<16,1*	<16,2*	<16,2*	<15,9*	<15,4*	250	No Excede
4/02/2017	<14,9*	<15,5*	<15,1*	<15,2*	<15,5*	250	No Excede
5/02/2017	<15,3*	<15,5*	<15,8*	<15,6*	<14,9*	250	No Excede
6/02/2017	<12,4*	<15,1*	<15,9*	<15,5*	<15,1*	250	No Excede
7/02/2017	<15,8*	<15,1*	<15*	<15,2*	<14,4*	250	No Excede
8/02/2017	<15,7*	<15,8*	<14,7*	<14,7*	<14,3*	250	No Excede
9/02/2017	<15,2*	<14,6*	<15,1*	<15*	**15,8**	250	No Excede
10/02/2017	<15,3*	<15,3*	<15,4*	<15,1*	<16,3*	250	No Excede
11/02/2017	<15,5*	<15,9*	<14,8*	<15*	<14,9*	250	No Excede
12/02/2017	<15,6*	<15,7*	<16,1*	<15,8*	<15,9*	250	No Excede
13/02/2017	<15,5*	<15,1*	<15,2*	<15,6*	<15,4*	250	No Excede
Promedio*	<15,2*	<15,4*	<15,2*	<15,2*	<15,2*	---	-
Máximo	<16,1*	<16,2*	<16,2*	<15,9*	<16,3*	250	No Excede
Mínimo	<12,4*	<14,6*	<13,9*	<13,8*	<13,8*	250	No Excede

*Concentración estimada: Valores calculados con el LCM, concentración menor al límite de detección del método. LCM SO2 = 0.77 µg/10ml de Solución.

Resolución 2154 del 2010 // Protocolo de monitoreo y seguimiento de la Calidad del Aire.

Fuente: Renovatio 2017

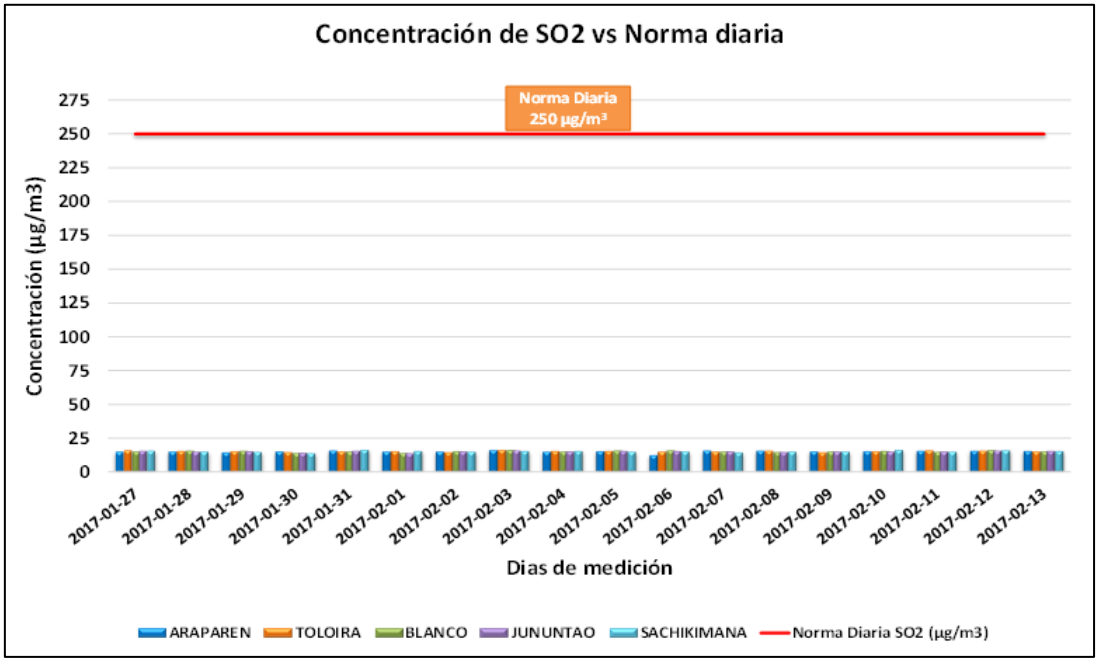


Figura 5-141. Concentraciones diarias de SO2 vs. Norma diaria

Fuente: Renovatio 2017

Con base en los lineamientos establecidos por la Resolución 610 de 2010, la cual establece un nivel máximo permisible de exposición anual para SO2 de 80 µg/m³; las concentraciones promedio obtenidas por las estaciones de monitoreo, se comparan de forma indicativa, para establecer una tendencia de la calidad del aire durante el periodo del año indicando el porcentaje de reducción o aumento con respecto a la norma. Esta comparación indicativa se presenta en la Tabla 5-114.

Tabla 5-114. Comparación indicativa SO2 Vs Norma anual

Estación	Promedio PM10* (µg/m³)	Norma anual (µg/m³)	Porcentaje respecto a la norma
Araparen	<15,2*	100	<19,0%*
Toloira	<15,4*	100	<19,2%*
Blanco	<15,2*	100	<19,0%*
Jununtao	<15,2*	100	<19,0%*
Sachikimana	<15,2*	100	<18,8%*

*Promedio aritmético

Fuente: Renovatio 2017

En la Figura 5-142 se exponen los valores promedios del consolidado de datos obtenidos durante el monitoreo. Se puede observar que la concentración en las cinco estaciones es similar y las concentraciones promedio se encuentran muy por debajo de la norma anual de 80 g/m3 de NO2, esto indica que en estas estaciones es probable encontrar concentraciones anuales que cumplan con la normatividad anual.

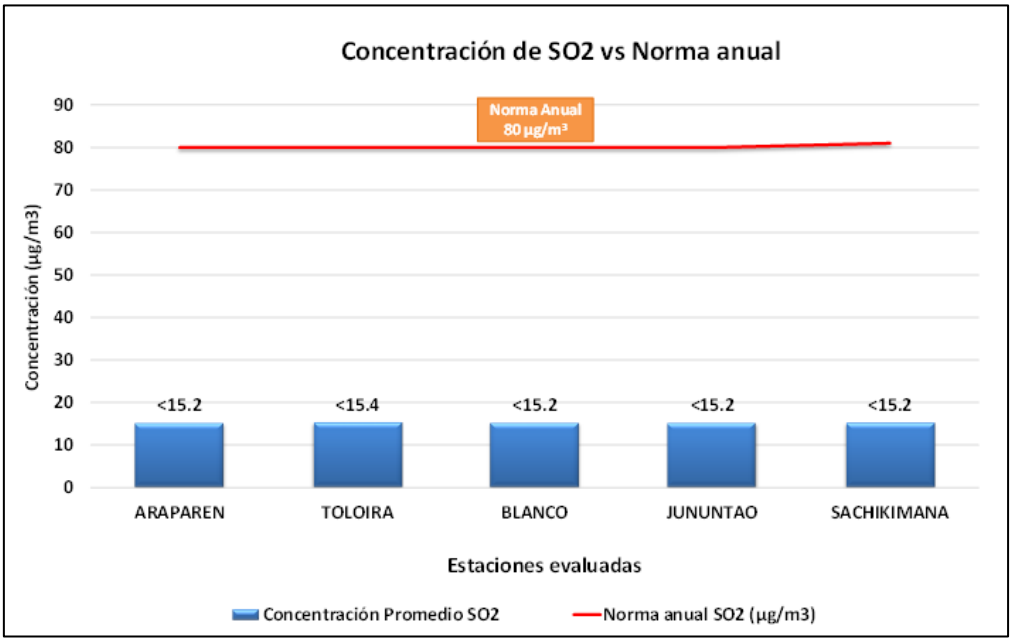


Figura 5-142. Concentraciones diarias de SO2 vs. Norma anual

Fuente: Renovatio 2017

5.1.8.3.1.2.4 Concentraciones de CO vs. Norma

Los valores medios horarios de CO se encuentran en el rango de 0 – 4.000 µg/m^3, estos pueden considerarse como datos de concentración bajos (< 10% del valor normativo) respecto a los límites permisibles establecidos por la Resolución 610/2010. Las estaciones Araparen y Toloira (Ver Tabla 5-115) presentaron los niveles más elevados de concentración durante el monitoreo.

En la Figura 5-143 y Figura 5-144 se presenta el valor de las concentraciones diarias y octahorarias obtenidas durante la campaña, donde se evidencia que ninguno de los valores promedios máximos excede las normas horaria (40.000 µg/m^3) y octahoraria (10.000 µg/m^3).

Tabla 5-115. Concentraciones promedio de CO vs. Norma

Estación	Día de medición	Concentración promedio Horaria (µg/m3)	Concentración promedio Octahoraria (µg/m3)	Norma horaria (µg/m3)	Norma Octahoraria (µg/m3)
Araparen	2017-01-27	260,55	235,73	40.000	10.000
	2017-01-28	570,92	570,92	40.000	10.000
	2017-01-29	743,10	798,35	40.000	10.000
Toloira	2017-01-30	1.172,70	822,74	40.000	10.000
	2017-01-31	1.479,07	1.369,58	40.000	10.000
	2017-02-01	783,68	962,13	40.000	10.000
Blanco	2017-02-02	21,22	15,91	40.000	10.000
	2017-02-03	35,68	37,89	40.000	10.000
	2017-02-04	42,64	42,64	40.000	10.000
Jununtao	2017-02-05	35,99	88,49	40.000	10.000
	2017-02-06	309,82	250,50	40.000	10.000
	2017-02-07	636,23	700,31	40.000	10.000
Sachikimana	2017-02-08	22,95	81,03	40.000	10.000
	2017-02-09	116,86	84,43	40.000	10.000
	2017-02-10	295,01	256,25	40.000	10.000
	2017-02-11	450,64	436,18	40.000	10.000

Fuente: Renovatio 2017

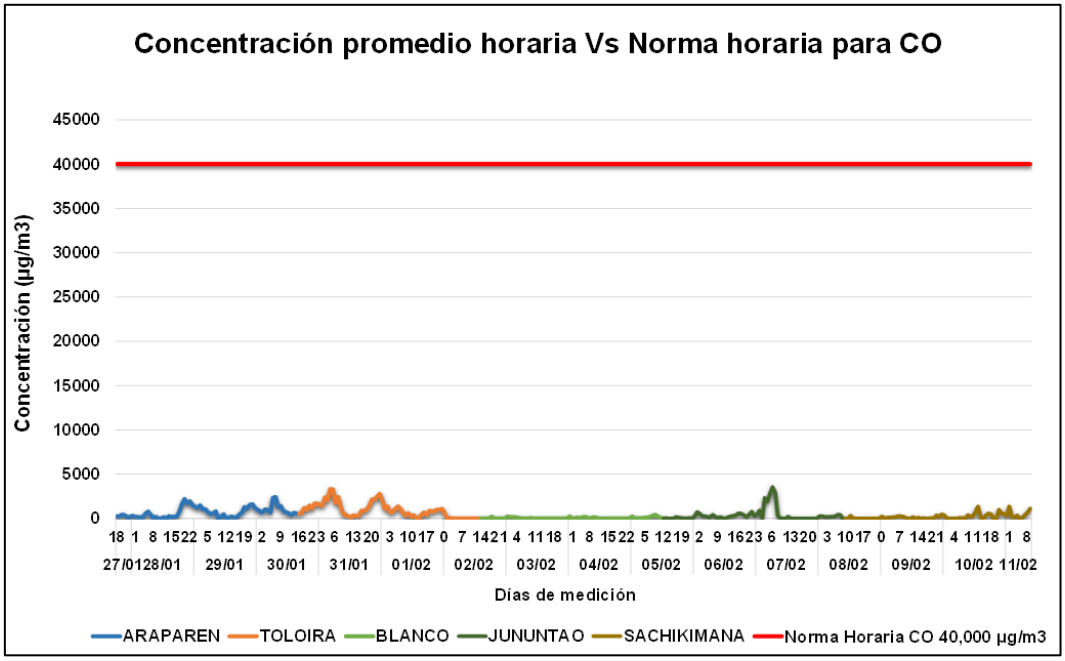


Figura 5-143. Concentraciones promedio horarias de CO vs. Norma

Fuente: Renovatio 2017

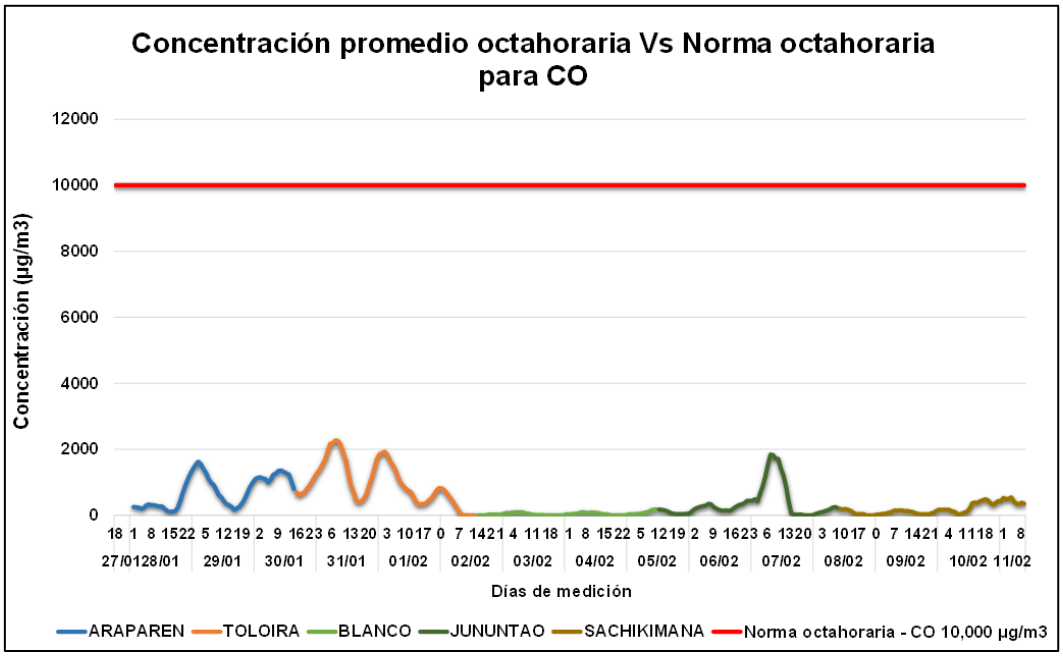


Figura 5-144. Concentraciones promedio octahoraria de CO vs. Norma

Fuente: Renovatio 2017

5.1.8.3.1.2.5 Benceno, tolueno y xileno – BTX

A continuación, en la Tabla 5-116 se presentan las concentraciones promedio de Benceno, Tolueno y Xileno durante el período de monitoreo, y la comparación indicativa con los niveles máximos permisibles.

Tabla 5-116. Concentraciones de BTX vs. Norma

Estación	Concentración (µg/m3)					Norma Anual Benceno (µg/m^3)	Norma Semanal Tolueno (µg/m^3)	Excede o no excede la norma
	Promedio Benceno (µg/m^3)*	Promedio Tolueno (µg/m^3)*	Xileno**					
			P	M	O			
Araparen	0,45	3,92	3,70	9,59	2,09	5	260	No Excede
Toloira	0,43	3,08	3,02	8,09	1,88	5	260	No Excede
Blanco	1,31	7,18	4,92	12,51	3,03	5	260	No Excede
Jununtao	0,54	6,67	4,47	11,49	2,62	5	260	No Excede
Sachikimana	0,53	2,51	2,29	5,75	1,36	5	260	No Excede

*Promedio a condiciones de referencia ** Isómeros de xileno. P: Para; M: Meta; O: Orto.

Fuente: Renovatio 2017

Las concentraciones promedio de Benceno y Tolueno censadas en campo mediante método de tubos pasivos presentan niveles que se encuentran por debajo del límite máximo permisible establecido para una periodicidad Anual y Semanal, respectivamente. La estación que presentó la mayor concentración de ambos contaminantes durante el periodo de monitoreo fue la identificada como Blanco; si bien, ninguno de los valores supera los límites establecidos en la normatividad colombiana (Resolución 610 del 24 de marzo de 2010 del MADS), se debe aclarar que los resultados son indicativos y no concluyentes, con los cuales se busca establecer la tendencia y el comportamiento de los contaminantes.

5.1.8.3.1.2.6 Incertidumbre asociada al monitoreo de la calidad del aire

La incertidumbre asociada a las mediciones equivale a la incertidumbre teórica de los métodos empleados en las mediciones y análisis de laboratorio, y a la incertidumbre entregada por el certificado de calibración para cada uno de los equipos empleados. En el anexo 12. Resultados monitoreos calidad del aire, certificados de calibración se adjuntan las copias de los certificados originales de calibración.

5.1.8.3.1.2.7 Observaciones y conclusiones de los monitoreos de calidad de aire

- Los valores de las condiciones meteorológicas y calidad del aire de la zona se pueden considerar representativos de la zona aunque el periodo de monitoreo fue corto.

Durante los monitoreos no se presentó pérdida de muestras respecto a los días programados inicialmente.

- El estudio fue realizado para determinar los niveles de inmisión actuales en el área de influencia del Parque Eólico Alpha. Se observa que las concentraciones determinadas para los contaminantes regulados por la legislación vigente en el área de influencia del proyecto presentan niveles de Material particulado (PM10), Dióxido de Nitrógeno (NO_2), Dióxido de Azufre (SO_2), Benceno, Tolueno y Monóxido de Carbono (CO) por debajo de los límites permisibles exigidos. Por lo antes expuesto los puntos evaluados cumplen con los límites permisibles según la Resolución 610 del 24 de marzo de 2010 del MAVDT (MADS).
- Las comparaciones realizadas con las normas anuales o periodos de tiempo diferentes al tiempo de monitoreo, se hacen sólo de modo indicativo, de manera que, su importancia radica en dar un estimativo sobre el cumplimiento que puede tener cada zona evaluada del proyecto y conocer la tendencia de las posibles concentraciones en un año completo de monitoreo.
- Durante la campaña de monitoreo el nivel de precipitaciones se puede clasificar como “Escaso”. Las velocidades promedio del viento durante el periodo fueron de aproximadamente a 4.5 m/s, no se registraron periodos de calma, lo que conlleva a que pueda presentarse resuspensión de material particulado.
- En lo referente al material particulado, las cinco (5) estaciones evaluadas presentaron valores de concentración de PM10 inferiores a los límites máximos permisibles para 24 horas dados por la Resolución 610 de 2010 del MAVDT. Los valores más elevados de PM10 encontrados en las estaciones de calidad del aire pertenecen a la estación Araparen.
- De acuerdo a las condiciones de calidad del aire de la zona, obtenidas durante el periodo de muestreo, se observa que el 91 % de los valores de PM10 registrados en todas las estaciones se clasifican dentro de la banda del color verde (ICA) que significa “Calidad del Aire Buena”, lo que indica que no existe riesgo actual en la salud de las poblaciones de la zona de (ver Ilustración 19). Cabe resaltar, que el análisis y los efectos sobre la salud son los establecidos por el Protocolo de SVCAs, y no son el objeto propio de este estudio.
- Para los gases NO_2 y SO_2, sólo se reportó un valor detectable (Estación Sachikimana) para NO_2 en las concentraciones por el método empleado, este valor es inferior al valor normativo. Para efectos de cálculos, los datos reportados como <LDM, se tomaron como el valor del límite de detección del método (LDM SO2 = 0.77 µg/10 ml de Solución y LDM NO2 = 0,05 µg/10 ml de Solución) para estimar una concentración máxima aproximada, utilizando estos datos como referencia, las concentraciones de NO_2 resultan ser menores a 11.0 µg/m_3, mientras que los niveles de SO_2 son inferiores a 16.5 µg/m_3. En general, estos resultados indican que se presenta ausencia, o mínimas fuentes generadoras de los contaminantes NO_2 y SO_2.
- Los valores de concentración de Benceno y Tolueno se encuentran dentro de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa colombiana (5 µg/m_3/año y 1 µg/m_3/semana, respectivamente).
- Finalmente para el Monóxido de Carbono, no se registraron valores por encima de los límites establecidos en la resolución 610 de 2010. Se concluye que las fuentes de

emisión de este contaminante, son muy escasas en los alrededores de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire

5.1.8.3.2 Modelación de la calidad del aire

La modelación que se presenta a continuación, se diseñó específicamente para la etapa de construcción del parque eólico, debido a que es en esta donde se liberarán a la atmosfera mayores cantidades de contaminantes (PM10, CO, SO_2 y NO_2), producto de las actividades inherentes a la construcción del parque eólico y transporte de los aerogeneradores. Los resultados obtenidos fueron comparados con los valores permitidos de acuerdo a Resolución 0610 de 2010 considerando los niveles de fondo, con la finalidad de evaluar los incrementos de los aportes por causa del desarrollo del parque eólico.

No se realizó simulación en línea base, porque en el área de estudio no se identificaron fuentes de emisiones relevantes. No existen industrias o fuentes focalizadas, y la población corresponde a un sector rural, donde no se presenta dispersión de contaminantes de forma significativa. La única fuente predominante es de material particulado y se presenta por la erosión eólica del suelo (Natural). Por este motivo, se presenta como la línea base del proyecto los resultados de las mediciones de calidad del aire que se realizaron en el área de estudio.

No se presenta escenario de modelación en la etapa de operación del parque, puesto que en esta etapa no se generarán aportes importantes por parte del proyecto que afecten la calidad del aire en la zona.

5.1.8.3.2.1 *Descripción del modelo*

El modelo utilizado fue el AERMOD, el cual es un modelo de dispersión atmosférica que se puede utilizar para evaluar la concentración de contaminantes emitidos desde diferentes tipos de fuentes. Este modelo simula el transporte y la dispersión atmosférica de contaminantes emitidos desde fuentes puntuales, área y volumétricas. AERMOD es un modelo refinado que utiliza datos meteorológicos horarios procesados secuencialmente con el objetivo de calcular las concentraciones de contaminantes en el aire para diferentes tiempos de promedio desde una hora hasta un año.

El modelo se ejecutó para los siguientes resultados:

- Promedio anual: Resultado de promediar los valores de concentración de cada uno de los receptores del escenario para todo el periodo evaluado.
- Promedio de 24 horas: Arroja los datos máximos diarios para cada receptor que se obtuvieron durante todo el período modelado.

Debe tenerse en cuenta que el modelo presenta mayor precisión para el periodo anual que para los datos de 24 horas aunque para cualquiera de los dos datos AERMOD presenta una sobreestimación de las concentraciones. Todos los archivos de entrada y salida del modelo se encuentran en los Anexos Digitales del estudio (ver Anexo 29).

En el Capítulo 2 Generalidades, se presenta con mayor detalle la descripción del modelo y la metodología utilizada para el desarrollo de este numeral.

5.1.8.3.2.2 *Análisis meteorológico*

Para el análisis de dispersión de emisiones se utilizó el modelo de simulación de última generación WRF (Weather Research and Forecasting), por no encontrarse una estación meteorológica en cercanía de las fuentes de emisión evaluadas en este estudio, que presente los parámetros y datos necesarios para modelación AERMOD. La resolución temporal de los parámetros evaluados está dada por las condiciones topográficas y uso del suelo de la zona. Toda la información empleada corresponde a datos meteorológicos entre el 1 de enero al 31 de diciembre de 2016.

Debido a que en el país no existen los equipos para obtener todos los parámetros climáticos necesarios en la modelación de contaminantes, se hace necesario estimar los secundarios por medio de las formulaciones recomendadas en la literatura. La metodología de Sozzi es la recomendada por el IDEAM y ha sido usada en modelaciones del MADS (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible) en zonas mineras. En el Capítulo 2 Generalidades, se presenta la metodología utilizada para el cálculo de los parámetros y se presentan las constantes necesarias para generar los archivos meteorológicos (PFL y SFC) de modelación AERMOD.

El análisis meteorológico se presenta en el Anexo 29. Modelación de la Calidad del Aire, donde se incluyen los análisis de precipitación, presión barométrica, velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad relativa, altura de mezcla y topografía, utilizados para el modelo.

5.1.8.3.2.3 *Análisis de la calidad del aire*

Los análisis de calidad del aire en las condiciones actuales del proyecto se presentaron previamente en el numeral 5.1.8.3.1 Monitoreo de la Calidad del Aire, fundamentado en la información obtenida de la campaña de monitoreo realizada para el área del proyecto.

5.1.8.3.2.4 *Estimación de emisiones y definición de parámetros de modelación*

5.1.8.3.2.4.1 Definición del escenario

El escenario calculado corresponde a la etapa de construcción, e incluye las actividades relacionadas con la instalación de los aerogeneradores, manejo de suelos, adecuación y construcción de vías existentes, instalación del cableado de redes eléctricas, dos depósitos de excedentes de excavación, un campamento, una planta de concreto, transporte de concreto, funcionamiento de vehículos livianos y transporte de los elementos de los aerogeneradores hacia el proyecto.

Cabe resaltar que durante la etapa de operación del parque eólico no se generan aportes importantes que afecten la calidad del aire en la zona.

5.1.8.3.2.4.2 Inventario de emisiones

Para realizar la estimación de emisiones se realizó previamente un inventario de emisiones donde se identificaron las fuentes principales de emisión, las cuales se describen a continuación:

- Transporte de materiales y equipos.
- Cableado de redes eléctricas.

- Excavación en plataformas y fundaciones.
- Adecuación de dos lugares para el depósito de los excedentes de las excavaciones.
- Adecuación de un campamento para los trabajadores del proyecto.
- Mantenimiento de vías y erosión eólica.
- Planta de concreto.
- Generador eléctrico.

En la Tabla 5-117 se presenta el tipo de actividades.

Tabla 5-117. Actividades relacionadas al proyecto

ACTIVIDAD	MAQUINARIA	EN MODELO
DESCAPOTE Remoción de capa vegetal y descapote Excavación y cargue de camiones Descargue de camiones y nivelación	Retroexcavadora Moto niveladora Cargador Bulldozer Camión	☑
CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE Obras de infraestructura Vías de acceso internas.	Retroexcavadora Motoniveladora Bulldozer	☑
PLANTA DE CONCRETO Remoción de capa vegetal y descapote. Cargue y descargue de camiones. Erosión eólica.	Retroexcavadora Motoniveladora Camiones mixer	☑
GENERADOR ELECTRICO Funcionamiento Tipo de combustible (Diésel)	Generador de energía	☑

Fuente: Renovatio 2017

En la Figura 5-145 se presentan las fuentes identificadas y tenidas en cuenta para realizar la estimación de las emisiones.

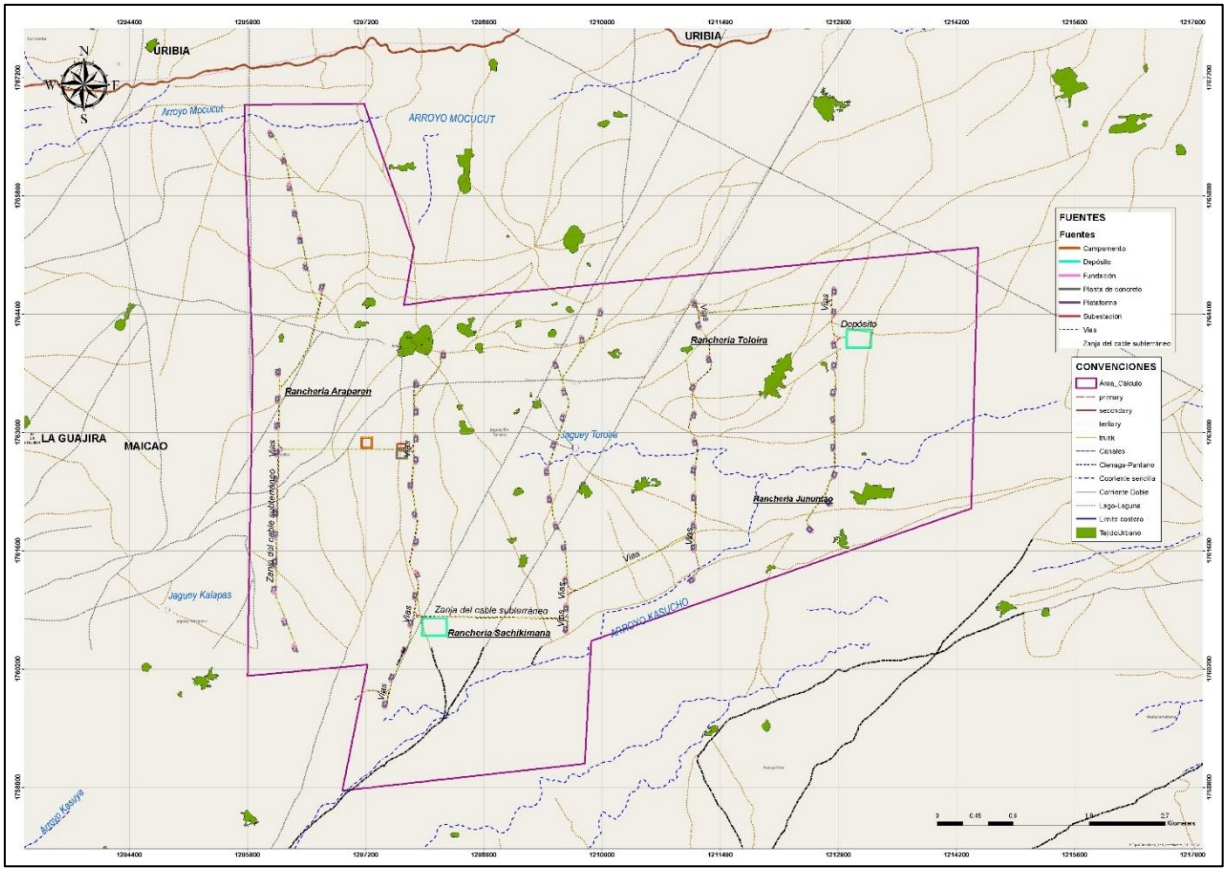


Figura 5-145. Fuentes ingresadas al modelo AERMOD

Fuente: Renovatio 2017

5.1.8.3.2.4.3 Cálculo de emisiones

Para el cálculo de las emisiones de las principales fuentes y actividades consideradas se tomaron las disposiciones establecidas en el AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Fifth Edition, Volume I: Stationary Point and Area Sources de la U.S. EPA.

En el Capítulo 2 Generalidades, se presenta la metodología utilizada para la estimación de las emisiones del modelo y factores de emisión utilizados.

5.1.8.3.2.4.4 Eficiencia de los sistemas de control

El control de polvo es indispensable para preservar la calidad del aire ambiente, es por esta razón que la empresa Vientos del Norte SAS ESP garantizará la aplicación eficaz de agua mediante riego y humectación con tanqueros en las vía destapadas y lugares de almacenamiento, mediante las medidas establecidas en el PM-A8 Programa de manejo para fuentes de emisiones atmosféricas y ruido.

Los porcentajes de control de emisiones según la actividad fueron tomados del NPI (National Pollutant Inventory).

Tabla 5-118. Estrategias de control de emisiones

ACTIVIDAD	EFICIENCIA DEL CONTROL DE EMISIONES			DESCRIPCIÓN
	MIN	*MAX*	*MEDIA*	
3. OPERACIONES DE MANEJO DE SUELOS				
3.1 Apilado de suelos por Bulldozing	30	50	40	Wind breaks and water sprays to keep ore wet
3.2 Cargue de material	0	0	0	No control
3.3 Transporte de suelos	50	75	75	watering >= 2 litres/m2/h.
3.4 Descargue de material	70	70	70	Water sprays
4. OTRAS OPERACIONES				
4.1 Erosión eólica en áreas intervenidas	30	50	40	Water sprays, wind breaks, primary earthworks, rock armour and/or topsoil applied
4.2 Mantenimiento vías	30	50	40	Wind breaks and water sprays to keep ore wet
4.3 Tráfico de vehículos livianos	50	75	70	watering >= 2 litres/m2/h

Fuente: AP-42: Compilation of Air Pollutant Emission Factors y National Pollutant Inventory – NPI.

Además del NPI, en cuanto a las vías de acarreo se presenta en el documento Emission Factor Documentation for AP-42. Section 13.2.2. Unpaved Roads, Final Report. 1998; la variabilidad de eficiencias de control en vías despavimentadas, las eficiencias reportadas en la literatura Australiana o EPA se encuentra limitada exclusivamente para aplicación con agua.

Así mismo, se utilizó un factor de mitigación natural en vías (por efecto de lluvias) de acarreo reportado en el documento citado anteriormente en la Sección 13.2.2.3 - "Controles". No obstante es una zona de baja pluviosidad anual.

$$E_{EXT} = E * \left[\frac{(365 - P)}{365}\right]$$

Donde,

Eext = Factor de emisión anual de tamaño específico extrapola para la mitigación natural, lb/VMT

E = Factor de emisión de la Ecuación 1a o 1b (Unpaved Roads – USEPA)

P = Número de días en un año con al menos 0,254 mm (0,01 pulgadas) de precipitación.

5.1.8.3.2.4.5 Variables para el cálculo de la emisión.

En la Tabla 5-119 se integra la información relevante utilizada para la estimación de emisiones de material particulado (PM10):

Tabla 5-119. Parámetros para el cálculo de emisiones

Parámetro	Unidades	Valor
Contenido de limos del suelo (Vías)	%	22.1
Contenido de limos del suelo (Manejo)	%	21.1
Contenido de humedad del suelo (Manejo)	%	18.35 %
Densidad del suelo (Manejo)	Mg/m^3	1.95
Días de lluvia > 0.254 mm	Días/periodo	61*
Numero de Bulldozer (por zona)	N/A	2
Horas de Bulldozer	h/día	8
Velocidad promedio del viento	m/s	5.51
Porcentaje de tiempo con velocidad del viento mayor a 5.36 m/s	%	52.56

Nota: Mg: Megagramo=1000 kg= 1 tonelada métrica (t), BCM= Metro cúbico en banco (m3)

* Días de precipitación > 0.254 mm, información tomada de la meteorología WRF

Fuente: Renovatio 2017.

5.1.8.3.2.4.6 Descripción del movimiento de materiales y flota vehicular.

En el Capítulo 2 Generalidades del Proyecto, se presenta el diseño del proyecto y las características técnicas para cada una de sus fases, incluyendo la información a detalle sobre el movimiento de materiales y de flota vehicular. Esta información se tuvo en cuenta en el modelo, dado la orientación del estudio hacia la evaluación de la incidencia sobre la calidad del aire del entorno de emisiones que tendrían lugar durante la fase de construcción del proyecto.

En la Tabla 5-120 se presenta las características de la flota vehicular a usar para el manejo de materiales (suelos y áridos) en la etapa de construcción.

Tabla 5-120. Distribución de actividades por grupos.

Grupo de actividades	Actividades
1. OPERACIONES DE MANEJO DE MATERIALES	1.1 Remoción de suelos por Tractor (Bulldozing) 1.2 Cargue de suelos 1.3 Cargue de excavación 1.4 Descargue de llenos en vías
2. CONSTRUCCIÓN	2.1 Construcción de infraestructura, depósitos de materiales campamento.

3. OPERACIONES CON MATERIALES DE LA PLANTA MEZCLADORA DE CONCRETO	3.1 Remoción de suelos por Tractor (Bulldozing) 3.2 Cargue de suelos. 3.3 Descargue de suelos. 3.4 Erosión eólica.
5. OTRAS OPERACIONES	5.1 Erosión eólica en áreas intervenidas 5.2 Mantenimiento vías

5.1.8.3.2.4.7 Emisiones atmosféricas calculadas

Las emisiones atmosféricas calculadas (con sistemas de control para PM10), se presentan en la Tabla 5-121.

Tabla 5-121. Consolidado emisiones calculadas con sistema de control

Actividad	PM_{10} (Mg/periodo)	NO_2 (Mg/periodo)	SO_2 (Mg/periodo)	CO (Mg/periodo)
Plataforma	36.32	N/A	N/A	N/A
Fundaciones	7.86	N/A	N/A	N/A
Tendido eléctrico	3.21	N/A	N/A	N/A
Planta de concreto y campamento	1.79	N/A	N/A	N/A
Depósito	7.98	N/A	N/A	N/A
Mantenimiento de vías y erosión eólica	10.19	N/A	N/A	N/A
Transporte de equipos y materiales incluyendo emisiones por el exosto	212.52	0.39	0.0077	1.85
Generador eléctrico	0.36	5.03	0.33	1.08
Totales	280.23	5.42	0.3377	2.93

*Nota: Los valores con sistema de control aplican solo para PM10

Fuente: Renovatio 2017

5.1.8.3.2.4.8 Idealización de las fuentes

La Figura 5-146 muestra el esquema de las fuentes usadas para la simulación. Las vías se idealizaron como fuentes de volumen; las plataformas, fundaciones, depósitos, planta de concreto y campamento, tendido eléctrico y generador eléctrico, se idealizaron como fuentes de área, las fuentes con color rojo corresponden a los volúmenes, las verdes son fuentes de áreas y por último los de color amarillo son los receptores discretos.

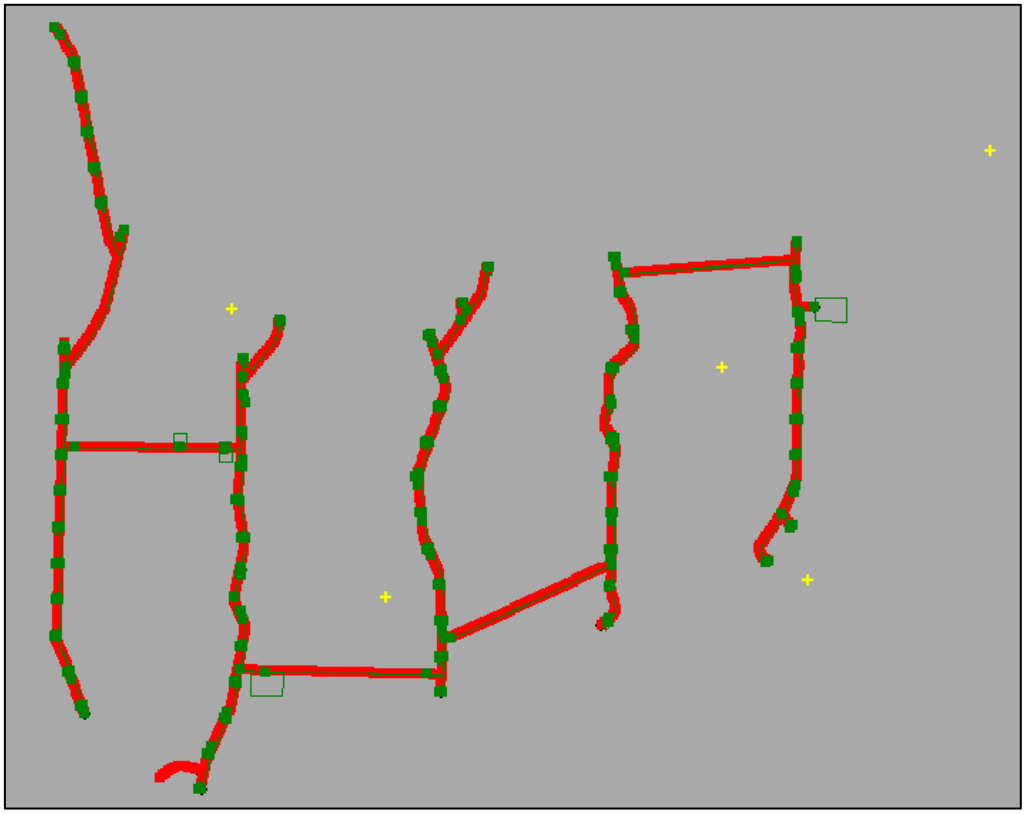


Figura 5-146. Idealización de fuentes de área y Volumen

Fuente: Renovatio 2017

Las siguientes tablas corresponden a los valores de entrada de PM10 para las fuentes evaluadas en el escenario contemplado en este estudio, todos los archivos de modelación para cada contaminante se encuentran en el anexo 29 Archivos digitales de modelación.

Tabla 5-122. Datos fuentes poligonales

	Index	ID	Description	X coordinate	Y coordinate	Elevation	Emission rate	Release height	Init. vert. dim.
				m	m	meters	g/(s-m**2)	meters	meters
1	1	CAMP	Campamento	879863.44	1762361.865	30	2.94E-06	1	0.47
2	2	SUBES	Subestación	880271.9447	1762357.596	30	2.94E-06	1	0.47
3	3	PC_1	Planta de concreto	880270.3763	1762334.173	30	2.94E-06	1	0.47
4	4	DEP_1	Depósito	880637.8289	1760342.647	30	2.08E-06	1	0.47
5	5	DEP_2	Depósito	885556.2294	1763608.565	20	2.08E-06	1	0.47
6	6	PLT_1	plataformas	878924.4571	1765799.436	35	7.82E-06	1	0.47
7	7	PLT_2	plataformas	878987.5406	1765485.183	30	7.82E-06	1	0.47
8	8	PLT_3	plataformas	879046.105	1765172.31	30.47	7.82E-06	1	0.47
9	9	PLT_4	plataformas	878796.7091	1766060.133	28.25	7.82E-06	1	0.47
10	10	PLT_5	plataformas	880055.1771	1759299.877	25	7.82E-06	1	0.47
11	11	PLT_6	plataformas	880146.0206	1759668.592	25	7.82E-06	1	0.47
12	12	PLT_7	plataformas	880293.6745	1759986.17	32	7.82E-06	1	0.47
13	13	PLT_8	plataformas	879011.4697	1759964.876	27.82	7.82E-06	1	0.47
14	14	PLT_9	plataformas	878895.4324	1760279.834	30	7.82E-06	1	0.47
15	15	PLT_10	plataformas	880368.735	1760257.242	31	7.82E-06	1	0.47

Tabla 5-123. Datos fuentes de área circulares

	Index	ID	Description	X coordinate	Y coordinate	Elevation	Emission rate	Release height	Radius	Vertices	Init. vert. dim.
				m	m	meters	g/(s-m**2)	meters	meters		meters
1	1	FND_1	Fundacion	878745.5434	1766117.509	25	8.37E-06	1	12	60	0.47
2	2	FND_2	Fundacion	878905.7829	1765806.163	35	8.37E-06	1	12	60	0.47
3	3	FND_3	Fundacion	879027.4498	1765179.065	32.21	8.37E-06	1	12	60	0.47
4	4	FND_4	Fundacion	879088.7316	1764864.32	40	8.37E-06	1	12	60	0.47
5	5	FND_5	Fundacion	879149.9495	1764544.816	35.69	8.37E-06	1	12	60	0.47
6	6	FND_6	Fundacion	879336.8694	1764234.371	40	8.37E-06	1	12	60	0.47
7	7	FND_7	Fundacion	878968.9171	1765491.656	30	8.37E-06	1	12	60	0.47
8	8	FND_8	Fundacion	880036.5207	1759293.511	25	8.37E-06	1	12	60	0.47
9	9	FND_9	Fundacion	880112.2814	1759612.622	27	8.37E-06	1	12	60	0.47
10	10	FND_10	Fundacion	880259.9352	1759930.2	27.77	8.37E-06	1	12	60	0.47
11	11	FND_11	Fundacion	878969.6096	1760029.35	30	8.37E-06	1	12	60	0.47
12	12	FND_12	Fundacion	880350.2404	1760250.409	30	8.37E-06	1	12	60	0.47
13	13	FND_13	Fundacion	878853.5724	1760344.308	25	8.37E-06	1	12	60	0.47

Tabla 5-124. Datos fuentes de Volumen

	Index	ID	Description	X coordinate	Y coordinate	Elevation	Emission rate	Release height	Init. lat. dim.	Init. vert. dim.
				m	m	meters	g/s	meters	meters	meters
1	1	VINT_001	Vías internas proye	879008.7	1759980.1	28.71	0.00725395	1	14.88372	1.860465
2	2	VINT_002	Vías internas proye	878997.6	1760010.1	30	0.00725395	1	14.88372	1.860465
3	3	VINT_003	Vías internas proye	878986.6	1760040.2	30	0.00725395	1	14.88372	1.860465
4	4	VINT_004	Vías internas proye	878975.5	1760070.2	30	0.00725395	1	14.88372	1.860465
5	5	VINT_005	Vías internas proye	878964.4	1760100.2	30	0.00725395	1	14.88372	1.860465
6	6	VINT_006	Vías internas proye	878953.4	1760130.2	30	0.00725395	1	14.88372	1.860465
7	7	VINT_007	Vías internas proye	878942.3	1760160.3	30	0.00725395	1	14.88372	1.860465
8	8	VINT_008	Vías internas proye	878931.3	1760190.3	31.79	0.00725395	1	14.88372	1.860465
9	9	VINT_009	Vías internas proye	878920.2	1760220.3	34	0.00725395	1	14.88372	1.860465
10	10	VINT_010	Vías internas proye	878909.1	1760250.3	33.03	0.00725395	1	14.88372	1.860465
11	11	VINT_011	Vías internas proye	878898.1	1760280.4	30	0.00725395	1	14.88372	1.860465
12	12	VINT_012	Vías internas proye	878887	1760310.4	28	0.00725395	1	14.88372	1.860465
13	13	VINT_013	Vías internas proye	878875.9	1760340.4	26.09	0.00725395	1	14.88372	1.860465
14	14	VINT_014	Vías internas proye	878864.9	1760370.5	23.41	0.00725395	1	14.88372	1.860465
15	15	VINT_015	Vías internas proye	878853.8	1760400.5	20.01	0.00725395	1	14.88372	1.860465
16	16	VINT_016	Vías internas proye	878841.6	1760430	17.45	0.00725395	1	14.88372	1.860465
17	17	VINT_017	Vías internas proye	878829	1760459.5	17.07	0.00725395	1	14.88372	1.860465
18	18	VINT_018	Vías internas proye	878816.4	1760488.9	19	0.00725395	1	14.88372	1.860465
19	19	VINT_019	Vías internas proye	878803.8	1760518.3	22.75	0.00725395	1	14.88372	1.860465
20	20	VINT_020	Vías internas proye	878791.2	1760547.7	28.15	0.00725395	1	14.88372	1.860465
21	21	VINT_021	Vías internas proye	878778.6	1760577.1	31	0.00725395	1	14.88372	1.860465

Fuente: Renovatio 2017

5.1.8.3.2.4.9 Resolución y definición de dominio

Para la modelación se utilizó dos mallas de receptores, la primera tuvo origen en 875516,8522 X 1755997,4273 Y, con una extensión de 13 km tanto para el eje X como el eje Y, el espaciado fue de 1,000 metros; la segunda grilla tuvo como origen 878566,0517 X 1759155,3509 Y, con una extensión de 7.4 Km en el eje X y 7.2 Km en el eje Y, con un espaciado de 200 metros. Cabe resaltar que se realizaron varias pruebas con el espaciado de grilla un poco más amplio (400 m) pero la que mostro mejor comportamiento fue de 200 m sobre el proyecto

Adicionalmente a la malla trazada para la determinación de las curvas isopletas fueron agregados al modelo los receptores discretos, en los puntos de monitoreo de la calidad del aire para establecer comparaciones en estos; los receptores discretos ingresados en la modelación se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 5-125. Receptores discretos modelación

Index	ID	Description	X coordinate	Y coordinate	Elevation	Hill height scale	Sensitive
			m	m	meters	meters	
1	D1	TOLOIRA	884731.99	1763071.46	23	0	0
2	D2	BLANCO	887127.51	1765017.33	14	0	0
3	D3	JUNTAO	885491.93	1761169.41	23	0	0
4	D4	ARAPAREN	880335.82	1763598.09	27	0	0
5	D5	SACHIKIMANA	881711.31	1761017.46	25	0	0

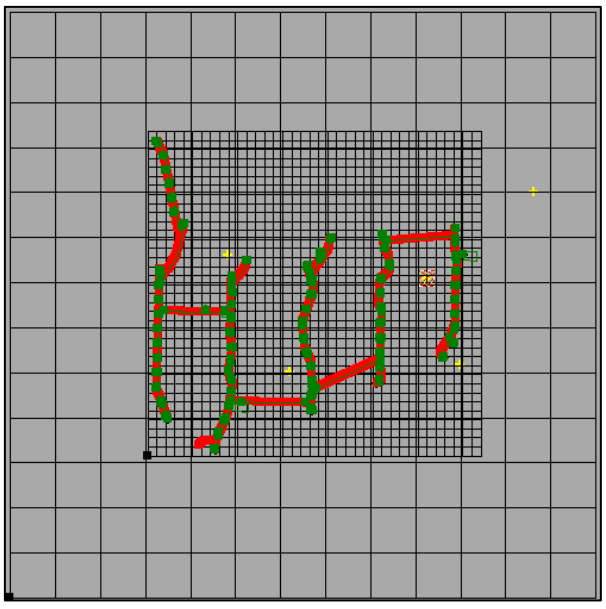


Figura 5-147. Malla de receptores utilizada en la modelación

Fuente: Renovatio 2017

5.1.8.3.2.5 *Resultados modelación calidad del aire*

A continuación, se presentan los resultados del modelo para escenario con control. En el Capítulo 7 Demanda de Recursos, se presenta el análisis respectivo para los escenarios con control y sin control del modelo de calidad de aire.

5.1.8.3.2.5.1 Material particulado PM10

A continuación, se muestran los resultados de las concentraciones obtenidas por medio de la simulación para PM10 (Tabla 5-126) con la adición del background (concentración de fondo) obtenido mediante las mediciones de calidad del aire para material particulado PM10 realizadas en el 2017, los cuales se compararán con la norma 24 horas y de forma indicativa con la norma anual de calidad del aire establecida por medio de la resolución 610 de 2010.

Tabla 5-126. Resultados del modelo para PM10 vs resolución 610 de 2010

Receptor Discreto	PM10					
	Modelo 24_Horas	Modelo + CA	Norma [µ/m3]	Modelo Anual	Modelo + CA	Norma [µ/m3]
Toloira	54,84	75,44	100	7,04	27,64	50
Blanco	17,02	52,42	100	0,79	36,19	50
Jununtao	45,42	71,32	100	3,27	29,17	50
Sahikimana	61,43	84,03	100	9,29	31,89	50
Araparen	41,85	86,95	100	3,5	48,6	50

En la Figura 5-148 se muestran los resultados de concentración 24 horas máximos predichos en los receptores discretos comparados con la norma diaria para PM10. Se puede observar que, al adicionar el valor promedio de fondo a las concentraciones arrojadas mediante la modelación de las actividades desarrolladas en el proyecto para cada uno de los receptores discretos, no se presentaron sobrepasos de la norma diaria (100 µ/m^3).

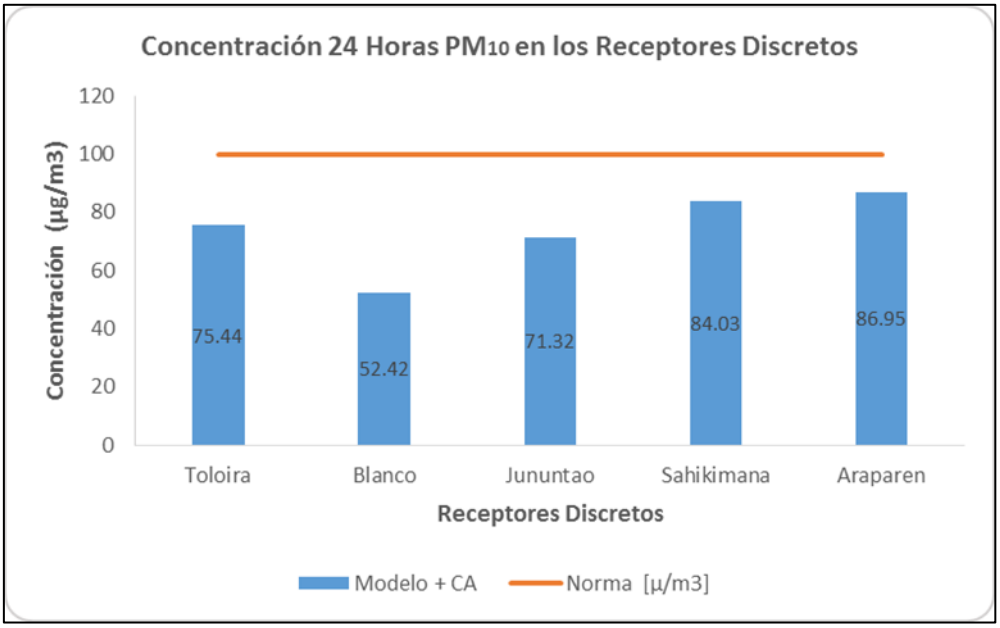


Figura 5-148. Concentración Max. 24 hr receptores discretos Vs Norma Diaria PM10

Fuente: Renovatio 2017

La Figura 5-149 muestra las concentraciones calculadas para el periodo anual de simulación, adicionando las concentraciones de fondo, se puede observar que el receptor Araparen presenta las mayores concentraciones (48.6 µ/m^3) que comparado indicativamente con el valor de la norma (50 µ/m^3) los niveles de concentración no exceden este valor, lo cual indica que es altamente probable encontrar valores que estén dentro de los máximos permitidos por la legislación colombiana.

Es importante aclarar que actualmente el área de estudio no cuenta con un sistema de vigilancia de calidad del aire que establezca tendencias históricas de la concentración de material particulado en la zona.

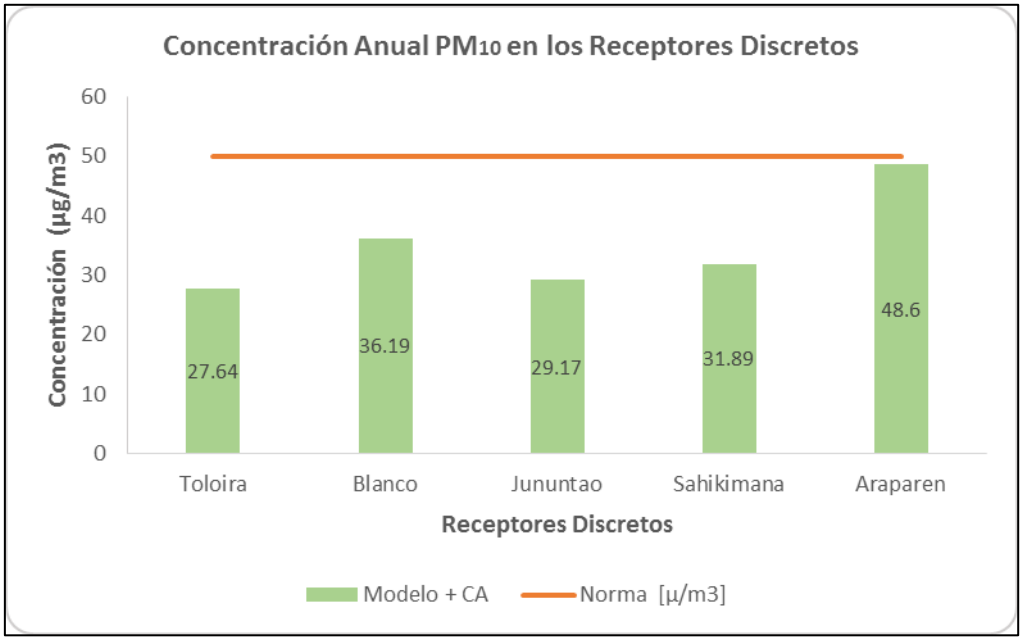


Figura 5-149. Concentración Anual receptores discretos Vs Norma Anual PM10

Fuente: Renovatio 2017

5.1.8.3.2.5.2 Gases NO2, SO2 y CO

Para los gases contaminantes las fuentes tenidas en cuenta son las emisiones por tubo de escape de los vehículos de transporte de material y partes del aerogenerador y el uso por 24 horas de un generador eléctrico, por tanto, estas son las únicas que presentan aportes en los receptores, la Tabla 5-127 y Tabla 5-128 muestra los resultados de concentración predichos por el modelo adicionando los valores arrojados por el monitoreo de calidad del aire.

Tabla 5-127. Concentración 24 Hr receptores discretos Vs Norma NO2 y SO2

Receptor	Concentración 24 Hr µg/m^3					
	Conc, NO_2	Modelo + Monitoreo	Norma Res, 610	Conc, SO_2	Modelo + Monitoreo	Norma Res, 610
Toloira	1,43	12,43	150	0,09	15,49	250
Blanco	0,68	11,58	150	0,04	15,24	250
Jununtao	0,78	11,48	150	0,04	15,24	250
Sahikimana	4,75	15,45	150	0,31	15,51	250
Araparen	11,15	22,05	150	0,74	15,94	250

Tabla 5-128. Concentración anual receptores discretos Vs Norma NO2 y SO2

Receptor	Concentración Anual µg/m^3					
	Conc, NO_2	Modelo + Monitoreo	Norma Res, 610	Conc, SO_2	Modelo + Monitoreo	Norma Res, 610
Toloira	0,04	11,04	100	0,002	15,40	80
Blanco	0,02	10,92	100	0,001	15,20	80
Jununtao	0,02	10,72	100	0,001	15,20	80
Sahikimana	0,09	10,79	100	0,008	15,21	80
Araparen	0,12	11,02	100	0,005	15,21	80

Se puede observar que los resultados de concentración para NO2 y SO2 para 24 horas y anuales, de acuerdo a la simulación y teniendo en cuenta la adición de los resultados de calidad de aire, presentan niveles por debajo de los niveles de concentración permitidos, incluso en el monitoreo realizado no se presentaron niveles detectables de laboratorio de acuerdo a los métodos establecidos, lo anterior indica que en la construcción del parque eólico no se presentaran aportes importantes que afecten la calidad del aire con los contaminantes anteriormente relacionados.

En la Tabla 5-129 se observa las concentraciones en los periodos de ocho horas y una hora, como se puede apreciar, la simulación arroja como resultado el cumplimiento de la normatividad en los receptores sensibles para el monóxido de carbono, teniendo en cuenta como fuentes de emisión las emisiones por tubo de escape en el transporte de material tanto como para los vehículos livianos como los pesados, además del uso de una planta de generación eléctrica localizada en el campamento.

Tabla 5-129. Concentración octahoraria y horaria en los receptores discretos Vs Norma CO

Receptor	Concentración de CO 1 Hora	Norma 1 hora	Concentración de CO 8 Hora	Norma 8 horas
Toloira	7,45	40000	1.72	10000
Blanco	3,21	40000	0,6	10000
Jununtao	4,42	40000	1,4	10000
Sahikimana	16,85	40000	2,54	10000
Araparen	58,79	40000	7,67	10000

5.1.8.3.2.5.3 Dispersión de contaminantes

A continuación, se presentan las distribuciones espaciales para cada uno de los resultados, se muestran las isopletas para el máximo valor de concentración 24 horas de cada receptor la cual podría interpretarse como el peor escenario para cada día del año en cada receptor, por otra parte, se presenta la tendencia de dispersión anual, escenarios con medidas de control

(Figura 5-150, Figura 5-151, Figura 5-152, Figura 5-153, Figura 5-154, Figura 5-155, Figura 5-156).

Las isopletas de material particulado PM10 para el periodo diario muestran que las mayores concentraciones se presentan alrededor de las obras de construcción y sobre las fuentes de área, cabe resaltar que sobre las viviendas de la zona los niveles de concentración no superan los límites permitidos, para el periodo anual no se presentan niveles de concentración que excedan los permitidos.

En lo que respecta a CO, NO_2 y SO_2 los mapas de dispersión muestran que las concentraciones presentadas en los distintos horarios se encuentran por debajo de los límites permitidos. Lo anteriormente expuesto indica que los aportes debido a la construcción del parque eólico no tendrán influencia significativa sobre la calidad del aire de la zona.

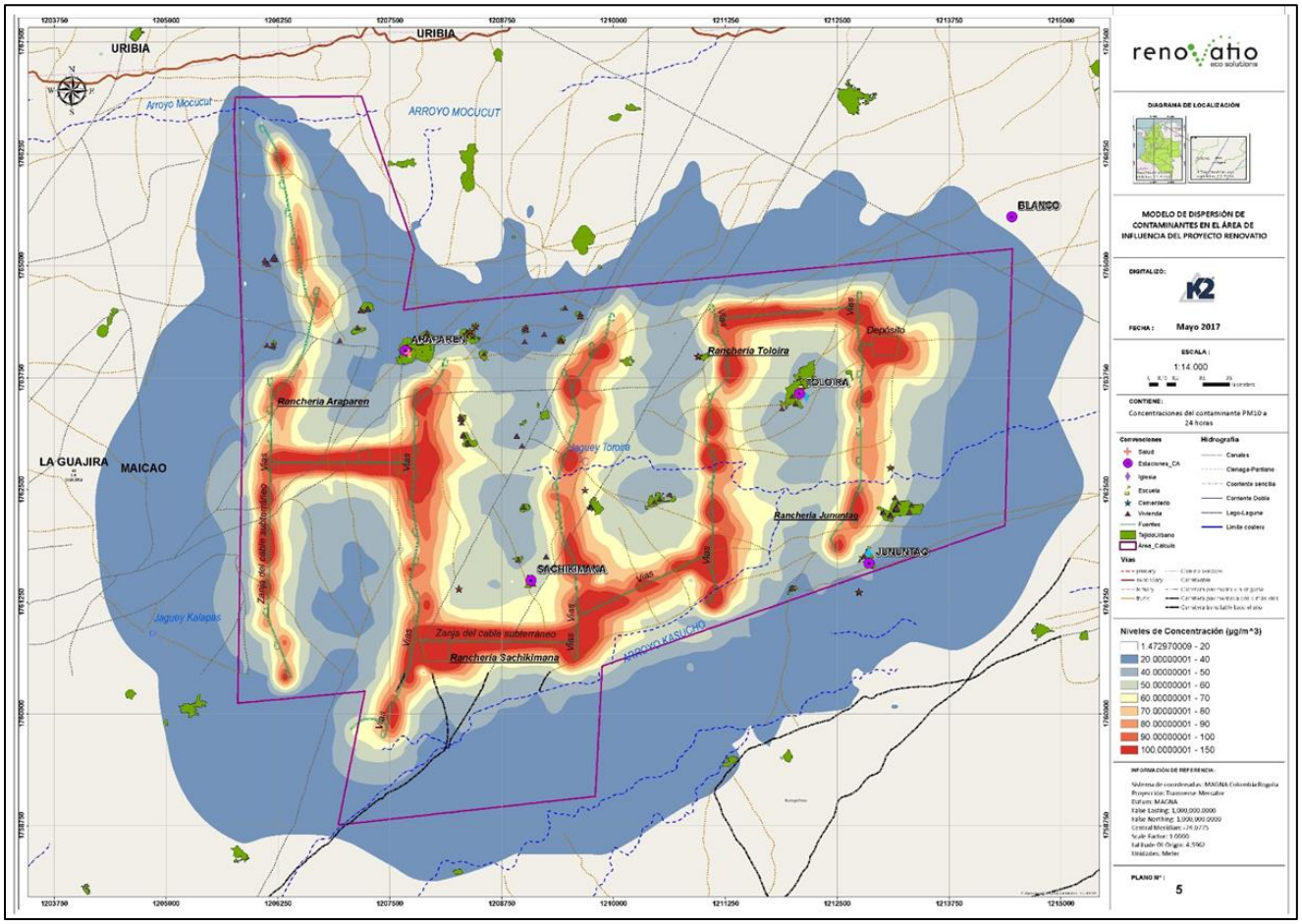


Figura 5-150. Isopleta concentración máxima 24 hr PM10 (µg/m3)

Fuente: Renovatio 2017

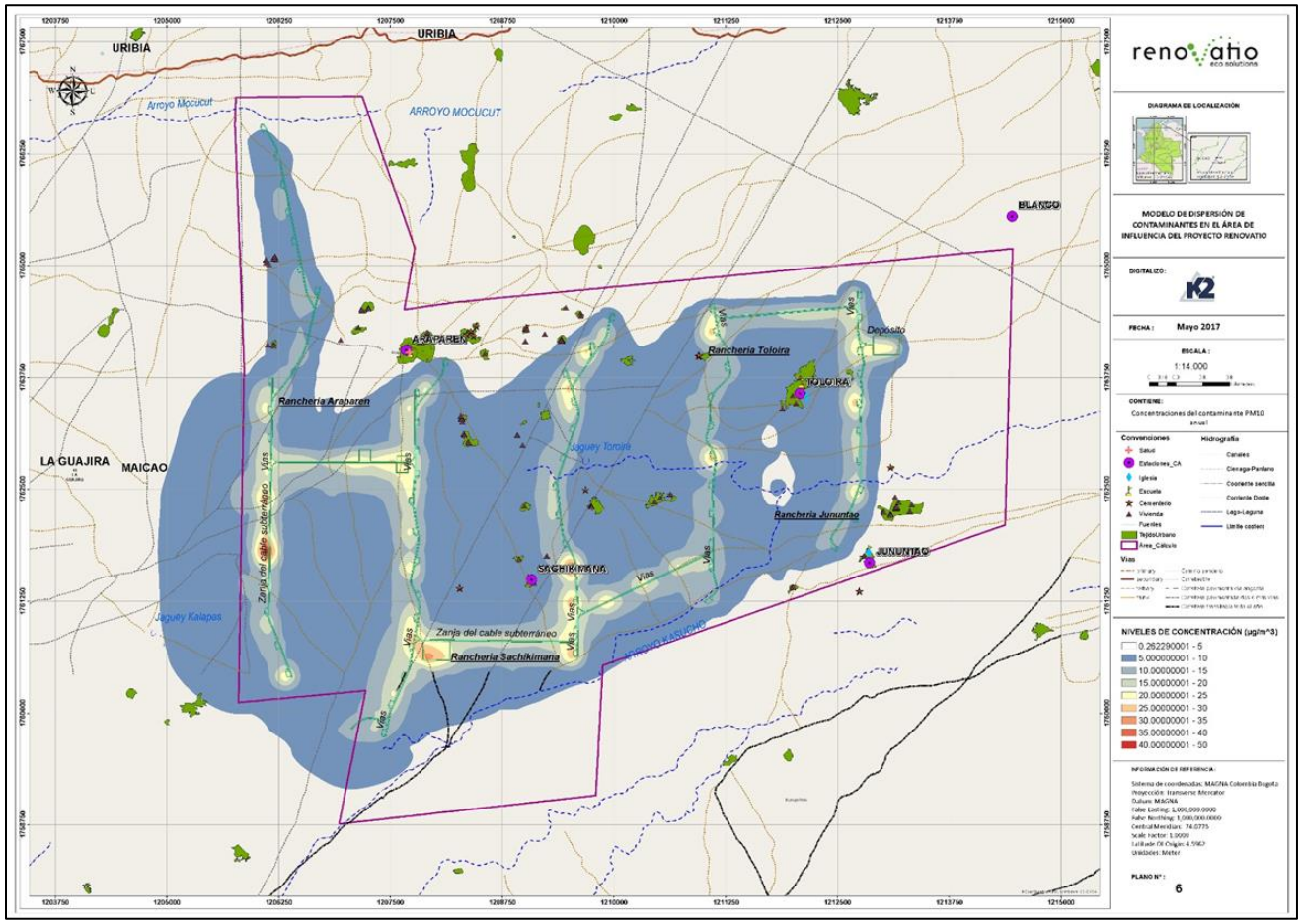


Figura 5-151. Isopleta concentración anual PM10 (µg/m3)

Fuente: Renovatio 2017

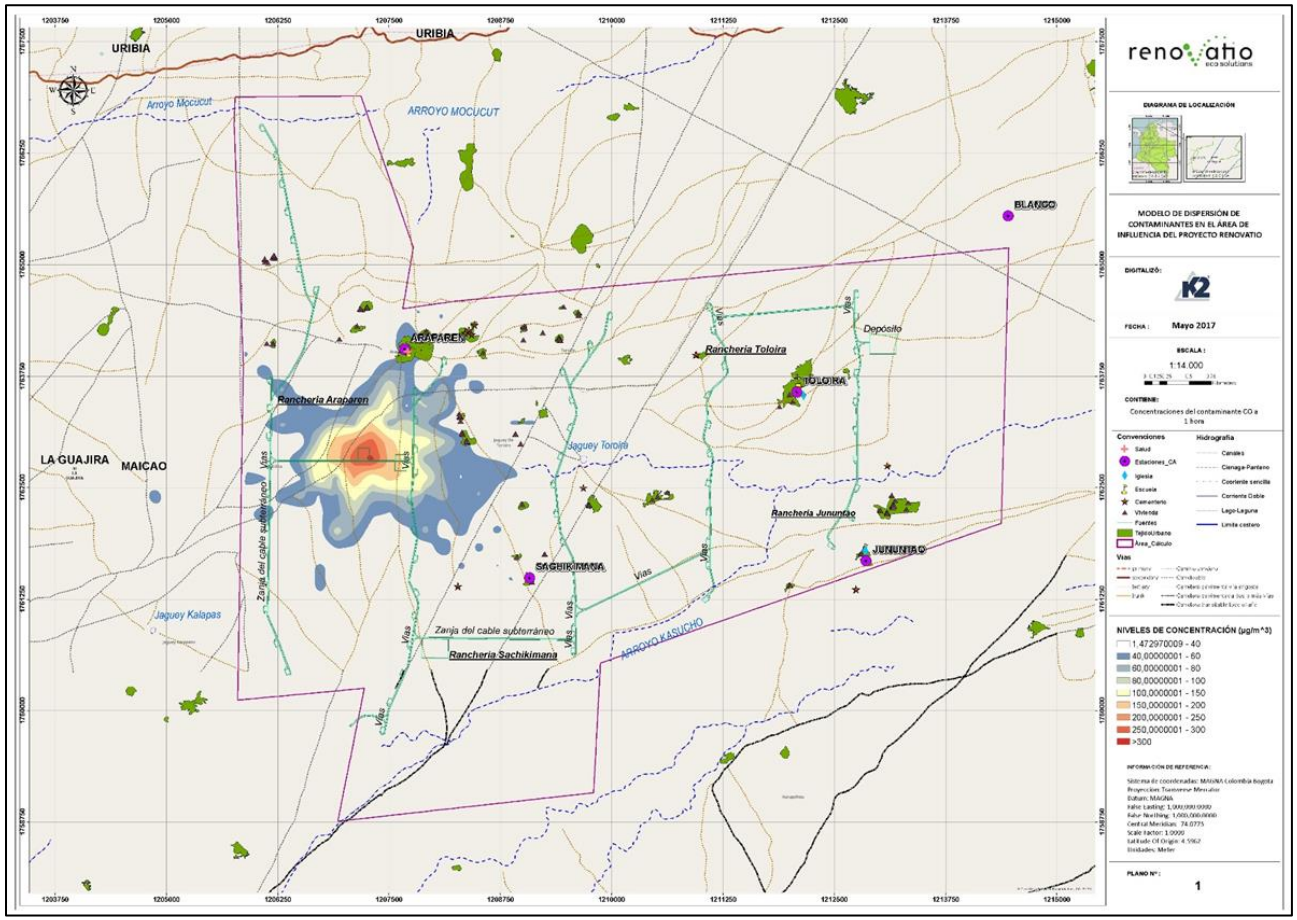


Figura 5-152. Isopleta concentración máxima 1 hr CO (µg/m3)

Fuente: Renovatio 2017

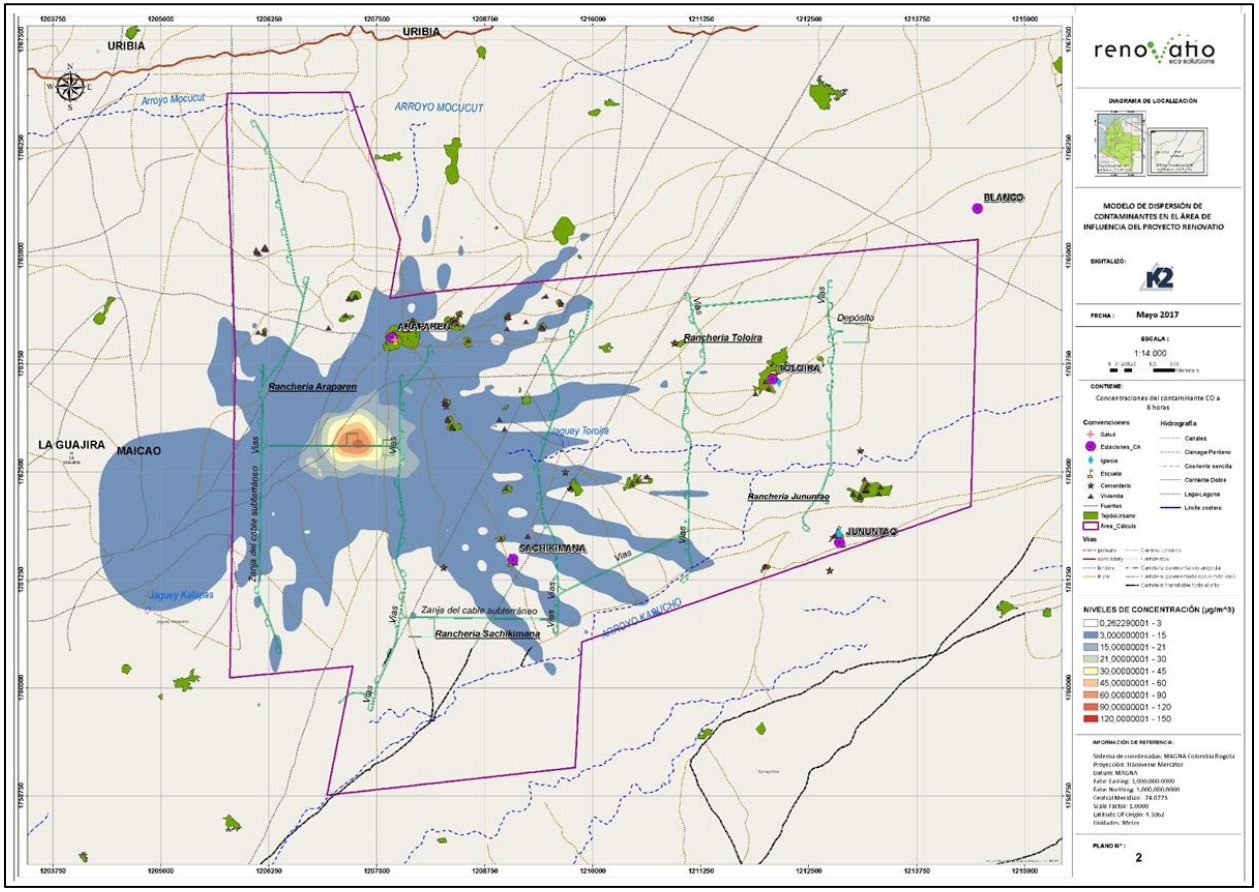


Figura 5-153. Isopleta concentración máxima 8 hr CO (µg/m3)

Fuente: Renovatio 2017

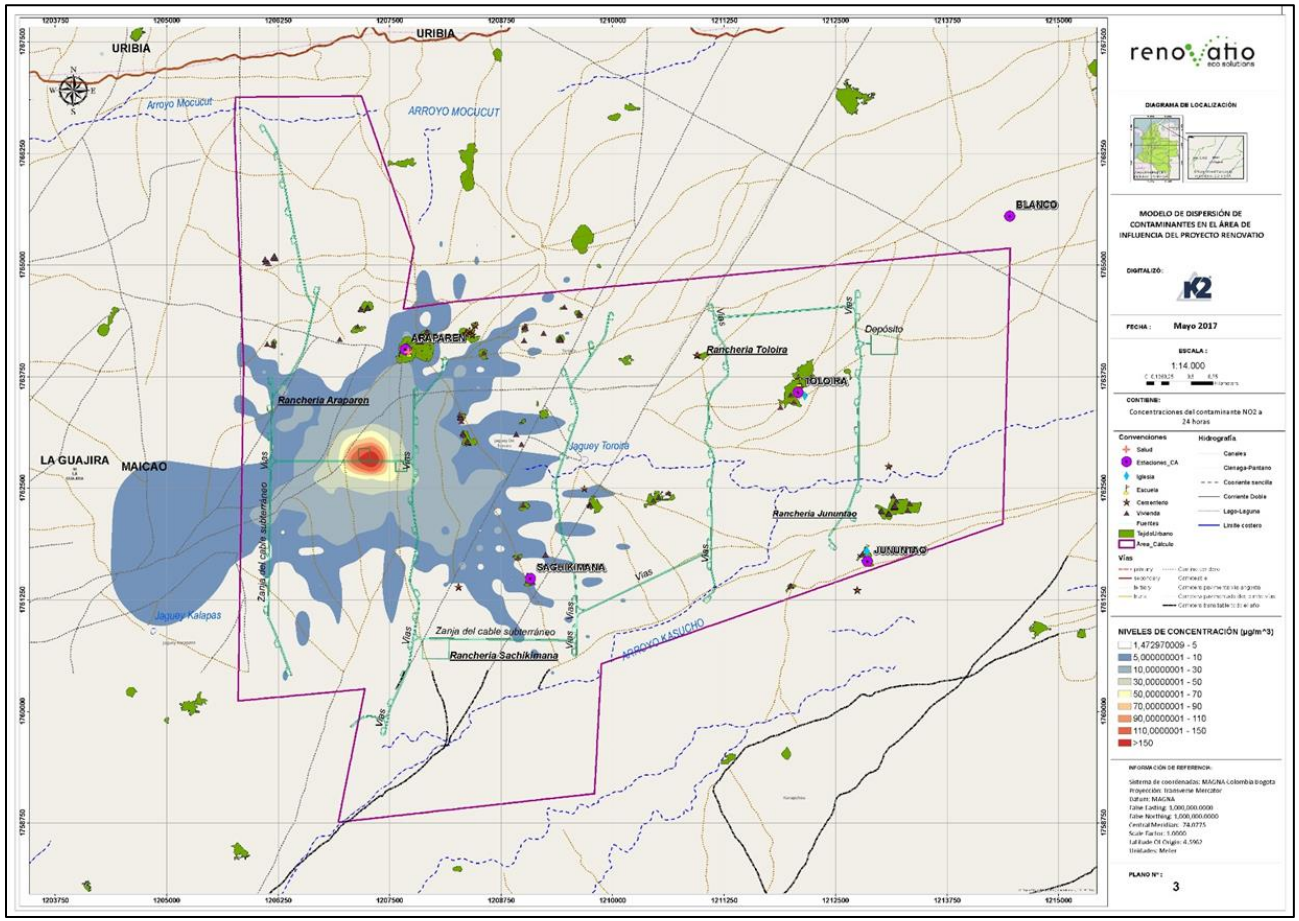


Figura 5-154. Isopleta concentración promedio máximo 24 hr NO2 (µg/m3)

Fuente: Renovatio 2017

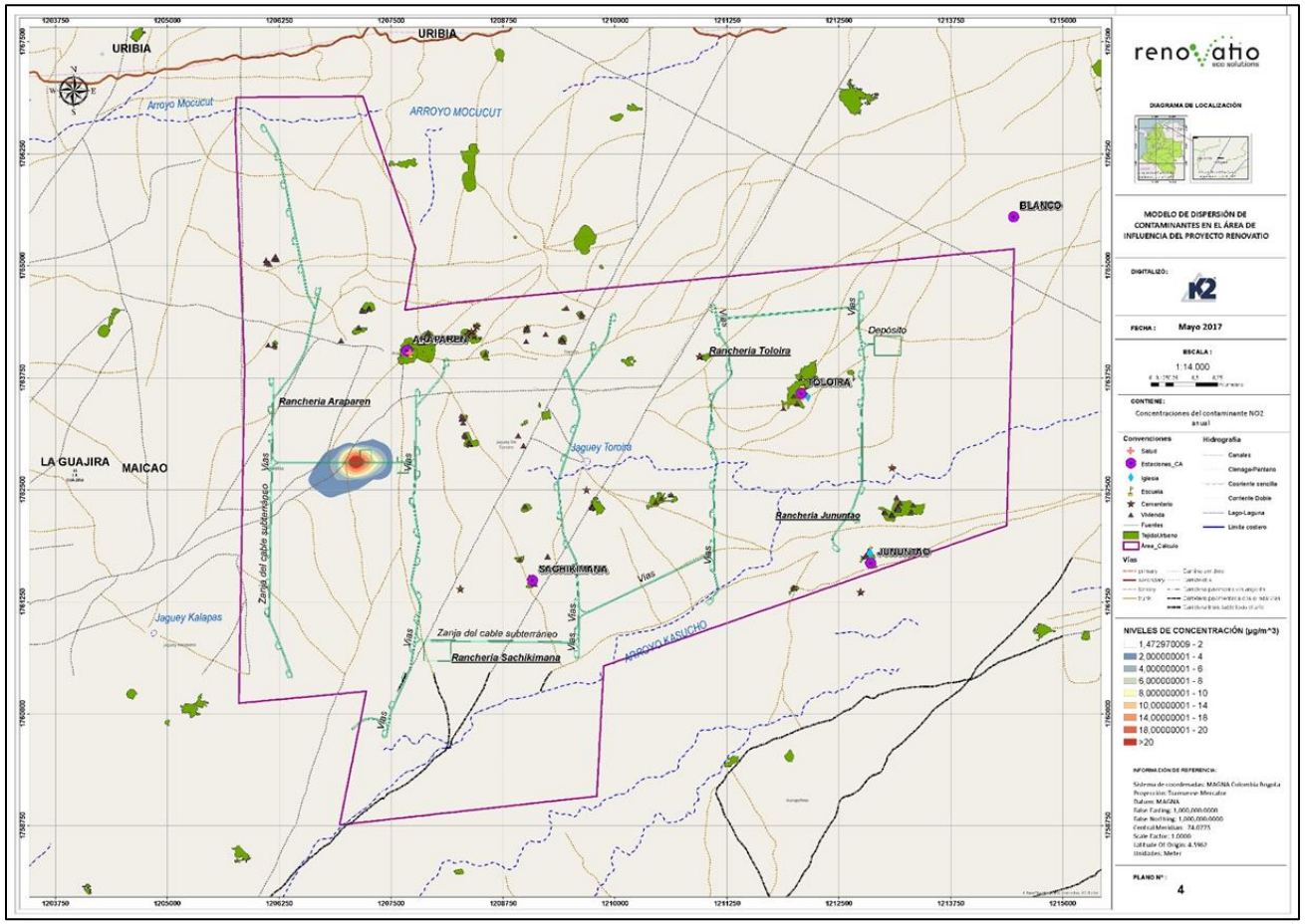


Figura 5-155. Isopleta concentración promedio anual NO2 (µg/m3)

Fuente: Renovatio 2017

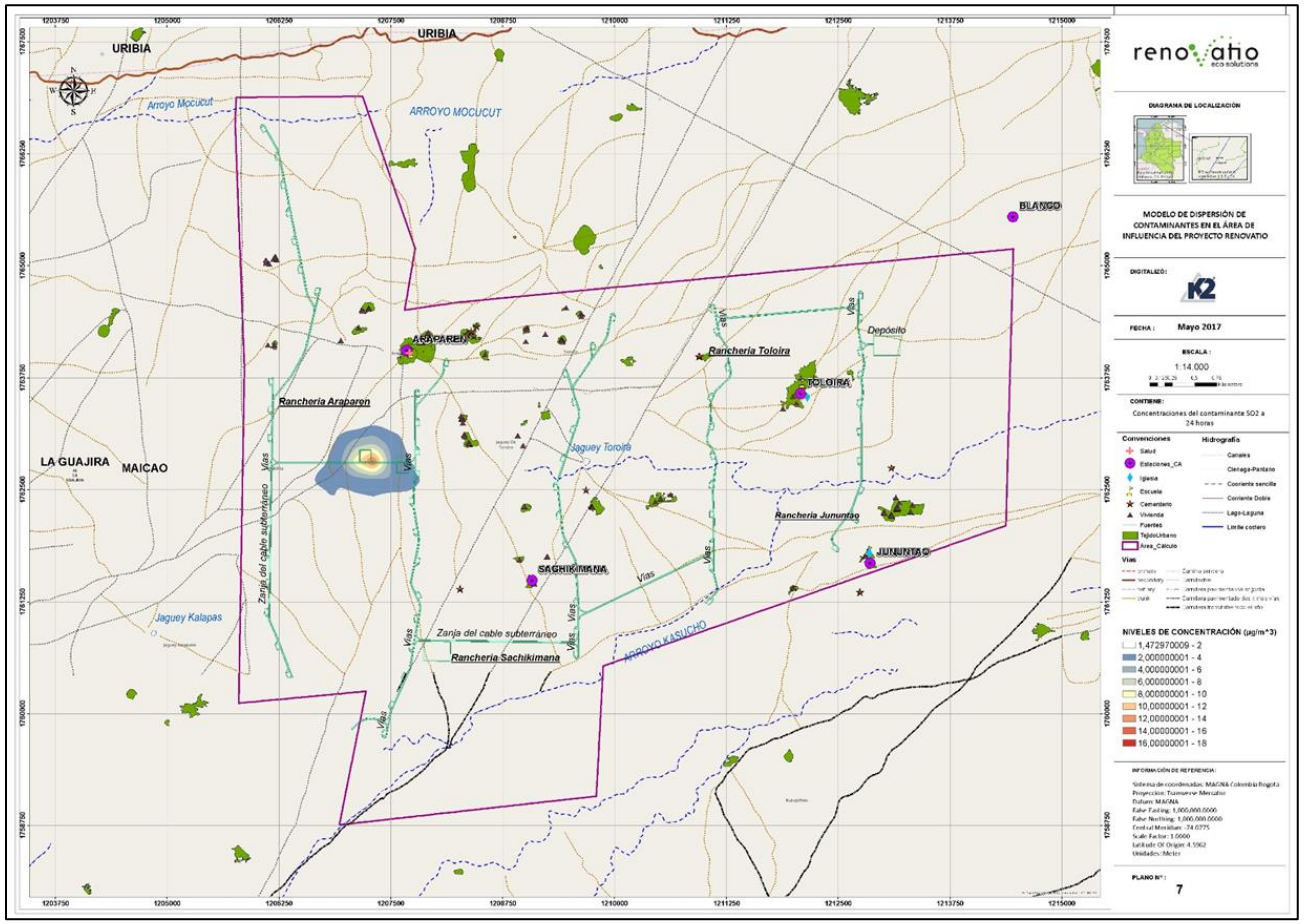


Figura 5-156. Isopleta concentración promedio máximo 24 hr SO2 (µg/m3)

Fuente: Renovatio 2017

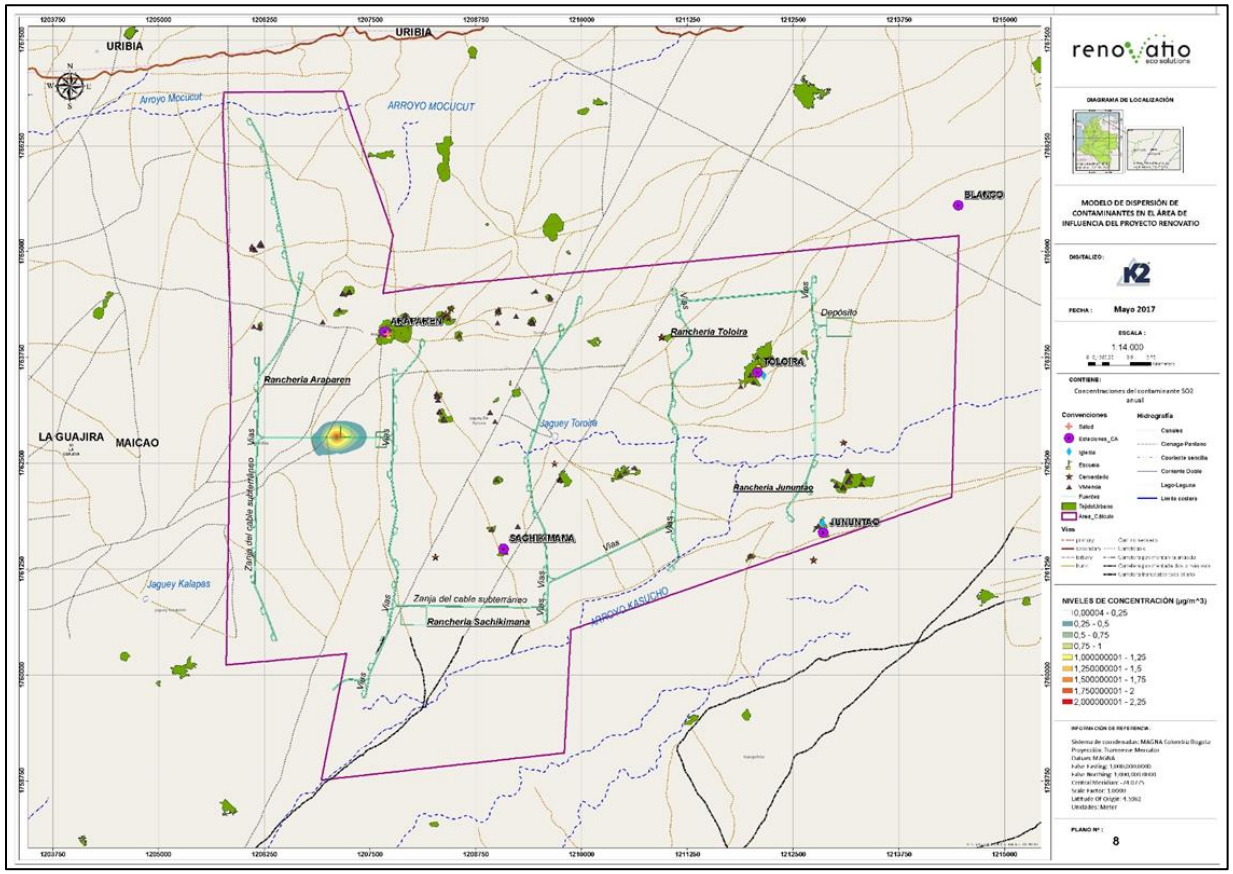


Figura 5-157. Isopleta concentración promedio anual SO2 (µg/m3)

Fuente: Renovatio 2017

5.1.8.3.2.5.4 Incertidumbre del modelo

Los factores que afectan en mayor grado la precisión de los modelos son, el modelo matemático en sí y la calidad de los datos de entrada. En los modelos de dispersión, se manejan dos tipos de variables: variables conocidas, que pueden ser medidas, como son: velocidad y dirección del viento, temperatura, altura de mezcla, factores de emisión, características de receptores y fuentes, etc., además existen otras, las cuales no se pueden medir, como son algunos detalles no resueltos del flujo atmosférico como en condiciones convectivas. Cuando se corre el modelo, que es una idealización de la realidad, estas variables desconocidas le hacen perder precisión en las concentraciones de contaminantes finales. Estos errores han sido llamados incertidumbre inherente.

Varios autores coinciden en que los errores típicamente para un modelo que da resultados horarios los errores se encuentran entre -67% a +200%. Otras fuentes atribuyen errores de ±50% para un receptor en un punto específico.

Los parámetros bajo los cuales se mide la exactitud de un modelo son los errores en las bases de datos y lo concerniente a la física y formulación del modelo.

Varios estudios realizados en otros países con el objetivo de medir la exactitud de los modelos han confirmado lo siguiente:

- Los modelos son más fiables para medir concentraciones promedio a largo plazo que para estimar concentraciones a corto plazo en un punto específico.
- Los modelos son bastante fiables estimando picos de concentraciones en un área determinada (los errores para este caso típicamente están entre ±10% a 40%).

Entre más se ajuste el modelo matemático a la física y química de la atmósfera, el modelo presentará mayor precisión. Lo mismo sucede con los datos de entrada, entre mayor sea la calidad de los datos, las concentraciones de salida serán mejores y más aproximadas a la realidad.

De acuerdo a las anteriores observaciones, el presente modelo debe ser leído en sus capacidades reales teniendo en cuenta su información de la siguiente forma:

- El modelo es fiable estimando los puntos de mayor concentración.
- Los resultados dan un orden de magnitud probable y solo en esas dimensiones puede ser interpretado.

Además de las limitaciones comunes a los modelos de dispersión atmosférica (error inherente) el presente modelo presenta las siguientes limitaciones que deben ser corregidas en estudios posteriores.

- No se tuvo en cuenta remoción húmeda de material particulado, aspecto que hace que las concentraciones anuales sean mayores en comparación con el caso en que se hubiera tenido en cuenta.
- Los parámetros de capa de mezcla se obtuvieron de manera numérica a partir de datos de meteorología de superficie. La altura de mezcla tiene generalmente un efecto notorio en las concentraciones máximas.

5.1.8.3.2.5.5 Incertidumbre en el cálculo de emisiones

A continuación, se describen varias fuentes de incertidumbre del modelo que ayudarán a la interpretación correcta de sus resultados.

El uso de factores de emisión en el presente modelo posee grandes niveles de incertidumbre, mientras tanto los valores deben ser considerados con cautela y tomados de un modo semicuantitativo. Lo dicho anteriormente se ratifica en los siguientes textos del Good practice guide for assessing and managing the environmental effects of dust emissions del Ministry For The Environment Wellington, New Zealand (septiembre de 2001) donde se anotan los niveles de incertidumbre posible al hacer uso de factores de emisión para emisiones fugitivas (intermitentes, difusas y variables) como las generadas en la actividad minera (Figura 5-158):

The emission factors given in AP-42 are based on measurements on a limited number of different sources under varying operating conditions. The factors are usually expressed in terms of the mass emission expected for a specific processing rate (e.g. grams of pollutant per tonne of raw material used). The total emissions can therefore be estimated simply by multiplying the expected plant processing rates by the relevant factor. However, these emissions factors must be used with caution and in accordance with the conditions for their use, recognising the numerous assumptions that go into their calculation.

With fugitive emissions, it can be difficult to measure the emissions directly because they can be very diffuse, intermittent, and variable. For this reason the published emission factors have a high degree of uncertainty, and the predicted emission rates should be treated with scepticism. In addition, many of the emission factors are for particles smaller than 30 μm, which only covers a fraction of the particles that can be emitted as nuisance dust. Where emission factors are applied to fugitive dust emissions, it is important that the underlying assumptions are clearly stated.

Figura 5-158. Aparte del texto Good practice guide for … dust emissions

Fuente: Renovatio 2017

Sobre las predicciones halladas con modelos de dispersión el mismo texto anota lo siguiente:

The method has also been used for assessing the effects of fugitive dust emissions from activities such as mines and quarries, constructions sites, and stockpiles. However, these predictions have a very high degree of uncertainty. The predictions can have some value in identifying the most significant dust sources on a site, or in highlighting the areas most likely to be affected by dust off-site. However, the actual dust concentrations predicted by the method should only be treated in a semi-quantitative sense.

Figura 5-159. Aparte del texto Good practice guide for … dust emissions

Fuente: Renovatio 2017

Tal como es ratificado en el texto anterior (Figura 5-159) las predicciones halladas por parte de un modelo de dispersión no calibrado son útiles para identificar fuentes principales, las áreas más sensibles, las fuentes que deben ser objeto de los principales controles, pero nunca deben tomarse como conclusiones definitivas desde el punto de vista cuantitativo.

Para el presente estudio se usaron valores de factores de emisión separados por actividades para poder simular diferentes actividades que se desarrollan en espacios específicos y que podrían afectar de manera mayor a una población vecina u otra.

5.1.8.3.2.5.6 Observaciones y conclusiones del modelo de calidad de aire

- El presente modelo de dispersión debe interpretarse como una aproximación al orden de los valores de concentración de material particulado PM10, y de gases contaminantes NO_2, SO_2 y CO, en el ambiente que aportarán las actividades que implican la construcción del parque eólico ALPHA.
- Se modeló con la información meteorológica del año 2016, los parámetros fueron obtenidos a través de simulación WRF (Weather Research and Forecasting), por no encontrarse una estación meteorológica en cercanía del proyecto, que presente los parámetros y data requerida para modelación AERMOD.
- Para el cálculo de las emisiones, no se tuvieron en cuenta emisiones urbanas y demás efectos que no dependen de las operaciones estudiadas y que pueden aportar a la calidad del aire contaminación significativa.
- Según los resultados arrojados por la modelación los resultados de CO, NO_2 y SO_2 muestran que los aportes de estos contaminantes no son representativos incluso teniendo en cuenta la concentración de fondo arrojada por el estudio de calidad de aire realizado en el 2017.
- La tendencia o patrón de dispersión indica que las áreas donde se presentarán las mayores concentraciones como aporte de la actividad comprenderán los lugares donde se encuentren las fuentes, como vías, plataformas, fundaciones, campamentos y depósitos.
- Los resultados de material particulado con medidas de control obtenidos a través de modelación AERMOD, indican que los valores mayores de PM10 24 horas se presentarían, especialmente en las áreas donde se localizan las fuentes de emisiones.
- Para PM10 Anual con medidas de control, los niveles de concentración arrojados por la simulación teniendo en cuenta los valores de fondo, no superan los máximos establecidos por la resolución 610 de 2016 en los receptores discretos; No obstante se debe evitar en lo posible la circulación de vehículos con materiales de construcción y suelo removido, por zonas donde se encuentren viviendas cercanas y vías no autorizadas.

5.1.8.4 *Ruido Ambiental y modelación de ruido*

5.1.8.4.1 Resultados de los monitoreos de ruido ambiental

A continuación, se presentan los análisis correspondientes a la campaña de ruido ambiental realizada entre el 27 y 29 de enero de 2017 para la jornada diurna y del 12 al 15 de febrero de 2017 para la jornada nocturna. Las mediciones de ruido son representativas para un (1) día ordinario y para un (1) día dominical de monitoreo, en horario diurno y nocturno, respectivamente.

Los monitoreos de ruido se realizaron por medio de la Empresa Consultora K2 Ingeniería, mediante la ubicación de cinco (5) puntos de monitoreo en la zona de influencia del proyecto Parque Eólico ALPHA, y se utilizaron los métodos de muestreo y de cálculo establecidos por la Resolución 627 de abril de 2006 expedida por el antiguo Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y son comparados (si aplica) con los estándares máximos permisibles aplicables acatando la metodología normativa.

La representatividad de los puntos se eligió con base en la selección de las áreas más sensibles, que son cada uno de los asentamientos de las comunidades indígenas. En cuanto al punto blanco, se decidió tener un punto de referencia fuera del área del proyecto que no tuviera incidencia por parte este, para poder hacer análisis y comparaciones en escenarios futuros.

En el Anexo 13. Resultados monitoreo de ruido, se incluyen los soportes del monitoreo realizado incluyendo los formatos de campo donde se especifica la fecha de inicio y fecha final así como la hora inicial y final de cada una de las mediciones y se especifican con mayor detalle las fuentes que influyeron en cada una de las mediciones realizadas teniendo en cuenta las diferentes orientaciones del micrófono; Norte, Sur, Este, Oeste y posición Vertical.

A continuación se describen cada una de las estaciones definidas, ubicadas y puestas en operación, especificando su georreferenciación en coordenadas geográficas WGS84 y coordenadas planas MAGNA Colombia Este, un registro fotográfico, descripción de la ubicación y equipos utilizados:

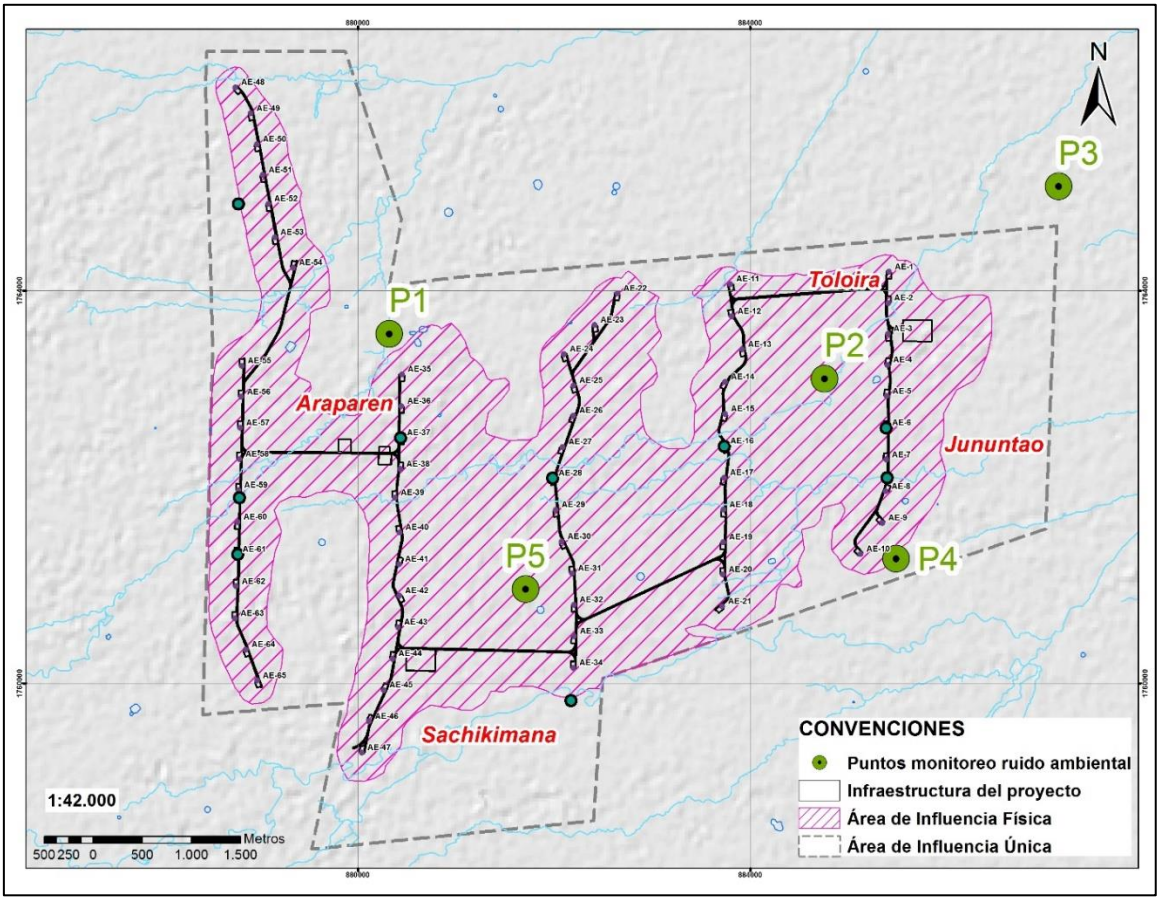


Figura 5-160. Puntos de monitoreo de ruido

Fuente: Renovatio 2017

Tabla 5-130. Descripción técnica de las estaciones de monitoreo de ruido ambiental



Punto No.1:	ARAPAREN	
Ubicación:	Punto ubicado a un costado de la escuela de la ranchería Araparen. Sitio despejado con vegetación muy seca	
Coordenadas geográficas:	N: 11°29'53.2"	W: 72°10'28"
Coordenadas planas:	X 880317,4906 m	Y 1763561,2819 m
Sector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Sector C. Ruido Intermedio Restringido	
Subsector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas.	

	Equipo:	SONÓMETRO SOLO 01 dB # SERIAL: 65826 SONÓMETRO 01 dB # SERIAL: 10504	
	Estándar Permisible:	Día: 75 dB	Noche: 70 dB
	**Punto No. 2:**	**TOLOIRA**	
	Ubicación:	Punto ubicado en el centro de la ranchería Toloira, zona despejada.	
	Coordenadas geográficas:	N: 11°26'38.9"	W: 72°08'1.6"
	Coordenadas planas:	X 884753,3304	Y1763105,1886
	Sector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Sector C. Ruido Intermedio Restringido	
	Subsector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas.	
	Equipo:	SONÓMETRO SOLO 01 dB # SERIAL: 65826 SONÓMETRO 01 dB # SERIAL: 10504	
	Estándar Permisible:	Día: 75	Noche: 70
	**Punto No. 3:**	**BLANCO**	
	Ubicación:	Punto ubicado al costado norte de la casa donde se ubicó la estación de calidad del aire del monitoreo realizado durante el mismo periodo por K2 Ingeniería S.A.S. y pertenece a la ranchería de Toloira.	
	Coordenadas geográficas:	N: 11°30'42.9"	W: 72°06'43"
	Coordenadas planas:	X 887142,8311	Y1765063,3719
	Sector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Sector C. Ruido Intermedio Restringido	
	Subsector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas.	
	Equipo:	SONÓMETRO SOLO 01 dB # SERIAL: 65826 SONÓMETRO 01 dB # SERIAL: 10504	
	Estándar Permisible:	Día: 75	Noche: 70
	Punto No. 4:	**JUNUNTAO**	
	Ubicación:	Punto ubicado al costado norte de la Ranchería Jununtao junto a la iglesia de la ranchería.	
	Coordenadas geográficas:	N: 11°28'39.3"	W: 72°07'37.2"
	Coordenadas planas:	X 885486,2328	Y1761270,8471

	Sector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Sector C. Ruido Intermedio Restringido	
	Subsector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas.	
	Equipo:	SONÓMETRO SOLO 01 dB # SERIAL: 65826 SONÓMETRO 01 dB # SERIAL: 10504	
	Estándar Permisible:	Día: 75	Noche: 70
	**Punto No. 5:**	**SACHIKIMANA**	
	Ubicación:	Punto ubicado al costado sur de la ranchería junto a la entrada del caserío cerca de un corral.	
	Coordenadas geográficas:	N: 11°28'28.7"	W: 72°09'41.8"
	Coordenadas planas:	X 881708,054	Y 1760959,074
	Sector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Sector C. Ruido Intermedio Restringido	
	Subsector uso de Suelo según Resolución 627/2006:	Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas.	
	Equipo:	SONÓMETRO SOLO 01 dB # SERIAL: 65826 SONÓMETRO 01 dB # SERIAL: 10504	
	Estándar Permisible:	Día: 75	Noche: 70

Fuente: Renovatio 2017

Las mediciones de ruido ambiental realizadas en los 5 puntos de monitoreo de: Araparen, Toloira, Blanco, Jununtao y Sachikimana, fueron clasificados como Sector C Ruido intermedio restringido como subsector zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas, de acuerdo a lo establecido en el EOT del municipio. Esta clasificación se efectúa teniendo en cuenta la certificación emitida por la secretaria de planeación del municipio de Maicao, la cual establece los usos del suelo permitidos para el área de influencia directa del proyecto (Anexo 8. Certificados usos del suelo).

5.1.8.4.1.1 *Fuentes identificadas en cada punto durante el periodo de medición*

Con el fin de interpretar adecuadamente los resultados obtenidos presentados en esta sección, en la Tabla 5-131 se presentan las fuentes predominantes de ruido de cada punto encontradas durante el periodo de medición

Tabla 5-131. Fuentes identificadas en cada punto durante el periodo de medición

Punto de medición	Fuentes Identificadas en cada punto de medición			
	Día Ordinario – Diurno	Día Ordinario – Nocturno	Día Dominical – Diurno	Día Dominical – Nocturno
ARAPAREN	Personas hablando. Golpe de teja metálica. Gemido de chivos en la zona.	Canto de aves e insectos nocturnos (grillos y lagartijas). Chivos en la zona.	Canto de aves. Gemido de chivos. Personas gritando.	Canto de aves e insectos nocturnos (grillos y lagartijas). Presencia de animales como chivos, murciélagos, ovejos, y ruido del viento.
TOLOIRA	Gemido de chivos. Personas hablando. Golpe de teja metálica Paso de motocicleta.	Canto de aves e insectos nocturnos (grillos y lagartijas). Presencia de animales como chivos, murciélagos, ovejos, y ruido del viento.	Canto de insectos, ladrido de caninos. Ruido fuerte del viento.	Canto de aves e insectos nocturnos (grillos y lagartijas). Música de fondo en ranchería cercana.
BLANCO	Gemido de chivos. Personas hablando. Canto de aves. Ruido fuerte por Golpe de teja metálica Ruido de fondo proveniente del funcionamiento de una planta eléctrica.	Canto de aves e insectos nocturnos.	Canto de aves e insectos. Ruido fuerte del viento.	Canto de aves e insectos nocturnos (grillos y lagartijas). Alcaravanes en la zona. Ruido del viento. Paso de moto a 800 m.
JUNUNTAO	Canto de aves e insectos. Personas hablando.	Canto de aves e insectos nocturnos. Vientos fuertes, personas hablando.	Canto de aves e insectos.	Canto de aves e insectos nocturnos (grillos y lagartijas). Alcaravanes en la zona. Ruido del viento. Ladrido de caninos, ruido del

Punto de medición	Fuentes Identificadas en cada punto de medición			
	Día Ordinario – Diurno	**Día Ordinario – Nocturno**	**Día Dominical – Diurno**	**Día Dominical – Nocturno**
				viento sobre teja de zinc.
SACHIKIMANA	Gemido de chivos. Personas gritando. Canto de aves.	Canto de aves e insectos nocturnos. Vientos fuertes, personas hablando.	Canto de aves e insectos. Gemido de chivos. Paso de motocicleta	Canto de aves e insectos nocturnos (grillos y lagartijas). Presencia de animales como chivos, murciélagos, ovejos, y ruido del viento. Paso de avión.

Fuente: Renovatio 2017

5.1.8.4.1.2 *Mediciones día ordinario*

En la Tabla 5-132 y Tabla 5-133 se presenta el consolidado de las mediciones y ajustes obtenidos para el día ordinario en cada uno de los puntos en las respectivas direcciones. Los ajustes se determinaron de acuerdo con el procedimiento estipulado en el Anexo 2, de la Resolución 627 de 2006.

Tabla 5-132. Consolidado de las mediciones en campo – Ordinario

Horario diurno						
Punto de medición	**LA_{NORTE} (dB)**	**LA_{SUR} (dB)**	**LA_{ESTE} (dB)**	**LA_{OESTE} (dB)**	**$LA_{VERTICAL}$ (dB)**	**LAeq Total ***
Punto 1 Araparen	63,5	69,7	58,2	63,1	62,7	65,1
Punto 2 Toloira	58,8	55,9	67,2	62,7	64,8	63,5
Punto 3 Blanco	68,7	67,3	67,9	71,9	71,9	70,0
Punto 4 Jununtao	61,1	65,6	58,7	67,7	59,3	63,9
Punto 5 Sachikimana	47	53,8	65,5	70,6	56,2	65,0
Horario nocturno						
Punto de medición	**LA_{NORTE} (dB)**	**LA_{SUR} (dB)**	**LA_{ESTE} (dB)**	**LA_{OESTE} (dB)**	**$LA_{VERTICAL}$ (dB)**	**LAeq Total ***
Punto 1 Araparen	36,6	33,6	42,6	37,7	37,7	38,7

Punto 2 Toloira	49,7	46,3	46,2	46,5	45,9	47,2
Punto 3 Blanco	48,7	45,4	47,6	52,8	46,5	49,0
Punto 4 Jununtao	48	44	39,8	39,6	46,1	44,7
Punto 5 Sachikimana	48,4	44	39,8	39,6	46,1	44,9

*Promedio Logarítmico

Fuente: Renovatio 2017

Tabla 5-133. Consolidado ajustes (K) – Ordinario

Punto de medición	Horario Diurno					Horario Nocturno				
	KTonos			K_I*	Ajuste**	KTonos			K_I*	Ajuste **
	20-125 Hz	160-400 Hz	>500 Hz			20-125 Hz	160-400 Hz	>500 Hz		
Punto 1	0	0	0	6	6	0	0	0	6	6
Punto 2	0	0	6	6	6	0	0	6	6	6
Punto 3	0	0	6	6	6	0	0	6	6	6
Punto 4	0	0	3	3	3	0	0	0	6	6
Punto 5	0	0	0	6	6	0	0	6	6	6

*Ajuste por impulso. **Ajuste total

Fuente: Renovatio 2017

En la Tabla 5-134 se presentan los resultados corregidos del nivel de presión sonora equivalente ponderado A total (LAeq) obtenidos en el día ordinario para cada horario de medición y se compara con los valores máximos establecidos en la Resolución 627 de 2006 para el uso del suelo clasificado.

Tabla 5-134. Resultados de Ruido Ambiental– Ordinario

Horario diurno				
Punto de Registro	**LAeq Ruido Ambiental Corregido (dB)**	**Valores Permitidos Resolución 627-2006 LAeq Día (dB)**	**Porcentaje respecto a límite permisible**	**Cumplimiento**
Punto 1 Araparen	71.1	75	95%	Cumple
Punto 2 Toloira	69.5	75	93%	Cumple
Punto 3 Blanco	76.0	75	101%	No Cumple
Punto 4 Jununtao	66.9	75	89%	Cumple
Punto 5 Sachikimana	71.0	75	95%	Cumple
Horario nocturno				
Punto de Registro	**LAeq Ruido Ambiental Corregido (dB)**	**Valores Permitidos Resolución 627-2006 LAeq Noche (dB)**	**Porcentaje respecto a límite permisible**	**Cumplimiento**
Punto 1 Araparen	44.7	70	64%	Cumple
Punto 2 Toloira	53.2	70	76%	Cumple
Punto 3 Blanco	55.0	70	79%	Cumple
Punto 4 Jununtao	50.7	70	72%	Cumple
Punto 5 Sachikimana	50.9	70	73%	Cumple

Fuente: Renovatio 2017, Resultados promedio monitoreo de ruido ambiental– Día Ordinario

En la Figura 5-161 y Figura 5-162 se pueden observar los resultados de las mediciones de ruido ambiental (día ordinario) comparado con los niveles de presión sonora para uso de suelo industrial de la normatividad vigente. Como se puede evidenciar, en la mayoría de los casos, los puntos no superan los valores estándares permisibles establecidos para este tipo de uso del suelo (75 dB), cumpliendo con la normatividad; a excepción del punto 3 blanco el cual presenta un incremento mínimo con respecto al límite establecido, y teniendo en cuenta las fuentes identificadas durante el muestreo y presentadas en la Tabla 5-131, el incremento se pudo deber a golpes muy fuertes de tejas metálicas y un ruido de fondo proveniente de una planta eléctrica cercana. Para el horario nocturno (70 dB), se presenta cumplimiento con la normatividad, adicionalmente se presenta una reducción en los niveles. En los dos casos el Punto 2 presenta los mayores niveles, las fuentes presentes en este punto fueron: Canto de aves, ladrido de caninos, paso de vehículos.

Teniendo en cuenta la Tabla 5-131, se evidencia que para el horario diurno las fuentes principales en general se deben a fuentes puntuales de actividades propias de la zona y a animales presentes durante las mediciones. La fuente principal de ruido se debe a los animales presentes en cada punto de medición como aves, insectos (grillos y chicharras) y ruido natural producido por vientos fuertes.

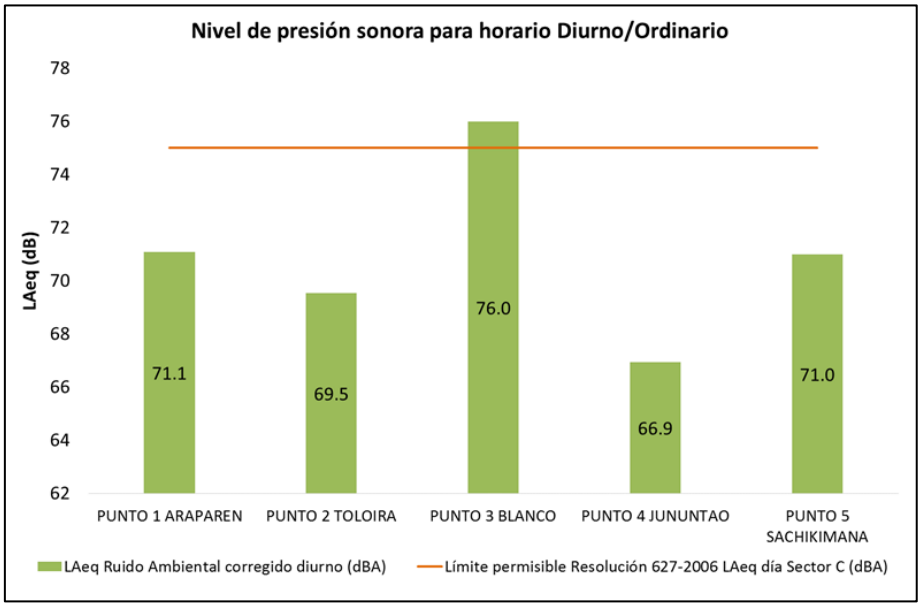


Figura 5-161. Resultados de niveles sonoros en horario diurno – Día Ordinario

Fuente: Renovatio 2017

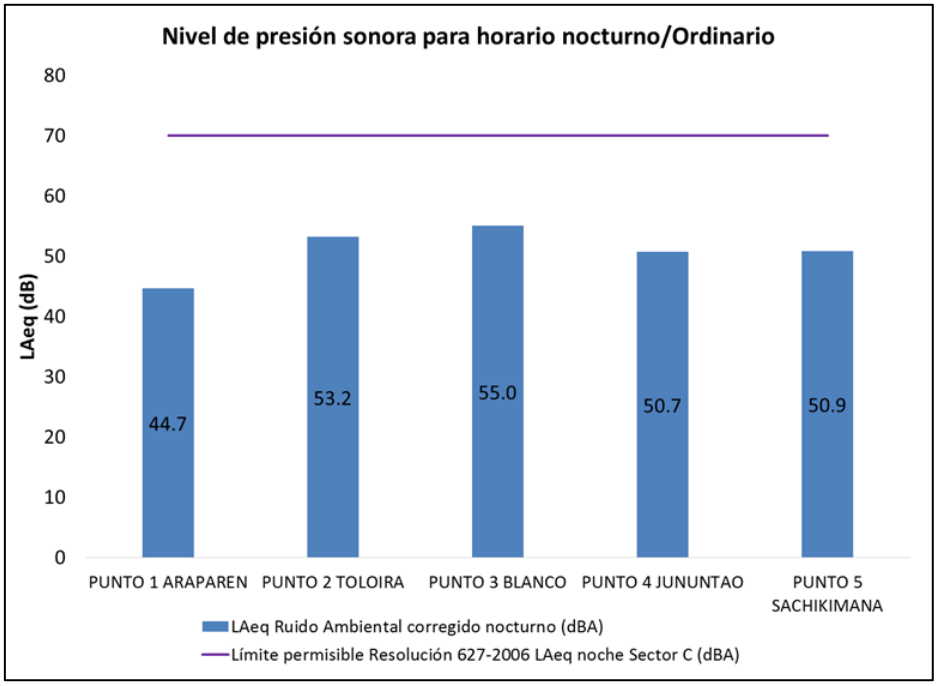


Figura 5-162. Resultados de niveles sonoros en horario nocturno – Día Ordinario

Fuente: Renovatio 2017

5.1.8.4.1.3 *Mediciones día dominical*

En la Tabla 5-135 y la

Tabla 5-136 se presenta el consolidado de las mediciones y ajustes[87] obtenidos para el día dominical en cada uno de los puntos en las respectivas direcciones.

Tabla 5-135. Consolidado de las mediciones en campo de Ruido Ambiental– Dominical

Horario diurno						
Punto de medición	**LA_{NORTE} (dB)**	**LA_{SUR} (dB)**	**LA_{ESTE} (dB)**	**LA_{OESTE} (dB)**	**$LA_{VERTICAL}$ (dB)**	**LAeq Total ***
Punto 1 Araparen	65,1	60,1	62,9	72,5	65,3	67,4
Punto 2 Toloira	54,4	53,5	72,3	56,2	54,2	65,6
Punto 3 Blanco	58,2	57,8	60,6	58,4	58,5	58,8
Punto 4 Jununtao	54,4	53,5	72,3	56,2	54,2	65,6

[87] Resolución 627 de 2006 expedida por el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Punto 5 Sachikimana	53,9	52,7	58,5	56,6	56,2	56,0
Horario nocturno						
Punto de medición	**LA_{NORTE} (dB)**	**LA_{SUR} (dB)**	**LA_{ESTE} (dB)**	**LA_{OESTE} (dB)**	**$LA_{VERTICAL}$ (dB)**	**LAeq Total ***
Punto 1 Araparen	45,7	44	43,6	44,6	45,1	44,7
Punto 2 Toloira	49,3	46,7	45,5	45,2	50,5	48,0
Punto 3 Blanco	48,9	49,1	43,8	46,2	50,6	48,3
Punto 4 Jununtao	49,6	46,1	45,8	47,1	45	47,0
Punto 5 Sachikimana	48,9	49,1	43,8	46,2	50,6	48,3

*Promedio Logarítmico

Fuente: Renovatio 2017

Tabla 5-136. Consolidado ajustes (K) – Dominical

Punto de medición	Horario Diurno					Horario Nocturno				
	KTonos			K_I*	Ajuste**	KTonos			K_I*	Ajuste **
	20-125 Hz	**160-400 Hz**	**>500 Hz**			**20-125 Hz**	**160-400 Hz**	**>500 Hz**		
Punto 1	0	0	0	6	6	0	0	0	3	3
Punto 2	0	0	0	3	3	0	0	0	3	3
Punto 3	0	0	6	3	6	0	0	6	6	6
Punto 4	0	0	6	3	6	0	0	6	6	6
Punto 5	0	0	0	3	3	0	0	6	6	6

*Ajuste por impulso. **Ajuste total

Fuente: Renovatio 2017

En la Tabla 5-137 se presentan los resultados corregidos del nivel de presión sonora equivalente ponderado A total (LAeq) obtenidos en el día dominical para cada horario de medición y se compara con los valores máximos establecidos en la Resolución 627 de 2006 para el uso del suelo clasificado.

Tabla 5-137. Resultados de Ruido Ambiental– Dominical

Horario diurno

Punto de Registro	LAeq Ruido Ambiental Corregido (dB)	Valores Permitidos Resolución 627-2006 LAeq Día (dB)	Porcentaje respecto a límite permisible	Cumplimiento
Punto 1 Araparen	73,4	75	98%	CUMPLE
Punto 2 Toloira	68,6	75	91%	CUMPLE
Punto 3 Blanco	64,8	75	86%	CUMPLE
Punto 4 Jununtao	71,6	75	95%	CUMPLE
Punto 5 Sachikimana	59,0	75	79%	CUMPLE
Horario nocturno				
Punto de Registro	**LAeq Ruido Ambiental Corregido (dB)**	**Valores Permitidos Resolución 627-2006 LAeq Noche (dB)**	**Porcentaje respecto a límite permisible**	**Cumplimiento**
Punto 1 Araparen	51,0	70	73%	CUMPLE
Punto 2 Toloira	47,7	70	68%	CUMPLE
Punto 3 Blanco	54,3	70	78%	CUMPLE
Punto 4 Jununtao	53,0	70	76%	CUMPLE
Punto 5 Sachikimana	53,5	70	76%	CUMPLE

Fuente: Renovatio 2017, Resultados promedio monitoreo de ruido ambiental– Día Dominical

En la Figura 5-163 y la Figura 5-164 se pueden observar los resultados de las mediciones de ruido ambiental obtenidos en el día dominical comparado con los niveles de presión sonora para uso del suelo industrial de la normatividad vigente. Como se puede evidenciar, los puntos no superan los valores estándares permisibles establecidos para este tipo de uso del suelo (75 dB) para horario diurno y 70 (70 dB) para horario nocturno cumpliendo con la normatividad. La principal fuente de ruido identificada durante la medición fue el canto de aves y animales propios de la zona. Para el horario nocturno, se presenta una reducción en los niveles con respecto al horario diurno.

Con respecto al día ordinario, los niveles de ruido disminuyen a excepción del punto 3 (Ordinario – Diurno), jornada en la cual se registró el mayor aporte de ruido en la zona, debido a que para este punto se percibieron por parte del técnico de campo, aportes de ruido por operación de una planta eléctrica en cercanías a la ranchería y adicionalmente se presentaron golpes en las tejas metálicas (tejas de zinc) muy fuertes, las cuales contribuyeron al aumento de los niveles de ruido en este punto.

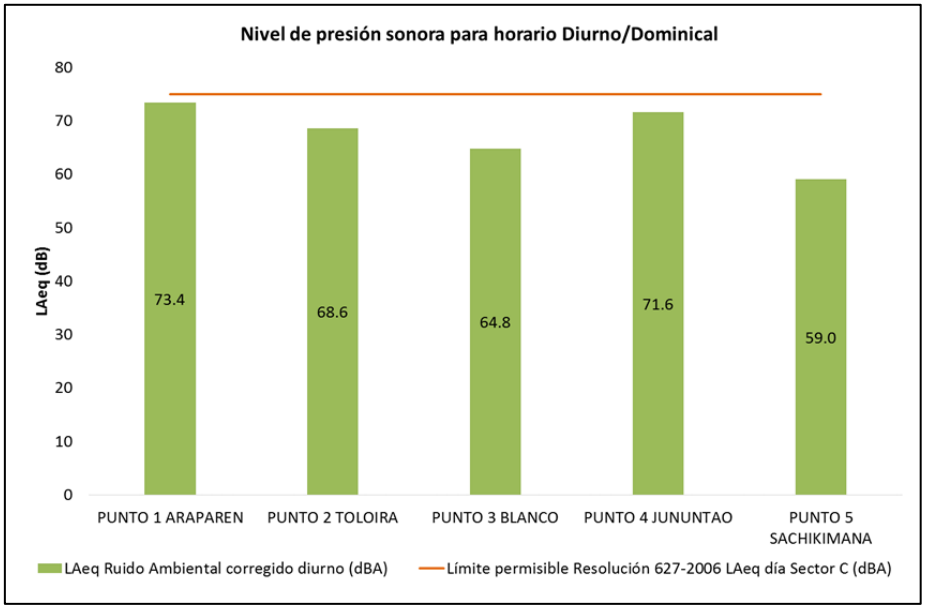


Figura 5-163. Resultados de niveles sonoros en horario diurno – Día Dominical

Fuente: Renovatio 2017

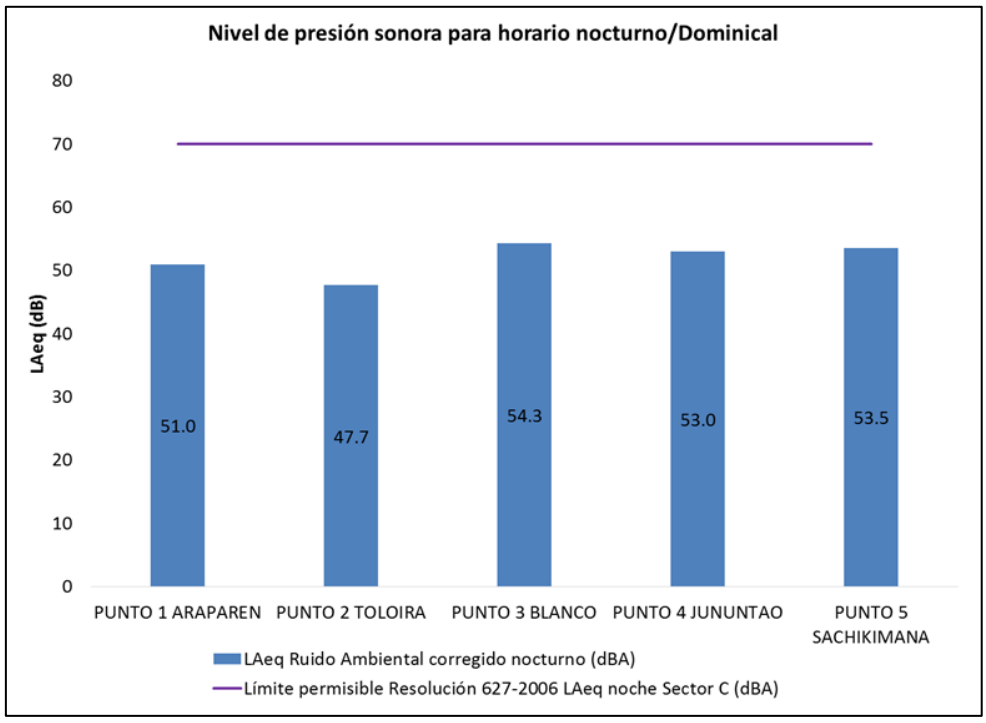


Figura 5-164. Resultados de niveles sonoros en horario nocturno – Día Dominical

Fuente: Renovatio 2017

5.1.8.4.1.4 *Observaciones y conclusiones del monitoreo de ruido ambiental*

- 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 en el área de influencia del proyecto parque eólico ALPHA.
- Los puntos muestreados (Araparen, Toloira, Blanco, Jununtao y Sachikimana) fueron clasificados como sector C. Ruido intermedio restringido como subsector zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas, de acuerdo a lo establecido en el EOT del municipio. Esta clasificación se efectúa teniendo en cuenta la certificación emitida por la secretaria de planeación del municipio de Maicao, la cual establece los usos del suelo permitidos para el área de influencia directa del proyecto.
- Los valores máximos de nivel de presión sonora LAeq reportados se presentan en el punto 3 Blanco para el día ordinario diurno, reportándose un valor de 76 dB excediendo la normatividad, el cual se puede atribuir a los golpes muy fuertes generados por tejas metálicas y aun ruido de fondo generado por planta eléctrica cercana. Las principales fuentes identificadas en el horario diurno son fuentes propias de la zona como el ruido producido por las personas hablando y /o gritando, animales in situ, golpes de tejas metálicas y ruido generado por el viento. En el horario nocturno, se produce una reducción de los niveles identificando el ruido generado por animales presentes en la zona como fuente principal de ruido en cada una de los puntos durante el periodo de medición.
- Todas las mediciones se tomaron en filtros de 1/3 de octavas durante 15 minutos cada una, con ponderaciones frecuenciales A y ponderaciones de respuesta lenta S (Slow). En lo que respecta a los ajustes, se aplicaron teniendo en cuenta lo que estipula el artículo 6 de la Resolución 627 del 7 de abril de 2006 y se determinaron de acuerdo con el procedimiento del Anexo 2 de la misma resolución. Las mediciones se corrigieron por tono (KT) y por impulso (KI) por lo que se realizaron ajustes de 3 a 6 dB en las diferentes mediciones como se observa en Tabla 13. Consolidado ajustes (K) – Ordinario y Tabla 16. Consolidado ajustes (K) – Dominical. Los valores aumentan en su mayoría la presencia de fuentes que generan tonos a altas frecuencias e impulsos aumentando el LAeq final en 6 dB. Los resultados no se corrigieron por bajas frecuencias (instalaciones de ventilación y climatización) por la naturaleza de las fuentes identificadas y no se corrigieron por horario ya que el valor calculado del LAeq se realizó tanto para horario diurno como nocturno, y no como un sólo valor de LAeq para el día y la noche.
- Con los resultados obtenidos de las mediciones se elaboraron las curvas de ruido que se muestran en el Anexo 13. La altura del sonómetro utilizada fue de 4 m sobre el nivel del suelo para ruido ambiental. La base de los cálculos en los planos, corresponde a una simple atenuación geométrica (pérdidas de la emisión sonora por distanciamiento entre la fuente y el receptor del sonido para fuentes puntuales).
- En el Anexo 13, se consolida las memorias de cálculo en los cuales está diligenciada la información detallada de las mediciones con base en lo establecido en el Artículo 21, Capítulo IV de la Resolución 627 de 2006.

5.1.8.4.2 Modelación de ruido

A continuación, se presentarán los resultados de la modelación del ruido para tres escenarios del proyecto eólico: el de la línea base y en las etapas de construcción y operación, los resultados y anexos cartográficos del presente modelo se encuentran en el Anexo 30. Resultados Modelación Ruido.

5.1.8.4.2.1 *Descripción del modelo*

Para el cálculo de las simulaciones de ruido se utilizó el software CadnaA versión 2017 MR 1 (64 Bit) (build: 159.4707), DataKustik GmbH.

En el Capítulo 2 Generalidades, se presenta con mayor detalle la descripción del modelo y la metodología utilizada para el desarrollo de este numeral, donde se presentan los parámetros acústicos utilizados en la configuración del software de modelación, la configuración general, los parámetros de referencia y los índices de cálculo.

5.1.8.4.2.2 *Análisis meteorológico*

Para determinar la tendencia de las variables meteorológicas se utilizó el modelo de simulación de última generación WRF (Weather Research and Forecasting). La resolución temporal de los parámetros evaluados está dada por las condiciones topográficas y uso del suelo de la zona. Toda la información empleada en este capítulo corresponde a datos meteorológicos entre el 1 de enero al 31 de diciembre de 2016.

El análisis meteorológico se presenta en el Anexo 30. Modelación de Ruido, donde se incluyen los análisis de precipitación, presión barométrica, velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad relativa, altura de mezcla y topografía, utilizados para el modelo.

5.1.8.4.2.3 *Análisis de ruido ambiental*

Los análisis de ruido ambiental en las condiciones actuales del proyecto se presentaron previamente en el numeral 5.1.8.4.1 Resultados del monitoreo de ruido ambiental, fundamentado en la información obtenida de la campaña de monitoreo realizada para el área del proyecto.

5.1.8.4.2.4 *Idealización de escenarios*

En esta sección se presenta la idealización de los escenarios de modelación, la identificación de las fuentes sonoras, la asignación de los niveles de potencia sonora y la configuración de los ejecutables de modelación a partir de los cuales se obtuvieron los resultados para análisis y discusiones.

5.1.8.4.2.4.1 Escenario de la línea base

Este escenario se desarrolló considerando lo descrito por Aramburú el cual definió la Línea Base como el resultado obtenido de la primera medición de todas las variables e indicadores relacionados con el diseño de un proyecto antes de que este se ejecute con lo cual se puede diagnosticar el estado de los elementos antes del inicio de las actividades proyectadas. Con los resultados de estas simulaciones de ruido se puede establecer el panorama acústico del área de influencia sin proyecto (Parque Eólico). La línea base correspondió a tener en cuenta

el tráfico rodado que se presenta actualmente en la zona como la única fuente predominante y la interacción con los diferentes elementos del entorno como el terreno, construcciones, etc.

Enfoque de las simulaciones

Se desarrollaron las simulaciones de ruido usando información del flujo vehicular la cual se estableció mediante aforo vehicular en puntos cercanos a las vías principales, los cuales permitieron determinar el promedio diario de vehículos que circula por la zona de estudio (alrededor 25 vehículos por día). También se determinaron las edificaciones a través del levantamiento de los censos de la caracterización social, de la consulta de información secundaria del marco geográfico nacional del Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE), las imágenes de Google Earth y el uso de herramientas de información geográfica, a su vez se digitalizaron las principales vías del área de estudio, por donde se presenta el tráfico de la zona. Este procedimiento de verificación y levantamiento de información fue necesario ya que la precisión juega un papel fundamental en los resultados finales del producto a entregar. En el proceso de la modelización se tuvo en cuenta la difracción el cual es un fenómeno que afecta a la propagación del sonido. Se habla de difracción cuando el sonido se dispersa como consecuencia del encuentro con obstáculos que no le son transparentes. También se tuvo en cuenta la reflexión lo cual se refiere al fenómeno de reflejar el sonido, y la capacidad de los materiales de absorber el sonido. Las viviendas constituyeron los principales obstáculos a la hora de ejecutar el proceso de modelación.

Datos de entrada

Para el escenario línea base se usaron como datos de entrada adicional al modelo digital del terreno lo siguiente:

- Edificaciones

Comprenden todas las viviendas, escuelas y demás edificios presentes en el área de estudio pertenecientes a las comunidades indígenas de la etnia Wayú. Las edificaciones son los principales obstáculos dentro de la idealización del modelo, sin obstáculos el modelo asumiría un comportamiento lineal y uniforme en sus resultados. Es por esto que para idealizar correctamente el modelo, se tomó como base una altura promedio de las edificaciones (2,5 metros para las viviendas y 3,5 para las escuelas e iglesias de acuerdo a la información recolectada en campo). Como datos de entrada al modelo se consideró un coeficiente de absorción alfa de las edificaciones de 0.21, el cual se define como la relación entre la energía absorbida por el material y la energía reflejada por el mismo eco. Es un valor que varía entre 0 (toda la energía se refleja) y 1 (toda la energía es absorbida).

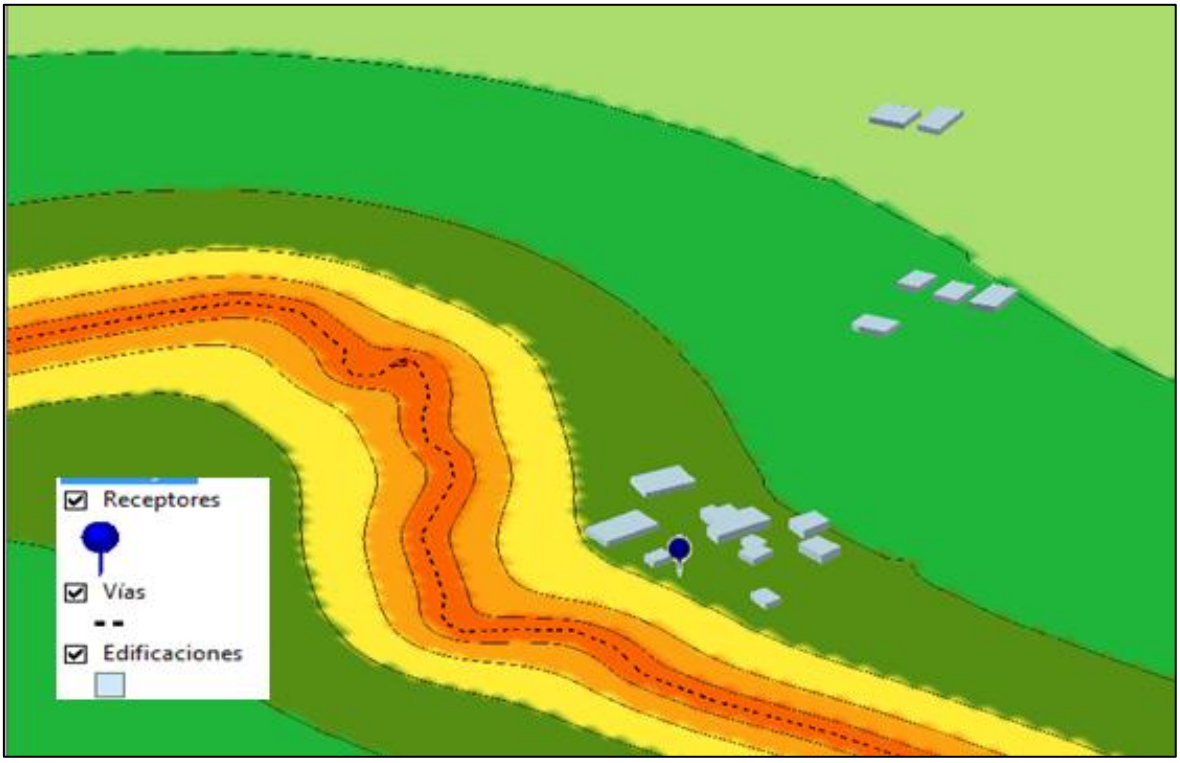


Figura 5-165. Edificaciones

Fuente: Renovatio 2017 con base en los resultados del censo de la caracterización social

- Tráfico rodado

El tráfico rodado se considera una de las principales fuentes generadoras de ruido. Al respecto Redondo menciona que el ruido del tráfico rodado resulta de la adición de las emisiones de ruido de cada vehículo que conforman el flujo de tráfico. Es por esto que, para la idealización de las fuentes de ruido por tráfico rodado, se escogió el estándar alemán Richtlinien für den Lärmschutz an Straben (Directrices para la protección contra el ruido en las calles) o RLS 90 por sus siglas en alemán, el cual permitió la evaluación del ruido producido por el tráfico rodado que se presenta en el área de estudio. Dicho estándar requirió los datos del número, tipo y velocidad de los vehículos que transitan por el área diariamente.

Según datos recolectados en campo durante el monitoreo de ruido ambiental, por las vías el tráfico vehicular que se presenta es de máximo 25 vehículos. Sin embargo, de las vías la que más tráfico presentó es la que se encuentra al NorOeste (NW) del área de estudio. Con un promedio vehicular de 14 vehículos al día principalmente motos, número que se incrementa a 25 vehículos (entre livianos y pesados) durante los días dominicales y horarios nocturnos, producto del tráfico de gasolina por encontrarse en inmediaciones de la frontera colombo – venezolana. Las demás vías presentan un promedio de 5 y 2 vehículos como se muestra en la Figura 5-166.

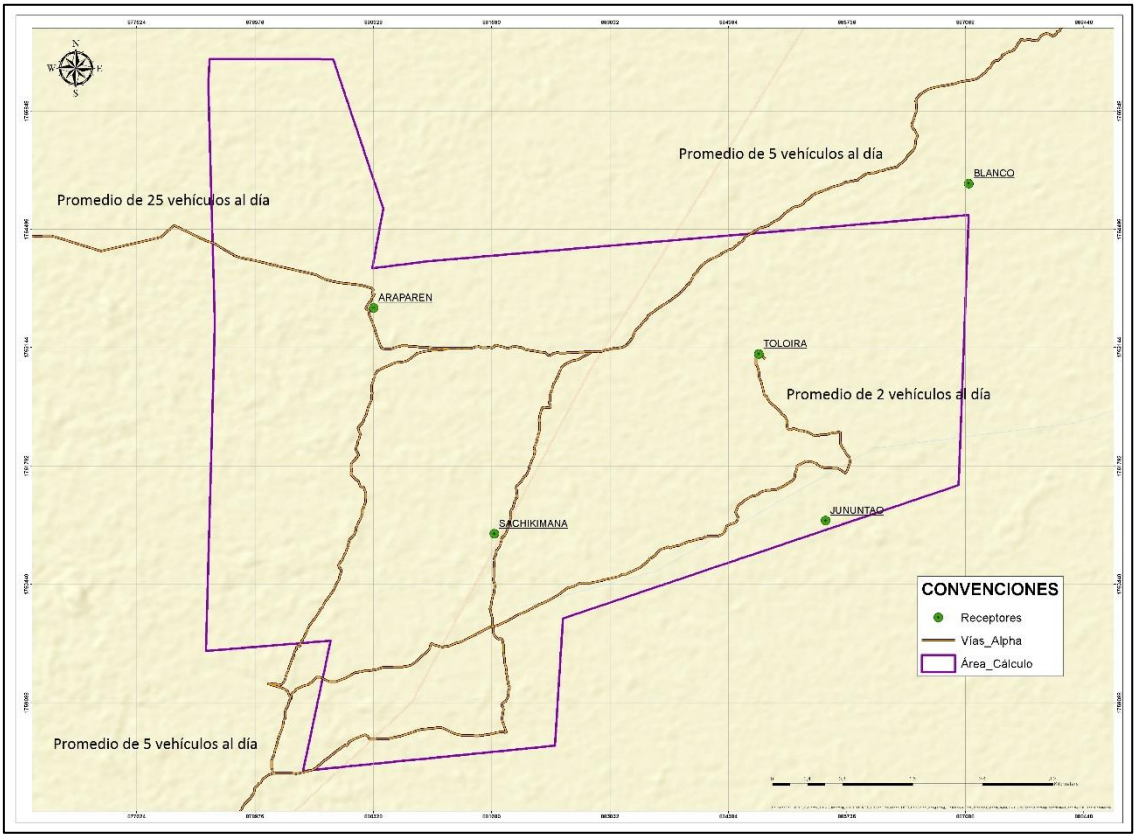


Figura 5-166. Aforo vehicular

Fuente: Renovatio 2017

Los vehículos que transitan por estas vías, corresponden a vehículos livianos (motos, automóviles) y de carga (camiones de 2 ejes).

5.1.8.4.2.4.2 Escenario construcción del proyecto

Enfoque de las simulaciones

El desarrollo de este escenario se hizo teniendo en cuenta la línea base y los parámetros acústicos de todos los equipos que se utilizarán en la etapa de construcción del parque eólico. Los equipos que se utilizarán serán: buldóceres, retroexcavadoras, compactadoras, volquetas, camiones de concreto (mixer) y tractocamiones. Con estas maquinarias se realizarán las construcciones de las plataformas de los aerogeneradores, ejecución y mantenimiento de las vías y demás facilidades del parque como los campamentos, depósitos de suelo, planta de concreto y transporte de los aerogeneradores. Las simulaciones de ruido se desarrollaron con los flujos vehiculares de la línea base y los respectivos obstáculos.

Se tuvo en cuenta un flujo máximo de paso de vehículos pesados igual a 298 vehículos desde las 7:00 a.m. hasta las 5:00 p.m. de la tarde como tráfico rodado, que incluyó volquetas y camiones mixer. Este flujo vehicular fue determinado teniendo en cuenta las horas de trabajo

por día (8 horas) y el número de vehículos disponibles a una velocidad de 60 km/h, que correspondió a 50 vehículos para la zona Este y 50 vehículos para la zona Oeste. Las plataformas, depósitos, subestación y fundaciones se idealizaron como fuentes puntuales conceptualizando que en cada una de estas áreas se operará un buldócer, una compactadora y una retroexcavadora durante un tiempo máximo de 9 horas en el periodo diurno. La planta de concreto también se idealizó como fuente puntual considerando el uso de un equipo para este fin con tiempo de operación de 9 horas máximas. El proceso de excavación para adecuación del cableado del parque eólico se idealizó como fuente lineal considerando que la máquina de excavación se moverá de esta forma por todas las secciones de trabajo. Se debe tener presente que la idealización de este escenario corresponde a la situación más crítica porque representa un día de trabajo realizando actividades en todas las áreas del proyecto. En horario nocturno (21:00 a 7:00 de acuerdo a la 627 de 2006) se realizarán actividades asociadas a la ejecución de cimentaciones y montaje de aerogeneradores, por ende se para este escenario se consideró un flujo aproximado de 90 vehículos pesado asociados a las actividades descritas anteriormente.

Datos de entrada

- Tráfico rodado

La geometría de las vías que fueron incluidas en el escenario de construcción se presenta en la Figura 5-167, la cual corresponde a un ancho de 6 metros. El nivel de ruido a 25 metros del eje de la vía a una altura de 0.5 metros que corresponden al flujo vehicular de los 298 vehículos pesados que se tuvieron en cuenta en este escenario, con circulación desde las 7:00 a.m. hasta las 5:00 p.m. es equivalente a 64.6 dB (A) para el periodo diurno. Se estima que aproximadamente 90 vehículos circularan en horario nocturno, en actividades asociadas a la ejecución de cimentaciones y montaje de aerogeneradores.

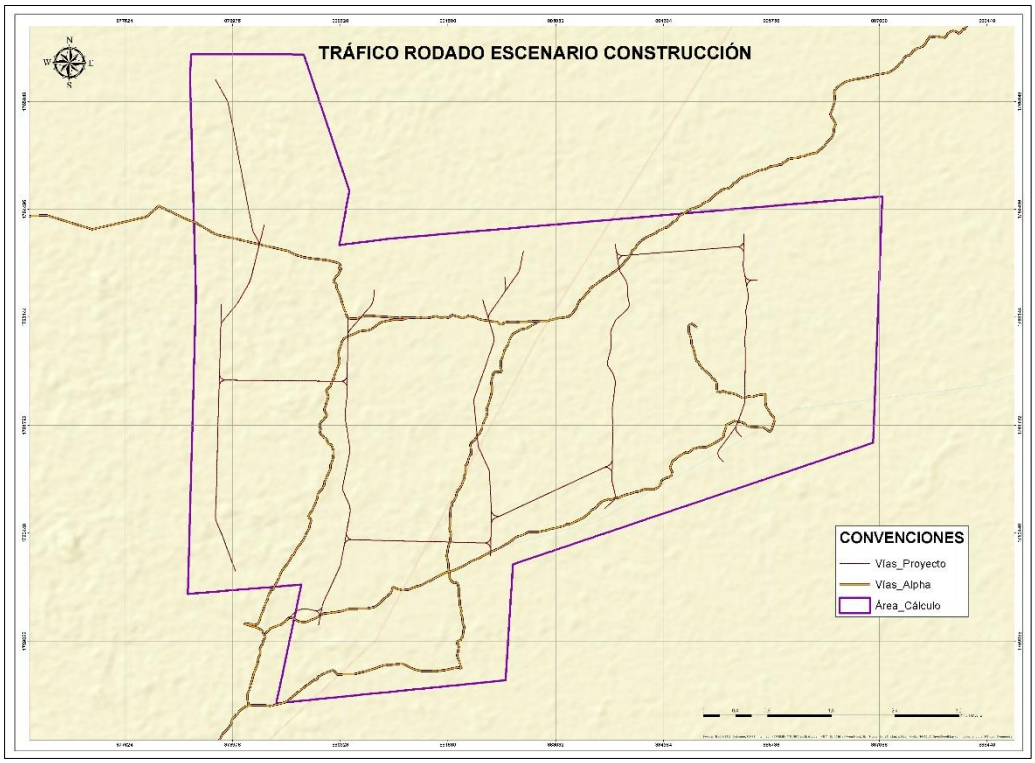


Figura 5-167. Tráfico rodado escenario construcción del proyecto

Fuente: Renovatio 2017

- Fuentes puntuales

En la Figura 5-168 se presentan las localizaciones de los campamentos, depósitos, fundaciones, plataformas, planta de concreto y subestación, que se idealizaron como fuentes puntuales con tiempo de operación máximo de 9 horas al día en el periodo diurno. En la Tabla 5-138 se presentan los valores de emisiones por espectro de frecuencia de los equipos que se utilizarán en cada una estas secciones de trabajo. El nivel de potencia sonora total que se presentaría por el uso de estos equipos (una retroexcavadora, un buldócer y una compactadora) en cada una de estas secciones de trabajo excepto la planta de concreto es equivalente a 109.6 dB (A).

Tabla 5-138. Parámetros acústicos de los equipos idealizados como fuentes puntuales

Equipo\Espectro de frecuencia en octavas (dB)	31.5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	Ponderación A
Retroexcavadora	0	82	112	118	105	106	99	95	65	112.1
Buldócer	0	88	118	111	109	107	103	97	67	111.9
Compactadora	0	82	112	118	105	106	99	95	65	112.1

Equipo\Espectro de frecuencia en octavas (dB)	31.5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	Ponderación A
Planta de concreto	0	76.8	106.8	100.9	101.2	99	94.1	87.3	57.3	103.3

Fuente: Dracoulides y Ebot, 2013

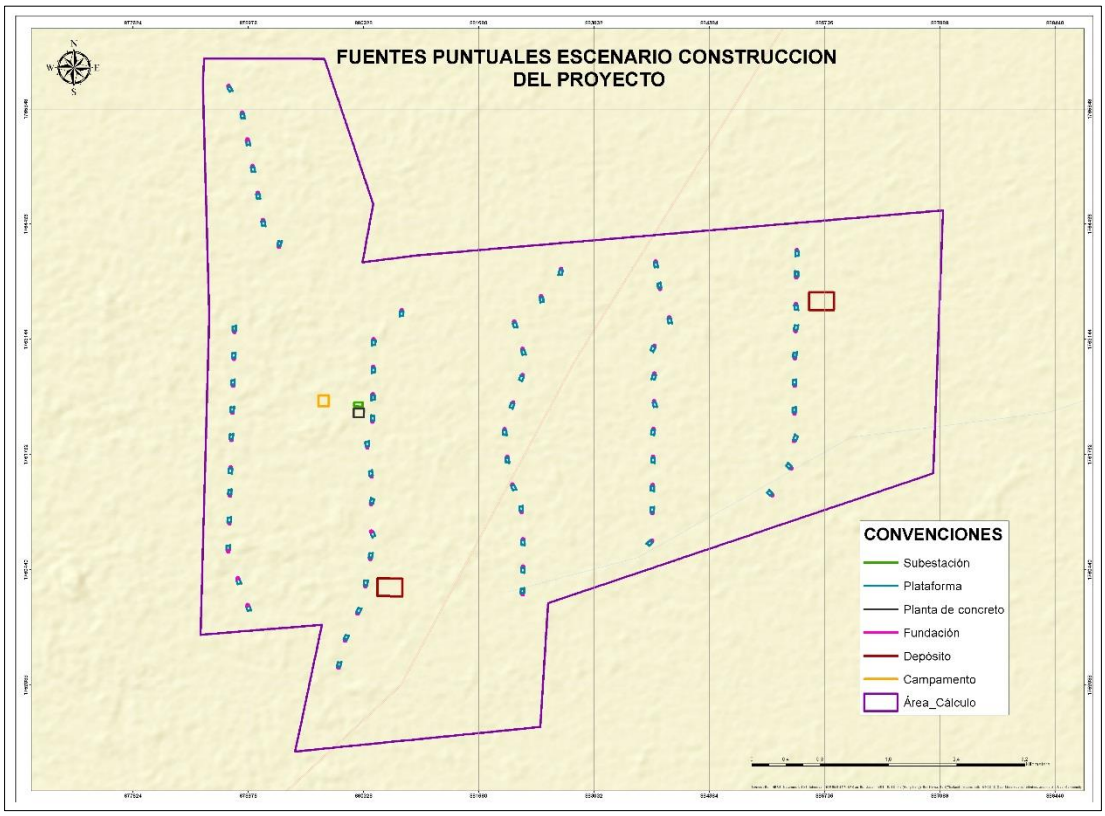


Figura 5-168. Fuentes puntuales escenario construcción proyecto

Fuente: Renovatio 2017

- Fuentes lineales

En la Figura 5-169 se presentan las localizaciones de las fuentes lineales idealizadas, que corresponde a la emisión de ruido que se presentará por la actividad de excavación para adecuación del cableado del parque eólico. La descripción acústica del equipo generador de ruido que se asignó para este tipo de fuente se presenta en la Tabla 5-139. El nivel de potencia sonora lineal que correspondería a este tipo de fuente es igual a 101.8 dB (A) por metro. Las horas de operación que se consideraron para este tipo de fuente fueron de 4 horas debido a que la máquina de excavación no estará en el mismo sitio toda la jornada completa del día. Con este escenario como evento máximo se tuvo en cuenta la operación de maquinarias de excavación en todo el proyecto al tiempo.

Tabla 5-139. Actividades relacionadas al proyecto

Equipo\Espectro de frecuencia en octavas (dB)	31.5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	Ponderación A
Retroexcavadora	0	82	112	118	105	106	99	95	65	112.1

Fuente: Dracoulides y Ebot, 2013

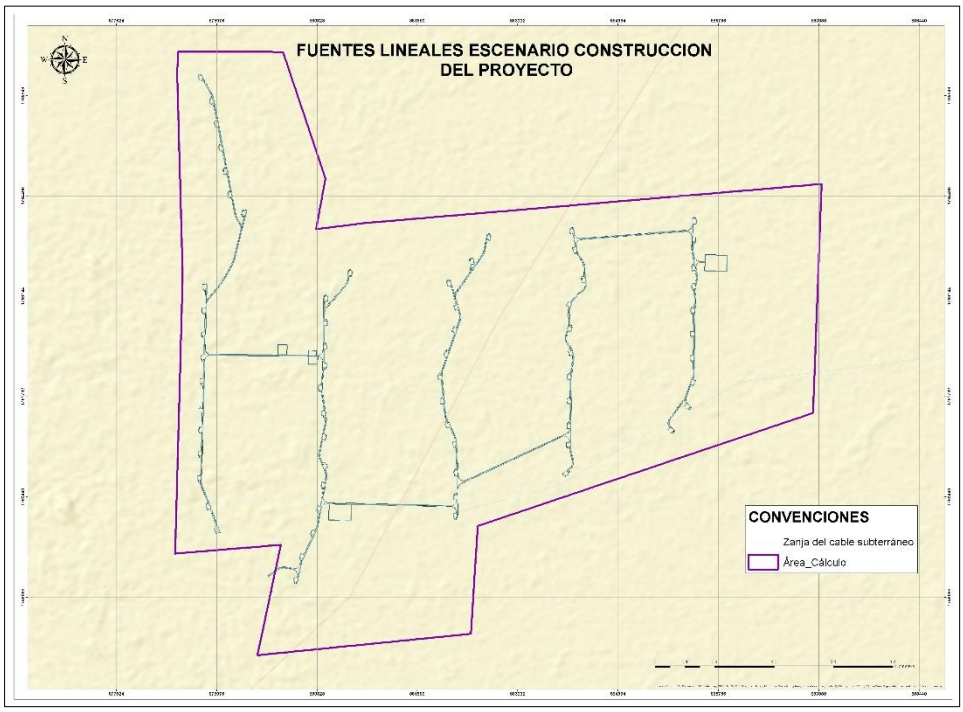


Figura 5-169. Fuentes lineales escenario construcción proyecto

Fuente: Renovatio 2017

5.1.8.4.2.4.3 Escenario operación del proyecto

Enfoque de las simulaciones

La construcción de este escenario se realizó teniendo como referencia la línea base y los parámetros acústicos de los aerogeneradores que se utilizarán en la etapa de operación de proyecto del parque eólico. Adicionalmente se tuvo en cuenta un flujo vehicular máximo que representa la circulación de los vehículos en el proyecto cuando sea necesario realizar mantenimientos a los aerogeneradores. Estos son los dos tipos de fuentes relevantes que corresponden al escenario de operación del proyecto.

En este escenario no se tuvo en cuenta la operación de los aerogeneradores con y sin controles acústicos debido a los siguientes motivos: la altura a la que se presentan las fuentes es estática (112 metros), como los aerogeneradores requieren de la acción del viento para funcionar no se pueden aislar acústicamente, y los diferenciales de los niveles de ruido en función de las velocidades del viento no son significativos (Ver Tabla 5-140).

Tabla 5-140. Niveles de potencia sonora de los aerogeneradores en función de las velocidades del viento

Velocidad del viento estandarizada a 10 m [m/s]	Nivel de potencia sonora [dB (A)]	Velocidad de viento a la altura de aerogenerador [m/s]
3	95.5	4.4
4	96.4	5.8
5	102.6	7.3
6	106.2	8.7
7	106.4	10.2
8	106.4	11.6
9	106.4	13.1
10	106.4	14.6
11	106.4	16
12	106.4	17.5

Fuente: NORDEX, 2016

Datos de entrada

- Tráfico rodado

La geometría de las vías que fueron incluidas en el escenario de operación del proyecto se presenta en la Figura 5-170, corresponde a un ancho de vía de 6 metros. Este trazado geométrico corresponde al mismo del escenario (construcción del proyecto). El nivel de ruido a 25 metros del eje de la vía a una altura de 0.5 metros que corresponden al flujo vehicular de este escenario (4 vehículos al día) es igual a 38.9 dB (A).

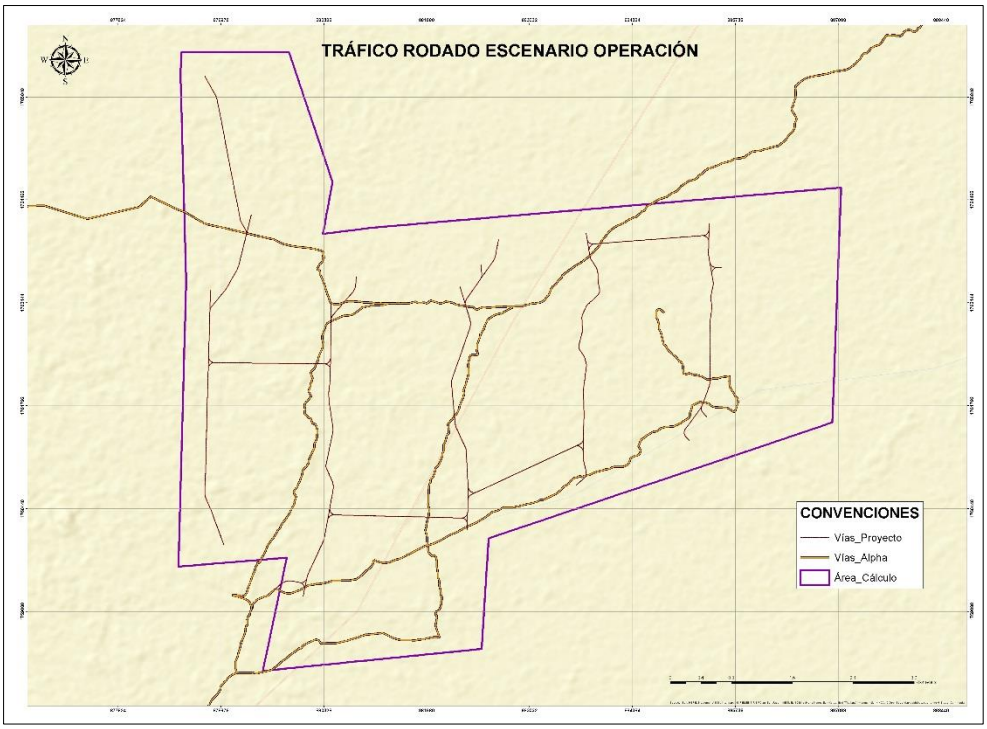


Figura 5-170. Tráfico rodado escenario operación del proyecto

Fuente: Renovatio 2017

- Fuentes puntuales

Las fuentes que se idealizaron como puntuales correspondieron a los aerogeneradores. El tiempo de operación designado fue de 24 horas al día. La altura designada para cada aerogenerador fue de 112 metros con un nivel de potencia sonora de 106.2 dB (A) de acuerdo a las referencias acústicas del equipo. La localización de cada aerogenerador se presenta en la Figura 5-171 donde se puede apreciar los cinco sectores. Para la operación del proyecto se consideró una velocidad del viento de 6 m/s a una altura estándar de 10 metros. Con esta velocidad el aerogenerador emite la emisión de potencia sonora descrita.

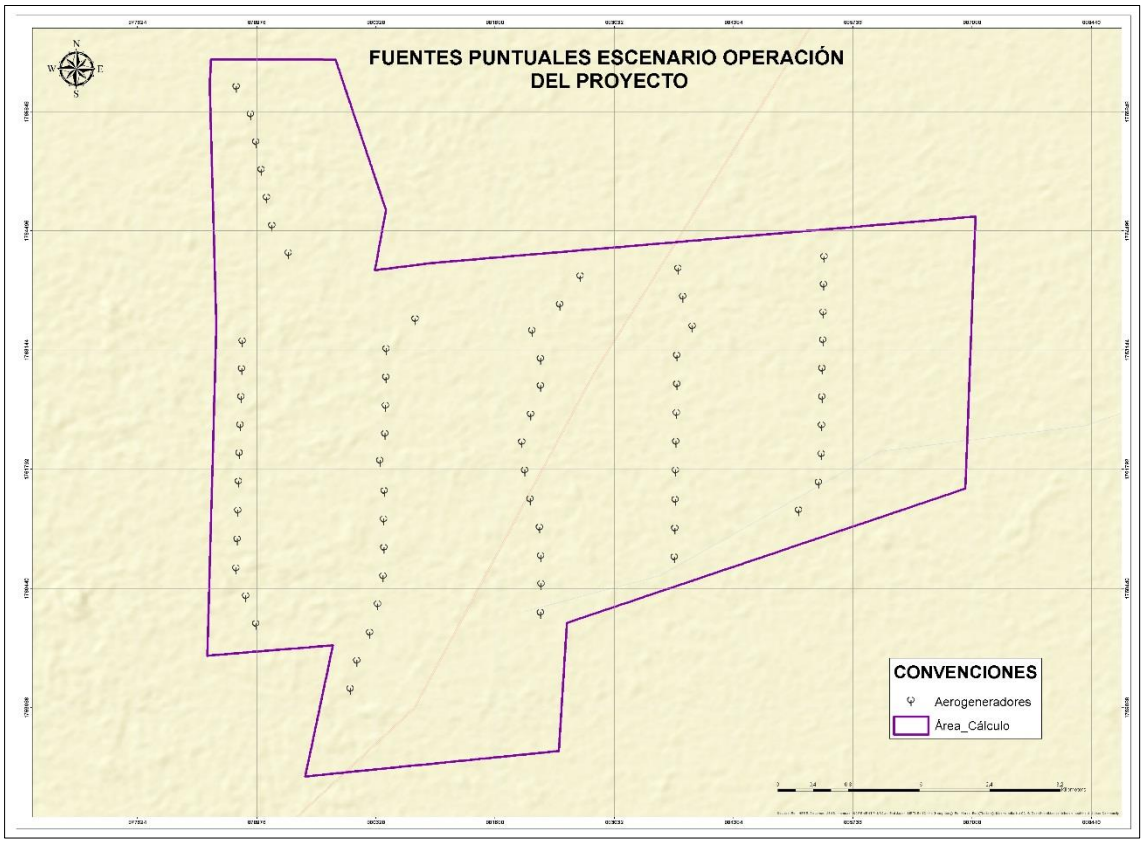


Figura 5-171. Fuentes puntuales operación del proyecto

Fuente: Renovatio 2017

.

5.1.8.4.2.5 *Modelación línea base*

5.1.8.4.2.5.1 Modelación de la línea base indicador LAEQD

Los resultados del modelo para el período diurno (incluyendo ordinarios y dominicales), muestran que los valores de la línea base no superan los 60 dB (A), los mayores aportes se presentan por el costado de la ranchería Araparen, donde el flujo vehicular es mayor. Según la Resolución 0627 del 07 de abril de 2006, el límite máximo permisible para el Sector C. Ruido intermedio Restringido, Subsector, Zonas con uso permitido industrial en el día es de 75 dB (A), de acuerdo a lo anterior el ruido que aporta el tráfico rodado en la zona de estudio no supera los umbrales de la Resolución 0627 del 07 de abril de 2006 (Figura 5-172).

También se concluye que para las estaciones Blanco y Jununtao, no existe una fuente de tráfico rodado cercana y por lo tanto los valores aportados por el modelo en estas estaciones es igual a 0. Finalmente se evidencia que la diferencia entre los aportes del modelo y el ruido ambiental se encuentran en un rango de entre 30 y 40 dB A de presión sonora, equivalente al ruido producido por el viento, la fauna y las actividades antrópicas como el pastoreo. A continuación, en la Tabla 5-141, se muestra la comparación entre los resultados del monitoreo del ruido ambiental y los obtenidos en la línea base para el período diurno:

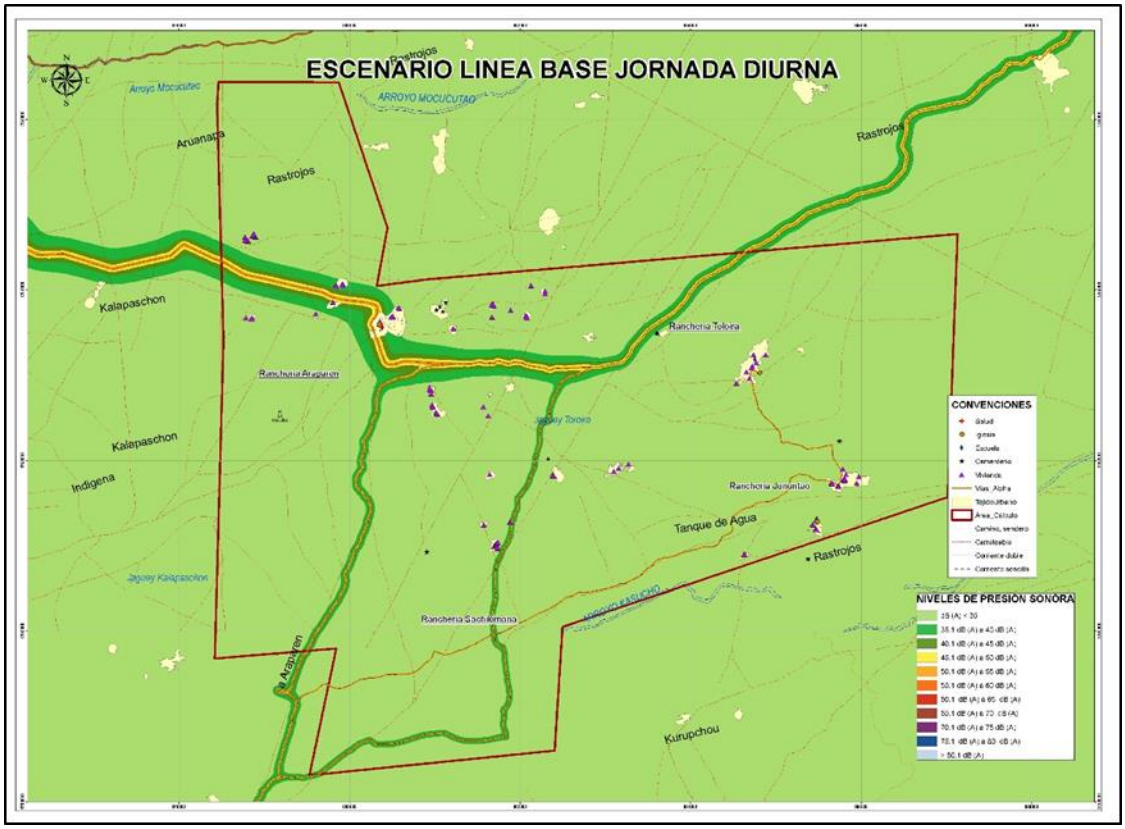


Figura 5-172. Resultados modelo de ruido diurno en la línea base

Fuente: Renovatio 2017

Tabla 5-141. Ruido ambiental vs Resultados del modelo (línea base diurno)

Punto	Mediciones Ruido ambiental día ordinario (dB A)	Mediciones Ruido ambiental día dominical (dB A)	Aportes modelo período diurno (dB A)	Ruido de Fondo día ordinario (dB A)	Ruido de Fondo día dominical (dB A)
Araparen	71,1	73,4	45,8	71,1	73,4
Toloira	69,5	68,6	10,2	69,5	68,6
Jununtao	66,9	71,6	0	66,9	71,6
Sachikimana	71	59	31,8	71,0	59,0
Blanco	76	64,8	0	76,0	64,8

Fuente: Renovatio 2017

5.1.8.4.2.5.2 Modelación de la línea base indicador LAEQN

Los resultados del modelo para el período nocturno (incluyendo ordinarios y dominicales), muestran que los niveles de presión sonora son menores de 50 dB(A), los valores más altos se presentan por la vía ubicada al costado NorOeste (NW), según la información de campo esta es la vía con mayor flujo vehicular en la zona, teniendo en cuenta que los valores permitidos de acuerdo al Sector C es de 70 dB, los aportes de la simulación no superan los límites permitidos. En los receptores Blanco y Jununtao no se presentan aportes de acuerdo a la simulación, esto obedece a que son los receptores más distantes de las vías (Tabla 5-142 y Figura 5-173).

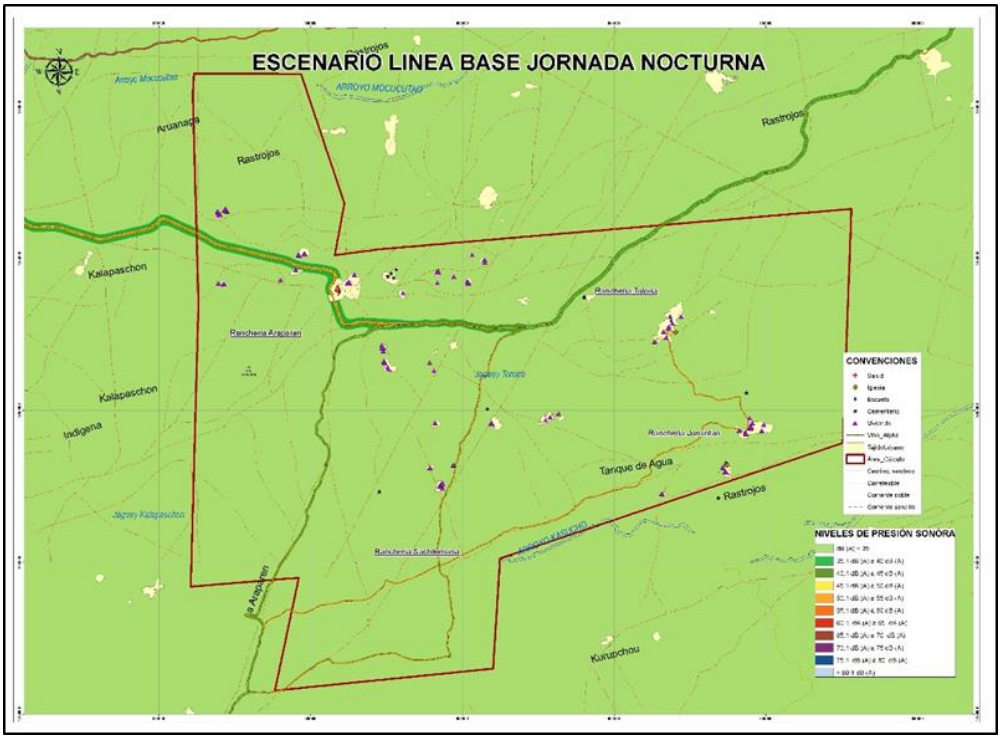


Figura 5-173. Resultados modelo ruido período nocturno en la línea base

Fuente: Renovatio 2017

Tabla 5-142. Ruido ambiental vs Resultados del modelo periodo nocturno (línea base)

Punto	Mediciones Ruido ambiental noche ordinario (dB A)	Mediciones Ruido ambiental noche dominical (dB A)	Aportes modelo período nocturno (dB A)	Ruido de Fondo noche ordinario (dB A)	Ruido de Fondo día dominical (dB A)
Araparen	44,7	51	38,4	44,7	51,0
Toloira	53,2	47,7	2,9	53,2	47,7
Jununtao	50,7	53	0	50,7	53,0
Sachikimana	50,9	53,5	24,4	50,9	53,5
Blanco	55	54,3	0	55,0	54,3

Fuente: Renovatio 2017

5.1.8.4.2.5.3 Indicador diurno-nocturno LDN línea base

Finalmente, el resultado que corresponde a los niveles de presión sonora promedio del día y la noche muestra un panorama general del fenómeno acústico que se presentaría antes de iniciar el proyecto eólico, es decir, los niveles de ruido no superarían los 35 dB (A), en las zonas donde se encuentran los habitantes de la zona, así como el nivel máximo de ruido alcanzado en este escenario de línea base, sería 55 dB (A) en inmediaciones de la vía de acceso por el costado NorOeste (NW). Con respecto a la comparación de los niveles de ruido, las estaciones Blanco y Jununtao, no presentan aportes de ruido, y en el resto de las estaciones ningún aporte supera el umbral establecido por la resolución 627 de 2007 (Figura 5-174 y Tabla 5-143).

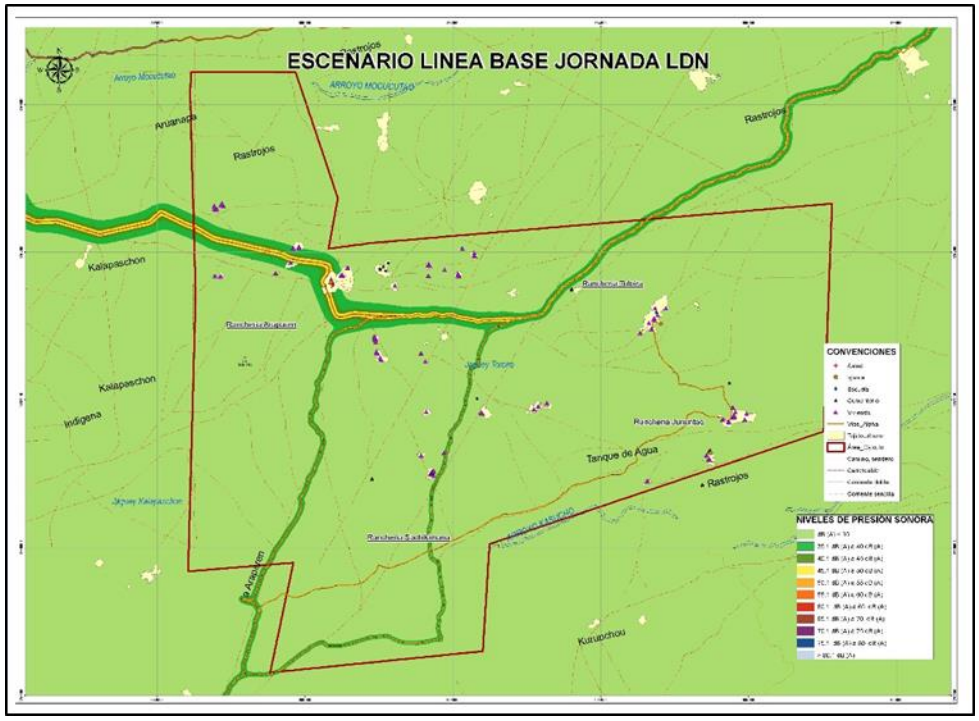


Figura 5-174. Resultados modelo ruido período diurno – nocturno (LDN) línea base

Fuente: Renovatio 2017

Tabla 5-143. Ruido ambiental vs Resultados del modelo periodo diurno - nocturno

Punto	Ruido ambiental día ordinario (dB A) LDN	Mediciones Ruido ambiental día dominical (dB A) LDN	Aportes modelo período diurno-nocturno (dB A) LDN	Ruido de Fondo día ordinario (dB A) LDN	Ruido de Fondo día ordinario (dB A) LDN
Araparen	68,83	71,23	44	68,8	71,2

Punto	Ruido ambiental día ordinario (dB A) LDN	Mediciones Ruido ambiental día dominical (dB A) LDN	Aportes modelo período diurno-nocturno (dB A) LDN	Ruido de Fondo día ordinario (dB A) LDN	Ruido de Fondo día ordinario (dB A) LDN
Toloira	67,83	66,50	8,4	67,8	66,5
Jununtao	65,25	69,67	0	65,2	69,7
Sachikimana	68,95	61,45	30	68,9	61,4
Blanco	73,90	64,60	0	73,9	64,6

Fuente: Renovatio 2017

5.1.8.4.2.6 *Modelación etapa de construcción*

5.1.8.4.2.6.1 Modelación en la etapa de construcción indicador LAEQD

En la Tabla 5-144 se presenta la comparación de los aportes de ruido del escenario de la línea base con respecto al escenario de construcción del proyecto en el periodo LAeqd. Estas comparaciones se realizaron en los puntos donde se realizaron los monitoreos de ruido ambiental las cuales indican los aumentos de los niveles de potencia sonora desde los 7 dB (A) hasta los 50,7 dB (A). De acuerdo a lo establecido por medio de la Resolución 0627 de 2006, para el día estos incrementos al igual que los aportes de ruido del escenario de construcción no serían mayores a 75 dB(A).

Tabla 5-144. Comparación de aportes de la línea base con el escenario ii (construcción) periodo LAeqd

Punto	Aportes modelo período diurno línea base [dB (A)]	Aportes modelo período diurno escenario ii [dB (A)]	Diferencias aritméticas [dB (A)]
Araparen	45,8	53,0	7,2
Toloira	10,2	52,0	41,8
Jununtao	-	50,7	50,7
Sachikimana	31,8	54,0	22,2
Blanco	-	23,8	23,8

Fuente: Renovatio 2017

Las actividades de construcción del proyecto con niveles de ruido >= a 75 dB (A) corresponden aproximadamente a 58 metros de ambos lados de la línea por donde se colocarán los aerogeneradores, fundaciones, columnas y la distribución del cableado subterráneo. De

acuerdo a los resultados de la simulación, dentro de esta curva no se presentan viviendas que puedan obtener niveles mayores a los permitidos por la resolución 627 de 2006. En la Figura 5-175 se presenta la propagación de ruido LAeqd de este escenario donde se puede observar la huella acústica que se puede presentar con las actividades planteadas a realizar.

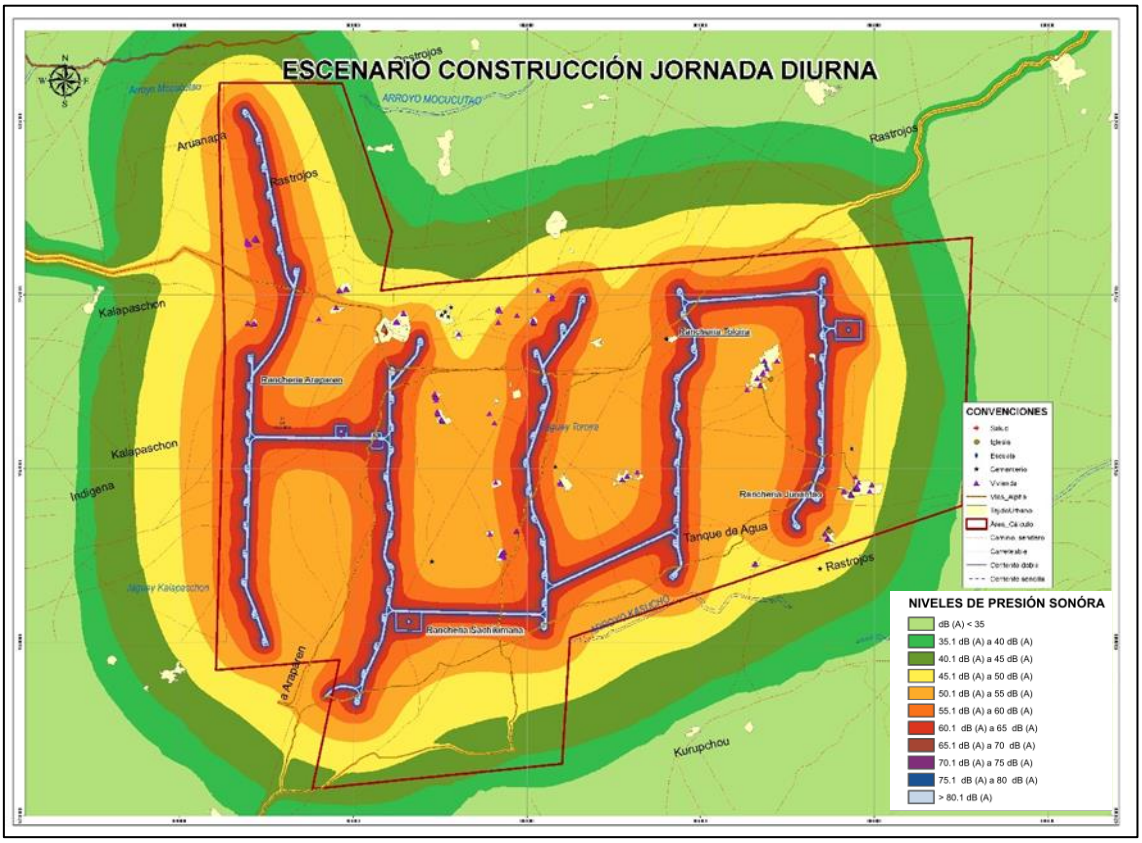


Figura 5-175. Isófona diurna escenario construcción proyecto

Fuente: Renovatio 2017

5.1.8.4.2.6.2 Modelación en la etapa de construcción indicador LAEQN

En la Tabla 5-145 se presenta la comparación de los aportes de ruido del escenario de la línea base con respecto al escenario de construcción de proyecto del periodo LAeqn.

Tabla 5-145. Comparación de aportes de la línea base con el escenario ii (construcción) periodo LAeqn

Punto	Aportes modelo período nocturno línea base [dB (A)]	Aportes modelo período nocturno escenario ii [dB (A)]	Diferencias aritméticas día dominical [dB (A)]
Araparen	38,4	38,4	-
Toloira	2,9	3,0	0,1

Punto	Aportes modelo período nocturno línea base [dB (A)]	Aportes modelo período nocturno escenario ii [dB (A)]	Diferencias aritméticas día dominical [dB (A)]
Jununtao	-	-	-
Sachikimana	24,4	24,4	-
Blanco	-	-	-

En la Figura 5-176 se muestra la propagación de ruido nocturna que se puede dar en el tiempo que se realice la construcción del proyecto. Los niveles de presión sonora >= 70 dB(A) se presentan a una distancia de hasta 7 metros alrededor de las áreas de las vías del proyecto, cableado, fundaciones, en las zonas donde se presentan asentamientos indígenas no superan los 45 dB (A) en este horario.

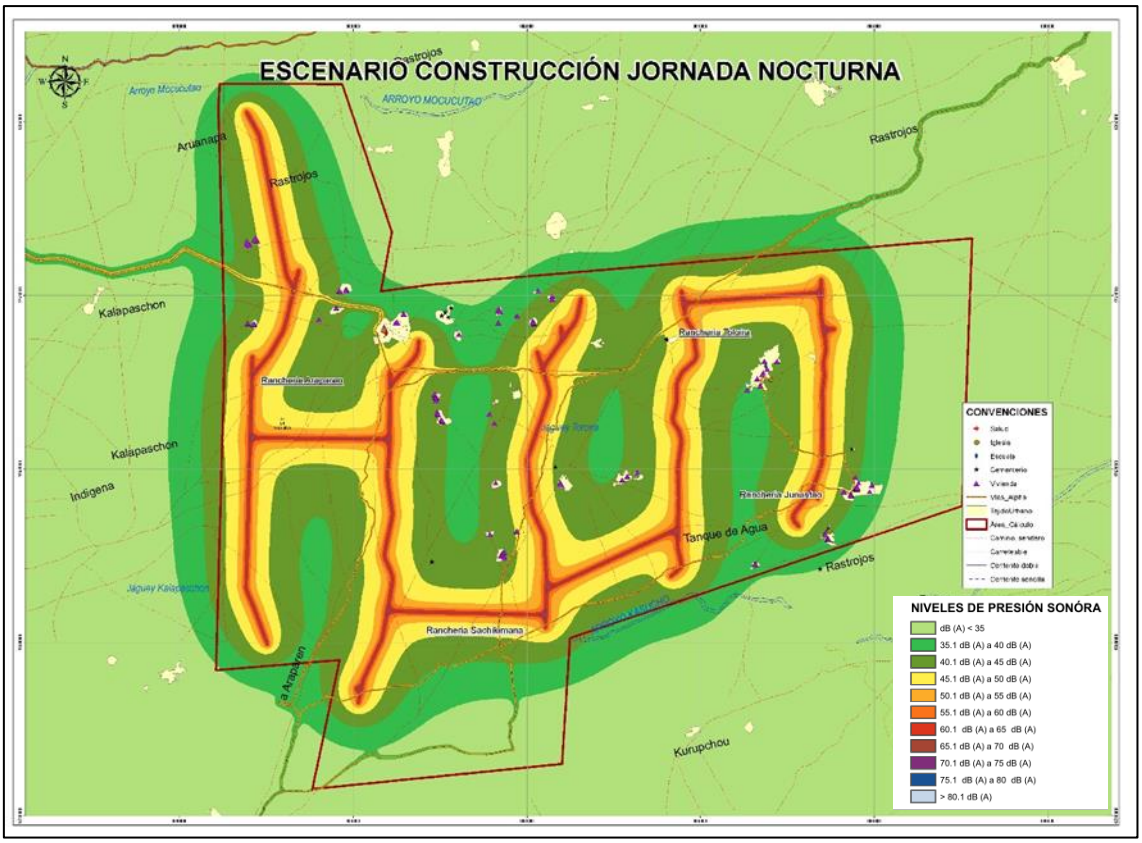


Figura 5-176. Isófona nocturna escenario construcción proyecto

Fuente: Renovatio 2017

5.1.8.4.2.6.3 Modelación en la etapa de construcción indicador diurno-nocturno LND

En la Tabla 5-146 se presenta la comparación de los aportes de ruido de la línea base con respecto al escenario construcción del proyecto periodo Ldn. Teniendo en cuenta que los

aportes de ruido en el periodo nocturno respecto al diurno no serán relevantes y que el indicador Ldn representa 10 decibeles adicionales para evaluar la susceptibilidad de las comunidades, la diferencia de los niveles Ldn que se presentarían con respeto a la línea base es igual a la diferencia de LAeqd. Como los aportes de ruido en la noche no tienen gran aporte, los valores de Ldn son menores que los de LAeqd.

Tabla 5-146. Comparación de aportes de la línea base con el escenario ii (construcción) periodo Ldn

Punto	Aportes modelo periodo Ldn línea base [dB (A)]	Aportes modelo período Ldn escenario ii [dB (A)]	Diferencias aritméticas día dominical [dB (A)]
Araparen	44,0	50,7	6,7
Toloira	8,4	49,6	41,2
Jununtao	-	48,3	48,3
Sachikimana	30,0	51,7	21,7
Blanco	-	21,5	21,5

Fuente: Renovatio 2017

En la Figura 5-177 se observa la propagación de ruido diurno – nocturno que se puede presentar por la construcción del proyecto. Los niveles de ruido mayores a 65 dB (A) llegarían hasta 76 metros aproximadamente de donde se realizarán las actividades de construcción, se usa este límite de acuerdo a lo recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS). El Ldn es utilizado para determinar la molestia vinculada a la exposición al ruido, este parámetro pretende dar una idea del nivel de ruido a lo largo de las 24 horas del día.

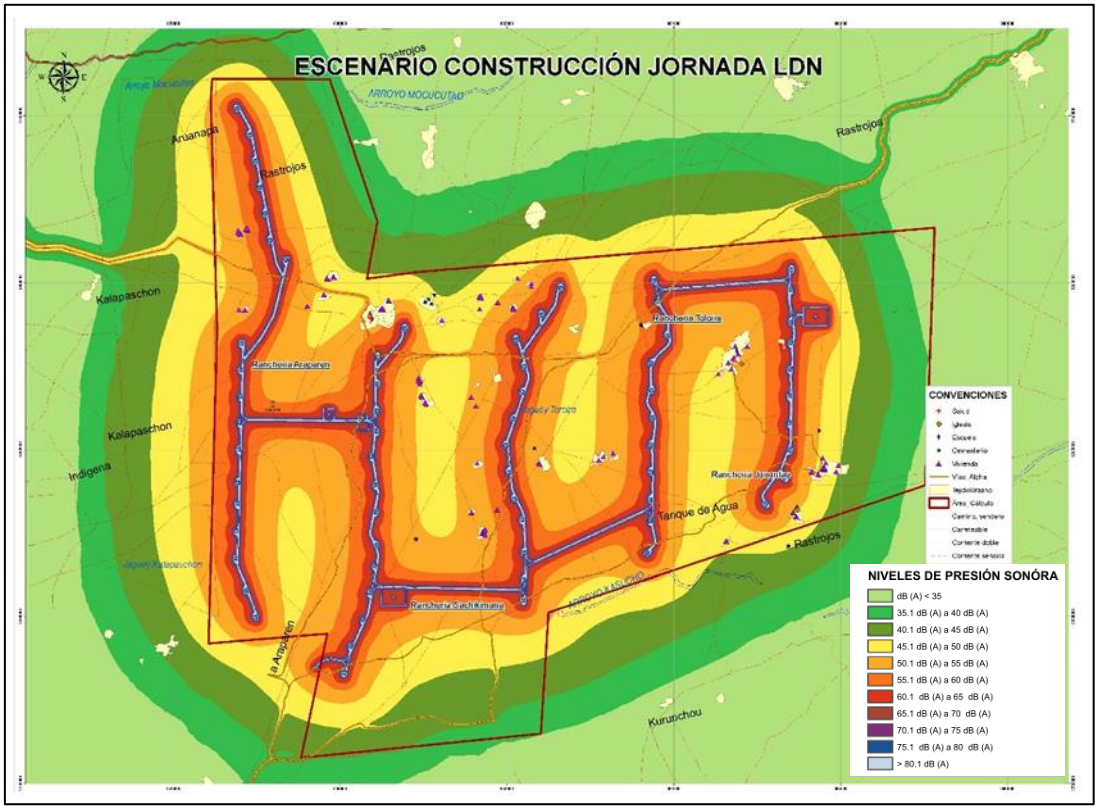


Figura 5-177. Isófona diurno nocturno escenario construcción proyecto

Fuente: Renovatio 2017

5.1.8.4.2.7 *Modelación de la etapa de operación*

5.1.8.4.2.7.1 Modelación de la etapa de operación indicador LAEQD

En la Tabla 5-147 se presenta la comparación de los aportes de ruido LAeqd de la línea base con respecto al escenario (iii) Operación del Proyecto. Las diferencias comprenderían desde 2,6 dB (A) hasta los 46,1 dB (A). De acuerdo a lo establecido por medio de la Resolución 0627 de 2006, en el día estos incrementos al igual que los aportes de ruido del escenario iii no serían mayores a los 55 dB(A).

Tabla 5-147. Comparación de aportes de la línea base con el escenario iii (operación) periodo LAeqd

Punto	Aportes modelo período diurno línea base [dB (A)]	Aportes modelo período diurno escenario iii [dB (A)]	Diferencias aritméticas [dB (A)]
Araparen	45,8	48,4	2,6
Toloira	10,2	44,6	34,4

Punto	Aportes modelo período diurno línea base [dB (A)]	Aportes modelo período diurno escenario iii [dB (A)]	Diferencias aritméticas [dB (A)]
Jununtao	-	46,1	46,1
Sachikimana	31,8	45,9	14,1
Blanco	-	23,7	23,7

Fuente: Renovatio 2017

En la etapa de operación del proyecto no se presentarán aportes mayores de 75 dB, límite máximo permitido para el sector C, zonas de uso industrial. En la Figura 5-178 se observa que los máximos niveles llegan hasta 65 dB (A) a una distancia de 35 metros aproximadamente desde cada aerogenerador, los asentamientos indígenas se encuentran en los niveles de presión sonora entre 40 y 50 dB (A).

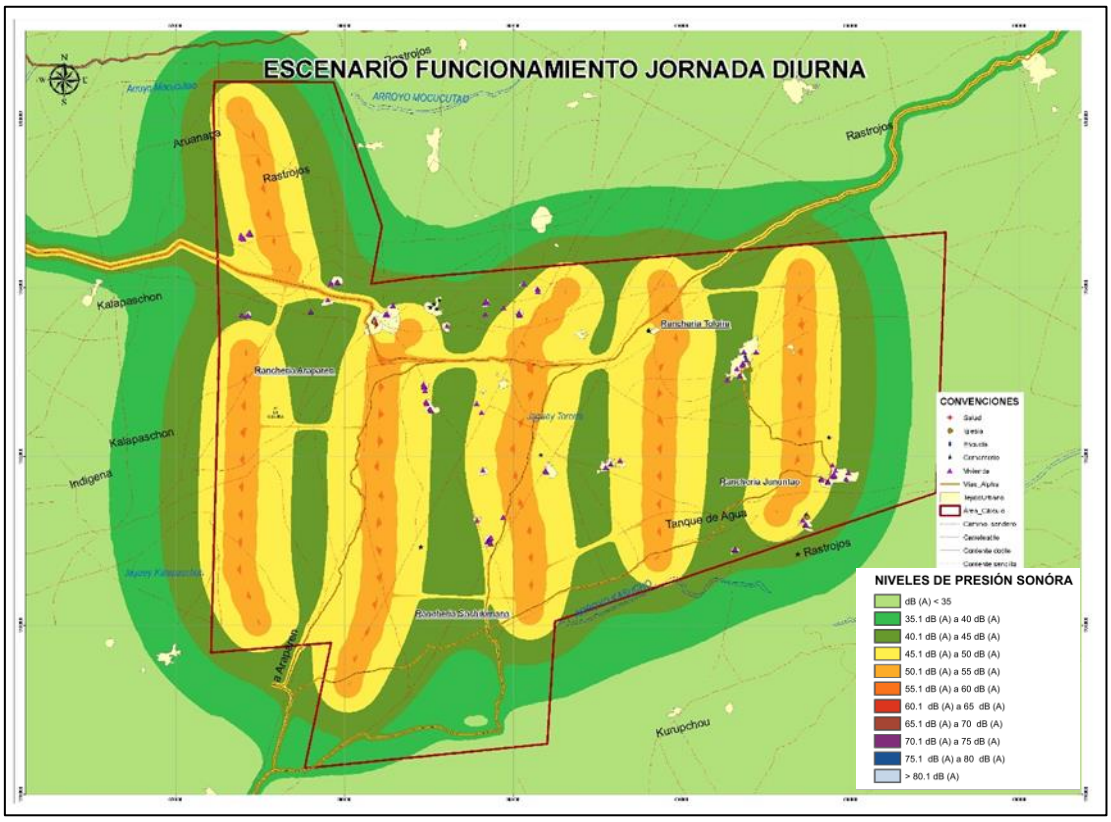


Figura 5-178. Isófona diurna escenario operación del proyecto

Fuente: Renovatio 2017

5.1.8.4.2.7.2 Modelación de la etapa de operación indicador LAEQN

En la Tabla 5-148 se presenta la comparación de los aportes de ruido LAeqn de la línea base con respecto al escenario (iii) Operación del Proyecto. Los incrementos comprenderían desde 7,6 dB (A) hasta 46,1 dB (A). De acuerdo a lo establecido por medio de la Resolución 0627 de 2006, estos incrementos al igual que los aportes de ruido del escenario iii para la noche no serían mayores de 50 dB(A).

Tabla 5-148. Comparación de aportes de la línea base con el escenario iii (operación) periodo LAeqn

Punto	Aportes modelo período nocturno línea base [dB (A)]	Aportes modelo período nocturno escenario iii [dB (A)]	Diferencias aritméticas [dB (A)]
Araparen	38,4	46,0	7,6
Toloira	2,9	44,6	41,7
Jununtao	-	46,1	46,1
Sachikimana	24,4	45,7	21,3
Blanco	-	23,7	23,7

Fuente: Renovatio 2017

En la etapa de operación horario nocturno no se presentarán niveles superiores a los 70 dB (A), de acuerdo a lo establecido por la resolución 627 de 2006 para Sector C, zona industrial. De acuerdo a los resultados de la simulación. En la Figura 5-179 se observa que los valores presentados no exceden los 65 dB, encontrándose a 30 metros aproximadamente de cada aerogenerador, los asentamientos indígenas presentaran aportes entre los 40 y 50 dB. Debido a que los aerogeneradores funcionan las 24 horas al día la huella de ruido en el día es similar a la de la noche.

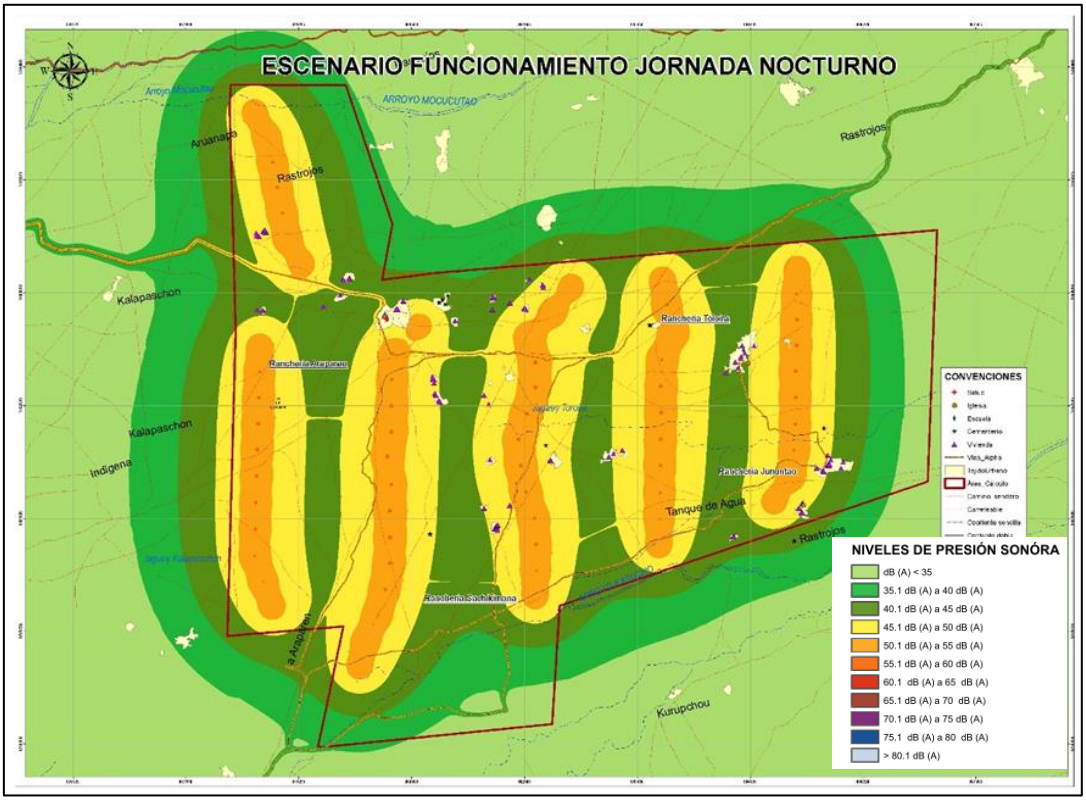


Figura 5-179. Isófona periodo nocturno escenario operación del proyecto

Fuente: Renovatio 2017

5.1.8.4.2.7.3 Modelación de la etapa de operación indicador diurno-nocturno LDN

En la Tabla 5-149 se presenta la comparación de los aportes de ruido de la línea base con respecto al escenario (iii) Operación del Proyecto para el indicador Ldn. Los niveles de ruido oscilarían entre 21,5 dB (A) hasta 51,47 dB (A) y diferencias aritméticas de 6,7 dB (A) hasta 48,3 dB (A). En la Figura 5-180 se puede observar la propagación de ruido del periodo diurno-nocturno que contiene la penalidad de 10 dB (A) para el periodo nocturno.

Tabla 5-149. Comparación de aportes de la línea base con el escenario iii (operación) periodo Ldn

Punto	Aportes modelo periodo Ldn línea base [dB (A)]	Aportes modelo período Ldn escenario iii [dB (A)]	Diferencias aritméticas día dominical [dB (A)]
Araparen	44,0	50,7	6,7
Toloira	8,4	49,6	41,2
Jununtao	-	48,3	48,3
Sachikimana	30,0	51,7	21,7

Punto	Aportes modelo periodo Ldn línea base [dB (A)]	Aportes modelo período Ldn escenario iii [dB (A)]	Diferencias aritméticas día dominical [dB (A)]
Blanco	-	21,5	21,5

Fuente: Renovatio 2017

De acuerdo a los resultados de la simulación (Ver Figura 5-180) los mayores niveles que pueden presentarse son de 65 dB (A), los cuales se presentan aproximadamente a 35 metros de cada aerogenerador, de acuerdo a lo anterior y teniendo en cuenta que este indicador permite determinar la molestia vinculada a la exposición al ruido, no se presentaran asentamientos indígenas en niveles superiores de 65 dB.

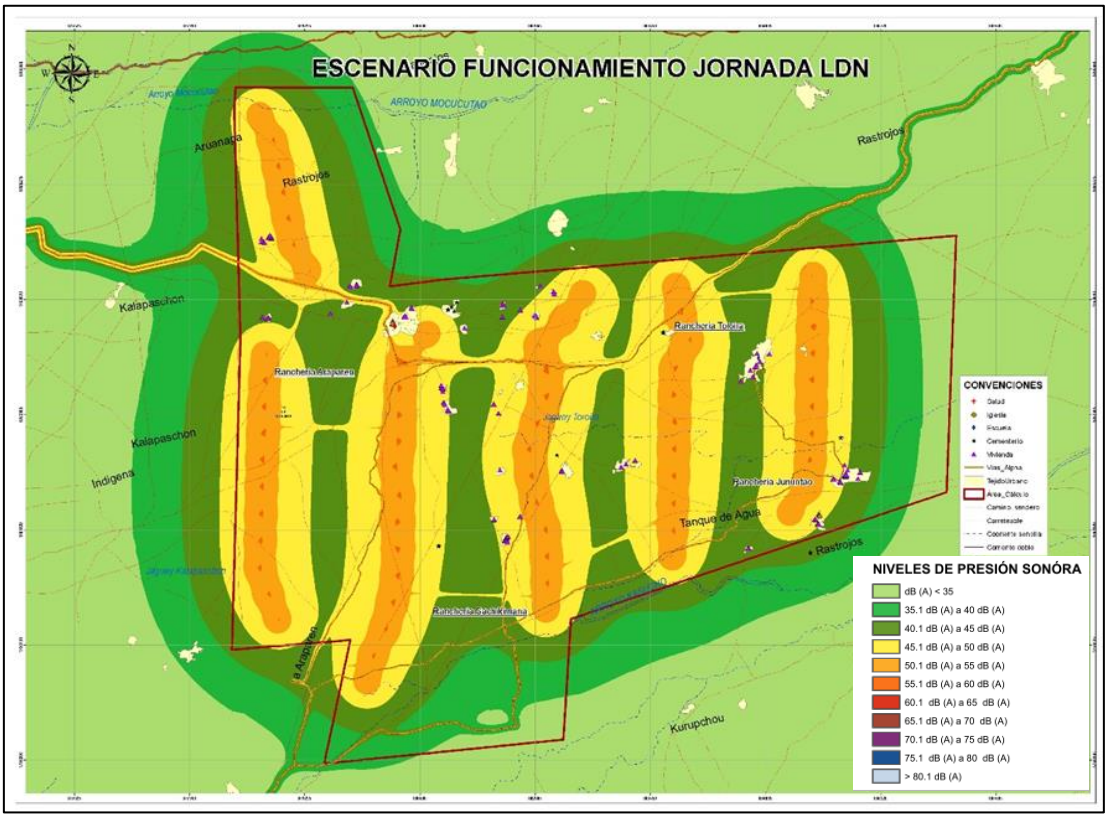


Figura 5-180. Isófona periodo diurno - nocturno escenario operación del proyecto

Fuente: Renovatio 2017

5.1.8.4.2.8 *Observaciones y conclusiones*

- Después de analizar los resultados del modelo de ruido para el escenario de la línea base para el proyecto Alpha, se puede concluir que ninguno de los indicadores evaluados superó los 60 dB (A) y que en algunas estaciones (Blanco y Jununtao) no existen fuentes cercanas de tráfico u otro tipo de fuentes que aporten al ruido en el

área del proyecto. Por el contrario, el ruido ambiental estuvo por encima de los resultados del modelo en todas las estaciones que se monitorearon. Las principales razones de esta apreciación consisten en que la zona es un área poco habitada, poco transitada (siendo esta la principal fuente de ruido), y no existen fuentes puntuales de ruido (industrias, discotecas, restaurantes, escenarios deportivos, entre otros) dentro de la zona de estudio, por lo cual, ninguno de los indicadores evaluados supera los umbrales establecidos por medio de la resolución 0627 de 7 abril de 2006. El ruido excedente con respecto a los aportes de modelo corresponde a diferentes actividades antrópicas (las cuales no fue posible identificar puntualmente) y a la dinámica de las condiciones naturales de entorno.

- En el escenario construcción del proyecto de acuerdo a los resultados de las simulaciones los aportes en los niveles de ruido mayores o iguales a 75 dB (A) en el día, se presentan en una distancia aproximadamente de 58 metros de ambos lados de la línea por donde se colocarán los aerogeneradores y la distribución del cableado subterráneo. Dentro de esta área no se presentan asentamientos indígenas; En el horario nocturno los niveles mayores de 70 dB(A)) se presentaran sobre las áreas de construcción y vías del proyecto, en los asentamientos indígenas según la simulación los niveles se presentarán por debajo de los 45 dB(A); En el horario diurno - nocturno los niveles de ruido mayores a 65 dB (A) llegarían hasta 76 metros aproximadamente de donde se realizarán las actividades de construcción, se usa este límite de acuerdo a lo recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS). El LDN es utilizado para determinar la molestia vinculada a la exposición al ruido, este parámetro pretende dar una idea del nivel de ruido a lo largo de las 24 horas del día.
- De acuerdo a los resultados del escenario (iii) que corresponde a la operación del proyecto, los aportes de ruido causados por los aerogeneradores para el periodo diurno y nocturno llegarían hasta los 65 dB a una distancia aproximada de 35 metros, para el periodo nocturno de 30 metros. No se representan exposiciones de ruido relevante donde se localizan viviendas y asentamientos con niveles de presión sonora entre 45 y 50 dB (A) aproximadamente. La altura de los aerogeneradores y el tipo de aspa dentada permiten la mayor mitigación de ruido en el entorno.