ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL
ÁREA DE DESARROLLO BUCARE

CAPÍTULO 3.2 MEDIO ABIÓTICO
3.2.7 Hidrogeología

S.G.I. S.A.S.
Consultoría e Ingeniería

3 CONTENIDO

3 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE PROYECTO 1
3.2 MEDIO ABIÓTICO 1
3.2.7 Hidrogeología 1
3.2.7.1 Marco hidrogeológico Regional 1
3.2.7.2 Contenido del informe de línea base local del componente hidrogeológico y obligaciones para el interesado (Modelo hidrogeológico conceptual) 4
3.2.7.3 Evaluación geológico-geofísica 5
3.2.7.3.1 Tomografías eléctricas 6
3.2.7.3.1.1 Tomografía 1 9
3.2.7.3.1.2 Tomografía 2 11
3.2.7.3.1.3 Tomografía 3 14
3.2.7.3.1.4 Tomografía 4 17
3.2.7.3.1.5 Tomografía 5 20
3.2.7.3.2 Sondeos magnetotelúricos (MT) 1
3.2.7.3.2.1 PERFIL MT01 7
3.2.7.3.2.2 PERFIL MT02 8
3.2.7.3.2.3 PERFIL MT03 9
3.2.7.3.2.4 PERFIL MT04 11
3.2.7.3.2.5 PERFIL MT05 12
3.2.7.3.2.6 PERFIL MT06 13
3.2.7.3.2.7 PERFIL MT07 15
3.2.7.3.2.8 PERFIL MT08 16
3.2.7.3.2.9 PERFIL MT09 18
3.2.7.3.3 Registros de pozos 20
Correlación estratigráfica 1 21
Correlación estratigráfica 2 24
3.2.7.4 Secciones sísmicas 26
3.2.7.5 Modelo de capas 28
3.2.7.6 Identificación de las unidades hidrogeológicas 30
3.2.7.6.1 Clasificación de las unidades hidrogeológicas aflorantes en el área de influencia 34
3.2.7.6.1.1 Unidades hidrogeológicas tipo A3 38
3.2.7.6.1.2 Unidades hidrogeológicas tipo A4 41
3.2.7.6.2 Unidades hidrogeológicas profundas presentes en el área de influencia 41

3.2.7.7 Inventario puntos de agua subterránea 43
3.2.7.7.1 Aljibes 49
3.2.7.7.2 Manantiales 86
3.2.7.7.3 Pozos 98
3.2.7.7.4 Piezómetros 104
3.2.7.7.5 Depurados 112
3.2.7.7.6 Otros Puntos 113
3.2.7.8 Caracterización hidráulica de los acuíferos 133
3.2.7.8.1 Información primaria 136
3.2.7.8.1.1 P01 138
3.2.7.8.1.2 P04 144
3.2.7.8.1.3 P10 150
3.2.7.8.1.4 AL47 156
3.2.7.8.1.5 AL86 163
3.2.7.8.2 Información secundaria 169
3.2.7.8.3 Análisis de resultados caracterización hidráulica de los acuíferos 173
3.2.7.9 Estimación de la recarga potencial 177
3.2.7.9.1 Cálculo de la recarga potencial 177
3.2.7.9.1.1 Fracción de lluvia interceptada por el follaje 178
3.2.7.9.1.2 Infiltración 181
3.2.7.9.1.3 Precipitación que infiltra mensualmente (Pi) 190
3.2.7.9.1.4 Balance de humedad 191
3.2.7.9.1.5 Recarga potencial 193
3.2.7.10 Determinación de las principales direcciones de flujo de agua subterránea 195
3.2.7.11 Zonas con potencial de recarga 201
3.2.7.11.1 Metodología 201
3.2.7.11.2 Potencial de recarga en el área de influencia 207
3.2.7.12 Zonas de recarga, tránsito y descarga 218
3.2.7.12.1 Interacción agua subterránea y agua superficial 219
3.2.7.13 Caracterización hidrogeoquímica 220
3.2.7.13.1 Información primaria 220
3.2.7.13.1.1 Puntos de agua subterránea monitoreados 220
3.2.7.13.1.2 Resultados caracterización hidrogeoquímica 223

3.2.7.13.1.2.1 Balance iónico 223
3.2.7.13.1.2.2 Análisis caracterización hidrogeoquímica 226
3.2.7.13.1.2.2.1 Unidad hidrogeológica A3 226
3.2.7.13.1.2.2.2 Unidad hidrogeológica A4 239
3.2.7.13.2 Información secundaria 242
3.2.7.14 Calidad del agua subterránea 247
3.2.7.14.1 Marco legal 248
3.2.7.14.2 Resultados información primaria 249
3.2.7.14.2.1 Aljibes 268
3.2.7.14.2.2 Manantiales 285
3.2.7.14.2.3 Pozos 301
3.2.7.14.2.4 Piezómetros 313
3.2.7.14.3 Parámetros In Situ 325
3.2.7.14.3.1 Aljibes 325
3.2.7.14.3.2 Manantiales 338
3.2.7.14.3.3 Pozos 345
3.2.7.14.3.4 Piezómetros 351
3.2.7.14.4 Resultados información secundaria 357
3.2.7.15 Vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación por el método DRASTIC 363
3.2.7.16 Modelo hidrogeológico conceptual 388

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1 Coordenadas de las tomografías eléctricas realizadas en campo 6
Tabla 3-2 Rangos de resistividad en las tomografías eléctricas y sus respectivos materiales asociados 8
Tabla 3-3 Coordenadas sondeos magnetotelúricos realizados en el área de influencia fisicobiótica 1
Tabla 3-4 Perfiles magnetotelúricos realizados en el área de influencia fisicobiótica 3
Tabla 3-5 Rangos de resistividad eléctrica en los MT y sus respectivos materiales asociados 5
Tabla 3-6 Coordenadas de los registros de pozo 20
Tabla 3-7 Modelo de capas construido para el área de influencia 30
Tabla 3-8 Clasificación general de las Unidades Hidrogeológicas 33
Tabla 3-9 Unidades geológicas aflorantes en el área de influencia fisicobiótica 34

Tabla 3-10 Unidades hidrogeológicas aflorantes en el área de estudio 36
Tabla 3-11 Áreas y porcentajes de las unidades hidrogeológicas aflorantes en el área de estudio 36
Tabla 3-12 Clasificación de las unidades hidrogeológicas profundas presentes en el área de estudio. 41
Tabla 3-13 Fuentes de información secundaria para el inventario de puntos de agua subterránea. 44
Tabla 3-14 Distribución de los usos del agua en el área de influencia 48
Tabla 3-15 Aljibes inventariados 54
Tabla 3-16 Manantiales inventariados 89
Tabla 3-17 Pozos inventariados 100
Tabla 3-18 Piezómetros inventariados 106
Tabla 3-19 Puntos de agua subterránea de información secundaria descartados. 112
Tabla 3-20 Puntos hidrogeológicos no verificados 115
Tabla 3-21 Calificación estimativa de los valores de transmisividad 133
Tabla 3-22 Calificación estimativa de los valores de conductividad hidráulica 133
Tabla 3-23 Valores de permeabilidad típicos de algunas rocas y sedimentos 134
Tabla 3-24 Valores de coeficiente de almacenamiento según el tipo de material 134
Tabla 3-25 Productividad de un acuífero en función de la capacidad específica 135
Tabla 3-26 Coordenadas de las pruebas de bombeo – Información primaria 137
Tabla 3-27 Características de la prueba de bombeo realizada en el pozo P01 139
Tabla 3-28 Parámetros hidráulicos estimados a partir de la etapa de bombeo del pozo P01 141
Tabla 3-29 Parámetros hidráulicos estimados a partir de la etapa de recuperación del pozo P01 142
Tabla 3-30 Características de la prueba de bombeo realizada en el pozo P04 145
Tabla 3-31 Parámetros hidráulicos estimados a partir de la etapa de bombeo del pozo P04 147
Tabla 3-32 Parámetros hidráulicos estimados a partir de la etapa de recuperación del pozo P04 148
Tabla 3-33 Características de la prueba de bombeo realizada en el pozo P10 150
Tabla 3-34 Parámetros hidráulicos estimados a partir de la etapa de bombeo del pozo P10 153
Tabla 3-35 Parámetros hidráulicos estimados a partir de la etapa de recuperación del pozo P10 154
Tabla 3-36 Características de la prueba de bombeo realizada en el aljibe AL47 157
Tabla 3-37 Parámetros hidráulicos estimados a partir de la etapa de bombeo del aljibe AL47 .. 160

Tabla 3-38 Parámetros hidráulicos estimados a partir de la etapa de recuperación del aljibe AL47 161
Tabla 3-39 Características de la prueba de bombeo realizada en el aljibe AL86 163
Tabla 3-40 Parámetros hidráulicos estimados a partir de la etapa de bombeo del aljibe AL86 .. 166
Tabla 3-41 Parámetros hidráulicos estimados a partir de la etapa de recuperación del aljibe AL86 167
Tabla 3-42 Características de los pozos profundos – Pruebas de bombeo información secundaria 169
Tabla 3-43 Características de las pruebas de bombeo en pozos profundos - Información secundaria 170
Tabla 3-44 Parámetros hidráulicos del Miembro Superior de la Formación Guayabo - Información secundaria 172
Tabla 3-45 Parámetros hidráulicos estimados para los niveles acuíferos someros 175
Tabla 3-46 Coberturas del área de estudio 180
Tabla 3-47 Ubicación de las calicatas por unidad de suelo (UCS) 182
Tabla 3-48 Características físicas de los puntos de suelos analizados 184
Tabla 3-49 Valores de Kfc obtenidos de la UCS 185
Tabla 3-50 Valores sugeridos para la fracción Kp y Kv según Schosinsky y Losilla (2000) 186
Tabla 3-51 Profundidad de raíces de diferentes coberturas según Grassi (1976) 191
Tabla 3-52 Puntos de agua subterránea utilizados para el modelo de dirección de flujo 196
Tabla 3-53 Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según la pendiente 202
Tabla 3-54 Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según la textura del suelo 202
Tabla 3-55 Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el tipo de roca 203
Tabla 3-56 Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el porcentaje de cobertura vegetal 204
Tabla 3-57 Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el uso del suelo 204
Tabla 3-58 Categorías del potencial de recarga hídrica y su respectivo rango 205
Tabla 3-59 Ponderación del tipo de roca en el área de influencia 207
Tabla 3-60 Ponderación del tipo de suelo en el área de influencia 209
Tabla 3-61 Ponderación de la cobertura vegetal en el área de influencia 212
Tabla 3-62 Ponderación de la pendiente en el área de influencia 214
Tabla 3-63 Ponderación del uso del suelo en el área de influencia 215
Tabla 3-64 Relación entre el potencial de recarga y las zonas de recarga y tránsito 218

Tabla 3-65 Puntos hidrogeológicos seleccionados para el monitoreo hidrogeoquímico y microbiológico del agua subterránea 221
Tabla 3-67 Balance iónico muestras de agua subterránea monitoreadas 224
Tabla 3-68 Pozos monitoreados información secundaria 243
Tabla 3-69 Limites permisibles establecidos en la normatividad para los usos del agua 249
Tabla 3-70 Calidad de agua de los aljibes monitoreados 251
Tabla 3-71 Calidad de agua de los aljibes monitoreados 255
Tabla 3-72 Calidad de agua de los manantiales monitoreados 259
Tabla 3-73 Calidad de agua de los pozos monitoreados 262
Tabla 3-74 Calidad de agua de los piezómetros monitoreados 265
Tabla 3-75 Aljibes seleccionados para definir la calidad del agua subterránea 268
Tabla 3-76 Manantiales seleccionados para definir la calidad del agua subterránea 285
Tabla 3-77 Pozos seleccionados para definir la calidad del agua subterránea 301
Tabla 3-78 Piezómetros seleccionados para definir la calidad del agua subterránea 313
Tabla 3-79 Parámetros in situ en aljibes 325
Tabla 3-80 Manantiales seleccionados para definir la calidad del agua subterránea 338
Tabla 3-81 Pozos seleccionados para el monitoreo hidrogeoquímico y microbiológico del agua subterránea 345
Tabla 3-82 Parámetros in situ en piezómetros de agua subterránea 351
Tabla 3-83. Resultados calidad de agua información secundaria de cuatro (4) pozos de agua subterránea - febrero y marzo 2024 358
Tabla 3-84 Valoración de los parámetros empleados en el método DRASTIC para el cálculo de la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación 365
Tabla 3-85 Factores de ponderación y rangos de los parámetros empleados en el método DRASTIC para el cálculo de la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación 368
Tabla 3-86 Valoración del parámetro D “Profundidad del nivel de agua” – Método DRASTIC 369
Tabla 3-87 Valoración del parámetro R “Recarga neta” – Método DRASTIC 374
Tabla 3-88 Valoración del parámetro A litología del acuífero – Método DRASTIC 376
Tabla 3-89 Valor asignado a las unidades de suelo (Parámetro S) - Método DRASTIC 378
Tabla 3-90 Valoración del parámetro T Topografía – Método DRASTIC 380
Tabla 3-91 Valoración naturaleza de la zona no saturada, Parámetro I – Método DRASTIC 382
Tabla 3-92 Valoración de la conductividad hidráulica, parámetro C – Método DRASTIC 384
Tabla 3-93 Grados de vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación – Método DRASTIC . 386
Tabla 3-94 Vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación en el área de influencia 387

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3-1 Ubicación de la zona de estudio en el mapa de provincias hidrogeológicas de Colombia3
Figura 3-2 Ubicación Área de Desarrollo Bucare en el SAP3.1 4
Figura 3-3 Ubicación de las tomografías eléctricas 7
Figura 3-4 Tomografía eléctrica 1 9
Figura 3-5 Tomografía eléctrica 1 interpretada 11
Figura 3-6 Tomografía eléctrica 2 12
Figura 3-7 Tomografía eléctrica 2 interpretada 14
Figura 3-8 Tomografía eléctrica 3 15
Figura 3-9 Tomografía eléctrica 3 interpretada 17
Figura 3-10 Tomografía eléctrica 4 18
Figura 3-11 Tomografía eléctrica 4 interpretada 20
Figura 3-12 Tomografía eléctrica 5 21
Figura 3-13 Tomografía eléctrica 5 interpretada 23
Figura 3-14 Ubicación de los sondeos magnetotelúricos 3
Figura 3-15 Ubicación de los perfiles magnetotelúricos 5
Figura 3-16 Perfil MT 1 7
Figura 3-17 Perfil MT 2 8
Figura 3-18 Perfil MT 3 10
Figura 3-19 Perfil MT 4 11
Figura 3-20 Perfil MT 5 12
Figura 3-21 Perfil MT 6 14
Figura 3-22 Perfil MT 7 15
Figura 3-23 Perfil MT 8 17
Figura 3-24 Perfil MT 9 18
Figura 3-25 Localización de los registros de pozo 21
Figura 3-26 Distribución espacial de la correlación estratigráfica 1 22
Figura 3-27 Correlación estratigráfica 1 23
Figura 3-28 Distribución espacial de la correlación estratigráfica 2 25
Figura 3-29 Correlación Estratigráfica 2 26

Figura 3-30 Sección sísmica 1 – Dirección SW - NE 27
Figura 3-31 Sección sísmica 2 – Dirección NW - SE 28
Figura 3-32 Modelo de Capas 3D 29
Figura 3-33 Tipos de acuiferos 32
Figura 3-34 Unidades hidrogeológicas aflorantes en el área de estudio 37
Figura 3-35 Ubicación inventario de puntos de agua subterránea de información secundaria 45
Figura 3-36 Ubicación de los puntos de agua inventariados 47
Figura 3-37 Tipos de puntos de agua subterránea identificados 48
Figura 3-38 Distribución porcentual de los usos del agua subterránea 49
Figura 3-39 Ubicación de los aljibes inventariados en el Área de Desarrollo Bucare 50
Figura 3-40 Materiales de revestimiento utilizados en la construcción de los aljibes 51
Figura 3-41 Mecanismos de extracción de agua subterránea 52
Figura 3-42 Usos del agua subterránea en los aljibes inventariados 53
Figura 3-43 Ubicación de los manantiales inventariados en el Área de Desarrollo Bucare 86
Figura 3-44 Usos del agua en manantiales 88
Figura 3-45 Ubicación de los pozos inventariados en el Área de Desarrollo Bucare 98
Figura 3-46 Usos del agua de pozos 99
Figura 3-47 Ubicación de los piezómetros inventariados en el Área de Desarrollo Bucare 104
Figura 3-48 Tipos de puntos de agua subterránea en el inventario de información secundaria Área de Desarrollo Bucare 113
Figura 3-49 Usos de puntos agua subterránea del inventario de información secundaria de Área de Desarrollo Bucare 114
Figura 3-50 Cono de influencia generado al bombear 136
Figura 3-51 Ubicación pruebas de bombeo información primaria 138
Figura 3-52 Comportamiento del pozo P01 durante la prueba de bombeo 140
Figura 3-53 Comportamiento del pozo P01 durante la etapa de bombeo 141
Figura 3-54 Comportamiento del pozo P01 durante la etapa de recuperación 142
Figura 3-55 Radio de influencia generado en la prueba de bombeo del pozo P01 144
Figura 3-56 Comportamiento del pozo P04 durante la prueba de bombeo 146
Figura 3-57 Comportamiento del pozo P04 durante la etapa de bombeo 147
Figura 3-58 Comportamiento del pozo P04 durante la etapa de recuperación 148
Figura 3-59 Radio de influencia generado en la prueba de bombeo del pozo P04 149
Figura 3-60 Comportamiento del pozo P10 durante la prueba de bombeo 152

Figura 3-61 Comportamiento del pozo P10 durante la etapa de bombeo 153
Figura 3-62 Comportamiento del pozo P10 durante la etapa de recuperación 154
Figura 3-63 Radio de influencia generado en la prueba de bombeo del pozo P10 155
Figura 3-64 Comportamiento del aljibe AL47 durante la prueba de bombeo 158
Figura 3-65 Comportamiento del aljibe AL 47 durante la etapa de bombeo 159
Figura 3-66 Comportamiento del aljibe AL47 durante la etapa de recuperación 160
Figura 3-67 Radio de influencia generado en la prueba de bombeo del aljibe AL47 162
Figura 3-68 Comportamiento del aljibe AL86 durante la prueba de bombeo 165
Figura 3-69 Comportamiento del aljibe AL86 durante la etapa de bombeo 166
Figura 3-70 Comportamiento del aljibe AL86 durante la etapa de recuperación 167
Figura 3-71 Radio de influencia generado en la prueba de bombeo del aljibe AL86 168
Figura 3-72 Ubicación pruebas de bombeo - Información secundaria 170
Figura 3-73 Precipitación media mensual y retención 178
Figura 3-74 Mapa de coberturas 179
Figura 3-75 Retención de lluvia en el follaje (P-Ret) Mensual 181
Figura 3-76 Localización de los puntos de muestreo de suelos 183
Figura 3-77 Velocidad de infiltración básica (mm/hr) 185
Figura 3-78 Coeficiente de infiltración por textura de suelo (Kfc) 186
Figura 3-79 Coeficiente de pendiente (Kp) 188
Figura 3-80 Coeficiente de vegetación (Kv) 188
Figura 3-81 Coeficiente de infiltración (Ci) 190
Figura 3-82 Precipitación que infiltra mensualmente 191
Figura 3-83 Evapotranspiración mensual 193
Figura 3-84 Recarga potencial mensual 194
Figura 3-85 Recarga potencial anual 195
Figura 3-86 Direcciones preferenciales de flujo de agua subterránea. 200
Figura 3-87 Posibilidad de recarga en el área de influencia según el tipo de roca 208
Figura 3-88 Posibilidad de recarga en el área de influencia según el tipo de suelo 211
Figura 3-89 Posibilidad de recarga en el área de influencia según la cobertura vegetal 213
Figura 3-90 Posibilidad de recarga en el área de influencia según el grado de pendiente 214
Figura 3-91 Posibilidad de recarga en el área de influencia según el uso del suelo 216

Figura 3-92 Distribución espacial del potencial de recarga de los acuíferos en el área de influencia estimado en el presente proyecto 217
Figura 3-93 Zonas de recarga, tránsito y descarga 219
Figura 3-94 Ubicación de los puntos de agua subterránea monitoreados 222
Figura 3-95 Diagramas de Stiff de los aljibes que captan la unidad A3 227
Figura 3-96 Diagramas de Stiff de los manantiales que captan la unidad A3 229
Figura 3-97 Diagramas de Stiff de los pozos que captan la unidad hidrogeológica A3 229
Figura 3-98 Diagramas de Stiff de los piezómetros que captan la unidad hidrogeológica A3 230
Figura 3-99 Diagramas de Piper de aljibes – Unidad hidrogeológica A3 232
Figura 3-100 Diagramas de Piper – Manantiales que captan la unidad A3 233
Figura 3-101 Diagramas de Piper – Pozos que captan la unidad A3 234
Figura 3-102 Diagramas de Piper – Piezómetros que captan la unidad A3 235
Figura 3-103 Diagrama de Mifflin – Aljibes que captan la unidad A3 236
Figura 3-104 Diagrama de Mifflin – Manantiales que captan la unidad A3 237
Figura 3-105 Diagrama de Mifflin – Pozos que captan la unidad A3 238
Figura 3-106 Diagrama de Mifflin – Piezómetros que captan la unidad A3 239
Figura 3-107 Diagramas de Stiff - Aljibes que captan la unidad A4 240
Figura 3-108 Diagramas de Piper – Aljibes que captan la unidad A4 241
Figura 3-109 Diagrama de Mifflin – Aljibes unidad hidrogeológica A4 242
Figura 3-110 Ubicación pozos monitoreados – Información secundaria 244
Figura 3-111 Diagrama de Stiff pozos profundos – Información secundaria 245
Figura 3-112 Diagramas de Piper pozos profundos – Información secundaria 246
Figura 3-113. Diagrama de Mifflin pozos profundos – Información secundaria 247
Figura 3-114 Valor de pH registrado en los puntos hidrogeológicos - aljibes 269
Figura 3-115 Comportamiento de la temperatura en los aljibes 270
Figura 3-116 Comportamiento del oxígeno en los aljibes 271
Figura 3-117 Comportamiento de la conductividad en los aljibes 272
Figura 3-118 Comportamiento de acidez en los aljibes 273
Figura 3-119 Comportamiento del calcio en agua en los aljibes 274
Figura 3-120 Concentraciones de coliformes totales en los aljibes 275
Figura 3-121 Concentraciones de coliformes termotolerantes en los aljibes 276
Figura 3-122 Comportamiento de la dureza en los aljibes 277

Figura 3-123 Concentración de magnesio en los aljibes 278
Figura 3-124 Concentración de nitrógeno amoniacal en los aljibes 279
Figura 3-125 Concentración de potasio en los aljibes 280
Figura 3-126 Concentración de sodio en los aljibes 281
Figura 3-127 Comportamiento de los sólidos disueltos totales en los aljibes 281
Figura 3-128 Comportamiento de los sólidos disueltos totales en los aljibes 282
Figura 3-129 Comportamiento del Cromo en los aljibes 283
Figura 3-130 Comportamiento del pH en los manantiales 286
Figura 3-131 Comportamiento de la temperatura en los manantiales 287
Figura 3-132 Comportamiento del oxígeno disuelto en los manantiales 288
Figura 3-133 Comportamiento de la conductividad en los manantiales 289
Figura 3-134 Comportamiento de la acidez en los manantiales 290
Figura 3-135 Concentraciones de coliformes totales en los manantiales 291
Figura 3-136 Concentraciones de coliformes termotolerantes en los manantiales 292
Figura 3-137 Concentraciones de nitrógeno amoniacal en los manantiales 293
Figura 3-138 Concentraciones de potasio en agua en los manantiales 294
Figura 3-139 Comportamiento de los sólidos disueltos totales en los manantiales 295
Figura 3-140 Comportamiento de los sólidos totales en los manantiales 296
Figura 3-141 Comportamiento del sodio en agua en los manantiales 297
Figura 3-142 Comportamiento del hierro en agua en los manantiales 299
Figura 3-143 Comportamiento del manganeso en los manantiales 300
Figura 3-144 Comportamiento del níquel en los manantiales 301
Figura 3-145 Comportamiento del pH los pozos 302
Figura 3-146 Comportamiento de la temperatura en los pozos 303
Figura 3-147 Comportamiento del oxígeno disuelto en los pozos 304
Figura 3-148 Comportamiento de la conductividad en los pozos 304
Figura 3-149 Comportamiento de la acidez en los pozos 305
Figura 3-150 Concentraciones de coliformes totales en los pozos 306
Figura 3-151 Concentraciones de coliformes termotolerantes en los pozos 307
Figura 3-152 Concentración de nitrógeno amoniacal en los pozos 308
Figura 3-153 Comportamiento del potasio en los pozos 309
Figura 3-154 Comportamiento del sodio en los pozos 310

Figura 3-155 Comportamiento de los sólidos disueltos totales en los pozos 311
Figura 3-156 Comportamiento de los sólidos totales en los pozos 311
Figura 3-157 Comportamiento del Cromo en los pozos 312
Figura 3-158 Comportamiento el pH los piezómetros..... 314
Figura 3-159 Comportamiento de la temperatura en los piezómetros..... 315
Figura 3-160 Comportamiento del oxígeno disuelto en los piezómetros..... 316
Figura 3-161 Comportamiento de la conductividad en los piezómetros 317
Figura 3-162 Comportamiento de la acidez en los piezómetros..... 317
Figura 3-163 Concentraciones de coliformes totales en los piezómetros 318
Figura 3-164 Concentraciones de coliformes termotolerantes en los piezómetros..... 319
Figura 3-165 Concentración de nitrógeno amoniacal en los piezómetros..... 320
Figura 3-166 Comportamiento del potasio en los piezómetros 321
Figura 3-167 Comportamiento del sodio en los piezómetros 322
Figura 3-168 Comportamiento de los sólidos disueltos totales en los piezómetros 323
Figura 3-169 Comportamiento de los sólidos totales en los piezómetros 323
Figura 3-170 Comportamiento de pH en los aljibes..... 330
Figura 3-171 Comportamiento de la temperatura en los aljibes 331
Figura 3-172 Comportamiento del oxígeno disuelto en aljibes..... 333
Figura 3-173 Comportamiento de la conductividad en aljibes 334
Figura 3-174 Comportamiento del oxígeno disuelto en aljibes..... 336
Figura 3-175 Comportamiento de sólidos disueltos totales en aljibes..... 338
Figura 3-176 Comportamiento pH en manantiales 340
Figura 3-177 Comportamiento de la temperatura en manantiales 341
Figura 3-178 Comportamiento del oxígeno disuelto en manantiales..... 342
Figura 3-179 Comportamiento de la conductividad eléctrica en manantiales 343
Figura 3-180 Comportamiento del potencial de óxido-reducción en manantiales..... 344
Figura 3-181 Comportamiento de sólidos disueltos totales en manantiales 345
Figura 3-182 Comportamiento del pH en pozos 347
Figura 3-183 Comportamiento de la temperatura en pozos 348
Figura 3-184 Comportamiento del oxígeno disuelto en pozos 348
Figura 3-185 Comportamiento de la conductividad eléctrica en pozos 349
Figura 3-186 Comportamiento del potencial de óxido-reducción en pozos..... 350

Figura 3-187 Comportamiento de los sólidos disueltos totales en pozos 351
Figura 3-188 Comportamiento del pH en piezómetros 353
Figura 3-189 Comportamiento de la temperatura en piezómetros 354
Figura 3-190 Comportamiento del oxígeno disuelto en piezómetros 355
Figura 3-191 Comportamiento de la conductividad eléctrica en piezómetros 355
Figura 3-192 Comportamiento del potencial de óxido-reducción en piezómetros 356
Figura 3-193 Comportamiento de los sólidos disueltos totales en piezómetros 357
Figura 3-194. Valores de pH registrados en los pozos del monitoreo realizado en 2024 361
Figura 3-195. Valores de color registrados en los pozos profundos – Información secundaria 362
Figura 3-196. Valores de cobre registrados en los pozos profundos – Información secundaria 363
Figura 3-197 Variables consideradas para estimar la vulnerabilidad de los acuíferos por el método DRASTIC 365
Figura 3-198 Profundidad del nivel de agua subterránea – Método DRASTIC 373
Figura 3-199 Recarga neta – Método DRASTIC 375
Figura 3-200 Litología y naturaleza del acuífero – Parámetro A 377
Figura 3-201 Tipo de suelo – Parámetro S 379
Figura 3-202 Pendiente del terreno – Parámetro T 381
Figura 3-203 Naturaleza de la zona no saturada – Parámetro I 383
Figura 3-204 Conductividad hidráulica – Parámetro C 385
Figura 3-205 Distribución espacial de la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación en el área de influencia 387
Figura 3-206 Bloque diagrama del área de estudio basado en el modelo hidrogeológico matemático 390

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 3-1 Captación agua subterránea. 51
Fotografía 3-2 Aljibe con revestimiento en cemento anillado. 51
Fotografía 3-3 Tanque con capacidad de 1.000 litros 52
Fotografía 3-4 Mecanismos de extracción de agua subterránea 52
Fotografía 3-5 Manantial por filtración de agua natural a través de los sedimentos 87
Fotografía 3-6 Manantial por goteo Coordenadas Planas Magna Sirgas Origen Nacional 87
Fotografía 3-7 Canalización y bombeo de agua de manantial, para uso domestico y pecuario. 87

Fotografía 3-8 Canalización y bombeo de agua de manantial, para uso domestico. Coordenadas Planas Magna Sirgas Origen Nacional 87

Fotografía 3-9 Piezómetro Pz-06 105

Fotografía 3-10 Piezómetro Pz-07 105

3 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE PROYECTO

3.2 MEDIO ABIÓTICO

3.2.7 Hidrogeología

Las aguas subterráneas representan una fuente estratégica y esencial de abastecimiento hídrico, caracterizándose por su mayor estabilidad y menor vulnerabilidad frente a procesos de contaminación y degradación en comparación con los cuerpos de agua superficiales. Esta condición resalta la importancia de conocer en detalle su ocurrencia, distribución y principales características hidráulicas, hidrológicas e hidrogeoquímicas, con el fin de garantizar una gestión sostenible del recurso.

En este contexto, el presente capítulo desarrolla el componente hidrogeológico como parte integral del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) elaborado para el desarrollo de la Licencia Ambiental del Área de Desarrollo Bucare, ubicada en el municipio de Acacias, departamento del Meta. El análisis se sustenta en investigaciones hidrogeológicas que integran datos geológicos y geoeléctricos, inventarios de puntos de agua subterránea, ensayos de bombeo y análisis fisicoquímicos e hidrogeoquímicos.

La fase inicial consistió en la recopilación y análisis de información secundaria, que sirvió de base para el desarrollo del trabajo de campo, durante el cual se levantó información primaria relevante. Posteriormente, se integraron ambos tipos de datos para construir un Modelo Hidrogeológico Conceptual y Matemático del área de estudio, en cumplimiento con los lineamientos de los Términos de Referencia para Estudios de Impacto Ambiental del Sector Hidrocarburos (HI-TER-1-03) y la Metodología de Estudios Ambientales de la ANLA (2018).

El contenido del capítulo abarca la identificación y caracterización de las unidades hidrogeológicas presentes en el área de influencia del proyecto, su relación con otros acuíferos y su posible conexión con cuerpos de agua superficiales. Asimismo, se determinan las zonas de recarga, tránsito y descarga, la dirección del flujo subterráneo, los parámetros hidráulicos de las formaciones, y la calidad del recurso. Todo esto con el objetivo de establecer una línea base hidrogeológica que sirva como referencia para la protección, monitoreo y gestión del agua subterránea antes del inicio de las actividades de explotación.

Para ello, el capítulo se estructura en varias secciones que permiten abordar de manera sistemática cada uno de los aspectos hidrogeológicos relevantes. En primer lugar, se presenta el marco geológico regional y local que condiciona la presencia y el comportamiento de los acuíferos. A continuación, se describe la metodología empleada en la caracterización hidrogeológica, incluyendo los criterios de selección de puntos de muestreo, los métodos de prospección utilizados y las técnicas aplicadas para el análisis e interpretación de los datos obtenidos. Posteriormente, se expone el análisis detallado de las unidades hidrogeológicas identificadas, seguido de la elaboración del modelo conceptual y su correspondiente modelación numérica. Finalmente, se plantean las consideraciones para la gestión del recurso hídrico subterráneo en el área de influencia del proyecto, con énfasis en la protección ambiental y el cumplimiento normativo.

3.2.7.1 Marco hidrogeológico Regional

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), en su Estudio Nacional del Agua Subterránea (2013), estableció una caracterización detallada del territorio colombiano desde el punto de vista hidrogeológico, dividiéndolo en unidades denominadas provincias hidrogeológicas (Ver: **Figura 3-1**). Estas provincias agrupan áreas con características geológicas, estructurales e hidrogeológicas similares, y constituyen la base para la identificación y clasificación de los sistemas acuíferos del país.

El estudio clasifica las provincias hidrogeológicas de Colombia en tres grandes grupos, según su ubicación geográfica:

- **Provincias hidrogeológicas costeras e insulares (PC):** Ocho provincias que comparten características de ambientes costeros y litorales. Cinco de ellas se localizan en la costa Caribe, dos en la costa Pacífica, y una corresponde a la isla de San Andrés.
- **Provincias hidrogeológicas montanas e intramontanas (PM):** Cinco provincias situadas en la región Andina y sus valles intramontanos, donde predominan acuíferos de origen aluvial y sistemas desarrollados en formaciones fracturadas.
- **Provincias hidrogeológicas pericratónicas (PP):** Tres provincias que se extienden entre el piedemonte de la cordillera Oriental y el Escudo de la Guayana, al oriente del país. Esta región abarca la Orinoquía y la Amazonía, y se caracteriza por su estabilidad tectónica y la presencia de depósitos sedimentarios extensos y antiguos.

En total, el IDEAM identificó 44 sistemas acuíferos distribuidos a lo largo del país, los cuales han sido clasificados y codificados de acuerdo con la provincia hidrogeológica a la que pertenecen. Esta organización permite una mejor gestión del recurso hídrico subterráneo a nivel nacional y regional.

La zona de estudio del presente proyecto, ubicada en el municipio de Acacías (Meta), hace parte de la provincia hidrogeológica de los Llanos Orientales, clasificada dentro del grupo de provincias pericratónicas como se puede observar en la Figura 3-1. Esta provincia cubre un área aproximada de 265.547 km² en la región oriental del país, y alberga algunos de los sistemas acuíferos más extensos y productivos de Colombia.

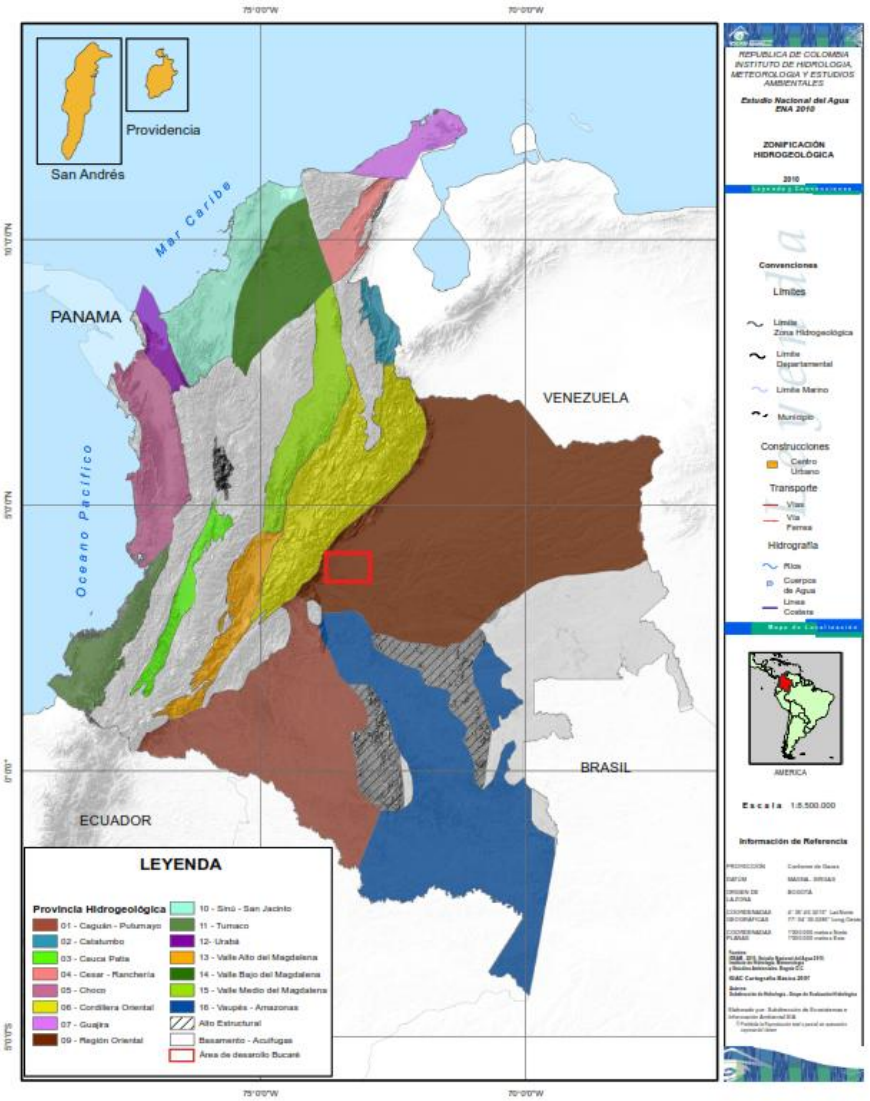


Figura 3-1 Ubicación de la zona de estudio en el mapa de provincias hidrogeológicas de Colombia
Fuente: Modificado de Zonificación Hidrogeológica. ENA, 2010.

En particular, el área de estudio se encuentra dentro del Sistema Acuífero Villavicencio–Granada–Puerto López (SAP3.1), el cual tiene una extensión de 8493 km², está conformado por depósitos aluviales y terrazas de origen torrencial asociados al piedemonte de la cordillera Oriental (Ver: **Figura 3-2**). Según el IDEAM (2013), este sistema acuífero presenta una alta continuidad espacial, buenos niveles de permeabilidad y una capacidad significativa de almacenamiento y transmisión de agua subterránea. Esto lo convierte en una fuente estratégica para el abastecimiento de agua en la región, tanto para uso humano como agrícola e industrial.

Además del SAP3.1, en la región también se encuentran otros sistemas relevantes como el Sistema Acuífero Yopal–Tauramena (SAP3.2) y el Sistema Acuífero Arauca–Arauquita, aunque con menor grado de estudio y aprovechamiento. En general, los sistemas acuíferos de la provincia pericratónica de los Llanos Orientales están desarrollados sobre depósitos aluviales, terrazas del piedemonte y secuencias clásticas del Paleógeno–Neógeno, las cuales tienden a adelgazarse hacia el oriente.

Estos sistemas acuíferos juegan un papel fundamental en el ciclo hidrológico regional y en el sostenimiento de ecosistemas estratégicos como sabanas, humedales y cuerpos de agua superficiales, además de ser una fuente vital para el desarrollo socioeconómico de la Orinoquía colombiana.

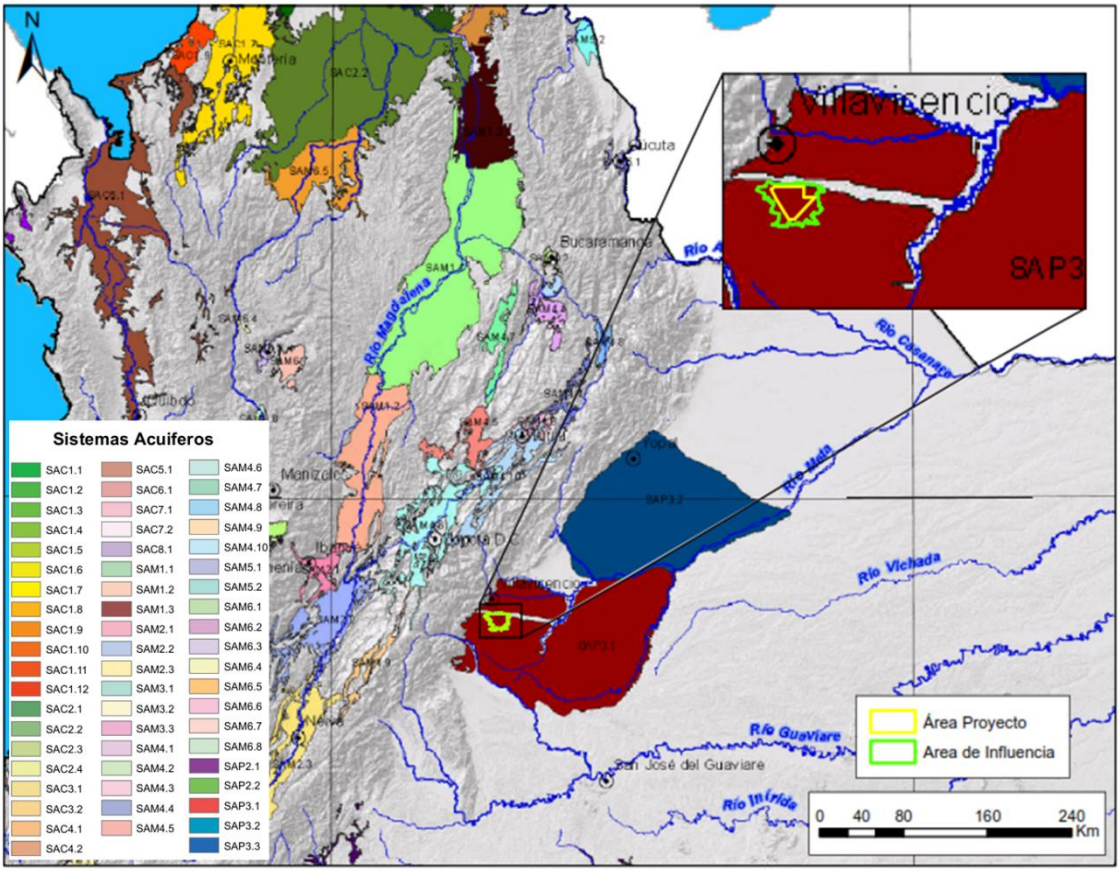


Figura 3-2 Ubicación Área de Desarrollo Bucare en el SAP3.1
Fuente: Modificado del Sistema de Acuíferos ENA, 2018.

3.2.7.2 Contenido del informe de línea base local del componente hidrogeológico y obligaciones para el interesado (Modelo hidrogeológico conceptual)

Un modelo hidrogeológico conceptual (MHC) es la representación cualitativa, gráfica y descriptiva de un sistema acuífero, mediante la cual se interpretan las condiciones geológicas, hidráulicas e hidrogeoquímicas del medio subterráneo, así como su interacción con otros componentes del ecosistema. Este modelo permite comprender el funcionamiento de un acuífero y predecir su comportamiento frente a diferentes tipos de estímulos, ya sean de origen natural o antrópico. Constituye una herramienta fundamental para la gestión adecuada del recurso hídrico subterráneo, al ofrecer una versión simplificada pero representativa del sistema, lo más cercana posible a la realidad.

El agua subterránea se origina a partir de la infiltración de la precipitación a través del suelo, acumulándose en formaciones geológicas porosas o fracturadas conocidas como acuíferos. Estos están compuestos por materiales permeables, como arenas, gravas o rocas porosas, con capacidad de almacenar y transmitir agua. Según su comportamiento hidráulico y su configuración estructural, los acuíferos se clasifican como libres, confinados o semiconfinados (IDEAM, 2018).

El MHC, al integrar múltiples interpretaciones del sistema hidrogeológico, debe ser comprendido como una herramienta dinámica, adaptable a los cambios en las condiciones del territorio. Por ello, incluye factores climatológicos, hidrológicos y antrópicos, que pueden modificar el comportamiento del acuífero a lo largo del tiempo. Ante eventuales cambios significativos, es indispensable actualizar el modelo para que siga reflejando fielmente el estado del sistema. Para su elaboración, se requiere la recolección, integración y análisis de información específica del área de estudio: datos geofísicos, geológicos, hidroquímicos, puntos de agua subterránea, entre otros. Este proceso permite identificar las zonas de recarga, tránsito y descarga del acuífero, su relación con otros sistemas subterráneos y cuerpos de agua superficiales o marinos, y establecer medidas adecuadas para su manejo y conservación (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

El modelo hidrogeológico conceptual desarrollado para el Área Desarrollo Bucare se estructuró a partir de cuatro componentes fundamentales:

- **Componente geológico:** Define el marco estructural del sistema hidrogeológico, incluyendo la identificación de unidades geológicas, sus características litológicas, espesores, profundidades y continuidad lateral. Esta caracterización se basó en la revisión de estudios previos, cartografía geológica (plancha 266, 267 y 286,) y el uso de métodos geofísicos como sondeos geoeléctricos. Este componente constituye la base física del modelo, sobre la cual se definen las unidades hidrogeológicas.
- **Componente hidrológico:** Comprende el inventario y análisis de puntos de agua subterránea (pozos, aljibes, manantiales y piezómetros) presentes en el área de influencia, así como la estimación de la recarga potencial del acuífero. También se identificaron zonas de recarga y descarga con base en criterios geomorfológicos, geológicos y de uso del suelo, aportando información clave sobre el ciclo hidrológico subterráneo.
- **Componente hidráulico:** Se centra en la determinación de parámetros hidráulicos como conductividad hidráulica, transmisividad y coeficiente de almacenamiento, obtenidos mediante pruebas de bombeo. Estos datos permiten comprender cómo se mueve el agua en el subsuelo y evaluar la capacidad de respuesta del acuífero ante extracciones o variaciones en el régimen hídrico.
- **Componente hidrogeoquímico:** A través del análisis de muestras de agua recolectadas en campo, se identificaron las características fisicoquímicas e hidrogeoquímicas del agua subterránea, permitiendo interpretar los procesos que ha experimentado en su tránsito por el acuífero. Esto incluye aspectos como la evolución geoquímica, tiempo de residencia y calidad del agua para diferentes usos.

Para la construcción del MHC del área de estudio, se realizó una revisión exhaustiva de la información secundaria disponible, compuesta principalmente por estudios ambientales previos. Esta información se complementó con datos obtenidos en campo, incluyendo mediciones directas, registros geoeléctricos y análisis de laboratorio.

Este modelo conceptual constituye la base para el diseño de estrategias de monitoreo, manejo y protección del recurso hídrico subterráneo. Asimismo, permite identificar posibles conflictos de uso, zonas vulnerables y alternativas para el aprovechamiento sostenible del acuífero, en cumplimiento con los lineamientos establecidos en los Términos de Referencia para el sector hidrocarburos (HI-TER-1-03) y la Metodología de Estudios Ambientales (ANLA, 2018).

En las secciones siguientes se ahondará en cada uno de los cuatro (4) componentes que conforman el modelo hidrogeológico conceptual para el área de estudio.

3.2.7.3 Evaluación geológico-geofísica

Los métodos geofísicos son herramientas muy útiles en la exploración del subsuelo y tienen gran importancia en la hidrogeología. Estos métodos consisten en la medición de propiedades físicas de la corteza terrestre, tales como la conductividad eléctrica, el campo magnético, la velocidad de transmisión de onda elástica, la densidad, etc. Lo anterior, se logra a través de una instrumentación

sofisticada y estructurada que permite obtener datos de observaciones en bruto, los cuales, acompañados de una interpretación e integración, conllevan a la obtención de modelos de la configuración geológica presente en profundidad. Es decir, la interpretación de dichas mediciones con base en los contrastes entre ellas y las anomalías observadas permite realizar modelos de las características del subsuelo y de su distribución espacial.

Para definir las profundidades del techo y base de las diferentes unidades hidrogeológicas identificadas, así como su espesor promedio, extensión lateral y las fronteras impermeables de la zona de estudio, se analizaron insumos provenientes de diferentes métodos geofísicos, entre los que se incluyen tomografías eléctricas, sondeos magnetotelúricos, registros de pozo, líneas sísmicas y sondeos eléctricos verticales. A continuación, se describe cada uno de los métodos empleados, los resultados obtenidos y el análisis correspondiente de los mismos.

3.2.7.3.1 Tomografías eléctricas

Las tomografías de resistividad eléctrica (TRE por sus siglas en español) es un método de resistividad multielectrodo que se basa en obtener modelos 2D y 3D de la resistividad del terreno. Esta técnica de exploración tiene un amplio abanico de aplicaciones en geología, geotecnia, hidrogeología o medioambiente y se caracteriza por ser una técnica de resistividad multielectródica, cuyo arreglo geométrico varía dependiendo del objetivo de estudio.

Para el presente estudio, se realizaron cinco (5) tomografías eléctricas en lugares cercanos a donde se realizaron algunos de los sondeos magnetotelúricos, adicionalmente, se tomó en consideración la cercanía a lugares de interés para el proyecto, con el fin de que estas tomografías funcionaran como información de comparación y amarre; y de esta manera, complementar y robustecer el análisis de las características resistivas en la zona de estudio.

El objetivo de las tomografías era extender un arreglo geoeléctrico que permitiera asegurar la información resistiva en los primeros 150 metros de profundidad, con una resolución óptima para interpretar la presencia de niveles acuíferos (zonas permeables de alta resistividad) o sellos hidráulicos (zonas impermeables de bajas resistividades). De igual forma, estas tomografías eléctricas se utilizaron para verificar si se presentaba acumulación de cargas estáticas en superficie que pudieran afectar los sondeos magnetotelúricos y de ser el caso, corregirlas.

- **Ubicación de las tomografías**

A continuación, se presenta la ubicación de las cinco (5) tomografías eléctricas realizadas dentro del área de influencia del presente proyecto. Estas tomografías se distribuyeron de manera que se pudiera obtener una caracterización del subsuelo a través de la identificación de las propiedades resistivas del terreno. Las coordenadas del punto inicial y final de las cinco (5) tomografías eléctricas realizadas en el marco del Estudio de Impacto Ambiental para el área de Desarrollo Bucare se pueden observar en la **Tabla 3-1** mientras que en la **Figura 3-3** se presenta la ubicación y distribución espacial de las tomografías.

Tabla 3-1 Coordenadas de las tomografías eléctricas realizadas en campo

TOMOGRAFÍA	ID	PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL	
			ESTE (m)	NORTE (m)
Tomografía 1	TRE_1_PI	Inicio	4944635,09	1997754,79
	TRE_1_PF	Final	4944066,87	1997956,05
Tomografía 2	TRE_2_PI	Inicio	4937123,37	1996877,87
	TRE_2_PF	Final	4936855,56	1997415,25
Tomografía 3	TRE_3_PI	Inicio	4941669,99	1987981,99

TOMOGRAFÍA	ID	PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL	
			ESTE (m)	NORTE (m)
	TRE_3_PF	Final	4941045,99	1988078,00
Tomografía 4	TRE_4_PI	Inicio	4932645,68	1994835,37
	TRE_4_PF	Final	4932098,00	1995082,00
Tomografía 5	TRE_5_PI	Inicial	4932982,34	1992342,86
	TRE_5_PF	Final	4933430,78	1991953,59

Fuente: SGI S.A.S., 2025

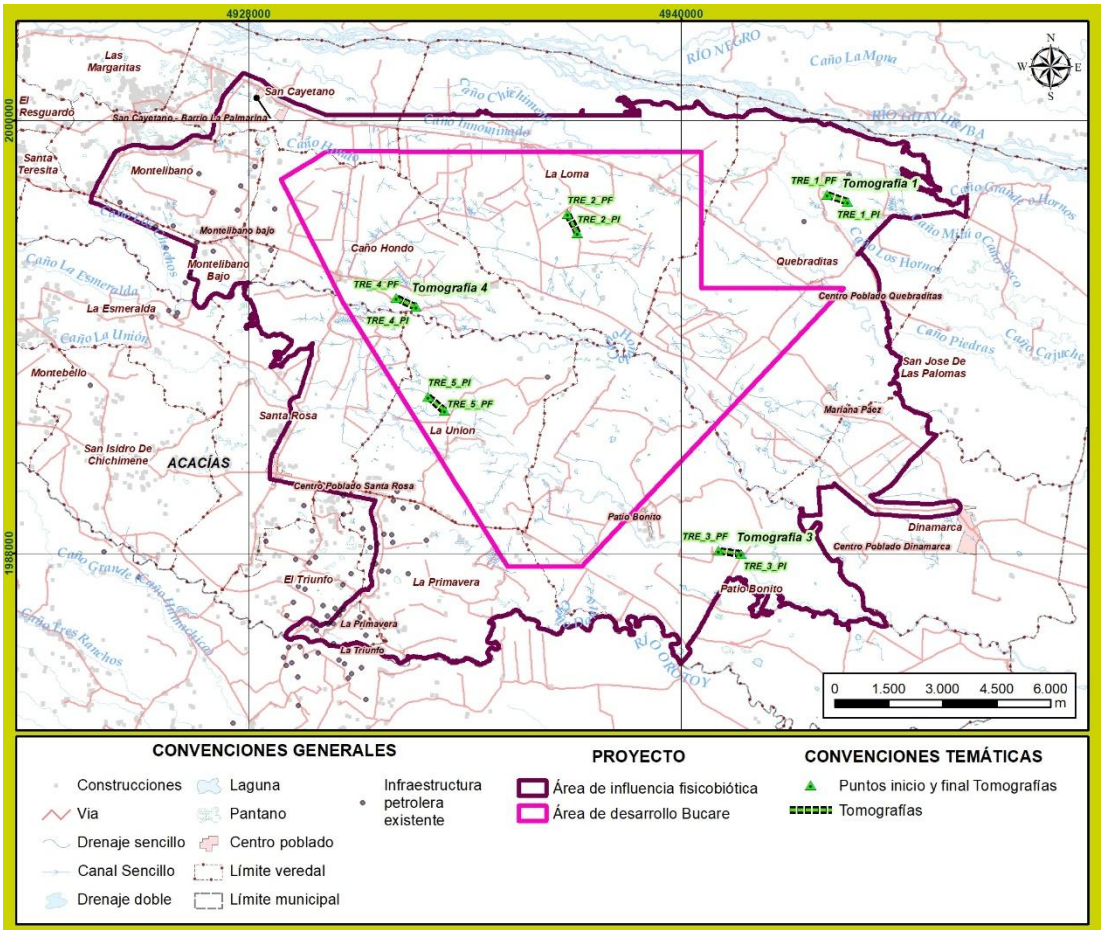


Figura 3-3 Ubicación de las tomografías eléctricas
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Interpretación de las tomografías eléctricas**

Para la interpretación de las tomografías eléctricas se definieron seis (6) zonas, cada una caracterizada por un rango de resistividad específico, asociado a distintos tipos de materiales y a diferentes grados de saturación. Estas zonas de resistividad fueron identificadas en las tomografías, de manera que permitieran diferenciar los diferentes materiales o litologías presentes en el área de

influencia. Los rangos de resistividad definidos para interpretar las tomografías eléctricas se presentan en la **Tabla 3-2**.

Tabla 3-2 Rangos de resistividad en las tomografías eléctricas y sus respectivos materiales asociados

ZONA	RANGO DE RESISTIVIDAD (OHM.m)	COLOR	MATERIALES GEOLÓGICOS	CARACTERISTICAS HIDROGEOLÓGICAS
A	> 4500	Tonalidades rojas	Gravas y arenas gruesas con muy bajo contenido de sedimentos finos (limos y arcillas).	Conforman acuíferos con muy buena permeabilidad y porosidad efectiva. Los cuales conforman acuíferos de alta productividad.
B	2500 - 4500	Tonalidades naranjas de alta intensidad	Arenas medias a gruesas, con bajo contenido arcilloso (<10%)	Buena permeabilidad y porosidad, lo que les permite formar acuíferos de mediana productividad.
C	1250 - 2500	Amarillo y tonalidades naranjas amarillentas (muy claras)	Arenas finas a medias con contenido moderado de arcilla (10 – 30%)	Buena permeabilidad y porosidad, lo que les permite formar acuíferos de baja a mediana productividad.
D	400 - 1250	Diferentes tonalidades de verde	Arenas muy finas a finas con contenido moderado de arcilla, también pueden ser arenas limosas	Presentan una permeabilidad baja a media y están altamente saturados. Conforman acuíferos de muy baja productividad.
E	200 - 400	Color cian y tonos de cian con matrices verdosos	Arenas muy finas con alto contenido de arcilla (>50%)	Presentan una permeabilidad baja y conforman acuitardos.
F	< 200	Diferentes tonalidades de azul, variando entre azul oscuro a ligeramente claro	Arcillas saturadas y limos arcillosos	Presentan una alta capacidad de retención de humedad y una permeabilidad muy baja. Estos materiales actúan como barreras hidráulicas, conformando zonas confinantes o con muy baja capacidad de recarga.

Fuente: SGI S.A.S., 2025

Las tomografías eléctricas realizadas pueden ser consultadas a detalle en la siguiente ruta: **Anexos/5. Anexos Abiótico/5.7 Hidrogeología/5.7.1_Tomografías_eléctricas.**

A continuación, se presentan los resultados y el análisis realizado a cada una de las cinco (5) tomografías eléctricas realizadas en el área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare.

3.2.7.3.1.1 Tomografía 1

La tomografía 1 tiene una longitud superficial aproximada de 570 metros, está ubicada en dirección sureste-noroeste (SE-NW) y alcanza una profundidad de exploración aproximada de 130 metros. Esta tomografía se llevó a cabo en el sector noreste del área de influencia, en la vereda Quebraditas. En la **Figura 3-4** se presenta la tomografía 1, junto con un perfil esquemático donde se observa la ubicación de esta tomografía dentro del área de influencia del presente proyecto.

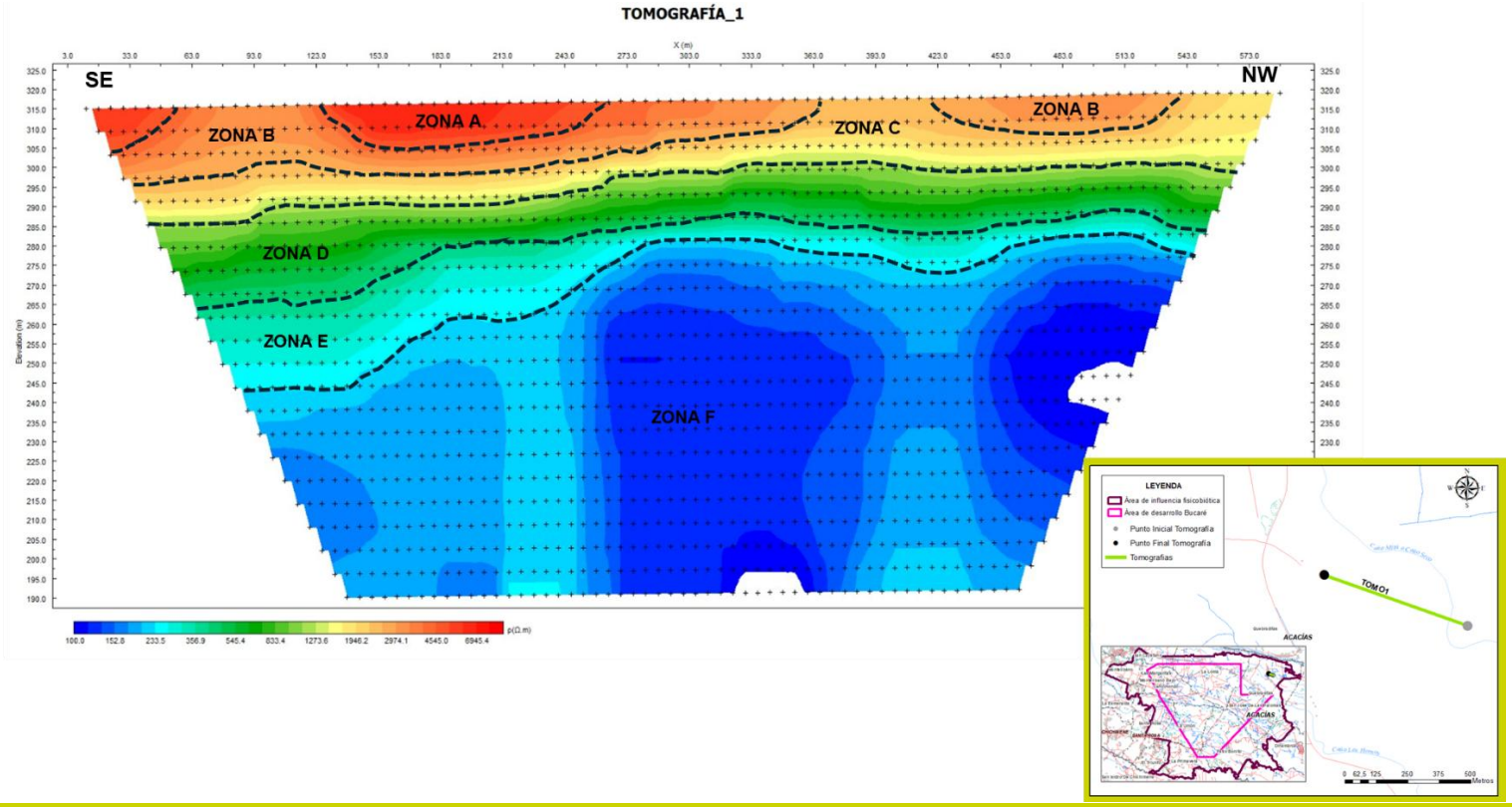


Figura 3-4 Tomografía eléctrica 1
Fuente: SGI S.A.S., 2025

En la parte superior de la Tomografía 1 se identifican pequeños lentos de una capa caracterizada por tonalidades rojas, asociadas a resistividades superiores a 4500 ohm*m, correspondiente a la denominada ZONA A. Esta zona está compuesta principalmente por gravas y arenas gruesas con un contenido muy bajo de sedimentos finos (limos y arcillas), lo cual favorece una alta permeabilidad y, por tanto, una buena movilidad de los fluidos. Estas características, conforman acuíferos de buena productividad, comúnmente aprovechados por la comunidad. Esta capa no es continua en el área de influencia, por el contrario, se evidencia únicamente hacia el SE del perfil en pequeños lentes, con espesores que alcanzan hasta los 15 metros.

Por debajo de la ZONA A se identifica la ZONA B, caracterizada por tonalidades naranjas, con valores de resistividad que oscilan entre 2500 a 4500 ohm*m. Esta zona presenta un espesor aproximado de 20 metros en el sector sureste (SE) y aflora en superficie hasta un poco más de la mitad de la tomografía, pero no llega hasta el extremo noroeste (NW) del perfil. Se asocia a sedimentos de granulometría media a gruesa con bajo contenido arcilloso y se relaciona comúnmente con la presencia de acuíferos de mediana productividad, con buena permeabilidad y porosidad efectiva.

Subyacente a la ZONA B, se observa un cambio en los valores de resistividad, correspondiente a la denominada ZONA C, caracterizada por colores amarillos y anaranjados claros y resistividades entre 1250 y 2500 ohm*m. Esta capa presenta un espesor de aproximadamente 12 metros en el sector sureste (SE) y 20 metros hacia el noroeste (NW), siendo en este sector donde aflora. Desde el punto de vista hidrogeológico, la ZONA C se asocia con la presencia de acuíferos compuestos por arenas medias a finas con contenido moderado de arcilla o materiales finos que disminuyen la conductividad hidráulica, lo que afecta su productividad. Es decir que, aunque en la ZONA C pueden encontrarse niveles acuíferos aprovechables, su rendimiento es menor en comparación con los acuíferos presentes en las zonas superiores.

Inmediatamente debajo, se identifica una capa denominada ZONA D, caracterizada por resistividades entre 400 a 1250 ohm*m y representada mediante tonalidades verdes. Esta unidad muestra una continuidad lateral y un engrosamiento hacia el SW, con espesores que alcanzan hasta los 22 metros. Esta zona se asocia con arenas muy finas a finas con contenido moderado de arcilla o arenas limosas, las cuales conforman acuíferos de muy baja productividad.

Infrayaciendo esta unidad se identifica una ZONA E, la cual se caracteriza por presentar resistividades entre 200 a 400 ohm*m, tonalidades cian con matices verdes, extensión continua en toda el área de la tomografía y evidencia un ligero aumento en el espesor hacia el SW, con valores de hasta 20 metros, mientras que hacia el NE el espesor máximo alcanzado por esta capa es de 7 metros. Las bajas resistividades observadas sugieren la presencia de materiales finos, como arenas muy finas con alto contenido de arcilla, las cuales dificultan el flujo de agua subterránea.

Finalmente, hacia la base de la tomografía 1 se observa una capa potente con diferentes tonalidades de color azul, correspondiente a la denominada ZONA F. Esta zona se extiende desde 242 metros de elevación en el SW y 280 metros de elevación en el NE hasta la base de la tomografía, alcanzando espesores de más de 50 metros que claramente aumentan hacia el NE. Esta zona se asocia a materiales muy finos, como limos y arcillas, los cuales dificultan o impiden el flujo de agua subterránea. Desde el punto de vista hidrogeológico, esta unidad puede interpretarse como un sello hidráulico o acuitardo, cuya función es confinar o aislar los acuíferos someros subyacentes, protegiéndolos de posibles contaminaciones o interferencias desde la superficie.

Teniendo en cuenta las descripciones litológicas y/o los materiales geológicos que fueron identificados en la tomografía 1 a partir de las resistividades reportadas, en la **Figura 3-5** se presenta la interpretación litológica asignada a la tomografía 1.

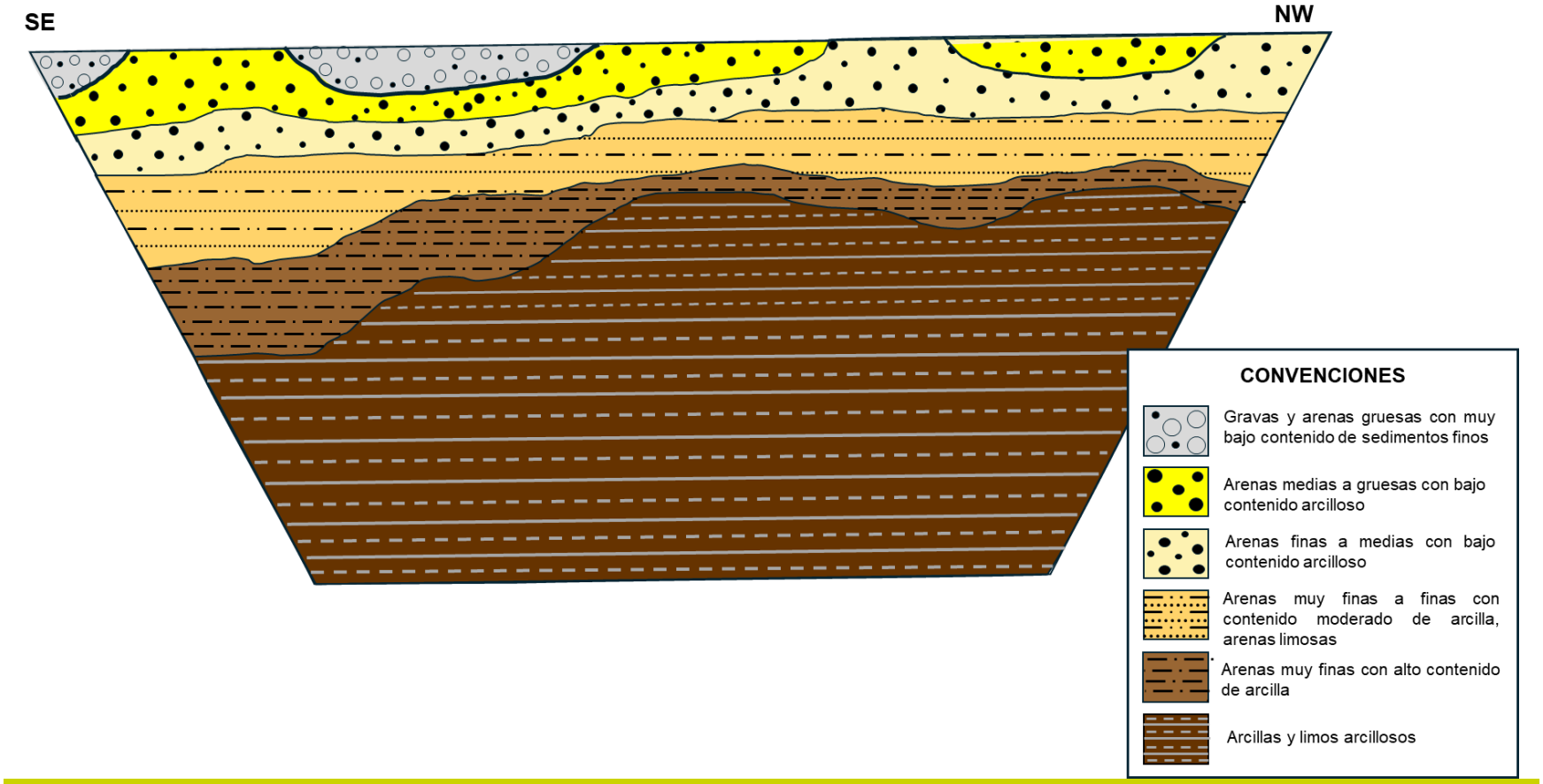


Figura 3-5 Tomografía eléctrica 1 interpretada
Fuente: SGI S.A.S., 2025

3.2.7.3.1.2 Tomografía 2

La tomografía 2 tiene en superficie una longitud aproximada de 570 metros, y se localiza en la zona centro-norte del área de influencia, específicamente en la vereda La Loma, dentro del predio Hacienda La Loma. Esta sección fue levantada en dirección sureste-noroeste (SE-NW) y

alcanza una profundidad de exploración aproximada de 130 metros. En la Figura 3-6 se presenta la tomografía 2, junto con un perfil esquemático donde se observa la ubicación de esta tomografía dentro del área de influencia del presente proyecto.

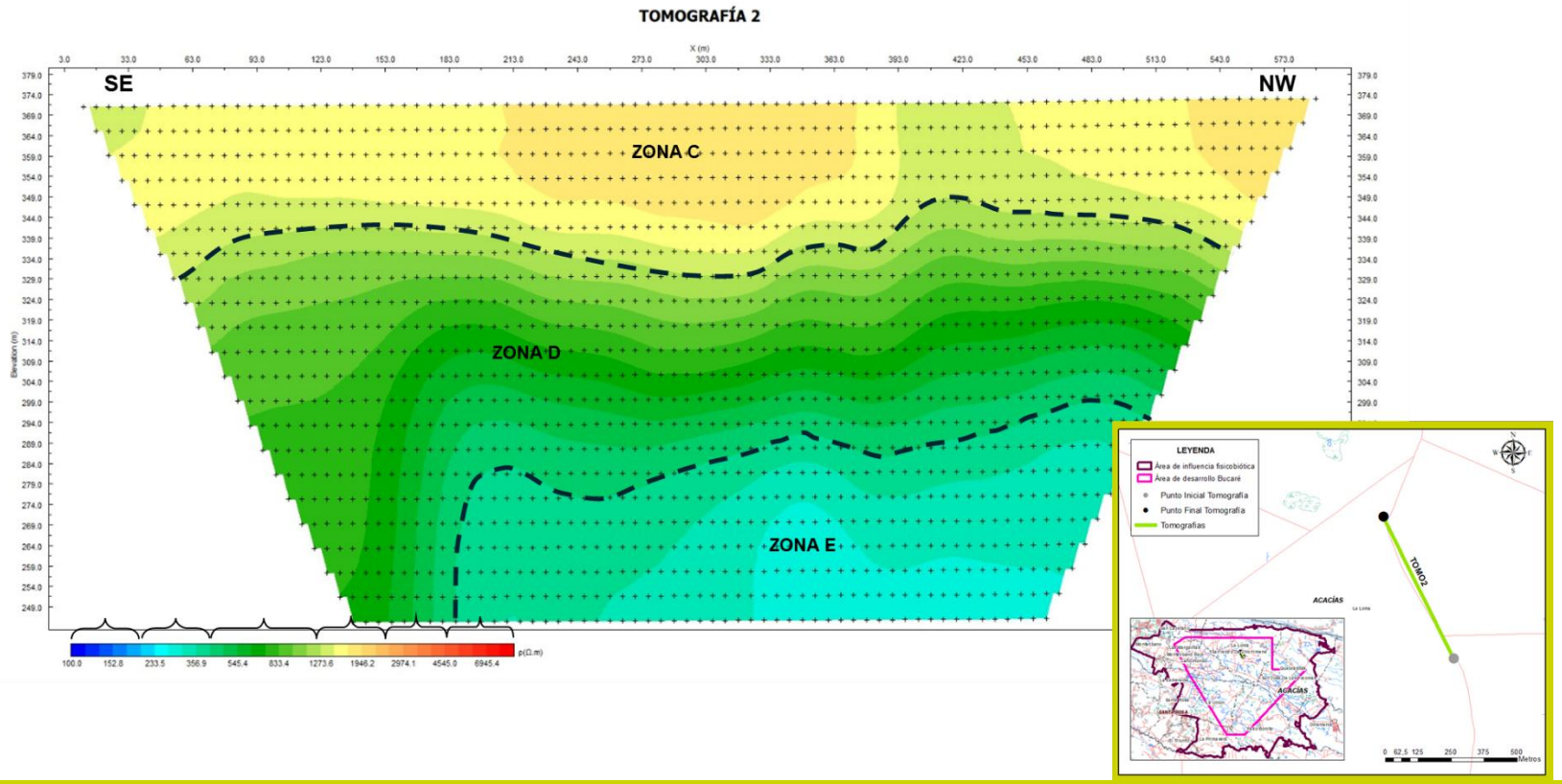


Figura 3-6 Tomografía eléctrica 2
Fuente: SGI S.A.S., 2025

En la Tomografía 2 se identifica en los primeros 40 metros de profundidad una zona con tonalidades de color amarillo y verde claro, asociada a resistividades que oscilan entre 1250 y 2500 ohm*m, correspondiente a la denominada ZONA C. Este rango de resistividades sugiere la presencia de sedimentos compuestos principalmente por arenas finas a medias con contenido moderado de arcilla (10 – 30%). Hidrogeológicamente, esta unidad se asocia a acuíferos de baja a mediana productividad, con un potencial bajo a moderado para el aprovechamiento de aguas subterráneas.

Justo por debajo de la ZONA C, la tomografía 2 muestra un cambio en los valores de resistividad, correspondiente a la denominada ZONA D, la cual se representa con tonalidades verdes y presenta resistividades en el rango de 400 a 1250 ohm*m. Esta unidad tiene un espesor aproximado de 40 metros en el sector noroeste (NW), pero se engrosa progresivamente hacia el sureste (SE), extendiéndose hasta la base de la tomografía donde alcanza más de 90 metros de espesor. Desde el punto de vista hidrogeológico, la ZONA D se asocia con la presencia de arenas finas a muy finas con matriz arcillosa o de materiales con mayor proporción de finos, lo que se interpreta como una conductividad hidráulica reducida. Aunque en esta zona pueden existir niveles acuíferos aprovechables, su productividad es inferior a la de los acuíferos presentes en la zona superior (ZONA C), debido a las condiciones menos favorables para el flujo de agua subterránea.

Por último, en la esquina inferior derecha de la tomografía 2 se identifica una ZONA E, caracterizada por resistividades entre 200 a 400 ohm*m y representada mediante tonalidades cian y verdes con matices cian. Esta zona no se observa hacia el sector sureste (SE) del perfil, lo cual puede explicarse por el engrosamiento hacia el sureste (SE) de las capas superiores, limitando así su visibilidad y continuidad dentro del perfil. Hidrogeológicamente, esta unidad se interpreta como una zona de baja permeabilidad, cuya composición rica en materiales finos como arenas muy finas con alto contenido de arcilla, limita significativamente el flujo de agua subterránea. Este tipo de formaciones actúa como un acuitardo, es decir, capas semi-impermeables que limitan el flujo de agua y sirven como una capa protectora que confina los acuíferos más someros, evitando su contaminación o interacción con los acuíferos profundos.

Teniendo en cuenta las descripciones litológicas y/o los materiales geológicos que fueron identificados en la tomografía 2 a partir de las resistividades reportadas, en la **Figura 3-7** se presenta la interpretación litológica asignada a la tomografía eléctrica 2.

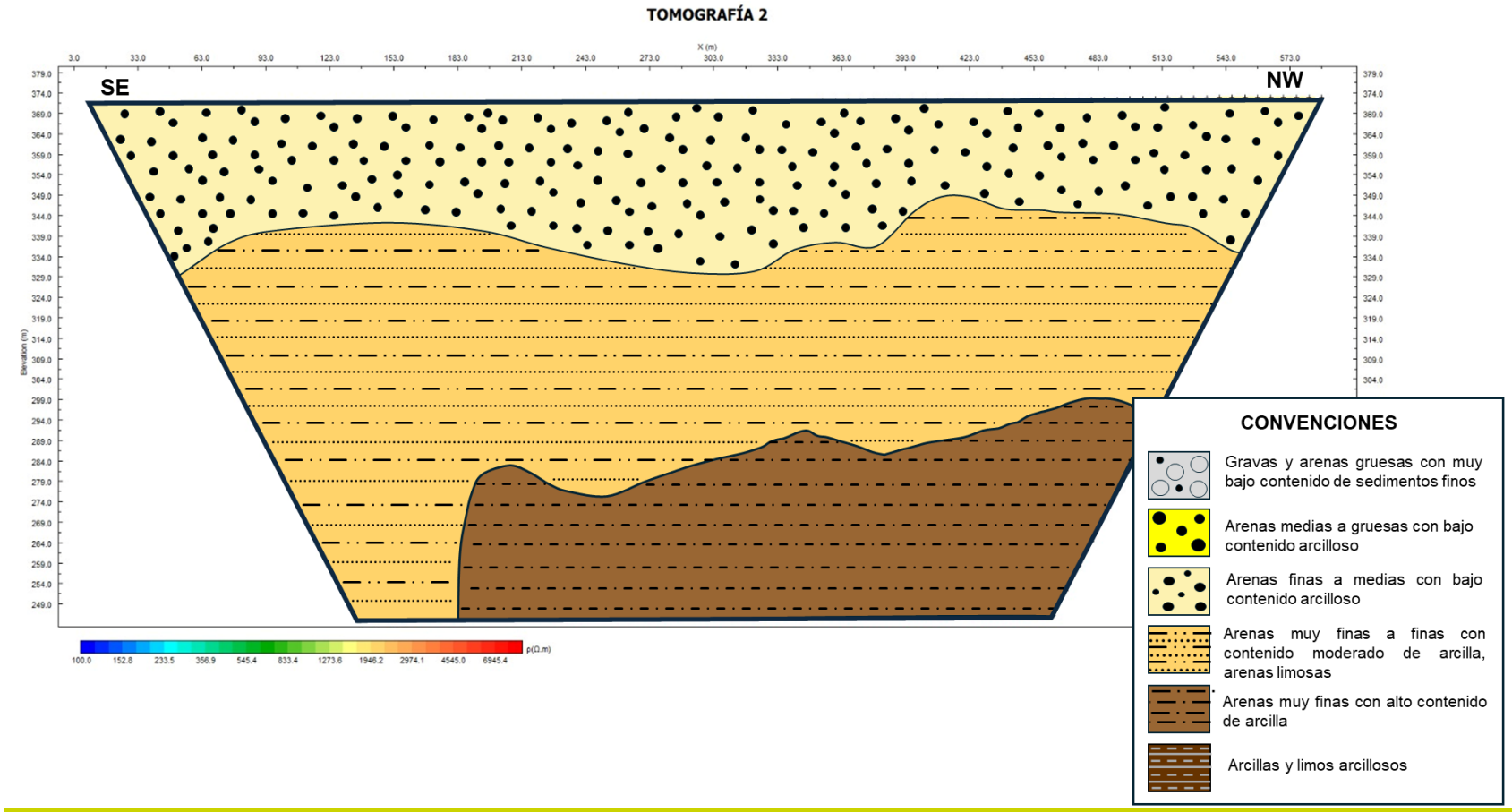


Figura 3-7 Tomografía eléctrica 2 interpretada
Fuente: SGI S.A.S., 2025

3.2.7.3.1.3 Tomografía 3

La tomografía 3 presenta una longitud superficial aproximada de 570 metros y se ubica hacia el sector sureste (SE) del área de influencia, específicamente en la vereda Patio Bonito, a un costado del Caño La Unión. Este levantamiento geofísico se orienta en dirección sureste-noroeste

(SE-NW) y alcanza una profundidad de exploración aproximada de 100 metros. En la **Figura 3-8** se muestra la tomografía 3, junto con un perfil esquemático donde se observa la ubicación de esta tomografía dentro del área de influencia del presente proyecto.

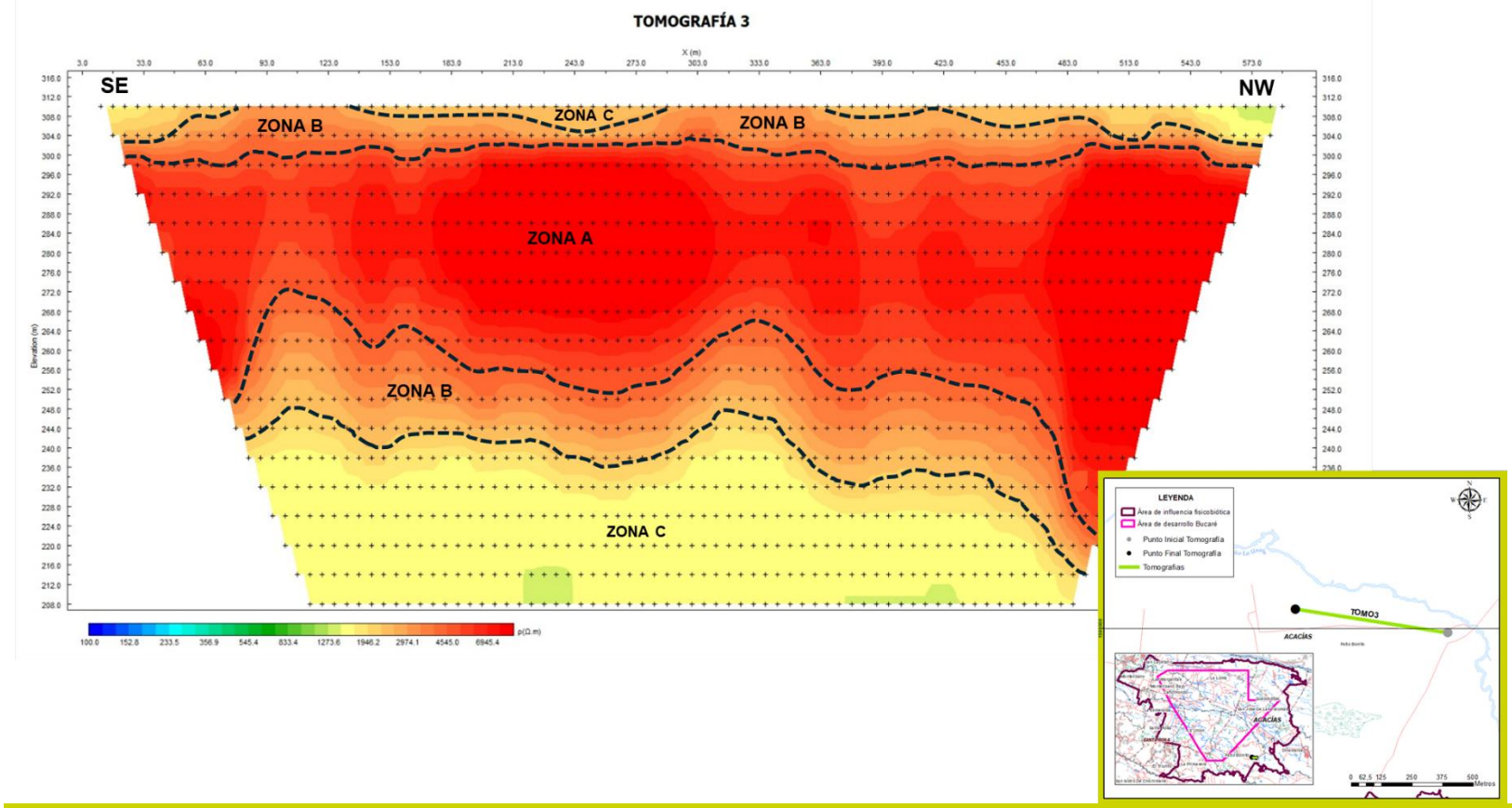


Figura 3-8 Tomografía eléctrica 3
Fuente: SGI S.A.S., 2025

La tomografía 3, ejecutada en las cercanías del Caño La Unión, revela un perfil geoeléctrico influenciado por la presencia de este cuerpo de agua superficial, lo que se refleja en las variaciones de resistividad del subsuelo.

En la parte superior de la tomografía 3, se identifican pequeños lentes delgados, con un espesor aproximado de 5 metros y de tonalidades amarillas a naranjas claras, asociados a resistividades en el rango de 1250 a los 2500 ohm*m correspondientes a la denominada ZONA C. Estos lentes se presentan en superficie en segmentos de 60, 150 y 220 metros de extensión, pero no de forma continua. Están relacionados con arenas medias con bajo contenido de materiales finos, condiciones que favorecen una buena movilidad de fluidos y, por ende, un moderado potencial hidrogeológico.

Justo debajo de los segmentos correspondientes a la ZONA C, se identifica una capa continua de colores naranjas claros, con resistividades entre 2500 a 4500 ohm*m, asociados a la denominada ZONA B. La profundidad de esta capa se mantiene constante pero el espesor varía ligeramente, especialmente en los segmentos en los que afloran las ZONA C, pues el espesor de esta unidad disminuye. Esta zona se asocia a arenas medias a gruesas con muy bajo contenido de sedimentos finos, lo cual le otorga buena porosidad y permeabilidad a esta capa, asignándole un alto potencial para el establecimiento de acuíferos de mediana productividad.

Infrayaciendo, se identifica una potente capa de tonalidades rojas denominada ZONA A, la cual se caracteriza por presentar resistividades superiores a 4500 ohm*m y un espesor aproximado de 50 metros hacia el SE y 76 metros hacia el NW, evidenciando un considerable engrosamiento en esta dirección. Esta zona está relacionada con gravas y arenas gruesas, con bajo contenido de sedimentos finos (limos y arcillas), lo cual favorece una alta movilidad de fluidos. Desde el punto de vista hidrogeológico, se considera que esta zona conforma acuíferos de alta productividad.

Inmediatamente debajo de esta capa, se evidencia nuevamente una ZONA B, la cual se evidencia a lo largo de toda la tomografía con un espesor variable que oscila entre 8 a 18 metros.

Finalmente, en la base de la tomografía se vuelve a identificar la ZONA C, representada por tonalidades amarillo claro y resistividades en el rango de 1250 a los 2500 ohm*m. Estos valores indican la presencia de sedimentos compuestos principalmente por arenas medias a finas, con bajo contenido de arcillas. Hidrogeológicamente, esta unidad corresponde a acuíferos de mediana productividad, con un potencial moderado para el aprovechamiento de aguas subterráneas.

Teniendo en cuenta las descripciones litológicas y/o los materiales geológicos que fueron identificados en la tomografía 3 a partir de las resistividades reportadas, en la Figura 3-9 se presenta la interpretación litológica asignada a la tomografía eléctrica 3.

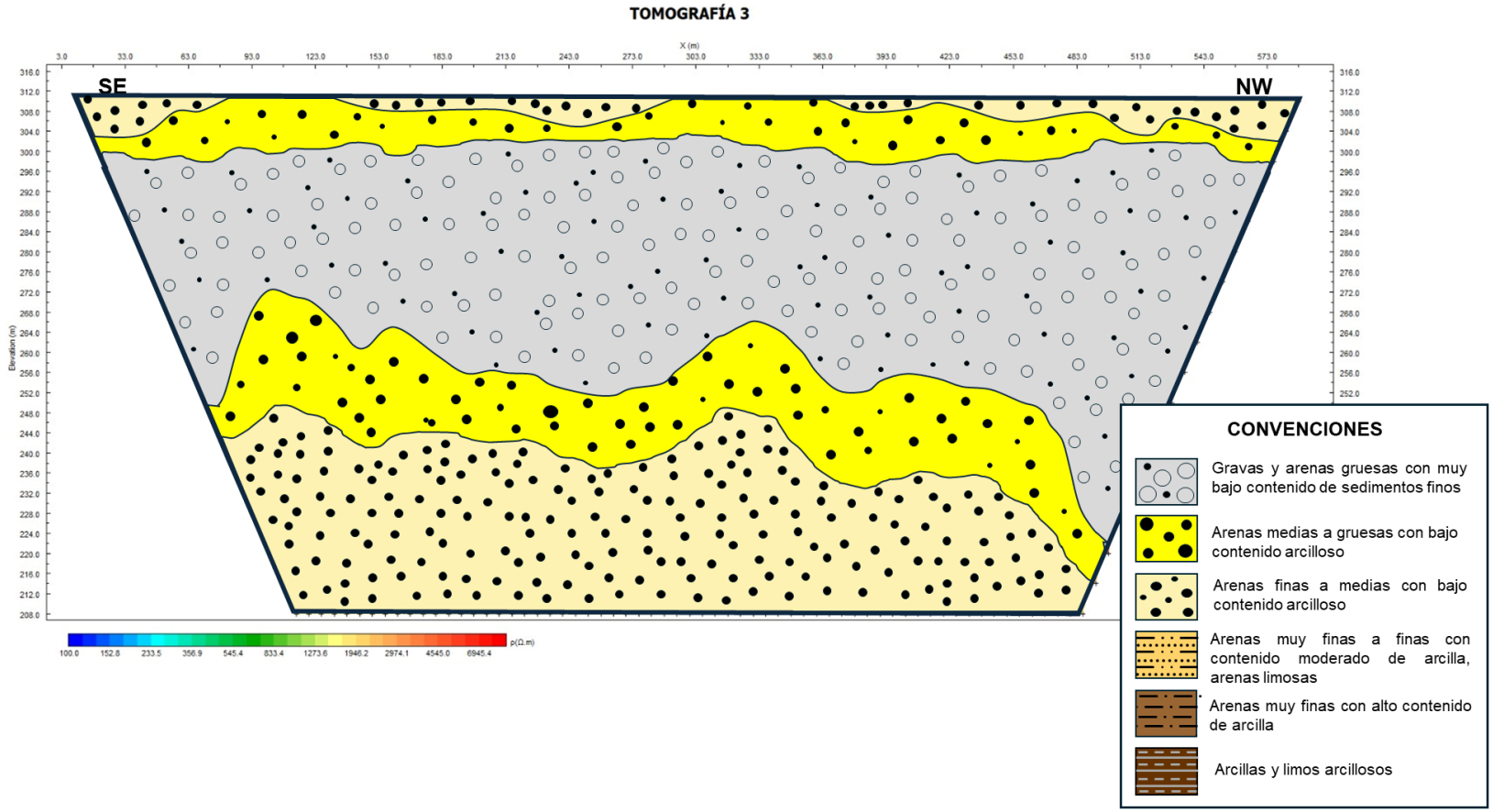


Figura 3-9 Tomografía eléctrica 3 interpretada
Fuente: SGI S.A.S., 2025

3.2.7.3.1.4 Tomografía 4

La tomografía 4 presenta una longitud superficial aproximada de 570 metros y se ubica en el sector noroeste del área de influencia, en las cercanías del rio Acacias, dentro del predio Palmeras del Llano, en la Vereda Caño Hondo. La tomografía está en dirección sureste–noroeste (SE-NW) y

alcanza una profundidad de exploración aproximada de 130 metros. En la **Figura 3-10** se presenta la tomografía 4, junto con un perfil esquemático donde se observa la ubicación de esta tomografía dentro del área de influencia del presente proyecto.

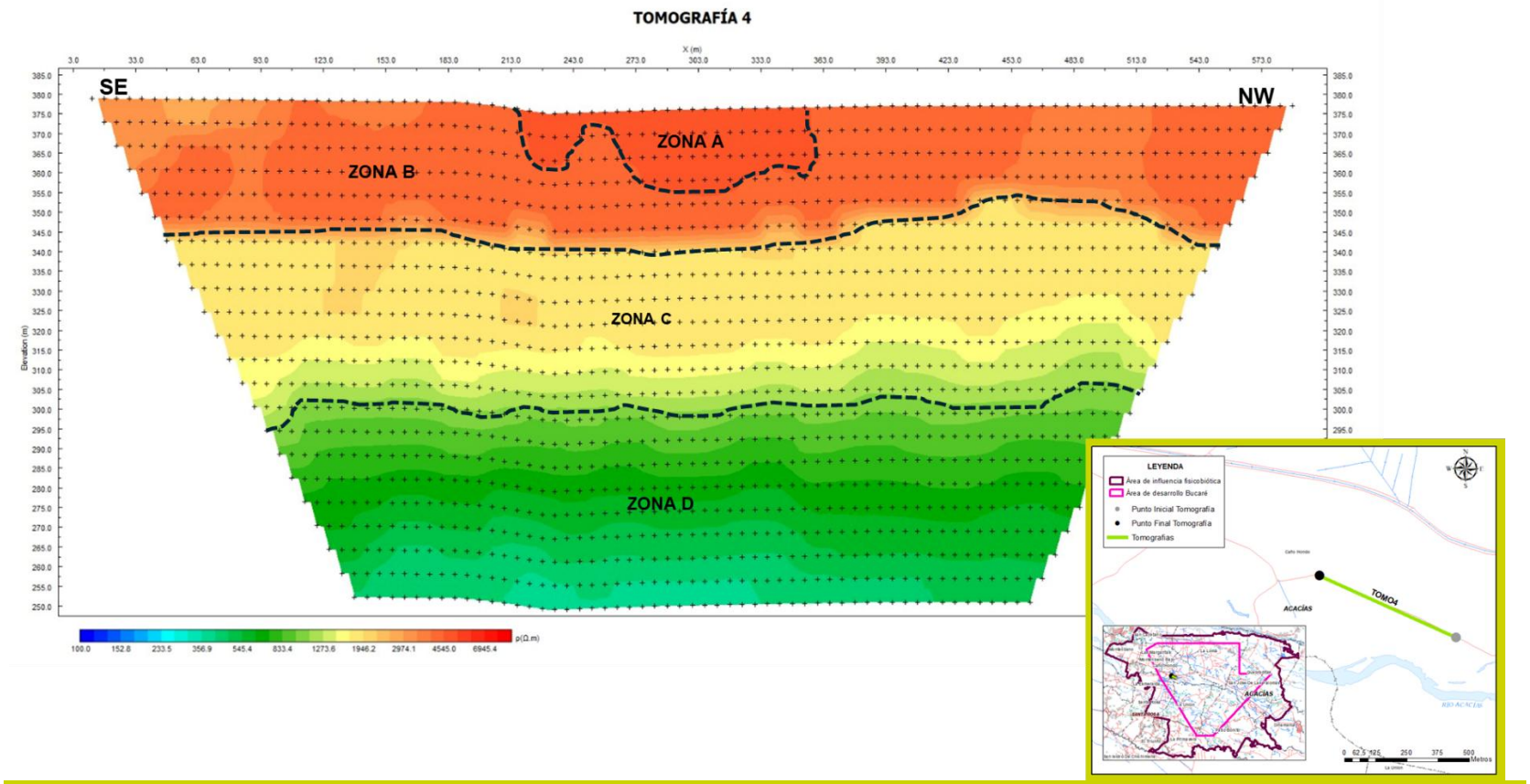


Figura 3-10 Tomografía eléctrica 4
Fuente: SGI S.A.S., 2025

A diferencia de las tomografías anteriores, esta sección presenta una estratificación horizontal y continua, lo que sugiere condiciones geológicas más homogéneas a lo largo del perfil. La tomografía 4 evidencia una estratigrafía típica de zonas aluviales en contacto con cuerpos de agua superficiales, como el río Acacías, con una transición vertical desde materiales gruesos saturados en superficie hasta materiales más finos en profundidad, es decir, una disminución progresiva del tamaño de grano de los sedimentos.

En los primeros 35 metros se identifican tonalidades anaranjadas asociadas a resistividades superiores a 2500 a 4500 ohm·m, correspondientes a la unidad definida inicialmente como ZONA B. Esta zona está compuesta por sedimentos de arena media a gruesa, con bajo contenido de materiales finos, lo que favorece una alta movilidad de fluidos y, en consecuencia, una excelente capacidad para transmitir agua. Por estas características, la ZONA B se considera un acuífero de muy buena productividad, actualmente aprovechado por la comunidad. Adicionalmente, dentro de esta ZONA B se evidencia un pequeño lente constituido por ZONA A, el cual se localiza hacia el centro de la tomografía con una extensión superficial de 140 metros y un espesor máximo de 25 metros. Esta zona se caracteriza por presentar mejores permeabilidades y porosidades, asociado a materiales más resistivos y permeables que se evidencian por tonalidades naranjas más intensas.

Inmediatamente por debajo de la ZONA B se reconoce la ZONA C, caracterizada por tonalidades amarillas y resistividades comprendidas entre 1250 y 2500 ohm·m, con un espesor aproximado de 50 metros. Esta unidad se asocia a sedimentos de arena medias a finas, los cuales, dependiendo del contenido de materiales finos presentes, pueden conformar acuíferos de mediana productividad.

En la base de la tomografía 4 se identifica la ZONA D, con resistividades entre 400 y 1250 ohm·m, extendiéndose hasta el final del perfil. Esta zona se vincula a sedimentos de arena fina con mayor proporción de materiales finos, como limos y arcillas, que dificultan o impiden el movimiento de fluidos. También podría corresponder a intercalaciones no diferenciables de arenas y sedimentos finos, predominando estos últimos. Por sus características, desde el punto de vista hidrogeológico, la ZONA D conforma acuíferos de muy baja productividad con permeabilidades y porosidades bajas a medias.

Teniendo en cuenta las descripciones litológicas y/o los materiales geológicos que fueron identificados en la tomografía 4 a partir de las resistividades reportadas, en la Figura 3-11 se presenta la interpretación litológica asignada a la tomografía eléctrica 4.

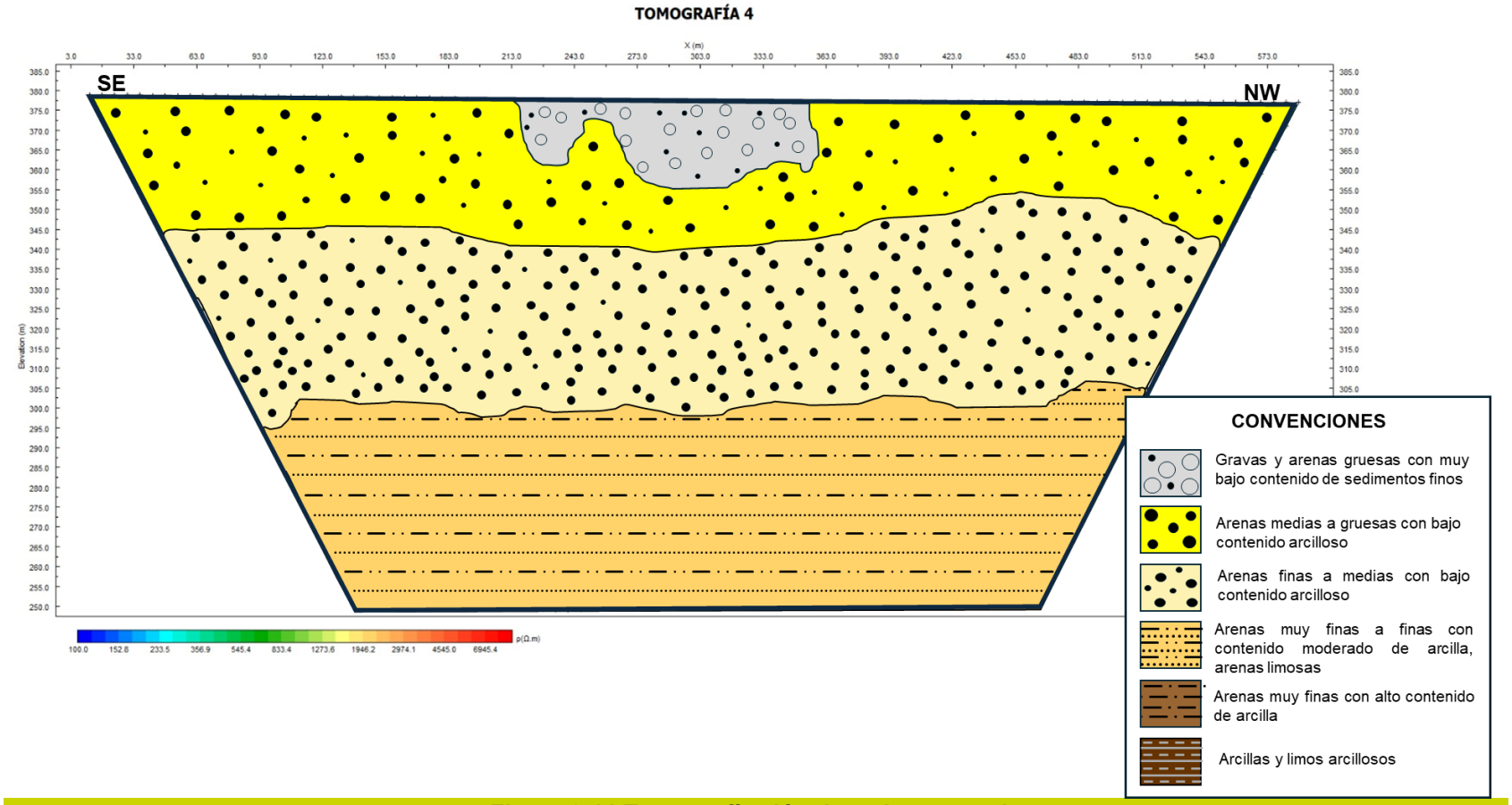


Figura 3-11 Tomografía eléctrica 4 interpretada
Fuente: SGI S.A.S., 2025

3.2.7.3.1.5 Tomografía 5

La tomografía 5 presenta una longitud superficial aproximada de 570 metros y se localiza en el sector centro-oeste del área de influencia, en la vereda La Unión. Su trazo se orienta en dirección NW-SE y alcanza una profundidad de exploración cercana a los 140 metros. En la Figura 3-12 se

presenta la tomografía 5, junto con un perfil esquemático donde se observa la ubicación de esta tomografía dentro del área de influencia del presente proyecto.

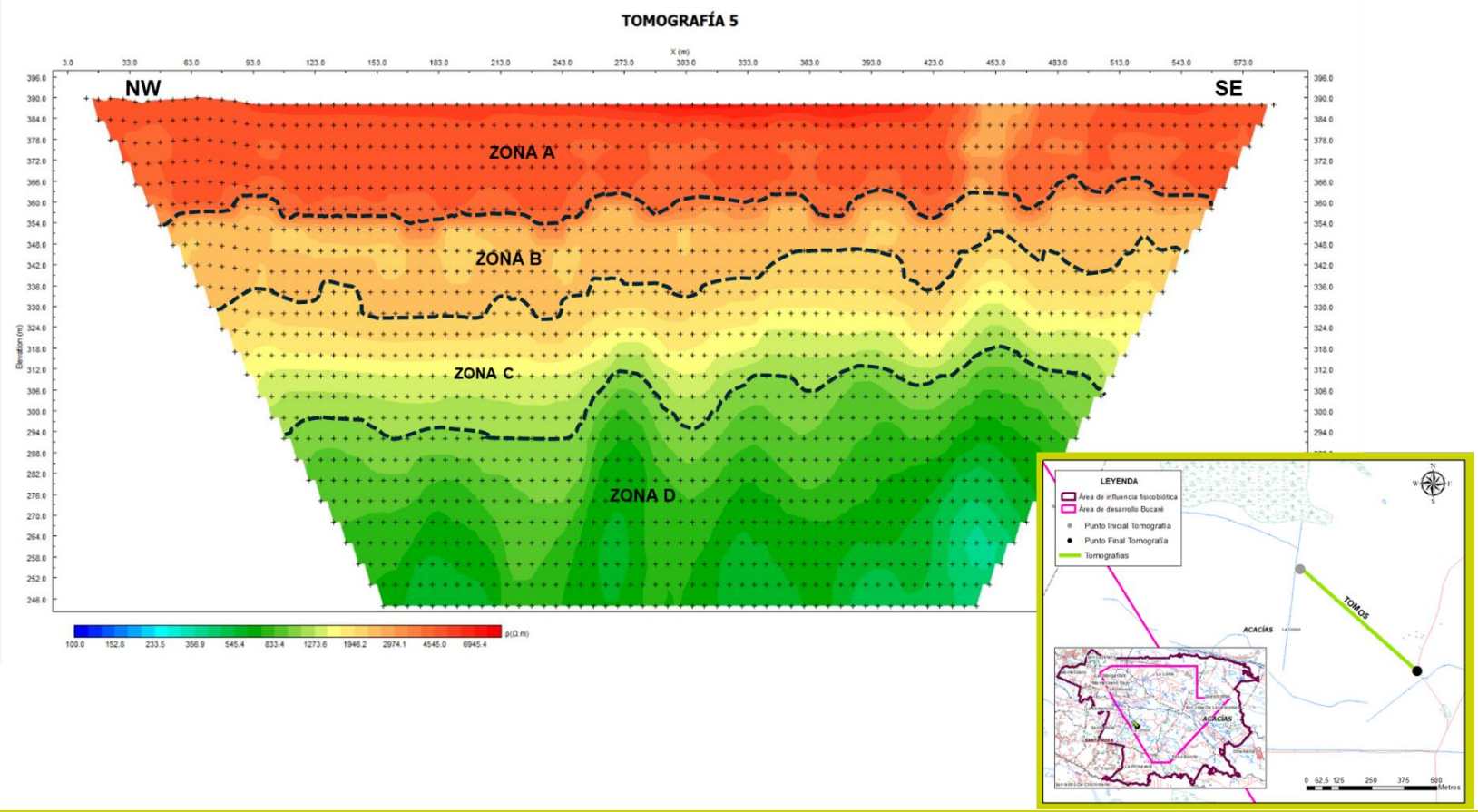


Figura 3-12 Tomografía eléctrica 5
Fuente: SGI S.A.S, 2025

Al igual que la tomografía 4, esta sección presenta una estratificación horizontal y continua, lo que sugiere condiciones geológicas relativamente homogéneas a lo largo del perfil.

En los primeros 40 metros se distinguen tonalidades rojas y naranjas intensas asociadas a resistividades superiores a 4500 ohm·m, correspondientes a la denominada ZONA A. Esta unidad está conformada por sedimentos de grava y arena gruesa con bajo contenido de materiales finos, lo que facilita una alta movilidad de fluidos y, en consecuencia, una excelente capacidad para transmitir agua. Por estas condiciones, la ZONA A se considera un acuífero de muy buena productividad, actualmente aprovechado por la comunidad.

Inmediatamente por debajo se encuentra la ZONA B, con tonalidades amarillas y anaranjadas claras con resistividades que oscilan entre 2500 y 4500 ohm·m, alcanzando un espesor aproximado de 20 metros. Está compuesta por sedimentos de arena gruesa a media, que, en función del contenido de materiales finos, pueden conformar acuíferos de mediana productividad.

Infrayaciendo, se identifica una capa con tonalidades amarillas, naranjas y verdes con matices amarillos, la cual se asocia a resistividades entre 1250 a 2500 ohm*m y se identifica como ZONA C. Esta zona presenta un espesor de 60 metros que se mantiene prácticamente constante a lo largo de la tomografía. Está conformada por arenas finas a medias con un contenido de sedimentos finos moderado a bajo, lo cual le otorga unas permeabilidades y porosidades buenas, que se traduce en una productividad que varía entre moderada a baja, según el contenido de sedimentos finos presentes.

Finalmente, en la base de la tomografía 5 se identifica la ZONA D, con resistividades de 400 a 1250 ohm·m, extendiéndose hasta el límite inferior del perfil. Esta zona se asocia principalmente a sedimentos de arena fina con un contenido de limos y arcillas moderado, lo que reduce la circulación de fluidos. También podría corresponder a intercalaciones de arenas y sedimentos finos, predominando estos últimos. Desde el punto de vista hidrogeológico, la ZONA D presenta muy baja productividad.

Teniendo en cuenta las descripciones litológicas y/o los materiales geológicos que fueron identificados en la tomografía 5 a partir de las resistividades reportadas, en la Figura 3-13 se presenta la interpretación litológica asignada a la tomografía eléctrica 5.

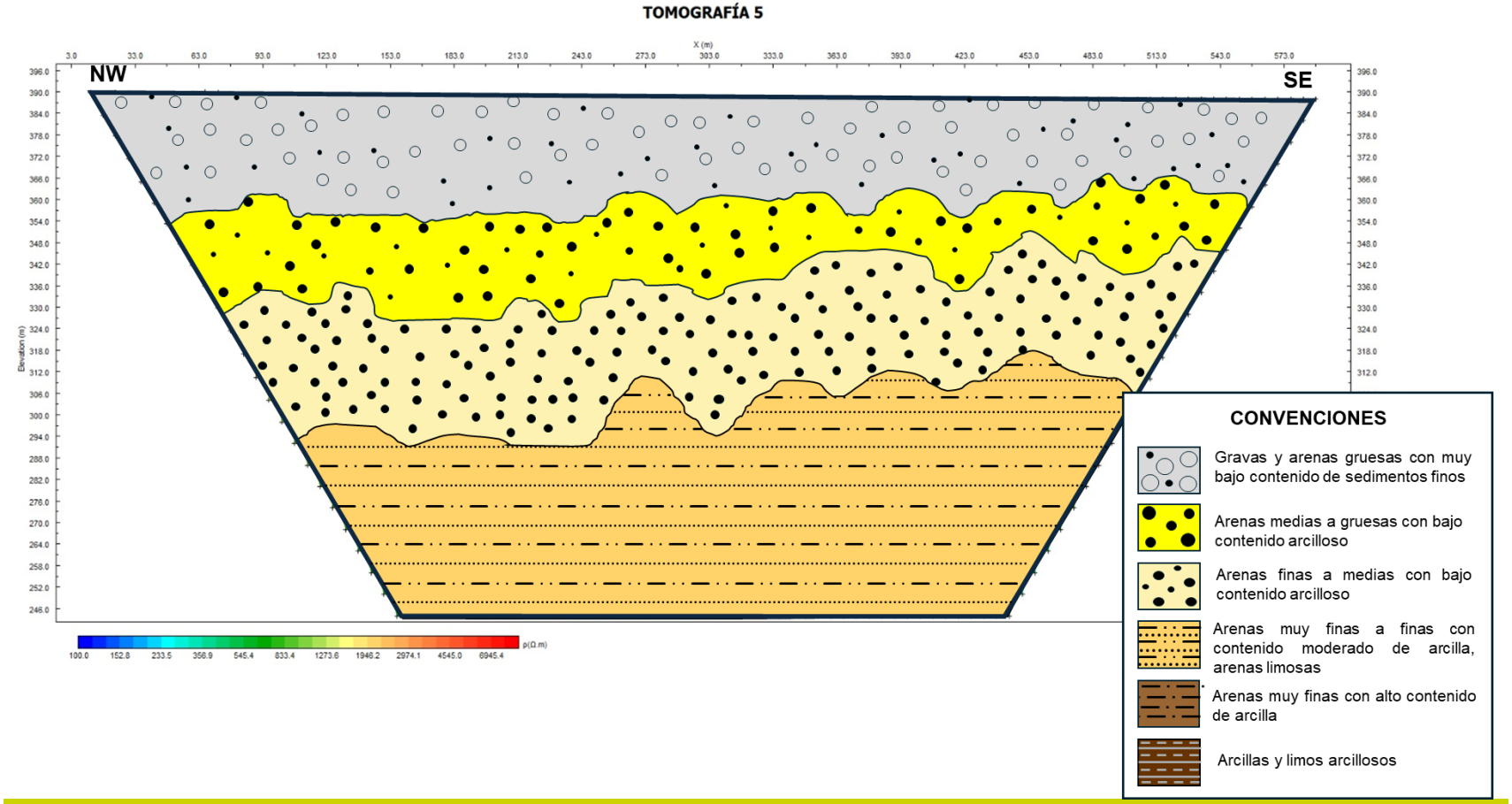


Figura 3-13 Tomografía eléctrica 5 interpretada
Fuente: SGI S.A.S, 2025

3.2.7.3.2 Sondeos magnetotelúricos (MT)

Los sondeos magnetotelúricos son un método electromagnético utilizado para mapear la variación espacial de la resistividad terrestre mediante la medición de los campos eléctricos y magnéticos naturales en la superficie terrestre.

Dentro de las ventajas de este método geofísico están:

- No es un método invasivo, no afecta el medio ambiente.
- Se necesitan áreas pequeñas para la instalación del equipo.
- La técnica no tiene límite de profundidad.
- El estudio se realiza relativamente en poco tiempo, a razón de 4 sondeos diarios.
- Permite ver muy bien los contrastes de resistividad de las rocas que por lo general están asociadas a la presencia de fluidos y composición de estos, así como también a variaciones litológicas.
- Permite realizar modelos 1D, 2D y 3D.

➢ **Sondeos Magnetotelúricos realizados en el Área de Desarrollo Bucare**

Para llevar a cabo la caracterización geológica – geofísica en el área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental para el área de Desarrollo Bucare, se llevaron a cabo treinta (30) sondeos magnetotelúricos (MT). La ubicación de cada uno de los sondeos MT se seleccionó de manera que estos quedaran distribuidos de forma homogénea en toda el área de influencia, garantizando de esta manera, la mejor y más completa caracterización de esta.

En la **Tabla 3-3** se presentan las coordenadas de cada uno de los treinta (30) sondeos magnetotelúricos realizados mientras que en la **Figura 3-14** se presenta la ubicación espacial de estos en el área de influencia fisicobiótica del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare. El espaciamiento entre cada sondeo magnetotelúrico es de aproximadamente 1,2 a 6,0 km dependiendo de la zona.

Tabla 3-3 Coordenadas sondeos magnetotelúricos realizados en el área de influencia fisicobiótica

No.	ID SONDEO MT	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL	
		ESTE (m)	NORTE (m)
1	MTB01	4926207,75	1998372,39
2	MTB02	4930869,42	1999584,23
3	MTB03	4930645,98	1997595,44
4	MTB04	4930311,05	1994943,74
5	MTB05	4929642,69	1991629,31
6	MTB06	4933865,32	1999250,51
7	MTB07	4933642,02	1997372,22
8	MTB08	4933418,48	1995162,44
9	MTB09	4933415,94	1991626,53
10	MTB10	4932859,53	1989527,49
11	MTB11	4932412,91	1985770,91
12	MTB12	4936196,04	1999801,34
13	MTB13	4936416,28	1997370,26

No.	ID SONDEO MT	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL	
		ESTE (m)	NORTE (m)
14	MTB14	4936747,67	1995160,10
15	MTB15	4937744,19	1991844,53
16	MTB16	4936521,57	1989082,94
17	MTB17	4941735,89	1986317,15
18	MTB18	4935747,61	1993282,34
19	MTB19	4932418,43	1993395,21
20	MTB20	4942297,32	1996813,89
21	MTB21	4939634,40	1997368,08
22	MTB22	4940076,19	1994163,41
23	MTB23	4939962,43	1989854,14
24	MTB24	4939960,52	1986870,75
25	MTB25	4945735,94	1994380,90
26	MTB26	4945627,32	1998358,79
27	MTB27	4943183,98	1995045,41
28	MTB28	4942848,61	1991067,78
29	MTB29	4942292,16	1988526,72
30	MTB30	4934966,54	1987205,56

Fuente: SGI SAS, 2025

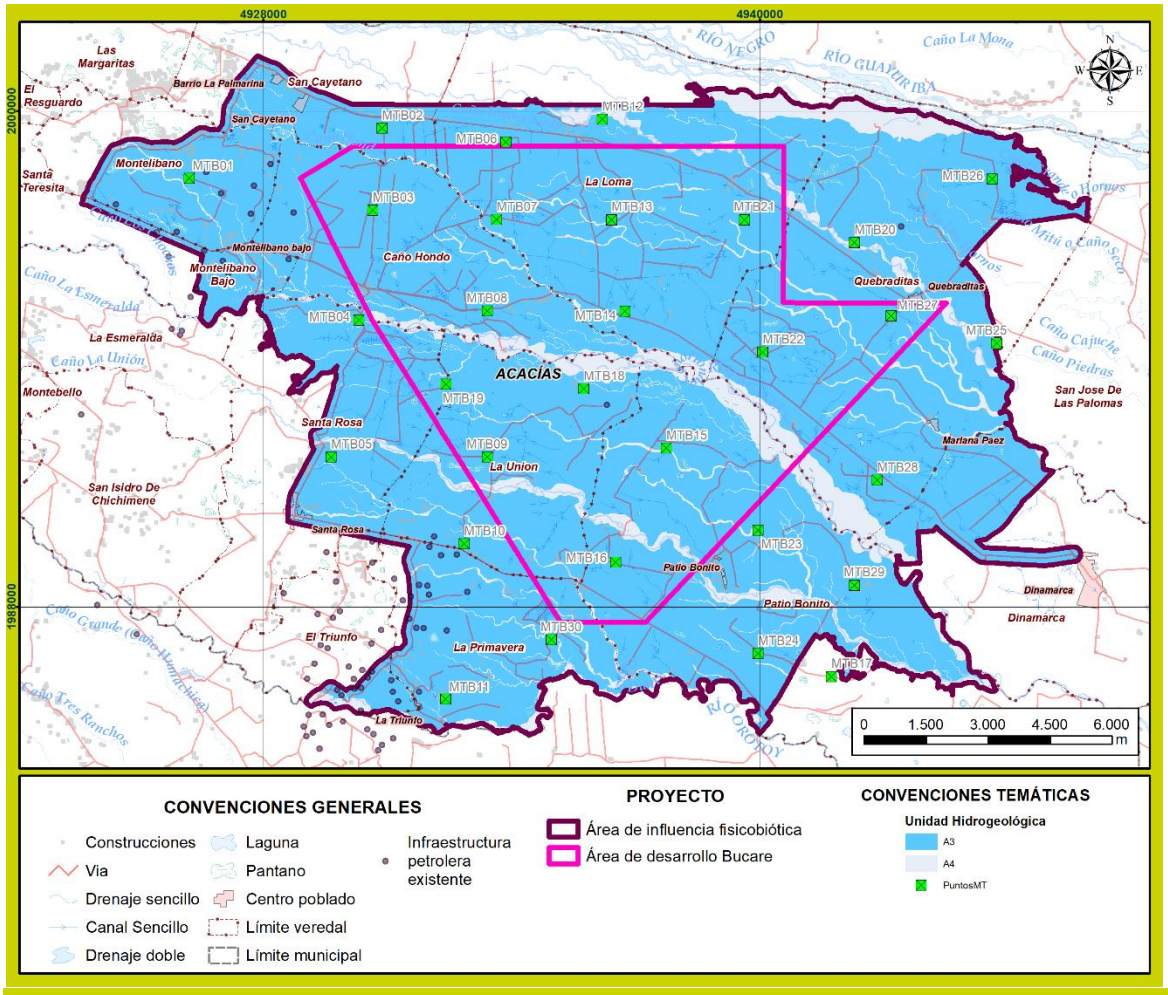


Figura 3-14 Ubicación de los sondeos magnetotelúricos
Fuente: SGI S.A.S., 2025

A partir de los 30 sondeos magnetotelúricos se construyeron nueve (9) perfiles MT, con el objetivo de caracterizar las unidades geológicas profundas presentes en el área de influencia, los perfiles se construyeron en sentido oeste – este (W-E) y norte – sur (N-S).

En la **Tabla 3-4** se presentan los perfiles magnetotelúricos construidos, los sondeos asociados a cada perfil y la dirección de estos. Asimismo, en la **Figura 3-15** se puede observar la ubicación de los nueve (9) perfiles magnetotelúricos distribuidos en el área de influencia fisicobiótica del presente proyecto.

Tabla 3-4 Perfiles magnetotelúricos realizados en el área de influencia fisicobiótica

N° PERFIL	DIRECCIÓN	SONDEOS MT ASOCIADOS
1	Oeste - Este	MTB02
		MTB06
		MTB12
		MTB26

N° PERFIL	DIRECCIÓN	SONDEOS MT ASOCIADOS
2	Oeste - Este	MTB01
		MTB03
		MTB07
		MTB13
		MTB21
		MTB20
3	Oeste - Este	MTB04
		MTB08
		MTB14
		MTB22
		MTB27
		MTB25
4	Oeste - Este	MTB05
		MTB09
		MTB15
		MTB28
5	Oeste - Este	MTB10
		MTB16
		MTB23
		MTB29
6	Oeste - Este	MTB11
		MTB30
		MTB24
		MTB17
7	Norte - Sur	MTB02
		MTB03
		MTB04
		MTB05
8	Norte - Sur	MTB12
		MTB13
		MTB14
		MTB18
		MTB16
		MTB30
9	Norte - Sur	MTB26
		MTB27
		MTB28
		MTB29
		MTB17

Fuente: SGI S.A.S., 2025

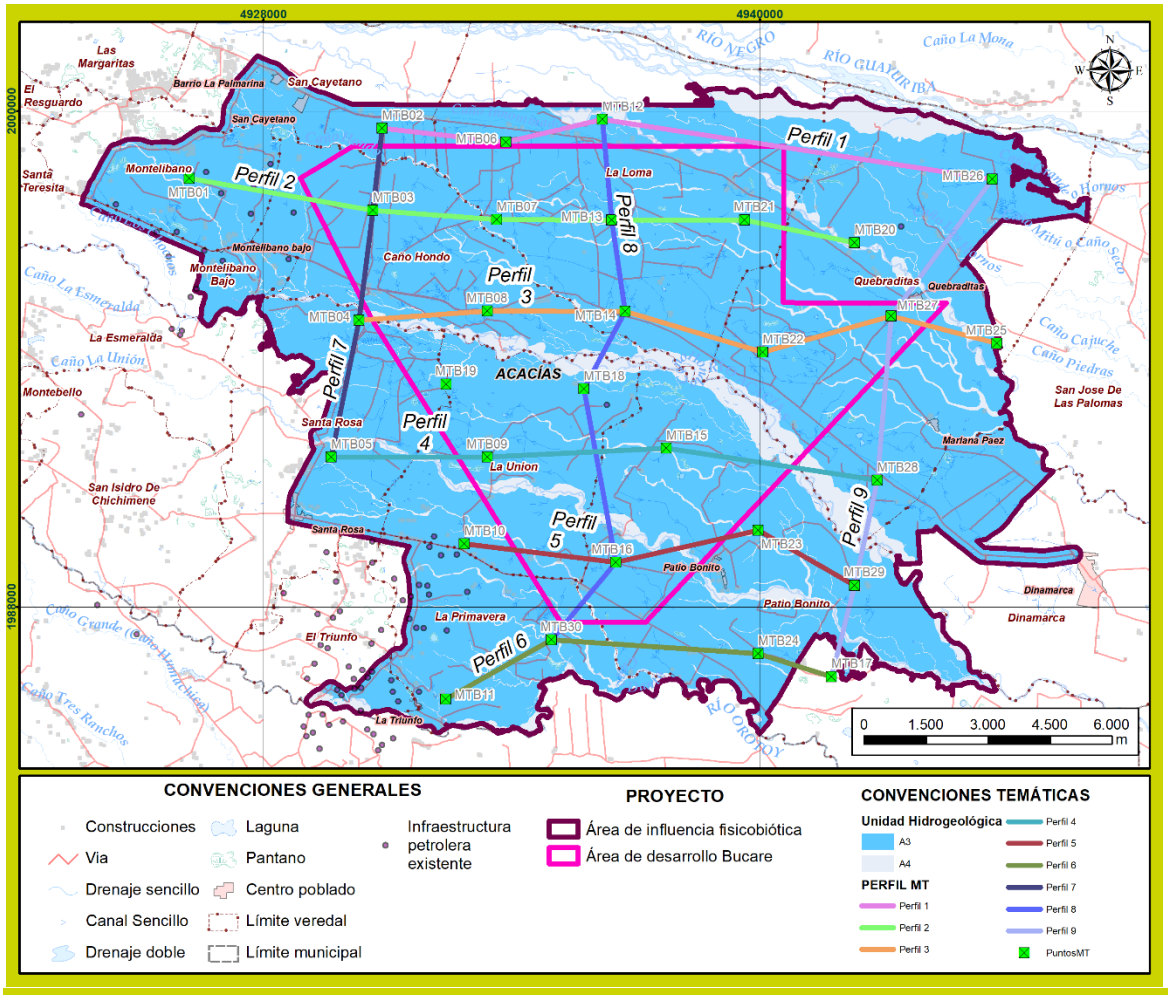


Figura 3-15 Ubicación de los perfiles magnetotelúricos
Fuente: SGI S.A.S., 2025

Para la interpretación de los perfiles magnetotelúricos se definieron siete (7) zonas, cada una caracterizada por un rango de resistividad específico, asociado a distintos tipos de materiales y a diferentes grados de saturación. Estas zonas de resistividad fueron identificadas en los perfiles magnetotelúricos construidos, de manera que permitieran diferenciar los diferentes materiales o litologías presentes en el área de influencia. Los rangos de resistividad definidos para interpretar los perfiles magnetotelúricos se presentan en la Tabla 3-5.

Tabla 3-5 Rangos de resistividad eléctrica en los MT y sus respectivos materiales asociados

ZONA	RANGO DE RESISTIVIDAD (OHM.m)	COLOR	MATERIALES GEOLÓGICOS	CARACTERISTICAS HIDROGEOLÓGICAS
1	<7	Colores azul oscuro	Asociadas a materiales de muy baja permeabilidad,	Estas unidades se interpretan como sellos hidráulicos.

ZONA	RANGO DE RESISTIVIDAD (OHM.m)	COLOR	MATERIALES GEOLÓGICOS	CARACTERISTICAS HIDROGEOLÓGICAS
			constituidos predominantemente por sedimentos finos como arcillas y limos.	
2	7 - 15	Tonos azul a azul cian	Materiales de baja permeabilidad, compuestos por limos y arcillas con posibles intercalaciones delgadas de arenas finas.	Estas unidades presentan una capacidad limitada para el tránsito de fluidos y pueden comportarse como acuitardos o sellos regionales.
3	15 - 24	Colores cian	Asociadas a materiales finos, principalmente arenas finas con matrices limo-arcillosas.	Estas unidades pueden corresponder a acuitardos, donde la movilidad de fluidos es restringida por el alto contenido de sedimentos finos.
4	24 - 43	Colores verde a verde claro	Materiales moderadamente permeables, constituidos por arenas medias con proporciones variables de limos y arcillas.	Estas unidades pueden corresponder a acuíferos de potencial hidráulico bajo a moderado o a zonas de transición hidrogeológica.
5	43 - 80	Colores verde a amarillo	Materiales con mejor conectividad hidráulica, dominados por arenas gruesas con bajo contenido de matriz fina.	Estas unidades presentan una mayor capacidad para el almacenamiento y circulación de fluidos, aunque pueden mostrar variaciones faciales laterales.
6	80 – 140	Colores amarillo a naranja	Predominan litologías de gravas y arenas gruesas con muy bajo contenido de sedimentos finos.	Estas unidades pueden corresponder a acuíferos de potencial hidráulico alto.
7	>140	Colores naranja a rojo	Materiales de muy alta resistividad, asociados a litologías gruesas y de alta permeabilidad, como gravas y arenas limpias.	Estas unidades presentan las mejores condiciones para el flujo de fluidos.

Fuente: SGI S.A.S., 2025

A continuación, se presenta la interpretación de cada uno de los nueve (9) perfiles magnetotelúricos construidos a partir de los treinta (30) sondeos MT realizados dentro del área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare. Los 9 perfiles MT pueden ser consultados a detalle en **Anexos/5. Anexos Abiótico/5.7 Hidrogeología/5.7.2_Perfiles_Magnetoteluricos.**

3.2.7.3.2.1 PERFIL MT01

El perfil magnetotelúrico 1 está compuesto por cuatro (4) sondeos dispuestos en dirección oeste-este (W-E), con una profundidad de exploración aproximada de 2100 metros. Se ubica en el sector norte del área de influencia, abarcando las veredas San Cayetano, La Loma y Quebraditas. En la Figura 3-16 se presentan las resistividades asociadas al perfil MT 1.

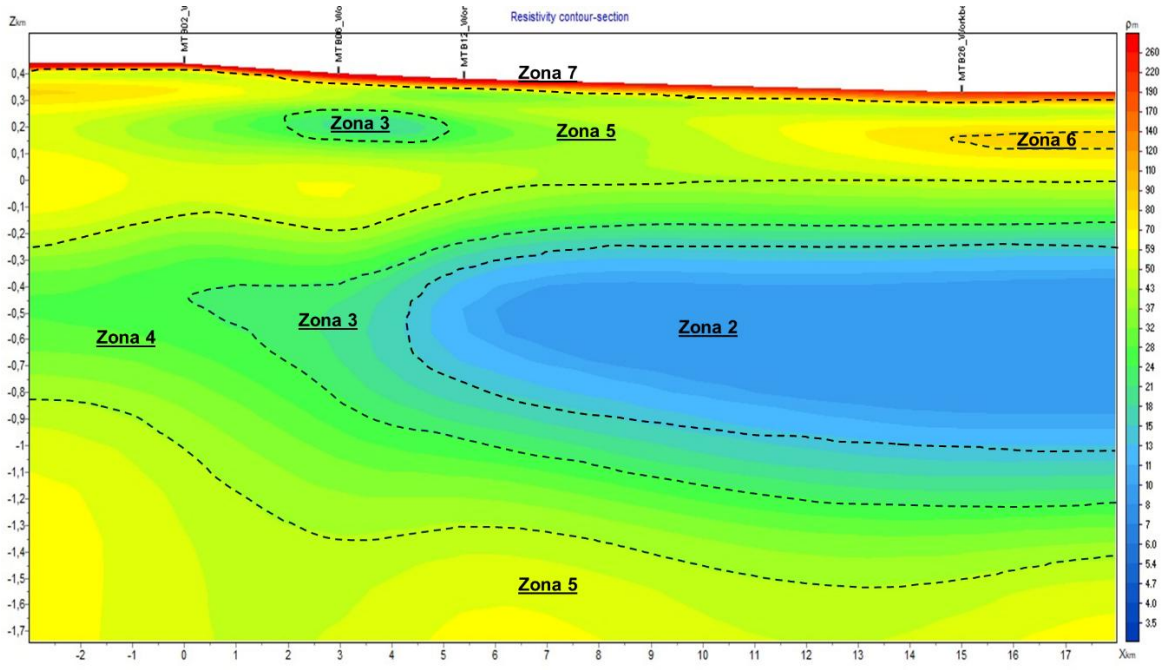


Figura 3-16 Perfil MT 1
Fuente: SGI S.A.S., 2025

En el perfil magnetotelúrico MT01 se reconocen varios dominios de resistividad, los cuales se asocian a las siete (7) zonas de resistividad definidas previamente para la interpretación.

En el tramo más somero se identifica la ZONA 7 (>140 Ω·m), con un espesor aproximado de 30 m, asociada a los depósitos cuaternarios recientes. Esta unidad presenta resistividades relativamente altas compatibles con materiales poco consolidados de granulometrías predominantemente gruesas (gravas y arenas) con bajo contenido de sedimentos finos (limos y arcillas). Esta zona conforma el acuífero somero aprovechable por las comunidades locales. Este tramo se mantiene constante a lo largo del perfil, tanto en su espesor como en su respuesta resistiva.

Por debajo de estos depósitos se reconoce un paquete continúo dominado por la ZONA 5 (resistividades entre 43-80 Ω·m), el cual presenta variaciones laterales en su respuesta resistiva. Estas variaciones reflejan cambios faciales, donde materiales más gruesos pueden pasar lateralmente a sedimentos con mayor contenido de fracción fina. Este tramo alcanza espesores aproximados de 650 m en el sector occidental, disminuyendo hasta cerca de 300 m hacia el sector oriental. Desde el punto de vista hidrogeológico, estas resistividades intermedias a altas indican la presencia de acuíferos de moderado potencial hidráulico. Dentro de esta zona, se evidencian 2 lentes, uno de ZONA 3 con resistividades más bajas y otro constituido por ZONA 6, siendo este más permeable y, por ende, resistivo. Estos lentes evidencian una variación litológica dentro de esta unidad, la cual puede asociarse al Miembro Superior de la Formación Guayabo.

Subyaciente a este paquete, el perfil evidencia la presencia de una ZONA 4, la cual se caracteriza por tonalidades verdes con resistividades que oscilan entre 24 a 43 Ω·m. Esta zona presenta un aumento en el espesor hacia el oeste (W), donde alcanza un espesor hasta alrededor de 1400 m. El aumento en el espesor hacia el W está asociado a la presencia de ZONA 2 y ZONA 3 (resistividades entre 7-15 Ω·m y 15-24 Ω·m), las cuales no se evidencian continuas dentro del perfil, sino que empiezan hacia el W con un espesor conjunto de 1050 metros y se van acuñando hacia el E, desapareciendo del perfil a la altura del sondeo MTB02. Este dominio de bajas resistividades se correlaciona con el Miembro Inferior de la Formación Guayabo y la Formación León, constituidas ambas por secuencias con alta proporción de sedimentos finos, principalmente limos y arcillas, que actúan como niveles de baja permeabilidad o sellos hidráulicos regionales. Si bien no están presentes en todo el perfil MT, si corresponden a unidades de extensión regional y continuas dentro del área de influencia.

En profundidad, se reconoce nuevamente un intervalo caracterizado por ZONA 5 (resistividades entre 43-80 Ω·m), cuyo espesor varía entre aproximadamente 950 m en el sector occidental y 400 m en el sector oriental, hasta alcanzar la base del perfil MT 01. Este dominio se correlaciona con la parte superior de la Formación Carbonera, y estaría conformado por alternancias de arenas y arcillolitas.

3.2.7.3.2.2 PERFIL MT02

El perfil magnetotelúrico 2 está conformado por seis (6) sondeos y se encuentra ubicado en el sector norte del área de influencia, atravesándola en sentido oeste-este (W-E). Presenta una profundidad de exploración aproximada de 2000 metros y abarca las veredas Montelíbano, Caño Hondo, el sector sur de La Loma y Quebraditas. En la Figura 3-17 se presentan las resistividades asociadas al perfil MT 2.

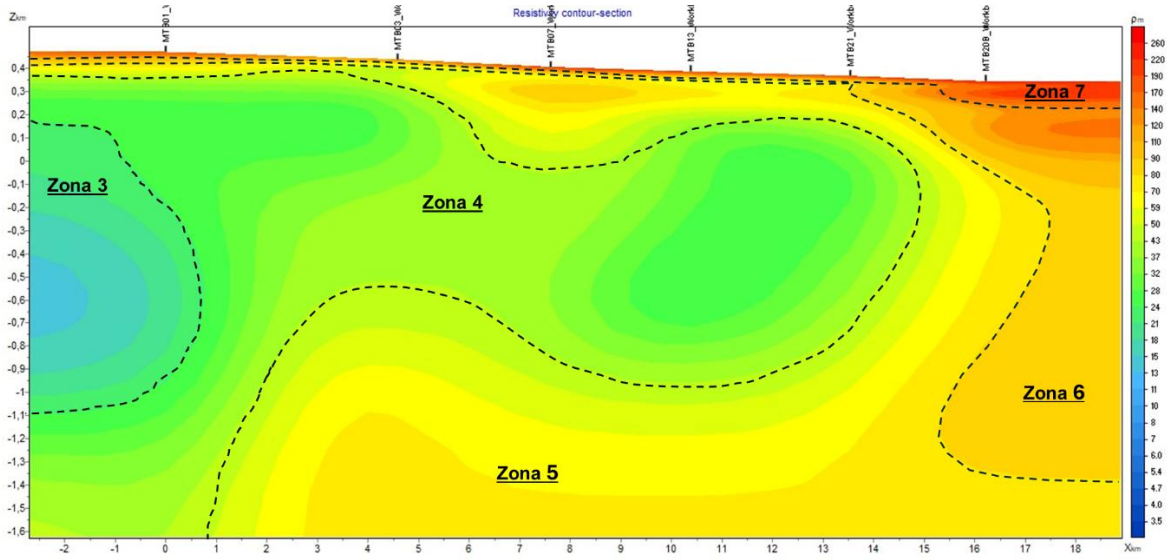


Figura 3-17 Perfil MT 2
Fuente: SGI S.A.S., 2025

En el perfil magnetotelúrico MT02 se reconocen varios dominios de resistividad. En el tramo más somero del perfil se identifica la ZONA 7, caracterizada por resistividades mayores a 140 Ω·m, la cual se asocia a depósitos cuaternarios recientes constituidos por materiales poco consolidados, de granulometría predominantemente gruesa, como gravas y arenas, con un contenido bajo a

moderado de sedimentos finos (limos y arcillas). Esta ZONA 7 representa el acuífero somero aprovechable presente en el área de influencia.

A lo largo del perfil, esta unidad presenta un espesor relativamente constante del orden de 20 m; sin embargo, hacia el sector oriental se observa un marcado engrosamiento del paquete resistivo, acompañado por un incremento de los valores de resistividad, alcanzando espesores de hasta 110 m. Este aumento significativo del espesor de la ZONA 7 hacia el este del perfil se relaciona con la cercanía al Caño Chichimene, donde se evidencia un mayor desarrollo de depósitos aluviales recientes, caracterizados por la acumulación de materiales más gruesos, producto de una mayor dinámica de depositación asociada al drenaje.

Subyacente a estos depósitos superficiales se identifica la ZONA 6, representada por tonalidades naranja intenso y resistividades entre 80 y 140 Ω·m. Inicialmente, esta zona presenta un espesor relativamente constante, cercano a 20 m a lo largo del perfil; no obstante, a partir del sondeo MTB-21, su espesor aparente aumenta de manera significativa, alcanzando casi la base del perfil. Este incremento en el espesor y en los valores de resistividad de la ZONA 6 se asocia igualmente a la influencia del Caño Chichimene, el cual incrementa el grado de saturación de las litologías presentes. Esta condición hidráulica genera una respuesta resistiva elevada en el método magnetotelúrico, sin que ello implique que los depósitos cuaternarios alcancen dichas profundidades, sino que corresponde a una alteración en la respuesta del método asociada a efectos de saturación.

Un comportamiento similar se observa en la ZONA 5, ubicada inmediatamente por debajo de la ZONA 6. Como consecuencia, la unidad subyacente correspondiente a la ZONA 4, representada por tonalidades verdes y resistividades entre 24 a 43 Ω·m. presenta un acuñamiento progresivo hacia el sector oriental del perfil, disminuyendo su espesor hasta desaparecer aproximadamente a la altura del sondeo MTB-21. Esta ZONA 4 se asocia a arenas y gravas con proporciones variables de limos y arcillas, pero dentro de esta zona, hacia el Oeste (W) del perfil se evidencia una pequeña ZONA 3 que no se extiende más allá del sondeo MTB-01, es decir, de extensión muy limitado.

3.2.7.3.2.3 PERFIL MT03

El perfil magnetotelúrico 3 está conformado por seis (6) sondeos, trazados en dirección oeste-este (W-E), con una profundidad de exploración aproximada de 2200 metros. Se localiza en el sector central del área de influencia, sobre la vía Acacias-Dinamarca, abarcando las veredas Caño Hondo y la parte sur de las veredas La Loma y Quebraditas. En la Figura 3-18 se presentan las resistividades asociadas al perfil MT 3.

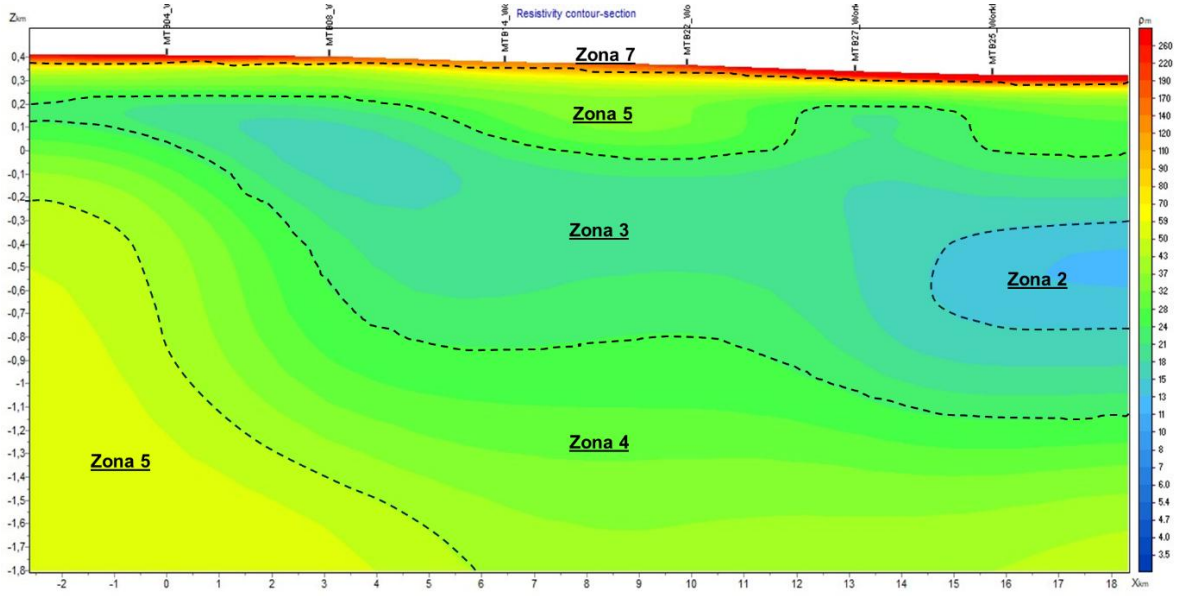


Figura 3-18 Perfil MT 3
Fuente: SGI S.A.S., 2025

En el tramo más somero del perfil se identifica la ZONA 7 (resistividades >140 Ω·m), con un espesor aproximado de 50 metros, el cual se mantiene prácticamente constante a lo largo de todo el perfil MT. Esta zona se asocia a depósitos cuaternarios recientes, constituidos por materiales poco consolidados de granulometría predominantemente gruesa, los cuales constituyen el acuífero libre más superficial y aprovechable del área de influencia. La geometría de esta zona se mantiene de forma continua a lo largo del perfil, sin evidenciar cambios significativos en su comportamiento resistivo ni espesor.

Subyacente a estos depósitos se reconoce una capa extensa caracterizada por la presencia de una capa con tonalidades verdes y resistividades entre 43 a 80 Ω·m, la cual corresponde a la denominada ZONA 5. Esta capa se manifiesta de W a E, siendo mayor el espesor hacia el este (E) donde alcanza los 300 metros mientras que hacia el W el espesor es de 170 metros. Esta zona se puede correlacionar con el Miembro Superior de la Formación Guayabo.

Debajo de esta, se presenta una ZONA 3, la cual se asocia a tonalidades verdes y azules verdosas con resistividades que oscilan entre 15 a 24 Ω·m, que son correlacionables con materiales finos a medios. El espesor de esta zona hacia el Oeste (W) es de 100 metros, pero aumenta significativamente hacia el Este (E), alcanzando los 1100 metros. Asimismo, hacia el E se evidencia un pequeño lente de ZONA 2 (resistividades entre 7-15 Ω·m y colores azules de baja intensidad), la cual se asocia a materiales predominantemente finos, donde la permeabilidad es baja. Esta ZONA 2 alcanza un espesor de 500 metros, pero su extensión lateral si es limitada. Estas zonas de baja resistividad (ZONA 2 y ZONA 3) se pueden asociar al Miembro Inferior de la Formación Guayabo y la Formación León, las cuales son consideradas unidades sello de extensión regional.

Infrayaciendo se identifica la ZONA 4, caracterizada por presentar resistividades entre 24 a 43 Ω·m, colores verdes intensos y asociada a materiales moderadamente permeables, como las arenas medias con proporciones variables de sedimentos finos. Este intervalo presenta espesores que oscilan entre aproximadamente 350 m y 700 m, siendo más grueso hacia el sector oriental del perfil.

Finalmente, hacia la base del perfil se evidencia una capa de ZONA 5, la cual se identifica con tonalidades amarillas, resistividades entre 43 a 80 Ω·m y materiales con mediana a alta

permeabilidad. Esta ZONA 5 se identifica únicamente hacia el W, donde se extiende hasta la base del perfil, pero se acuña lateralmente antes de llegar al sondeo MTB-14.

3.2.7.3.2.4 PERFIL MT04

El perfil magnetotelúrico 4 está conformado por cuatro (4) sondeos: MTB05, MTB09, MTB15 y MTB28, dispuestos en dirección oeste-este (W-E), con una profundidad de exploración aproximada de 2000 metros. Se localiza en el sector sur del área de influencia, cruzando el Caño La Unión hacia el suroeste y al río Acacías hacia el sureste, abarcando las veredas Santa Rosa, La Unión y Patio Bonito. En la Figura 3-19 se presentan las resistividades asociadas al perfil MT 4.

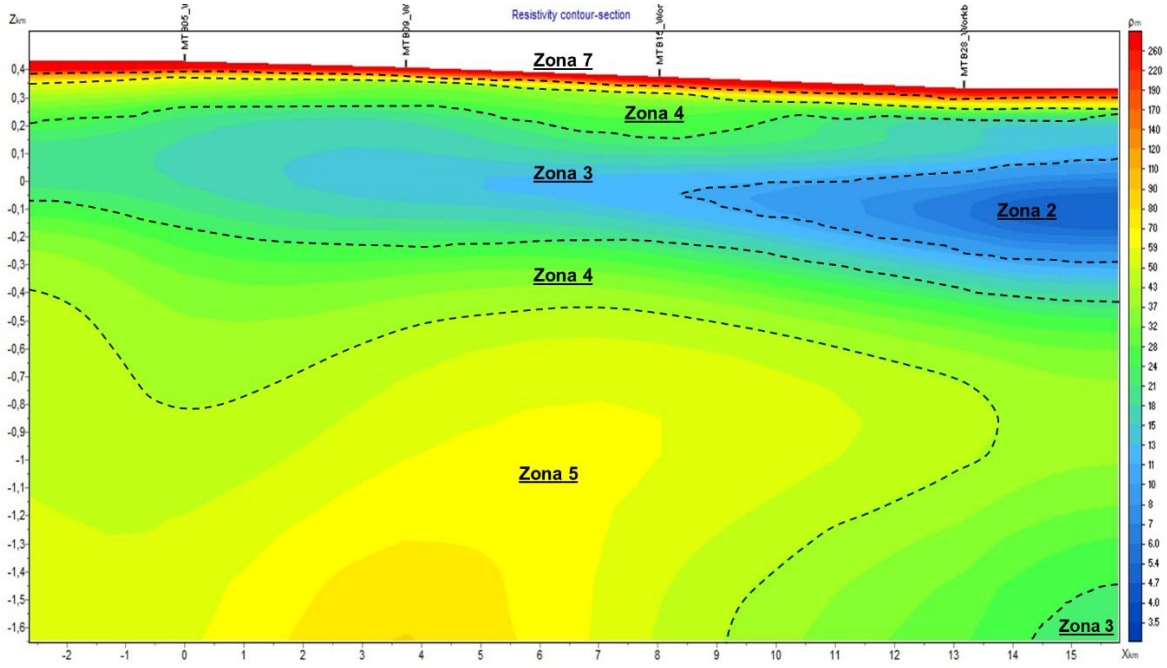


Figura 3-19 Perfil MT 4
Fuente: SGI S.A.S., 2025

En el tramo más somero del perfil se reconoce la ZONA 7 (resistividades >140 Ω·m), con un espesor aproximado entre 40 y 60 m, asociada a depósitos cuaternarios recientes. Esta unidad presenta resistividades elevadas, compatibles con materiales poco consolidados de granulometría predominantemente gruesas, que conforman el acuífero libre más superficial. La geometría de esta zona se mantiene de forma continua a lo largo del perfil, sin variaciones significativas en su espesor ni en su respuesta resistiva, lo que sugiere condiciones relativamente homogéneas en los depósitos cuaternarios a lo largo del trazado.

Infrayaciendo la ZONA 7 se identifica otra capa continúa denominada ZONA 5, caracterizada por colores amarillos, resistividades que oscilan entre 43 a 80 Ω·m. Esta zona presenta un espesor de 20 metros aproximadamente, el cual se mantiene prácticamente constante a lo largo del perfil. Debajo de esta, se identifica una ZONA 4, identificada con tonalidades verdes, resistividades entre 24 a 43 Ω·m y un espesor variable que oscila entre 140 metros al oeste (W) y 20 metros al este (E). Esta ZONA 4 se correlaciona con el Miembro Superior de la Formación Guayabo.

Subyacente se reconoce una ZONA 3 (resistividades entre 15-24 Ω·m). Este intervalo presenta un espesor que varía aproximadamente entre 300 m en el sector occidental y más de 850 m en el sector oriental. Las resistividades bajas a medias se interpretan como materiales de baja permeabilidad, dominados por matrices finas a medias, principalmente arenas finas con limos y arcillas. Hacia el E

se evidencia un lente de ZONA 2 dentro de la ZONA 3, caracterizado por colores azules más fuertes que reflejan resistividades más bajas y, por ende, permeabilidades más bajas también. Esta ZONA 2 se extiende desde el límite E del perfil MT hasta el MTB-15, donde se acuña. Estas zonas de baja resistividad (ZONA 2 y ZONA 3) se pueden asociar al Miembro Inferior de la Formación Guayabo y la Formación León, las cuales son consideradas unidades sello de extensión regional.

En mayores profundidades se identifica un rango dominado por las ZONAS 4 y 5 (resistividades entre 24-43 Ω·m y 43-80 Ω·m), el cual aparece a partir de profundidades cercanas a 100 metros respecto al nivel del mar y más de 500 metros respecto a la superficie y se extiende hasta el límite inferior del perfil. Este intervalo alcanza espesores aproximados de 1600 m en el sector occidental y 1300 m en el sector oriental, y presenta resistividades intermedias asociadas a secuencias más arenosas y relativamente más consolidadas. A estas profundidades, la respuesta resistiva de la Formación León, caracterizada por una alta proporción de sedimentos finos, no se distingue de manera clara, debido a la disminución de la capacidad de resolución del método magnetotelúrico, lo que puede enmascarar su firma resistiva y hacer que se mezcle con el comportamiento eléctrico de unidades suprayacentes más arenosas. Las areniscas presentes dentro de este intervalo pueden constituir acuíferos confinados, intercalados con niveles finos que controlan el flujo vertical. En las porciones más profundas del perfil, este dominio podría correlacionarse con las unidades superiores de la Formación Carbonera, caracterizadas por alternancias de areniscas y lutitas con mayor grado de consolidación.

3.2.7.3.2.5 PERFIL MT05

El perfil magnetotelúrico 5 está conformado por cuatro (4) sondeos: MTB10, MTB16, MTB23 y MTB29, trazados en dirección oeste-este (W-E), con una profundidad de exploración aproximada de 2000 metros. Se ubica hacia la zona sur del área de influencia, abarcando las veredas La Unión y Patio Bonito. En la Figura 3-20 se presentan las resistividades asociadas al perfil MT 5.

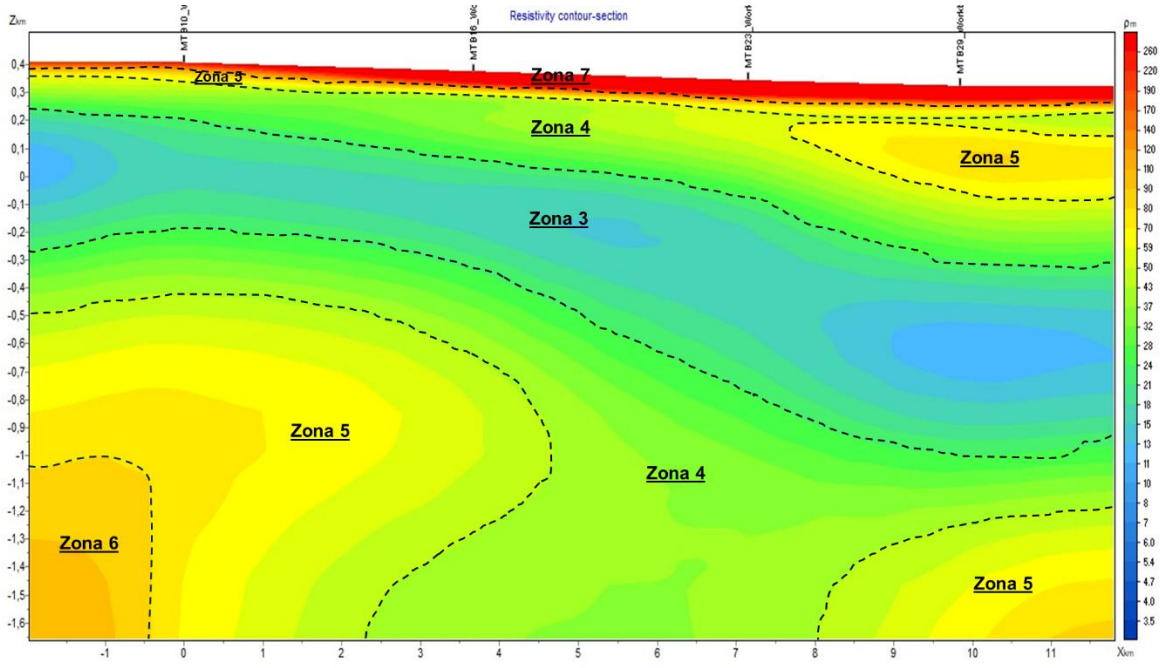


Figura 3-20 Perfil MT 5
Fuente: SGI S.A.S., 2025

En el tramo más somero del perfil se identifica la ZONA 7 (resistividades >140 Ω·m), con un espesor aproximado entre 40 y 70 m, asociada a depósitos cuaternarios recientes. Esta unidad presenta

resistividades elevadas, compatibles con materiales poco consolidados de granulometría predominantemente gruesa, que conforma el acuífero más somero y aprovechable del área de estudio. Este tramo se mantiene relativamente constante a lo largo del perfil, sin evidenciar variaciones significativas en su continuidad lateral ni en su respuesta resistiva. Asimismo, debajo de la ZONA 7 se evidencia una capa continua y constante de la denominada ZONA 5, la cual se identifica con tonalidades amarillas, resistividades que oscilan entre 43 a 80 Ω·m. Esta capa presenta un espesor constante de 40 metros a lo largo de todo el perfil.

Subyacente a estas zonas se reconoce una ZONA 4 (resistividades entre 24-43 Ω·m), dentro de la que se evidencia un pequeño lente de ZONA 5 (43-80 Ω·m). Este intervalo presenta variaciones laterales suaves, donde materiales más gruesos pasan progresivamente a sedimentos con mayor contenido de sedimentos finos, generando cambios locales en la respuesta resistiva. El espesor de este dominio varía desde aproximadamente 100 m en el sector occidental hasta cerca de 500 m hacia el sector oriental. Este paquete se interpreta como parte del Miembro Superior de la Formación Guayabo, caracterizada por un comportamiento heterogéneo, con niveles arenosos intercalados con fracciones limosas y arcillosas, que favorecen la presencia de acuíferos de bajo a moderado potencial hidráulico.

Por debajo de este paquete se identifica un intervalo dominado por la ZONA 3, caracterizada por resistividades bajas entre 15 y 24 Ω·m y tonalidades azules. Esta zona presenta un espesor que aumenta de manera progresiva desde aproximadamente 500 m en el sector occidental hasta cerca de 600 m hacia el sector oriental del perfil. La geometría y el comportamiento lateral de este tramo sugieren un incremento en la proporción de sedimentos finos hacia el sector oriental del área de influencia. Los valores de resistividad registrados se correlacionan con las unidades más finas del Miembro Superior de la Formación Guayabo y con la Formación León, las cuales están constituidas predominantemente por secuencias arcillosas y limosas, que actúan como niveles de baja permeabilidad o sellos hidráulicos de carácter regional.

A mayores profundidades, se vuelve a identificar la ZONA 4, dentro de la cual se reconocen dos lentes no continuos correspondientes a la ZONA 5, caracterizada por resistividades intermedias entre 43 y 80 Ω·m y tonalidades amarillas. Dada la disposición y geometría de estos cuerpos, se interpreta que ambos lentes podrían corresponder en profundidad a una unidad geológica continua, cuya representación fragmentada en el perfil MT02 respondería a las limitaciones de resolución del método magnetotelúrico a grandes profundidades. Bajo esta interpretación, la ZONA 4 presentaría un espesor aproximado de 230 m, mientras que la ZONA 5 alcanzaría espesores del orden de 1.100 m en el sector occidental y cerca de 450 m hacia el sector oriental del perfil.

Estos intervalos profundos pueden correlacionarse con las unidades superiores de la Formación Carbonera, caracterizadas por una alternancia de areniscas y arcillolitas, lo que explica la variabilidad resistiva observada y su comportamiento estratificado en el perfil MT 5.

3.2.7.3.2.6 PERFIL MT06

El perfil magnetotelúrico 6 está conformado por cuatro (4) sondeos: MTB11, MTB30, MTB24 y MTB17, trazados en dirección oeste-este (W-E), con una profundidad de exploración aproximada de 2000 metros. Se ubica en el extremo sur del área de influencia, abarcando las veredas La Primavera y Patio Bonito. En la Figura 3-21 se presentan las resistividades asociadas al perfil MT 6.

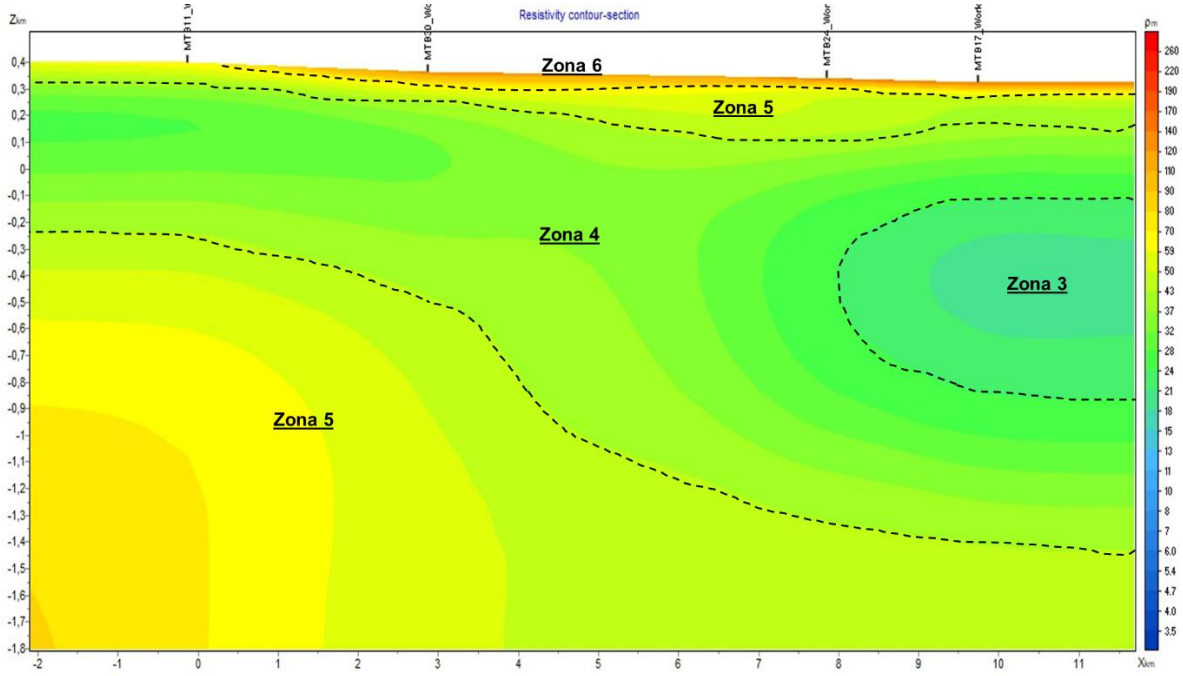


Figura 3-21 Perfil MT 6
Fuente: SGI S.A.S., 2025

En el tramo más somero del perfil MT06 se identifica la ZONA 6, caracterizada por resistividades entre 80 y 140 Ω·m, litológicamente asociadas a sedimentos poco consolidados a no consolidados, compuestos por gravas y arenas gruesas con muy bajo contenido de sedimentos finos. Esta unidad muestra un adelgazamiento hacia el sector occidental del perfil, mientras que en los sectores central y oriental mantiene espesores relativamente constantes, del orden de 40 m, así como una respuesta resistiva homogénea.

Subyacente a esta unidad se reconoce la ZONA 5, representada por tonalidades amarillas y resistividades entre 43 y 80 Ω·m, la cual es continua a lo largo de todo el perfil. Esta zona presenta variaciones leves en su espesor, con valores cercanos a 70 m en el sector occidental (W) y hasta 100 m hacia el sector oriental (E), evidenciando un ligero engrosamiento en esta dirección.

Por debajo, se identifica un intervalo dominado por la ZONA 4, caracterizada por tonalidades verdosas y resistividades intermedias entre 24 y 43 Ω·m. Este tramo presenta una respuesta resistiva relativamente homogénea, con variaciones laterales suaves y sin contrastes marcados, lo que dificulta la diferenciación precisa de unidades geológicas individuales en profundidad. Las resistividades observadas sugieren un medio compuesto por alternancias de materiales arenosos y sedimentos finos, correlacionables con la Formación Guayabo y niveles más finos que podrían corresponder a la Formación León. No obstante, la continuidad lateral de la respuesta resistiva, sumada a la disminución de la resolución del método magnetotelúrico con la profundidad, limita la definición precisa de los contactos estratigráficos. El espesor de la ZONA 4 varía significativamente, oscilando entre 570 m en el sector occidental y hasta 1.600 m en el sector oriental.

Dentro de este intervalo se reconoce un lente de la ZONA 3, identificado únicamente hacia el sector oriental del perfil, extendiéndose desde el límite este hasta el sondeo MTB24. Esta zona presenta resistividades bajas, entre 15 y 24 Ω·m, y un espesor aproximado de 750 m, lo que sugiere una mayor proporción de sedimentos finos y un incremento en las condiciones de confinamiento en este sector.

Finalmente, hacia la base del perfil MT06, se observa un incremento gradual de las resistividades, correspondiente nuevamente a la ZONA 5 (43–80 Ω·m), siendo este comportamiento más marcado en el sector occidental. Este dominio resistivo podría asociarse a los estratos superiores de la Formación Carbonera, caracterizados por secuencias más consolidadas y/o con una mayor proporción de litologías gruesas. Sin embargo, no se descarta que este aumento resistivo responda, en parte, a efectos propios del método, asociados a la profundidad de investigación y a las limitaciones inherentes a la resolución magnetotelúrica en niveles profundos.

3.2.7.3.2.7 PERFIL MT07

El perfil magnetotelúrico 7 está conformado por cuatro (4) sondeos: MTB02, MTB03, MTB04 y MTB05, trazados en dirección norte-sur (N-S), con una profundidad de exploración aproximada de 2100 metros. Se desarrolla en el extremo oeste del área de influencia, extendiéndose desde el sector norte hasta el Caño La Unión. Atraviesa parcialmente el área, abarcando las veredas San Cayetano, Caño Hondo y Santa Rosa, y cruzando el Río Acacias. En la Figura 3-22 se presentan las resistividades asociadas al perfil MT 7.

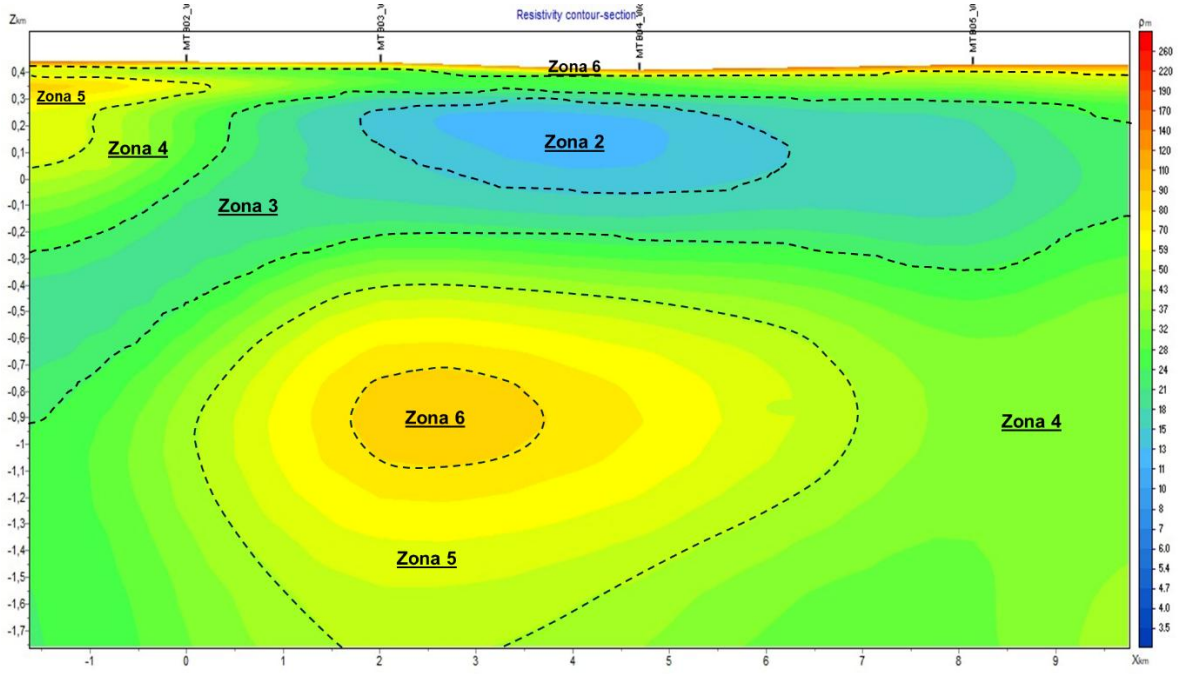


Figura 3-22 Perfil MT 7
Fuente: SGI S.A.S., 2025

Hacia el tope del perfil MT07 se identifica la ZONA 6, caracterizada por resistividades entre 80 y 140 Ω·m, con un espesor aproximado de 30 m. Esta unidad presenta valores de resistividad altos, acordes con materiales poco consolidados de granulometría predominantemente gruesa, tales como arenas y gravas, los cuales conforman acuíferos de buen potencial para la captación de agua subterránea. De hecho, esta unidad constituye el acuífero actualmente aprovechado por las comunidades locales. La geometría de la ZONA 6 es continua y homogénea a lo largo de todo el perfil, sin variaciones significativas en su espesor ni en su respuesta resistiva. Esta zona se

correlaciona con los depósitos cuaternarios aflorantes en el área de influencia, en particular aquellos asociados al abanico aluvial.

Subyacente a estos depósitos se reconoce una capa continua correspondiente a la ZONA 4, caracterizada por resistividades entre 24 y 43 Ω·m, identificable por sus tonalidades verdosas. El espesor de esta zona varía desde aproximadamente 650 m en el sector occidental, donde predominan resistividades relativamente más altas y se identifica incluso un pequeño lente de ZONA 5, hasta cerca de 160 m en el sector oriental del perfil. Este intervalo se asocia al Miembro Superior de la Formación Guayabo, el cual se caracteriza por un comportamiento litológico heterogéneo, con predominancia de niveles arenosos intercalados con sedimentos finos.

Por debajo de este intervalo se identifica la ZONA 3, con resistividades entre 15 y 24 Ω·m, cuyos espesores varían aproximadamente entre 350 m en el sector oriental y 650 m en el sector occidental. Esta zona presenta resistividades bajas a intermedias, interpretadas como materiales de baja permeabilidad, dominados principalmente por matrices finas. Dentro de la ZONA 3 se identifica un lente de ZONA 2, el cual presenta resistividades aún más bajas, indicando la presencia de materiales con permeabilidad muy reducida. En conjunto, estas zonas pueden correlacionarse con el Miembro Inferior de la Formación Guayabo y, posiblemente, con la Formación León. Su continuidad lateral y la homogeneidad de su respuesta resistiva sugieren la presencia de niveles finos persistentes, que actúan como acuitardos o sellos hidráulicos de carácter regional.

A mayores profundidades se reconoce nuevamente un dominio caracterizado por la ZONA 4, dentro de la cual se evidencian lentes de ZONA 5 y ZONA 6 (resistividades entre 43–80 Ω·m y 80–140 Ω·m, respectivamente). Esta configuración refleja una variabilidad litológica dentro del intervalo, que abarca desde resistividades intermedias hasta relativamente altas, indicando cambios en la granulometría y en el grado de consolidación de los sedimentos. El espesor combinado de estas zonas oscila aproximadamente entre 770 m y 1600 m. Este intervalo podría asociarse a secuencias arenosas más consolidadas, relacionadas con unidades someras de la Formación Carbonera. No obstante, el contraste geométrico y la distribución irregular de las resistividades observadas en este tramo del perfil sugieren que este comportamiento no responde exclusivamente a variaciones litológicas, sino que también podría estar influenciado por efectos asociados a la profundidad de investigación y a las limitaciones inherentes a la resolución del método magnetotelúrico.

3.2.7.3.2.8 PERFIL MT08

El perfil magnetotelúrico 8 está conformado por seis (6) sondeos dispuestos en dirección norte – sur (N-S), con una profundidad de exploración aproximada de 2100 metros. Atraviesa de manera continua la parte central del área de influencia, abarcando las veredas La Loma, La Unión, Patio Bonito y La Primavera. Inicia en cercanías del Caño Chichimene, cruza el Río Acacias y el Caño La Unión, y se extiende hasta proximidades del Río Orotoy. En la Figura 3-23 se presentan las resistividades asociadas al perfil MT 8.

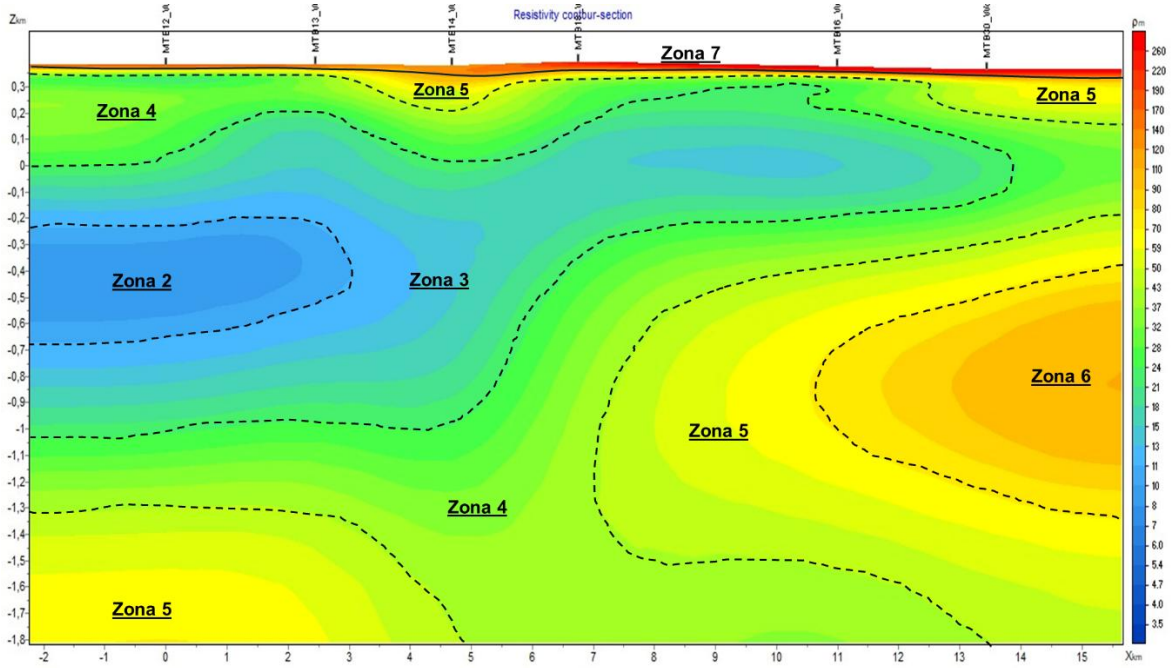


Figura 3-23 Perfil MT 8
Fuente: SGI S.A.S., 2025

En el tramo más somero del perfil MT se identifica la ZONA 7, caracterizada por resistividades mayores a 140 Ω·m y un espesor aproximado de 30 metros. Esta unidad presenta resistividades elevadas, compatibles con materiales poco consolidados de granulometría predominantemente gruesa, tales como gravas y arenas, las cuales se correlacionan con los depósitos cuaternarios, especialmente los asociados al abanico aluvial, el cual constituye el acuífero principal para la extracción de agua subterránea por parte de la comunidad local. La geometría de esta zona es continua y relativamente homogénea a lo largo del perfil, con un leve engrosamiento hacia el sector sur, sin variaciones significativas en su comportamiento resistivo, lo que indica condiciones hidráulicas y litológicas uniformes en los depósitos cuaternarios someros.

Subyacente a estos depósitos se reconoce una capa dominada principalmente por la ZONA 5, con resistividades entre 43 y 80 Ω·m, cuyo espesor varía desde aproximadamente 50 m en el sector norte hasta cerca de 200 m hacia el sector sur, evidenciando un engrosamiento progresivo en esta dirección. Por debajo de esta unidad se identifica la ZONA 4, caracterizada por resistividades intermedias entre 24 y 43 Ω·m, la cual presenta variaciones laterales importantes en su espesor, reflejando cambios en la proporción relativa de materiales arenosos y finos.

Los intervalos correspondientes a las ZONAS 5 y 4 se correlacionan con el Miembro Superior de la Formación Guayabo, el cual se caracteriza por un comportamiento litológico heterogéneo, conformado por niveles arenosos intercalados con fracciones finas. Esta alternancia favorece el desarrollo de acuíferos de moderado a buen potencial hidráulico, así como la presencia de niveles con comportamiento de acuitardo, que controlan parcialmente la circulación vertical del flujo subterráneo.

Por debajo de este paquete se identifica un dominio correspondiente a la ZONA 3, caracterizado por resistividades entre 15 y 24 Ω·m, cuyo espesor varía desde aproximadamente 1.050 m en el sector norte hasta cerca de 150 m hacia el sector sur, donde esta unidad se acuña y desaparece a la altura del sondeo MTB30, sin alcanzar el límite meridional del perfil. Este intervalo presenta resistividades bajas, interpretadas como materiales de baja permeabilidad, dominados por matrices finas,

principalmente arenas finas, limos y arcillas. Aunque la ZONA 3 no muestra continuidad a lo largo de todo el perfil MT, esta discontinuidad se atribuye a limitaciones del método magnetotelúrico en profundidad, dado que en otros métodos geofísicos realizados en el área se evidencia una continuidad lateral de estos niveles arcillosos.

Dentro de la ZONA 3 se identifica un lente de la ZONA 2, caracterizado por resistividades aún más bajas, lo cual sugiere la presencia de litologías menos permeables. Este dominio se correlaciona con el Miembro Inferior de la Formación Guayabo y con la Formación León. La homogeneidad resistiva de este intervalo indica la presencia de niveles arcillosos persistentes en profundidad, que actúan como acuitardos regionales o sellos hidráulicos, controlando de manera efectiva la circulación vertical del flujo subterráneo.

En mayores profundidades se reconoce nuevamente un dominio caracterizado por las ZONAS 4 y 5 (resistividades entre 24–43 Ω·m y 43–80 Ω·m, respectivamente), el cual se desarrolla a partir de profundidades cercanas a –0,2 km y se extiende hasta el límite inferior del perfil. Este intervalo alcanza espesores aproximados de 1.600 m en el sector oriental y 1.000 m en el sector occidental, y presenta resistividades intermedias asociadas a secuencias más arenosas y con mayor grado de consolidación. Hacia la base de este dominio, estas unidades podrían correlacionarse con las porciones superiores de la Formación Carbonera, caracterizadas por alternancias de areniscas y lutitas, que configuran potenciales acuíferos confinados, intercalados con niveles finos que regulan el flujo vertical en profundidad. No se descarta la influencia de controles estructurales locales en este intervalo profundo, particularmente en los sectores donde se registran los mayores contrastes resistivos, los cuales podrían estar afectando la respuesta del método magnetotelúrico.

3.2.7.3.2.9 PERFIL MT09

El perfil magnetotelúrico 9 está conformado por cinco (5) sondeos dispuestos en dirección norte – sur (N-S), con una profundidad de exploración aproximada de 2000 metros. Atraviesa de manera continua la parte este del área de influencia, abarcando las veredas Quebraditas y Patio Bonito. Inicia en las cercanías del Rio Guayuriba, cruza el Caño Chichimene, el Río Acacias y el Caño La Unión. En la Figura 3-24 se presentan las resistividades asociadas al perfil MT 9.

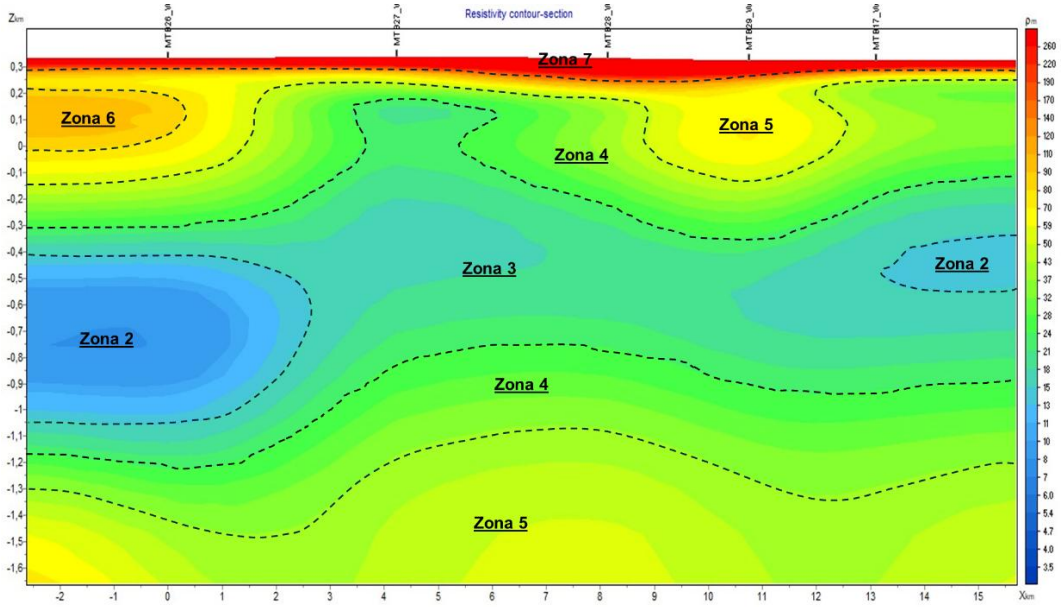


Figura 3-24 Perfil MT 9
Fuente: SGI S.A.S., 2025

En la parte superior del perfil MT 9 se identifica de manera continua la ZONA 7, caracterizada por resistividades mayores a 140 Ω·m y un espesor aproximado entre 25 y 35 m. Esta unidad presenta una geometría prácticamente horizontal y homogénea a lo largo de todo el perfil, con variaciones muy leves en su espesor. Las resistividades elevadas son compatibles con materiales poco consolidados y de granulometría predominantemente gruesa, tales como arenas y gravas, por lo que esta zona se correlaciona con los depósitos cuaternarios aflorantes en el área de influencia, constituyendo el acuífero libre más superficial.

Subyacente a estos depósitos se observa la ZONA 5, caracterizada por resistividades entre 43 y 80 Ω·m, las cuales localmente transicionan a valores más elevados, dando lugar a la presencia de un lente de ZONA 6 hacia el sector norte del perfil. La ZONA 6 se presenta de manera localizada, mientras que la ZONA 5 muestra una mayor continuidad lateral hacia los sectores central y oriental. Este comportamiento sugiere variaciones laterales en la proporción de materiales arenosos y niveles finos, asociadas a cambios en las condiciones deposicionales. La ZONA 5 alcanza profundidades cercanas a 450 m hacia el norte, mientras que hacia el sur presenta espesores del orden de 50 m. Este intervalo exhibe resistividades medias a altas, asociadas a secuencias más consolidadas con predominio de arenas gruesas y bajo contenido de sedimentos finos, y se correlaciona con el Miembro Superior de la Formación Guayabo, donde estos niveles pueden constituir acuíferos de moderado a alto potencial hidráulico, condicionados localmente por la presencia de fracciones finas.

Inmediatamente por debajo, se identifica una capa continua correspondiente a la ZONA 4, caracterizada por resistividades entre 24 y 43 Ω·m, la cual se extiende de forma relativamente homogénea a lo largo del perfil. El espesor de esta unidad presenta variaciones laterales importantes, alcanzando valores aproximados de 150 m hacia el norte y hasta 370 m hacia el sur. Esta zona representa un medio litológicamente heterogéneo, conformado por alternancias de areniscas y sedimentos finos, lo que permite también correlacionarla con el Miembro Superior de la Formación Guayabo, donde coexisten intervalos con potencial acuífero moderado a alto y niveles finos con muy bajo potencial hidráulico.

Por debajo de la ZONA 4 se desarrolla una amplia ZONA 3, caracterizada por resistividades entre 15 y 24 Ω·m, la cual presenta una continuidad lateral significativa a lo largo del perfil MT9. Esta unidad alcanza espesores aproximados entre 400 y 800 m, con un ligero engrosamiento hacia el sector central. Las resistividades bajas a intermedias son indicativas de materiales de baja permeabilidad, dominados por litologías finas, tales como limos, arcillas y arenas finas con matriz arcillosa.

Dentro de este dominio se identifican lentes de la ZONA 2, con resistividades inferiores a 15 Ω·m, principalmente hacia los sectores occidental y oriental del perfil. Estos lentes sugieren la presencia de niveles arcillosos más desarrollados, los cuales actúan como acuitardos o sellos hidráulicos. En conjunto, las ZONAS 3 y 2 se correlacionan con el Miembro Inferior de la Formación Guayabo y con la Formación León, caracterizadas por su baja permeabilidad y continuidad lateral, desempeñando un papel fundamental en el control de la circulación vertical del flujo subterráneo en profundidad.

En los niveles más profundos del perfil se reconoce nuevamente un incremento progresivo de las resistividades, con la aparición de una ZONA 4, cuyos valores oscilan entre 24 y 43 Ω·m, y que presenta un espesor aproximado de 140 m hacia el norte y 300 m hacia el sur. Subyacente a esta unidad, las resistividades continúan aumentando hasta valores cercanos a 80 Ω·m, correspondientes a la ZONA 5, la cual se extiende hasta el límite inferior del perfil. Este intervalo se asocia a secuencias más consolidadas y con mayor proporción de materiales arenosos, permitiendo su correlación con la Formación Carbonera, interpretada como un sistema estratificado compuesto por unidades potencialmente acuíferas confinadas, intercaladas con niveles lutíticos que actúan como sellos, favoreciendo el confinamiento hidráulico en profundidad.En conjunto, el perfil MT9 evidencia una clara estratificación vertical, en la cual los acuíferos someros se concentran en los depósitos cuaternarios y en algunos intervalos del Miembro Superior de la Formación Guayabo, mientras que las unidades de baja permeabilidad correspondientes al Miembro Inferior de la Formación Guayabo

y a la Formación León actúan como sellos regionales, separando hidráulicamente los sistemas someros de las unidades más profundas asociadas a la Formación Carbonera.

En mayor profundidad se reconoce nuevamente un incremento de resistividad, con valores comprendidos principalmente entre 24 y 80 Ω·m, extendiéndose hasta el límite inferior del modelo. Este dominio refleja secuencias más arenosas y consolidadas, interpretadas como las unidades superiores de la Formación Carbonera, caracterizadas por alternancias de areniscas y lutitas. Dentro de este intervalo, las areniscas presentan potencial para configurar acuíferos confinados, intercalados con niveles finos que regulan la conectividad hidráulica vertical.

3.2.7.3.3 Registros de pozos

En este apartado se presentan los resultados del análisis y las correlaciones estratigráficas realizadas a partir de los registros de pozo disponibles en el área de influencia, los cuales, en el marco del presente proyecto, constituyen información secundaria de gran relevancia para la definición de los topes y la caracterización de las principales formaciones geológicas presentes en el área de estudio.

Estos registros aportan información detallada sobre las propiedades físicas de las unidades geológicas, lo que permite establecer correlaciones estratigráficas más precisas y construir modelos que representen la continuidad lateral y el espesor de dichas formaciones. En este sentido, los registros de pozo permitieron validar y complementar la interpretación obtenida a partir de los métodos geofísicos superficiales desarrollados como parte de información primaria en el Estudio de Impacto Ambiental del Área de Desarrollo Bucare, así como caracterizar unidades geológicas profundas de interés para el proyecto, las cuales no son identificables mediante tomografías eléctricas ni sondeos magnetotelúricos debido a la gran profundidad a la que se encuentran.

Si bien los registros de pozo corresponden a mediciones puntuales de resistividad, Gamma Ray y potencial espontáneo, su alta resolución vertical supera la de los métodos geofísicos de superficie y, mediante la correlación de varios registros, es posible refinar la delimitación de los espesores asignados a cada unidad geológica y mejorar la identificación de los contactos litológicos. En este sentido, este insumo resultó fundamental para la diferenciación y caracterización de las unidades acuíferas, las unidades sello, las formaciones productoras y las formaciones receptoras, estas últimas destinadas a la inyección de agua industrial tratada, ya sea para sostenimiento de presión o para disposición.

El análisis incluyó los registros de los pozos CASN-10, CASN-42, Meta 1, Kimera 1, Leyenda 1, Pachaquiaro 1, Pachaquiaro Norte 1, Yacare y Aquila-1, los cuales se localizan dentro del área de influencia e incluso, algunos al interior del área del proyecto. Estos registros de pozo pueden ser consultados a detalle en los anexos del presente Estudio de Impacto Ambiental, los cuales se presentan en la ruta: **Anexos/5. Anexos Abiótico/5.7 Hidrogeología/5.7.3_Registros_de_pozos**.

En la Tabla 3-6 se presentan las coordenadas de los nueve (9) pozos con registros geofísicos analizados, los cuales fueron empleados para definir la continuidad lateral, el espesor y la profundidad de las formaciones geológicas presentes en el área de influencia. En la Figura 3-25 se presenta la ubicación y distribución de los registros de pozos analizados.

Tabla 3-6 Coordenadas de los registros de pozo

NOMBRE DEL POZO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		ALTURA (msnm)
	ESTE (m)	NORTE (m)	
Meta 1	4935283,27	1992840,25	384,04
Kimera 1	4936352,53	1992918,81	371,80
Leyenda 1	4936361,52	1992919,79	371,95
Pachaquiaro 1	4943412,47	1997216,21	323,87

Yacare	4938284,65	1995734,07	359,70
CASN-10	4931104,11	1986275,73	386,98
CASN-42	4931658,26	1987510,06	410,52
Pachaquiaro Norte 1	4944681,24	1998500,1	320,76
Aquila 1	4944696,3	1998500,24	320,54

Fuente: SGI S.A.S., 2025

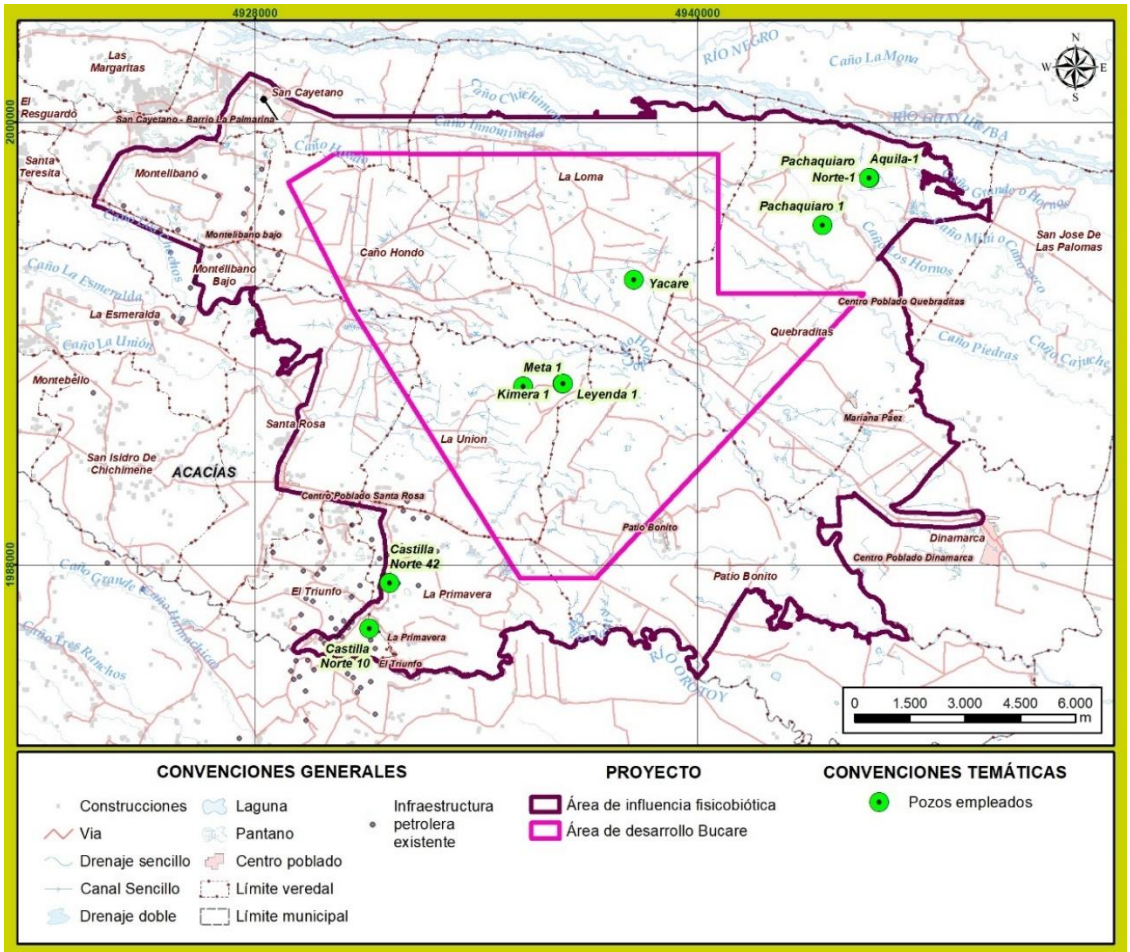


Figura 3-25 Localización de los registros de pozo
Fuente: SGI S.A.S., 2025

Correlación estratigráfica 1

La correlación estratigráfica 1 se extiende desde la parte central del área de influencia hacia el noreste (NE) y está conformada por los registros de los pozos Meta 1, Leyenda 1, Kimera 1, Yacaré y Pachaquiaro 1, con un trazado en dirección WSW–ENE (Figura 3-26).

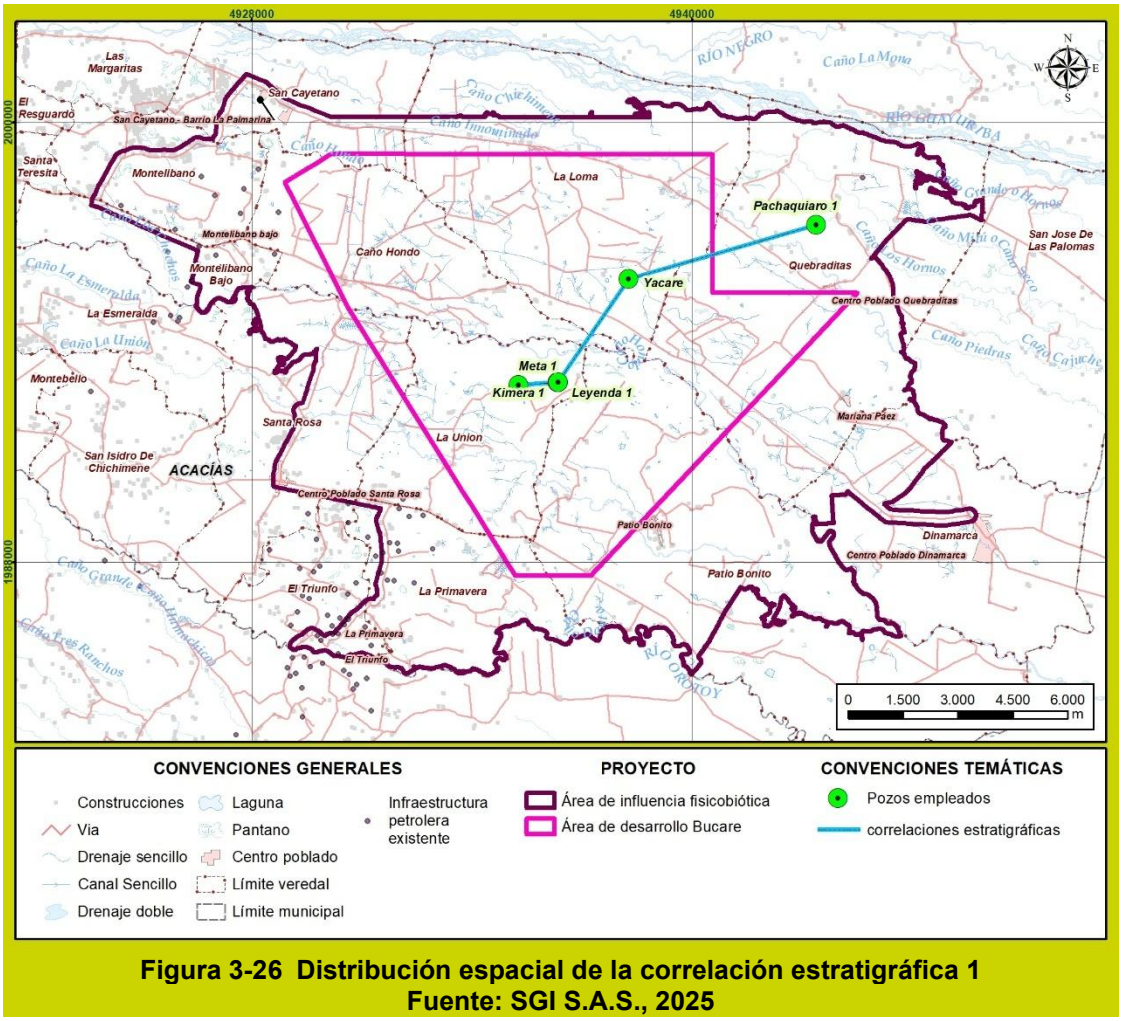


Figura 3-26 Distribución espacial de la correlación estratigráfica 1
Fuente: SGI S.A.S., 2025

El propósito de esta correlación es delimitar las unidades geológicas de interés tanto hidrogeológico como de hidrocarburos, abarcando desde la Formación Guayabo, correspondiente a la unidad más somera identificada en estos registros geofísicos. Para este fin, se emplearon exclusivamente los registros de los pozos mencionados, dado que, entre la información disponible, son los únicos que presentan la secuencia estratigráfica completa, lo que permitió una caracterización integral de las unidades geológicas tanto someras como profundas presentes en el área de influencia.

En la Figura 3-27 se presenta la correlación estratigráfica 1. En general, la sección muestra una disposición subhorizontal de las unidades, con un suave buzamiento regional hacia la dirección ENE, coherente con el marco estructural de la cuenca. Además, a partir de esta correlación se identificaron las siguientes unidades geológicas, ordenadas de tope a base: Formación Guayabo, Formación León, Formación Carbonera y sus miembros o unidades operativas que abarcan desde Areniscas Superiores de Carbonera hasta la unidad operativa denominada T1, así como la Formación Mirador (unidad operativa T2), la Formación Guadalupe y Formación Gachetá que conforman la unidad operativa identificada como K1 y parte de la Formación Une (unidad K2).

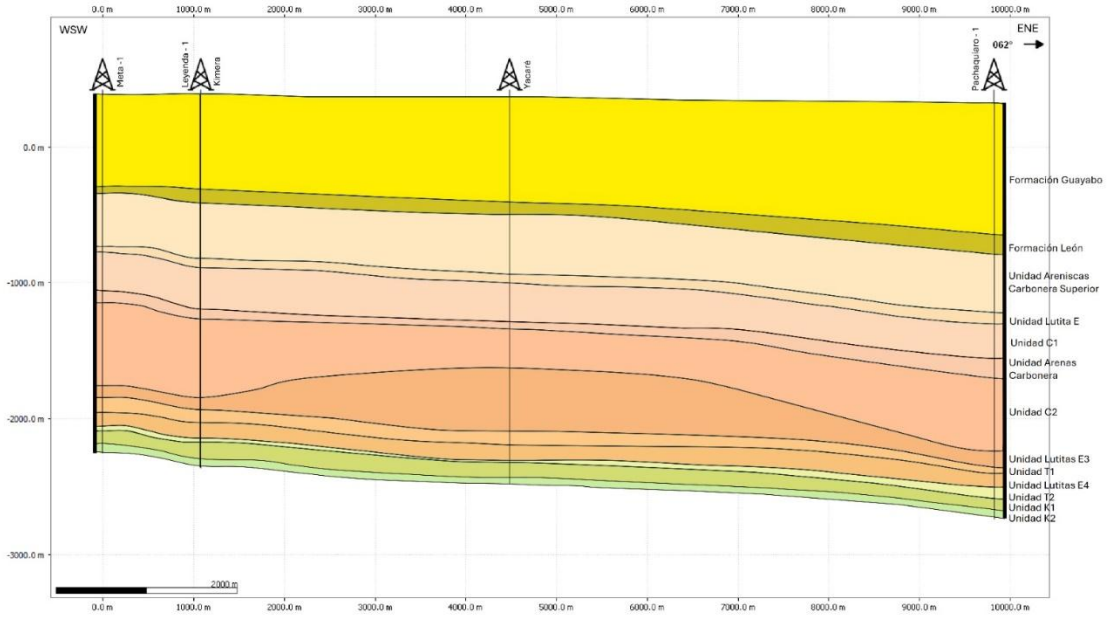


Figura 3-27 Correlación estratigráfica 1
Fuente: SGI S.A.S., 2025

En la parte superior de la sección se reconoce la Formación Guayabo, caracterizada por su continuidad lateral y un espesor considerable que aumenta progresivamente a lo largo del perfil en dirección este-noreste (ENE). Si bien esta unidad es identificable en la correlación estratigráfica 1, las limitaciones propias de los registros de pozo, los cuales no incluyen información desde superficie, impiden estimar su espesor total, dado que únicamente caracterizan una porción de esta formación. Por ello, para caracterizar esta unidad somera o no tan profunda se recurrió a los otros métodos geofísicos realizados (tomografías y sondeos magnetotelúricos), ya que ellos permiten la caracterización desde superficie hasta algunos cuántos metros de profundidad, brindando mayor detalle, pero poca profundidad de exploración. Por esta misma razón, no fue posible diferenciar los dos miembros que la conforman. No obstante, de manera general, la Formación Guayabo se caracteriza por la intercalación de niveles arenosos con materiales más finos, principalmente arcillolitas, donde el Miembro Superior presenta predominio de arenas y el Miembro Inferior una composición mayoritariamente arcillosa.

Subyacente a esta unidad se identifica la Formación León, que se caracteriza por ser una unidad continua, predominantemente arcillosa y con un espesor promedio de 120 metros, el cual aumenta en dirección ENE, alcanzando valores de hasta 150 metros. Debido a su baja permeabilidad, esta formación se considera una unidad sello regional, que restringe la circulación vertical de fluidos entre los acuíferos superficiales aprovechables y las unidades más profundas, dentro de las que se encuentran las unidades de interés petrolero.

Por debajo se identifica la Formación Carbonera, la cual exhibe una marcada heterogeneidad litológica, evidenciada por la alternancia de unidades arenosas con niveles lutíticos. Esta alternancia sugiere un sistema multicapa, donde las unidades arenosas presentan un potencial acuífero medio a alto, mientras que las lutitas actúan como niveles confinantes o sellos, favoreciendo el desarrollo de acuíferos confinados y unidades sello de extensión regional.

Dentro de la Formación Carbonera se identifican varias unidades arenosas. En el tope se identificó la Unidad Areniscas Superiores de Carbonera, uno de los miembros más potentes de esta formación, junto con la unidad C2, ambas de carácter predominantemente arenoso. Por su parte, la Unidad

Arenas Carbonera y la unidad T1 también presentan litología arenosa, aunque con espesores más limitados, siendo la unidad T1 la de menor desarrollo, con un espesor promedio de 75 metros. Estas unidades arenosas se encuentran intercaladas con niveles lutíticos, identificados como Lutita E, C1, Lutita E3 y Lutita E4, esta última ubicada hacia la base de la formación y cuyo espesor alcanza los 110 metros aproximadamente. Debido a su baja permeabilidad y características litológicas, estas unidades se consideran sellos, de gran relevancia para el proyecto, ya que constituyen el sello inmediatamente superior de la unidad operativa T2 (Formación Mirador).

En la correlación estratigráfica se evidencia una marcada continuidad lateral de las unidades que conforman la Formación Carbonera, las cuales presentan un aumento progresivo tanto de la profundidad como del espesor hacia el ENE y, en conjunto, alcanzan un espesor aproximado de 1700 metros, de los cuales 550 metros corresponden a unidades lutíticas, lo que resalta la presencia de sellos potentes y continuos que favorecen las condiciones para la inyección de agua en profundidad.

Subyacente a estos sellos se encuentra la unidad operativa T2, la cual es de gran interés en el marco del EIA Área de Desarrollo Bucare, ya que constituye la principal unidad para la producción de hidrocarburos y también es objeto de inyección para sostenimiento de presión. Esta unidad presenta una significativa continuidad lateral y un aumento progresivo tanto en profundidad como en espesor hacia el ENE. Litológicamente, está compuesta predominantemente por areniscas de buena permeabilidad, lo que la hace apta tanto como reservorio de hidrocarburos como unidad objetivo de inyección.

Finalmente, en los niveles más profundos de la sección se identifican las unidades K1 y K2. La unidad K1 corresponde a la Formación Guadalupe en su porción superior, de carácter más arenoso, y a la Formación Gachetá hacia la base, de composición más arcillosa. Por su parte, la unidad K2 es considerada en el presente proyecto como unidad objeto de inyección para disposición (disposal), con un espesor que oscila entre 50 y 60 m. Esta unidad está conformada predominantemente por materiales permeables, principalmente areniscas, lo que la hace adecuada como formación receptora de fluidos de disposición.

En conjunto, la correlación estratigráfica 1 evidencia un sistema geológico estratificado, en el cual los acuíferos se concentran principalmente en las unidades arenosas de la Formación Guayabo y en algunas subunidades de la Formación Carbonera (Unidad Areniscas Superiores de Carbonera, C2, Unidad Arenas Carbonera y T1). En contraste, las unidades de interés hidrocarburífero (T2 y K2) se localizan a más de 2,6 km de profundidad y están adecuadamente confinadas por unidades sello regionales y locales, destacándose la Formación León, las lutitas profundas de la Formación Carbonera (Lutita E, C1, Lutita E3 y Lutita E4) y la base inferior arcillosa de la unidad K1. Esta configuración respalda un modelo conceptual en el que existe una clara separación estratigráfica y funcional entre los sistemas hidrogeológicos someros y los objetivos petroleros profundos.

Correlación estratigráfica 2

La correlación estratigráfica 2 se extiende desde la parte SW del área de influencia hacia el noreste (NE) de la misma y está conformada por los registros de los pozos CASN-10, CASN-42, Meta 1, Leyenda 1, Kimera 1, Yacaré, Pachaquiaro 1, Pachaquiaro Norte 1 y Aquila 1 con un trazado en dirección SW–NE. En la Figura 3-28, se presenta la correlación estratigráfica 2, entregada por Ecopetrol S.A, en la cual se realiza énfasis en la continuidad de las unidades profundas objeto de producción e inyección, las cuales son la unidad T2 y K2.

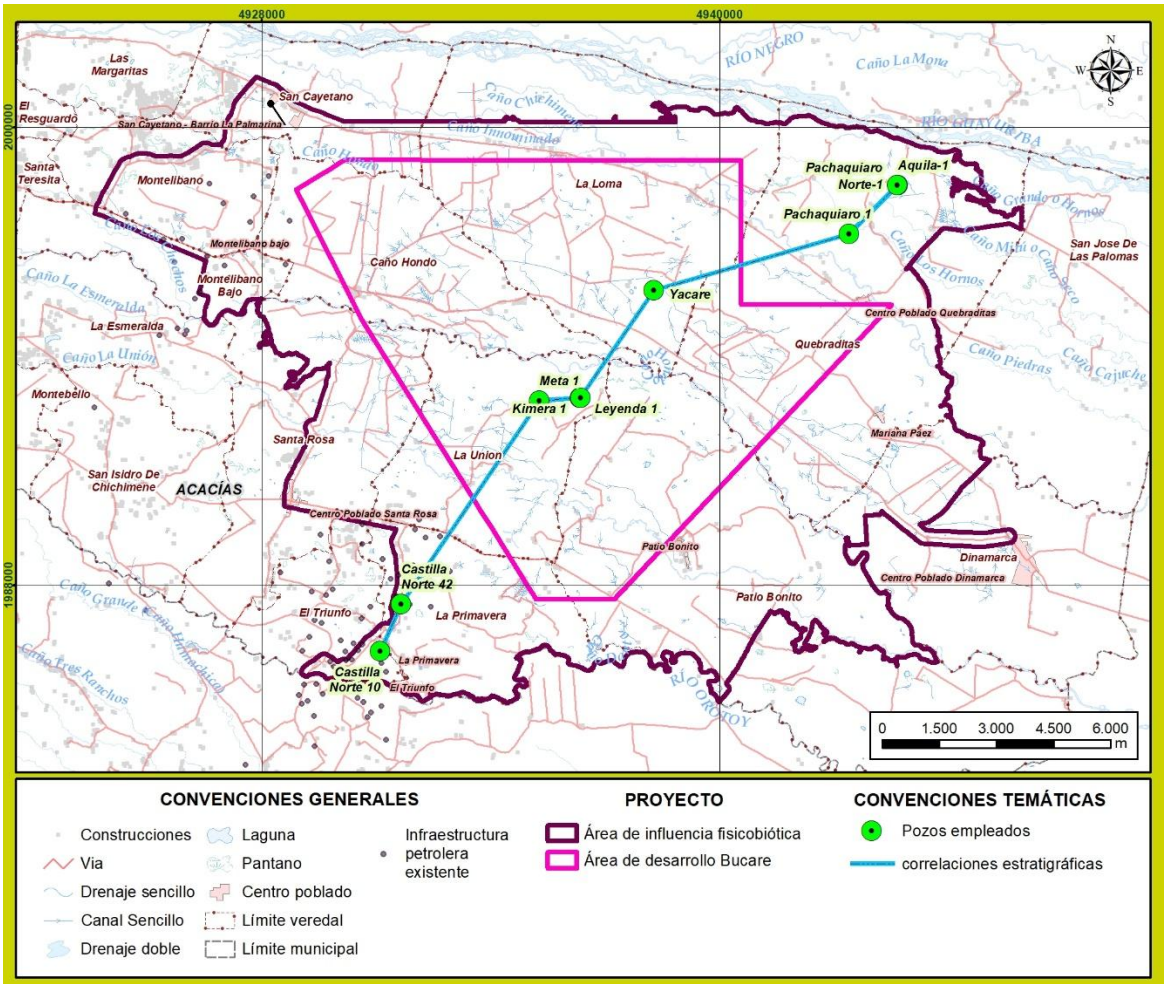


Figura 3-28 Distribución espacial de la correlación estratigráfica 2
Fuente: SGI S.A.S., 2025

En la Figura 3-29 se presenta la correlación estratigráfica 2, en la cual, en términos generales se evidencia una continuidad lateral de las formaciones geológicas objeto de inyección, tanto para disposal (K2) como para sostenimiento de presión (T2), siendo esta última también la principal unidad productora considerada en el Área de Desarrollo Bucare.

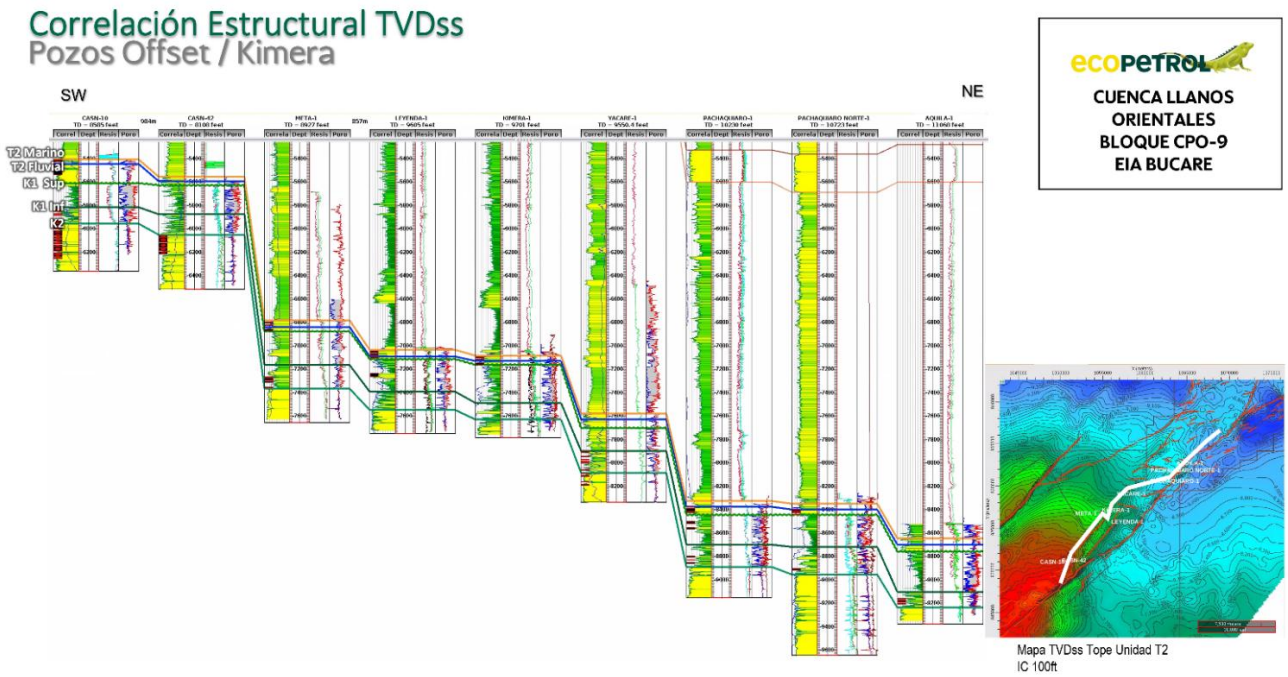


Figura 3-29 Correlación Estratigráfica 2
Fuente: SGI S.A.S., 2025

En la correlación anterior, al igual que en la correlación 1, se observa la continuidad de las unidades de interés y un buzamiento marcado en dirección noreste. De igual forma, se reafirma la naturaleza arenosa de la unidad K2, la cual será el objetivo de inyección para disposición en el Área de Desarrollo Bucare.

3.2.7.4 Secciones sísmicas

Como complemento, fueron entregadas por parte de Ecopetrol S.A. dos secciones sísmicas, donde se observa el comportamiento estructural de las unidades objetivo de inyección. Las dos (2) secciones sísmicas pueden ser consultadas a detalle en el **Anexos/5. Anexos Abiótico/5.7 Hidrogeología/5.7.4_Secciones_sísmicas**.

En la sección sísmica 1, con un trazado en dirección del buzamiento, se observa la continuidad de las unidades profundas resaltándose los reflectores correspondientes a los topes de las unidades T2, K1 y del Paleozoico (Base de la unidad K2). Es claro en esta sección sísmica, la profundización de las unidades en dirección NE y su continuidad en toda el área de estudio con un espesor relativamente constante (Figura 3-30).

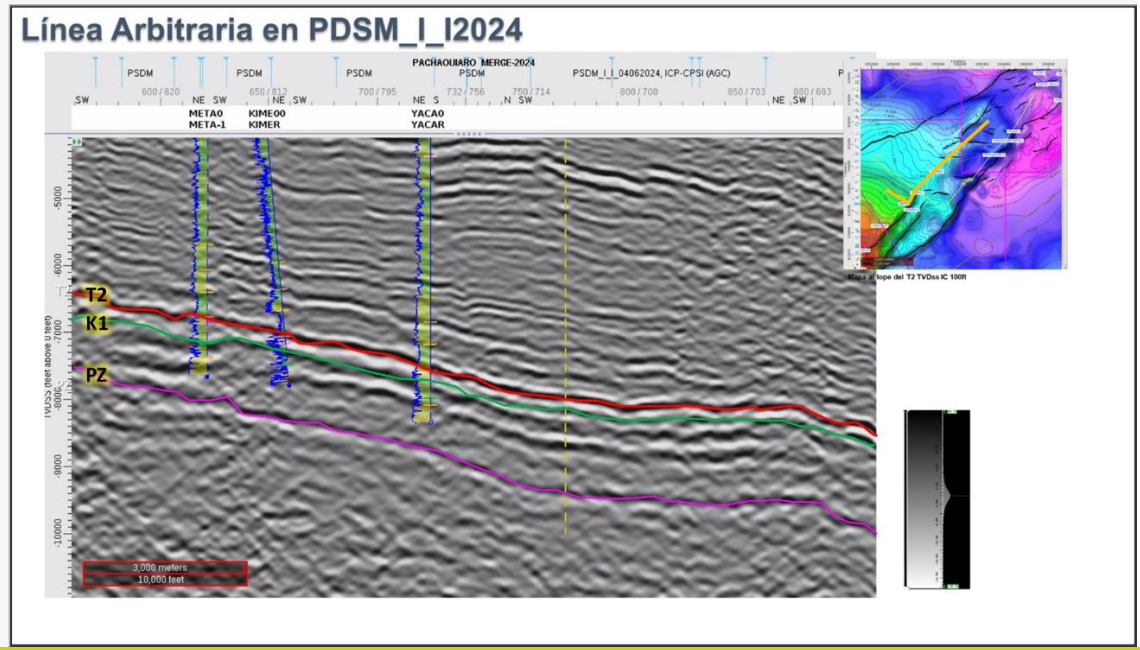


Figura 3-30 Sección sísmica 1 – Dirección SW - NE
Fuente: SGI S.A.S., 2025

Por otro lado, la sección sísmica 2 con un trazado NW – SE perpendicular al buzamiento (Figura 3-31), muestra claramente la presencia de fallas geológicas que han generado desplazamientos entre las unidades geológicas profundas presentes en el área de estudio. La línea sísmica analizada evidencia la presencia de dos estructuras mayores que delimitan el sector de interés, correspondientes a fallas de alto ángulo, las cuales definen un bloque estructural claramente individualizado. Ambas fallas muestran desplazamientos significativos de los reflectores (se resalta T2, K1 y K2), compatibles con un régimen tectónico compresivo, y generan un contraste estructural marcado entre los bloques adyacentes. En el modelo hidrogeológico, estas fallas principales fueron representadas como fronteras impermeables, considerando su carácter sellante asociado a la yuxtaposición de las capas producto de los desplazamientos generados. Enmarcado entre estas dos fallas, se encuentra aislado de manera lateral las zonas de inyección para sostenimiento de presión en la unidad T2.

Entre estas dos fallas principales se identifican estructuras secundarias de menor rechazo, con geometría predominantemente subvertical. Dado su menor desplazamiento y continuidad limitada, estas fallas internas fueron incorporadas al modelo como discontinuidades de alto ángulo, con una baja conductividad hidráulica, asumiendo que no constituyen vías significativas de flujo regional. Su inclusión responde principalmente a la necesidad de representar de manera realista la compartimentación estructural del bloque, sin introducir conectividades hidráulicas artificiales entre dominios adyacentes.

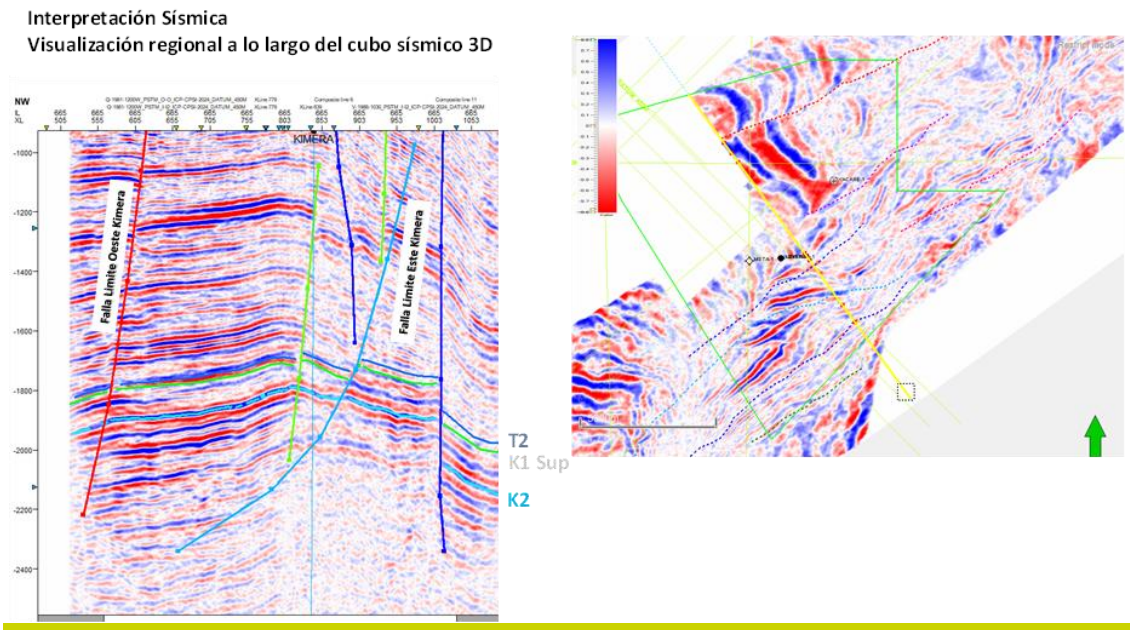


Figura 3-31 Sección sísmica 2 – Dirección NW - SE
Fuente: SGI S.A.S., 2025

3.2.7.5 Modelo de capas

Con base en la integración de la información geofísica disponible, en la que se incluyen nueve (9) perfiles magnetotelúricos, cinco (5) tomografías eléctricas y nueve (9) registros de pozo, se identificaron y caracterizaron las unidades geológicas presentes en el área de influencia, especialmente aquellas profundas que no se pudieron caracterizar mediante la observación directa en campo.

En el caso particular de los depósitos cuaternarios, entre los que se incluyen los depósitos de Abanico Aluvial (Q1ca), los depósitos asociados a los diferentes niveles de acumulación de las terrazas (Qt1, Qt2 y Q2t3), los Depósitos de plano de inundación de drenajes mayores (Q2pi) y los depósitos aluviales (Q2al1 y Q2al2), estas unidades fueron caracterizadas principalmente a partir de las descripciones litológicas realizadas en campo, dado que corresponden a las unidades aflorantes dentro del área de estudio. Esta información fue complementada mediante la interpretación de tomografías eléctricas y sondeos magnetotelúricos, considerando que dichas unidades cuaternarias no fueron registradas en los perfiles geofísicos de pozo debido a su escasa profundidad.

Por otra parte, si bien la Formación Guayabo fue identificada en la mayoría de los registros de pozo disponibles, estos no permitieron definir su espesor total ni diferenciar claramente el Miembro Superior del Miembro Inferior, debido a que los registros no abarcan la totalidad de la unidad desde superficie. En este sentido, la caracterización de la Formación Guayabo fue complementada con la información obtenida a partir de tomografías eléctricas y sondeos magnetotelúricos, los cuales, aunque presentan una menor profundidad de investigación en comparación con los registros de pozo, ofrecen un mayor nivel de detalle para unidades someras, como los depósitos cuaternarios y la propia Formación Guayabo.

Dicho lo anterior, para definir las litologías o materiales característicos de cada unidad, su espesor y continuidad lateral dentro del área de influencia, se tuvo en cuenta la respuesta resistiva que muestran las unidades geológicas en las tomografías eléctricas, los sondeos magnetotelúricos y los registros de pozo y, con base en estas, especialmente en los registros de pozo que aportan una

mayor resolución y alcance vertical, se identificó en el área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare los siguientes sellos hidráulicos presentes a lo largo de la secuencia estratigráfica: El Miembro Inferior de la Formación Guayabo, la Formación León, las unidades Lutita E, C1, Lutita E3 y Lutita E4 de la Formación Carbonera y la Formación Gachetá. Estos sellos hidráulicos evidenciaron ser continuos dentro del área de influencia y se consideran de extensión regional.

En cuanto a las unidades acuíferas, se identificaron como acuíferos someros y aflorantes los depósitos del abanico aluvial y los depósitos asociados a los diferentes niveles de acumulación de las terrazas (Depósitos de terraza alta, Depósitos de terraza media y Depósitos de terraza baja). Asimismo, en profundidad se identificó el Miembro Superior de la Formación Guayabo, la Unidad Areniscas Superiores de Carbonera, Arenas Carbonera, las unidades C2 y T1 de la Formación Carbonera, la Formación Mirador, Formación Guadalupe y Formación Une.

Con base en lo anterior, se definió el modelo de capas, donde se identificaron las unidades sellos, así como las unidades acuíferas con su respectivo espesor y, a su vez, se comprobó la continuidad lateral de dichas unidades en toda el área de influencia, especialmente de los sellos hidráulicos regionales.

El modelo de capas consiste en una representación 3D de los topes de las formaciones geológicas presentes en el área de influencia. En la Figura 3-32 se presenta el modelo de capas construido a partir de la información geofísica disponible respecto a las formaciones geológicas presentes en el área de estudio.

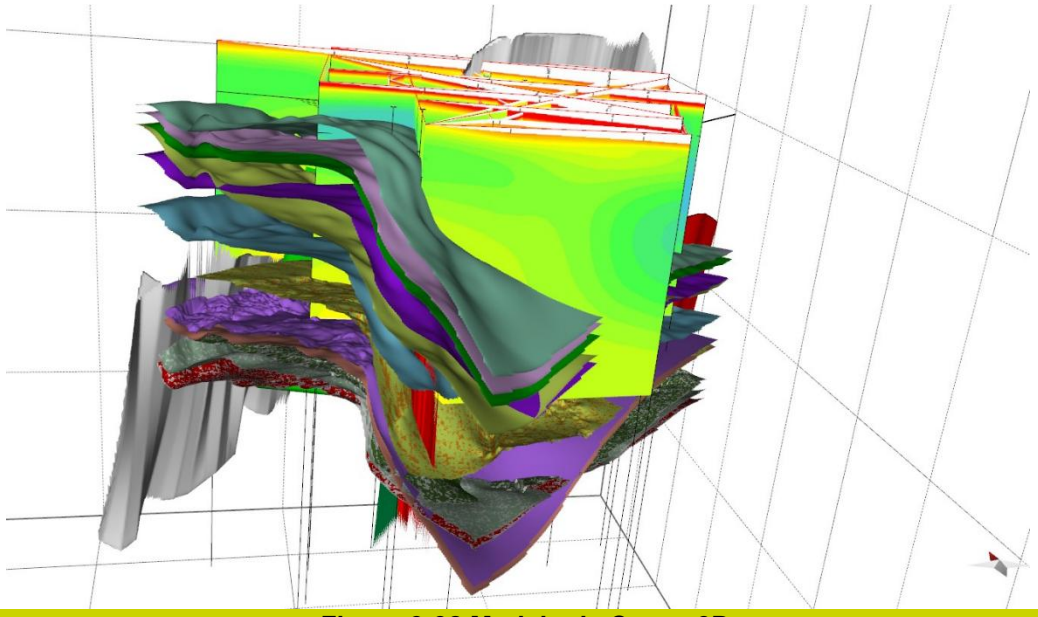


Figura 3-32 Modelo de Capas 3D
Fuente: SGI S.A.S., 2025

En la **Figura 3-32** se puede observar que los topes de las formaciones geológicas, y, por ende, los espesores de estas no se mantienen constantes a lo largo del área de influencia; esto se debe a la variabilidad geológica de la zona que está determinada por el ambiente deposicional de las formaciones. Teniendo en cuenta lo anterior, en la **Tabla 3-7** se presenta el modelo de capas construido para el área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare. Como se mencionó anteriormente, teniendo en cuenta que el espesor de las formaciones

geológicas no es constante en el área, los espesores y topes relacionados en la **Tabla 3-7** corresponden a un valor promedio para cada formación geológica.

Tabla 3-7 Modelo de capas construido para el área de influencia

N° CAPA	UNIDAD GEOLÓGICA	ESPESOR PROMEDIO (m)
1	Depósitos cuaternarios	50
2	Formación Guayabo	676
3	Formación León	182
4	Formación Carbonera *Carbonera superior	266
5	Formación Carbonera *Lutita E	265
6	Formación Carbonera *C1	79
7	Formación Carbonera *Arenas Carbonera	566
8	Formación Carbonera *C2	224
9	Formación Carbonera *E3	187
10	Formación Carbonera *T1	119
11	Formación Carbonera *E4	120
12	Formación Mirador *T2	33
13	Formación Guadalupe *K1	92
14	Formación Gachetá *K1 Inferior	45
15	Formación Une *K2	55

Fuente: SGI S.A.S., 2025

3.2.7.6 Identificación de las unidades hidrogeológicas

Para realizar la clasificación de las unidades hidrogeológicas presentes en el área de estudio, es importante tener en cuenta las diferentes propiedades y conceptos físicos que rigen sobre las aguas subterráneas y las rocas y/o sedimentos que las contienen. Por lo anterior, estas unidades presentan diferentes clasificaciones dependiendo del criterio utilizado.

Según (LLAMAS, 1983) un acuífero, o un embalse subterráneo, es "aquel estrato o formación geológica que, permitiendo la circulación del agua por sus poros o grietas, hace que el hombre pueda aprovecharla en cantidades económicamente apreciables para subvenir a sus necesidades". Teniendo en cuenta esta definición y su componente económico, las unidades hidrogeológicas se pueden clasificar en función a su capacidad para almacenar y transmitir agua:

- ✓ Unidades hidrogeológicas según su transmisividad

Las unidades hidrogeológicas se clasifican según su transmisividad, así:

- Acuífero: Son formaciones geológicas que almacenan el agua y que, a su vez, permiten el movimiento de esta, bajo la acción de las fuerzas de la gravedad, de tal forma que puede ser explotada en cantidades relativamente apreciables (Vélez Otálvaro, 2011). Algunos ejemplos de materiales que corresponden a esta clasificación pueden ser gravas, calizas fracturadas, areniscas porosas, arenas de playa, algunas formaciones volcánicas, depósitos de dunas.

- Acuitardo: Son formaciones que almacenan el agua pero que sólo permiten el flujo de esta en forma muy lenta, en comparación con los acuíferos. Estas formaciones pueden tener una gran importancia cuando se estudia el movimiento del agua a nivel regional, ya que sobre áreas relativamente grandes pueden transmitir grandes cantidades de agua a pesar de la baja velocidad de flujo. Así, pueden permitir el paso de agua de un acuífero a otro cuando éstos se encuentran separados por un acuitardo. Este fenómeno reviste particular importancia cuando se estudian casos de contaminación de las aguas subterráneas por sus bajas velocidades de tránsito (Vélez Otálvaro, 2011)
- Acuicludos: Son formaciones compuestas por rocas de muy baja permeabilidad que almacenan el agua, a veces en proporciones altas, pero que no la transmiten en cantidades apreciables (Vélez Otálvaro, 2011), algunos materiales que se clasifican como acuicludos son los depósitos de arcillas de cualquier origen. Estos niveles corresponden a los niveles sello qué limitan la movilidad vertical de los fluidos.
- Acuífugos: Son formaciones impermeables que no almacenan ni transmiten el agua (Vélez Otálvaro, 2011), algunos ejemplos de materiales que corresponden a esta clasificación pueden ser un macizo granítico que no esté fisurado o unas rocas metamórficas sin meteorización ni fracturación.

✓ Acuíferos por comportamiento hidráulico

Tal como se menciona anteriormente, los acuíferos son unidades de roca o sedimentos compuestos por materiales permeables, capaces de almacenar y transmitir cierta cantidad de agua. Considerando su comportamiento hidráulico, así como su posición estratigráfica y estructural en el terreno, se distinguen tres tipos principales de acuíferos (Ver: Figura 3-33):

- Acuíferos libres: Son aquellos en los que el nivel superior de la saturación, es decir, el nivel freático se encuentra a presión atmosférica.
- Acuíferos semiconfinados: Son aquellos en que la condición confinante está dada por acuitardos, los cuales permiten un aporte de aguas hacia la zona saturada; o bien, por una capa impermeable en la parte inferior y una capa semipermeable en la parte superior.
- Acuíferos confinados: Son aquellos acuíferos situados en medio de dos formaciones impermeables, ya sean acuífugos o acuicludos.

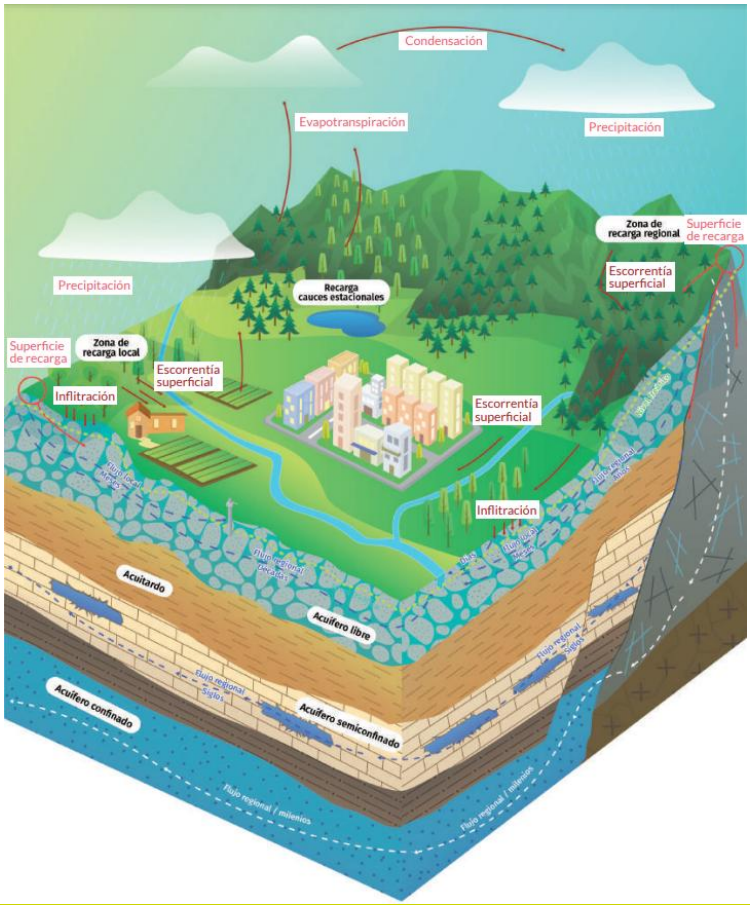


Figura 3-33 Tipos de acuiferos
Fuente: IDEAM, 2018.

✓ Acuíferos según su textura

Desde el punto de vista de su textura y/o permeabilidad, existen fundamentalmente tres (3) tipos de materiales acuíferos

- Acuíferos porosos: Aquellos cuya permeabilidad es debida a su porosidad intergranular. Entre ellos se encuentran las gravas, arenas, arcosas, etc., y en general, todos los materiales detríticos con tamaño de grano de arena como mínimo.
- Acuíferos kársticos y fisurados: Aquellos cuya permeabilidad es debida a grietas y fisuras, tanto de origen mecánico como de disolución. Entre ellos se encuentran las calizas, dolomías, granitos y basaltos, etc., siendo los dos primeros los tipos más importantes.
- Acuíferos kársticos y porosos: Son acuíferos cuya permeabilidad se debe tanto a porosidad intergranular como a grietas y fisuras. Dentro de este grupo de acuíferos son típicas las calcarenitas.

✓ Acuíferos según porosidad de las rocas

Por otra parte, desde el punto de vista del tipo de flujo y de acuerdo con los lineamientos del Atlas Hidrogeológico de Colombia, las unidades hidrogeológicas se clasifican según la capacidad específica de la siguiente manera:

- Tipo A: Sedimentos y rocas con flujo esencialmente intergranular.
- Tipo B: Rocas con flujo esencialmente y a través de fracturas (rocas fracturadas y/o carstificadas).
- Tipo C: Sedimentos y rocas con limitados a ningún recurso de aguas subterráneas.

✓ Clasificación de las unidades hidrogeológicas en Colombia

La Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH), publicó en el año 1983 la leyenda internacional de los mapas hidrogeológicos, con el fin de uniformizar tanto los símbolos geológicos, hidrológicos, hidrogeológicos, como también los colores con que se deben representar. Los acuíferos con porosidad primaria se identifican con tonalidades grises, los de porosidad secundaria con círculos y las rocas con limitada a ningún recurso de agua subterránea en líneas rectas.

Adicionalmente, en el año 2002 se propuso la clasificación de las unidades hidrogeológicas con base en la porosidad dominante en los sedimentos o rocas y la capacidad específica promedio (l/s/m). En la **Tabla 3-8** se presenta la clasificación general de las unidades hidrogeológicas, tomada de la Guía Metodológica realizada por el Ministerio de Medio Ambiente, el IDEAM y el INGEOMINAS, en el año 2002.

Tabla 3-8 Clasificación general de las Unidades Hidrogeológicas

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS	CAPACIDAD ESPECÍFICA PROMEDIO (L/S/M)
A. SEDIMENTOS Y ROCAS CON FLUJO ESENCIALMENTE INTERGRANULAR.		
A1	Acuíferos continuos de extensión regional, de muy alta productividad, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados de ambiente fluvial.	Mayor a 5,0
A2	Acuíferos continuos de extensión regional, de alta productividad, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados y rocas sedimentarias terciarias poco consolidadas. Contienen aguas de buena calidad química para consumo humano.	Entre 2,0 y 5,0
A3	Acuíferos continuos de extensión regional, de mediana productividad, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados y rocas sedimentarias terciarias poco consolidadas de ambiente fluvial, glaciofluvial, marino y volcanoclástico. Acuíferos generalmente confinados. Con aguas de buena calidad química para consumo humano.	Entre 1,0 y 2,0
A4	Acuíferos discontinuos de extensión local, de baja productividad, conformados por sedimentos cuaternarios y rocas sedimentarias terciarias poco consolidadas. Estos acuitardos o acuíferos pueden ser libres o confinados. Contienen aguas de regular calidad química para consumo humano.	Entre 0,05 y 1,0
B. ROCAS CON FLUJO ESENCIALMENTE A TRAVÉS DE FRACTURAS (ROCAS FRACTURADAS Y/O CARSTIFICADAS)		
B1	Acuíferos discontinuos de extensión regional, de muy alta productividad, conformados por rocas sedimentarias carbonatadas cretácicas, consolidadas, de ambiente marino.	Mayor a 5,0
B2	Acuíferos discontinuos de extensión regional, de alta productividad, conformados por rocas sedimentarias clásticas y carbonatadas, terciarias y cretácicas consolidadas, de ambiente transicional a marino.	Entre 2,0 y 5,0
B3	Acuíferos continuos de extensión regional, de mediana productividad, conformados por rocas sedimentarias y volcánicas piro clásticas de ambiente merino y continental, acuíferos libres y confinados con aguas de buena calidad química.	Entre 1,0 y 2,0
B4	Acuíferos discontinuos de extensión regional y local, de baja productividad, conformados por rocas sedimentarias y volcánicas, terciarias a paleozoicas consolidadas, de ambiente marino y continental.	Entre 0,05 y 1,0
C. SEDIMENTOS Y ROCAS CON LÍMITADOS O NINGÚN RECURSO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.		

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS	CAPACIDAD ESPECÍFICA PROMEDIO (L/S/M)
C1	Rocas sedimentarias muy consolidadas o sedimentos arcillosos con muy baja productividad	Menor a 0,05
C2	Rocas ígneas y metamórficas con muy baja o ninguna productividad	Menor a 0,05

Fuente: Guía metodológica para formular proyectos de protección integrada de aguas subterráneas, 2002 y Atlas de aguas subterráneas de Colombia Versión 2.0.

Teniendo claro los conceptos bajo los cuales se realiza la clasificación hidrogeológica, se procede a aplicar estos en las unidades geológicas presentes en la zona de estudio. La clasificación de las unidades hidrogeológicas se realizó con base en las descripciones litoestratigráficas y las propiedades hidráulicas obtenidas a partir de la campaña de campo realizada en el marco del presente estudio y con apoyo de la información secundaria disponible para el área de estudio, especialmente para la caracterización de las unidades hidrogeológicas que no afloran en el área de estudio, es decir, las unidades profundas.

Teniendo en cuenta que la clasificación de las unidades hidrogeológicas se realiza con base en una serie de criterios como la extensión, productividad, litología, calidad del agua y capacidad especifica; esta clasificación se puede aplicar únicamente a las unidades hidrogeológicas aflorantes en el área de influencia, en las cuales durante la campaña de campo se recolectó la información requerida. En el caso de las unidades no aflorantes (profundas) no se cuenta con dicha información, ya que en estas unidades no se han realizado pruebas de bombeo o una caracterización hidráulica a detalle que permita establecer a qué unidad hidrogeológica corresponde cada una de estas.

Por lo mencionado anteriormente, la clasificación de las unidades hidrogeológicas con base en la porosidad dominante en los sedimentos o rocas y la capacidad específica promedio (l/s/m), se aplica únicamente en las unidades geológicas identificadas en superficie, esto con el fin de definir las unidades hidrogeológicas aflorantes dentro del área de estudio; mientras que las unidades geológicas profundas (no aflorantes) se clasificarán en términos hidrogeológicos con base en la transmisividad, la cual puede ser estimada a partir de las descripciones litológicas y estratigráficas de estas unidades presentadas en la información secundaria disponible.

3.2.7.6.1 Clasificación de las unidades hidrogeológicas aflorantes en el área de influencia

Para la elaboración de la cartografía hidrogeológica y la clasificación de las unidades aflorantes en el área de estudio, se tomaron como base los lineamientos internacionales para categorizar las unidades hidrogeológicas, adoptando los estándares de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH) propuestos en la “Leyenda Internacional de los Mapas Hidrogeológicos” (1983). Dicha nomenclatura se basa en la asignación de categorías hidrogeológicas con base en el potencial de las rocas y sedimentos para almacenar y transmitir agua subterránea, en función de la composición, permeabilidad y capacidad específica de cada unidad geológica evaluada.

De acuerdo con lo anterior, las unidades hidrogeológicas aflorantes se clasifican teniendo en cuenta el tipo de porosidad dominante en los sedimentos y rocas (Primaria o intergranular y secundaria o por fracturas) y a su potencialidad acuífera, reflejada ésta última en función de la capacidad específica, extensión y continuidad de los acuíferos y calidad de las aguas subterráneas (**Tabla 3-8**).

A partir de las descripciones litológicas y texturales realizadas en campo para cada una de las unidades geológicas aflorantes en el área de influencia (**Tabla 3-9**), se define el tipo de unidad hidrogeológica asociada.

Tabla 3-9 Unidades geológicas aflorantes en el área de influencia fisicobiótica

UNIDAD GEOLÓGICA	NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
Depósitos de Abanico Aluvial	Q1ca	Están compuestos principalmente por gravas, gravas arenosas y arenas gravosas, semiconsolidados a no consolidados y con mala selección granulométrica. Esta unidad presenta una composición

UNIDAD GEOLÓGICA	NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
		dominantemente gruesa, acompañadas por una matriz de lodos arenosos con arenas finas a muy finas.
Depósitos de Terraza Alta	Qt1	Está compuesta por sedimentos no consolidados, de grado de meteorización avanzado, conformados por gravas y gravas arenosas con matriz predominantemente arenosa.
Depósitos de Terraza Media	Qt2	Materiales no consolidados compuestos predominantemente por gravas arenosas, con matriz de arenas finas a muy finas y una fracción arcillosa, haciendo de esta matriz moderadamente plástica.
Depósitos de Terraza Baja	Q2t3	Está conformada principalmente por depósitos no consolidados de gravas arenosas, gravas y arenas gravosas. Sin embargo, también es posible identificar intercalaciones de depósitos con texturas más finas (arenas limosas y lodos arenosos). Estos depósitos finos suprayacen a los depósitos gruesos.
Depósitos de planos de inundación de drenajes mayores	Q2pi	Están constituidos principalmente por sedimentos no consolidados de arenas, arenas gravosas y gravas arenosas, con variaciones granulométricas según el nivel estratigráfico observado. En términos generales, el perfil de estos depósitos muestra en su base niveles de granulometría gruesa (gravas arenosas o arenas gravosas), en algunos casos clastosoportados, que yacen por debajo de capas compuestas por sedimentos más finos, como arenas, arenas limosas o limos arenosos. La deposición de estos sedimentos presenta una distribución areal limitada, con escasa extensión lateral, debido a que los cauces se encuentran confinados por terrazas bajas.
Depósitos aluviales de drenajes mayores	Q2al1	Corresponden a sedimentos no consolidados, principalmente clasto-soportados, caracterizados por una alta proporción de gravas. La mayoría presenta contenidos de grava superiores al 65%, alcanzando valores de hasta el 95%. En general, las arenas mal seleccionadas, con tamaños de muy fina a muy gruesa, constituyen el segundo componente más abundante, con porcentajes que oscilan entre el 5% y el 75%, aunque en la mayoría no superan el 35%. Por otro lado, el contenido de lodo es escaso o nulo, con valores máximos de hasta el 10%.
Depósitos aluviales de drenajes menores	Q2al2	Están conformados por materiales no consolidados, mal seleccionados, en su mayoría matriz soportados. Texturalmente, estos depósitos pueden clasificarse principalmente como arenas gravosas, ya que las arenas constituyen entre el 80% y el 85% del material, mientras que las gravas representan entre el 15% y el 20%, a excepción de algunos sectores donde la proporción de gravas puede alcanzar hasta un 40%.

Fuente: SGI S.A.S., 2025

A las siete (7) unidades geológicas aflorantes en el área de estudio, descritas en la **Tabla 3-9**, se les asignó su unidad hidrogeológica correspondiente, teniendo en cuenta las descripciones litológicas, la extensión de cada unidad, la porosidad predominante y los parámetros hidráulicos estimados a partir de las pruebas de bombeo realizadas. Si bien, según la metodología adaptada en la Guía Metodológica elaborada por el Ministerio de Ambiente, el IDEAM y el INGEOMINAS (2002), la capacidad específica es uno de los parámetros clave para la definición de unidades hidrogeológicas, este parámetro está orientado principalmente a evaluar la productividad relativa de una captación, y no a describir de manera directa las propiedades hidráulicas o las características intrínsecas de dichas unidades.

Por lo anterior, para la clasificación de las unidades hidrogeológicas en el marco del Estudio de Impacto Ambiental del Área de Desarrollo Bucare, se consideraron parámetros adicionales como la conductividad hidráulica, indicadora del tipo y grado de porosidad del medio acuífero, y la transmisividad, que ofrece una aproximación más representativa del potencial productivo de una unidad hidrogeológica. Estas variables permiten integrar tanto las características del medio poroso como su comportamiento hidráulico, logrando así una clasificación más integra y acorde con las condiciones hidrogeológicas locales.

De acuerdo con esto, a partir de las descripciones litológicas (Tabla 3-9), así como de los parámetros hidráulicos consignados en la Tabla 3-45, se definió la unidad hidrogeológica asociada a cada unidad geológica aflorante, obteniéndose como resultado las unidades presentadas en la **Tabla 3-10**, en la que se describen las unidades hidrogeológicas aflorantes en el área de estudio, incluyendo su comportamiento hidrogeológico y las unidades geológicas que las conforman.

Tabla 3-10 Unidades hidrogeológicas aflorantes en el área de estudio

LEYENDA UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS AFLORANTES				
SISTEMA ACUÍFERO	**CARACTERISTICAS HIDROGEOLÓGICAS**	**CAPACIDAD ESPECIFICA**	**UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS**	
SEDIMENTOS Y ROCAS CON FLUJO INTERGRANULAR				
A3	Acuíferos de extensión regional que se caracterizan por presentar altas permeabilidades, transmisividades bajas a medias y productividades medianas a altas. Litológicamente están constituidos por sedimentos no consolidados a semiconsolidados de granulometría predominantemente gruesa (gravas, gravas arenosas y arenas gravosas) con matriz fina. Debido a la heterogeneidad evidenciada en los parámetros hidráulicos estimados y las descripciones litológicas realizadas en campo, se considera en conjunto como unidad hidrogeológica A3, con sectores de mayor y menor productividad. En el Al conforman acuíferos de carácter libre y constituye la unidad hidrogeológica principal para el abastecimiento de agua subterránea por parte de la comunidad local.	Oscila entre 1,47 l/s/m a 3,97 l/s/m	Q1ca	Depósitos de Abanico Aluvial
		2 l/s/m(+)	Qt1	Depósitos de Terraza Alta
		2,3 l/s/m(+)	Qt2	Depósitos de Terraza Media
		Hasta 2,73 l/s/m	Q2t3	Depósitos de Terraza Baja
A4	Acuíferos discontinuos de extensión local, de baja productividad debido a su limitada extensión y espesor. Que se caracterizan por presentar una distribución areal limitada, con escasa extensión lateral. corresponden a sedimentos no consolidados	Entre 0,05 y 1,0*	Q2pi	Depósitos de planos de inundación de drenajes mayores
			Q2al1	Depósitos aluviales de drenajes mayores
			Q2al2	Depósitos aluviales de drenajes menores

** Valor teórico*

(+) Información secundaria

Fuente: SGI S.A.S., 2025

Teniendo en cuenta la clasificación de las unidades hidrogeológicas presentada previamente, en la **Tabla 3-11** se presentan las áreas y porcentajes que ocupan cada una de las unidades hidrogeológicas que afloran en el área de influencia y en el área de intervención del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare mientras que en la **Figura 3-34** se presenta el mapa hidrogeológico del área de estudio donde se puede observar la distribución espacial de las unidades hidrogeológicas anteriormente mencionadas.

Tabla 3-11 Áreas y porcentajes de las unidades hidrogeológicas aflorantes en el área de estudio

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA	ÁREA DE INFLUENCIA FISICOBIÓTICA		ÁREA DE INTERVENCIÓN	
	ÁREA (ha)	ÁREA (%)	ÁREA (ha)	ÁREA (%)
A3	22421,31	89,67	9397,65	90,25
A4	2583,73	10,33	1014,79	9,75

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA	ÁREA DE INFLUENCIA FISICOBIÓTICA		ÁREA DE INTERVENCIÓN	
	ÁREA (ha)	ÁREA (%)	ÁREA (ha)	ÁREA (%)
TOTAL	25005,03	100	10412,44	100

Fuente: SGI S.A.S., 2025

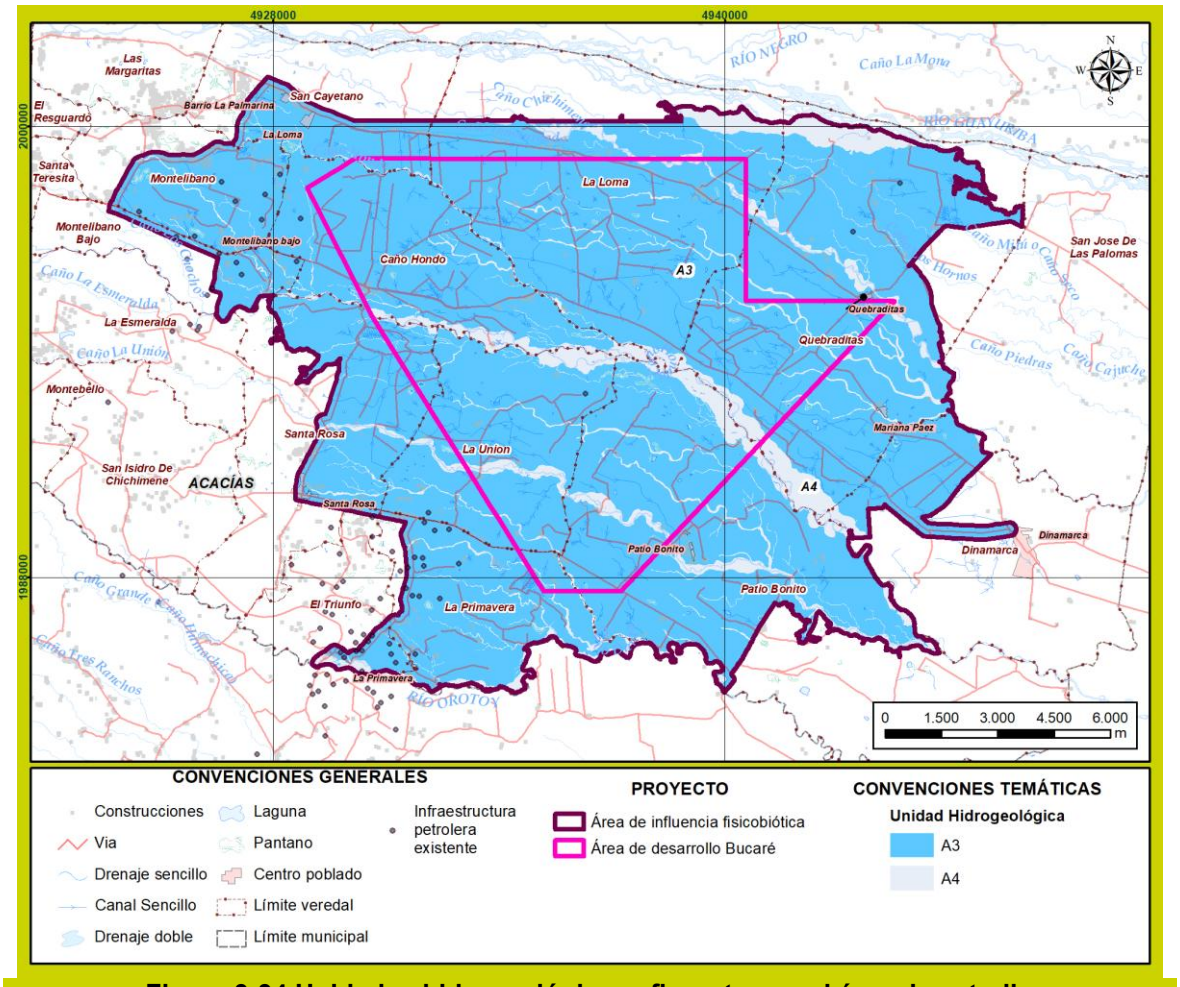


Figura 3-34 Unidades hidrogeológicas aflorantes en el área de estudio
Fuente: SGI S.A.S., 2025

Como se puede observar en la **Figura 3-34**, en la mayor parte del área de influencia y el área de intervención del Estudio de Impacto Ambiental Área de Desarrollo Bucare aflora la unidad hidrogeológica tipo A3, abarcando el 89,67% del área de influencia fisicobiótica y el 90,25% del área de intervención, mientras que la unidad A4 aflora únicamente en el 10,33% del área de influencia.

Teniendo en cuenta la clasificación de unidades hidrogeológicas descrita en la **Tabla 3-10**, a continuación, se presenta una descripción detallada de cada una de las unidades hidrogeológicas aflorantes en el área de estudio agrupadas con base en el comportamiento hidráulico de los diferentes acuíferos que las conforman, dando idea de su buena o mediana productividad y la calidad del agua almacenada.

3.2.7.6.1.1 Unidades hidrogeológicas tipo A3

La unidad hidrogeológica A3 en el área de influencia del presente proyecto está constituida por los Depósitos de abanico aluvial, los Depósitos de terraza alta, Depósitos de terraza media y Depósitos de terraza baja, los cuales conforman acuíferos de carácter libre a ligeramente semiconfinados dependiendo de la profundidad. Están compuestos por rocas con flujo esencialmente intergranular, caracterizados litológicamente por presentar sedimentos no consolidados a semi-consolidados de granulometría predominantemente gruesa (gravas, gravas arenosas y arenas gravosas) con matriz fina, cuya proporción puede variar.

Esta unidad abarca el 89,67% del área de influencia fisicobiótica del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare, así como el 90,25% del área de intervención, constituyéndose en la unidad de mayor extensión.

Asimismo, representa la principal fuente de abastecimiento de agua subterránea para la comunidad local, tanto así que el 95,5% de los puntos de agua subterránea que hacen parte del inventario extraen agua de esta unidad, con diferentes profundidades de captación. Dentro de estos puntos se incluyen pozos profundos cuya posición de filtros no se conoce; sin embargo, al estar ubicados sobre la unidad hidrogeológica A3, se asume que captan agua de esta unidad, aunque no de manera exclusiva, pues podrían aprovechar niveles acuíferos más profundos asociados a otras unidades, como el Miembro Superior de la Formación Guayabo.

De acuerdo con las descripciones litológicas realizadas en campo, se evidencia que la unidad hidrogeológica A3 presenta una marcada heterogeneidad litológica, la cual se refleja directamente en su comportamiento hidrogeológico. Esta heterogeneidad se manifiesta en los amplios rangos de los parámetros hidráulicos obtenidos en las pruebas de bombeo, asociados principalmente a variaciones locales en el contenido de sedimentos finos y en el grado de compactación. A pesar de ello, el sistema se comporta integralmente como una unidad hidrogeológica A3, mostrando sectores con mayor o menor productividad en función de dichas variaciones litológicas.

A continuación, se describen las características litológicas e hidrogeológicas de los diferentes acuíferos que conforman la unidad hidrogeológica A3.

- Depósitos de Abanico Aluvial (Q1ca)

Los depósitos de Abanico Aluvial están compuestos principalmente por gravas, gravas arenosas y arenas gravosas, semiconsolidadas a no consolidadas y con mala selección granulométrica. Esta unidad presenta una composición dominantemente gruesa, acompañada por una matriz de lodos arenosos con arenas finas a muy finas, cuya proporción es variable y evidencia una marcada heterogeneidad litológica. Esta condición se refleja en la variabilidad de los parámetros hidráulicos estimados, algunos de los cuales presentan rangos amplios entre sí.

Los depósitos de abanico aluvial se extienden y abarcan el mayor porcentaje del área de influencia y el área de intervención del proyecto, y constituye la principal unidad de abastecimiento de agua subterránea para los habitantes de la zona, siendo aprovechada aproximadamente por el 77% de los puntos de agua subterránea que conforman el inventario. Dentro de estos se incluyen la mayoría de los manantiales, que corresponden a manifestaciones del nivel freático en la superficie, aljibes, piezómetros e incluso pozos profundos, lo que evidencia la productividad y aprovechamiento de esta unidad a diferentes profundidades de captación.

La caracterización hidráulica de esta unidad se realizó a partir de las pruebas de bombeo realizadas en el pozo P04 y el aljibe AL47, los cuales captan exclusivamente esta unidad.

La transmisividad estimada oscila entre 84,3 m²/día y 392 m²/día, valores considerados bajos a medianamente altos. Por su parte, la conductividad hidráulica varía entre 33,7 y 43,5 m/d, valores considerados altos (M. Villanueva y A. Iglesias., 1984), lo cual es consistente con materiales altamente permeables, característicos de esta unidad. La capacidad especifica estimada oscila entre 3,97 l/s/m y 1,47 l/s/m, con un promedio de 2,72 l/s/m, lo que sugiere una productividad media a

ligeramente alta para esta unidad hidrogeológica. Finalmente, los coeficientes de almacenamiento estimados son muy similares entre sí, con valores entre 4,67 × 10^{-2} y 1 × 10^{-2}, y un promedio de 2,8 × 10^{-2}, característicos de un acuífero libre.

En conjunto, se observa que la transmisividad y la capacidad específica presentan variaciones significativas entre los valores estimados. Esto indica que, aunque el abanico aluvial está constituido por materiales altamente permeables, el espesor saturado y el contenido de sedimentos finos varía espacialmente, influyendo directamente en los valores de transmisividad y, por ende, en la productividad de los puntos de captación. No obstante, en términos generales, se considera que esta unidad corresponde a un acuífero libre compuesto por materiales permeables, con una productividad de media a ligeramente alta y transmisividades bajas a medianamente altas, características que son favorables para el aprovechamiento de esta unidad. Por esta razón, constituye la principal fuente de abastecimiento de agua subterránea para la comunidad local, con el 77% de los puntos inventariados captando sus diferentes niveles acuíferos.

Desde el punto de vista hidrogeoquímico, esta unidad presenta aguas con un aporte evidente de agua lluvia y tiempos de tránsito subterráneo muy cortos, lo que se refleja en un grado de mineralización muy bajo. Incluso la mayoría de los iones mayoritarios analizados en las aguas de esta unidad presentan concentraciones inferiores al límite mínimo de detección del laboratorio, lo cual indica que son aguas con baja carga iónica y, por ende, aguas jóvenes.

Además, estas aguas se caracterizan por valores de pH bajos, es decir, son aguas ácidas, lo cual se puede atribuir a las características de los suelos presentes en el área de influencia, los cuales se caracterizan por ser suelos ácidos.

En términos generales, los depósitos de abanico aluvial almacenan aguas subterráneas aptas para consumo humano, presentándose únicamente algunas excepciones puntuales, asociadas principalmente a actividades antrópicas desarrolladas en los alrededores de ciertos puntos hidrogeológicos. Dentro de estas actividades, destaca la mala disposición de aguas negras, la ganadería y la agricultura.

- Depósitos de Terraza Alta (Qt1)

Litológicamente, esta unidad está conformada por sedimentos no consolidados con un grado de meteorización avanzado, compuestos principalmente por gravas y gravas arenosas con matriz predominantemente arenosa. Estos depósitos presentan grandes similitudes texturales y composicionales con los depósitos de abanico aluvial; por lo tanto, aunque no se cuenta con pruebas de bombeo realizadas directamente sobre esta unidad que permitan estimar sus parámetros hidráulicos, se asume que su comportamiento hidrogeológico es comparable al del abanico aluvial. En consecuencia, estos depósitos se clasifican como unidad hidrogeológica A3.

Esta unidad alimenta tres (3) manantiales que surgen principalmente de sus escarpes y es aprovechada mediante dos (2) aljibes con profundidades de 2,2 m y 4,86 m, cuyos niveles estáticos oscilan entre 0,96 m y 1,94 m. Todos estos puntos se ubican hacia el noroeste del área de influencia, en cercanías del río Acacías, específicamente en la vereda Montelíbano Bajo, donde esta unidad aflora.

Dadas sus características litológicas, su extensión semirregional y su espesor, se deduce que esta unidad conforma un acuífero libre, con productividad media, capacidades específicas alrededor de 2 l/s/m (según el POMCA del Río Guayuriba) y cuyo comportamiento hidrogeológico es heterogéneo, debido a que, por su posición topográfica relativa, parte de este acuífero podría no encontrarse completamente saturado.

En cuanto a su composición hidrogeoquímica, el manantial M19, que capta esta unidad, fue monitoreado, evidenciándose la presencia de aguas ácidas, con un pH de 5,73 y un grado de mineralización muy bajo. Según los resultados, estas aguas se clasifican como bicarbonatadas sódicas, lo cual es consistente con tiempos de tránsito cortos, una limitada interacción agua–roca y

un aporte constante de agua lluvia, lo cual sugiere que el agua subterránea almacenada en los depósitos de terraza alta es apta para consumo humano.

- Depósitos de Terraza Media (Qt2)

Los depósitos de terraza media están conformados por materiales no consolidados compuestos predominantemente por gravas arenosas, con matriz de arenas finas a muy finas y una fracción arcillosa, haciendo de esta matriz moderadamente plástica.

Desde el punto de vista textural y composicional, estos depósitos muestran similitudes con las unidades de terraza alta y con los depósitos de abanico aluvial, dado que comparten un origen común asociado a antiguos procesos fluvio-aluviales.

Si bien no se realizaron pruebas de bombeo directamente sobre esta unidad que permitan determinar sus parámetros hidráulicos, las similitudes litológicas con el abanico aluvial, unidad en la que sí se ejecutaron pruebas hidráulicas, permiten inferir un comportamiento hidrogeológico muy similar. Además, aunque las características litológicas de estos depósitos podrían favorecer su productividad, el espesor y la extensión de esta unidad dentro del área de influencia son muy limitados, encontrándose asociados exclusivamente al cauce del río Acacías. Por lo anterior, los depósitos de terraza media se clasifican como una unidad hidrogeológica A3.

No se identificaron puntos de agua subterránea dentro del área del proyecto que capten esta unidad hidrogeológica y, por ende, no se pudo llevar a cabo su caracterización hidráulica ni hidrogeoquímica dentro del levantamiento de la información primaria del proyecto.

Sin embargo, en el POMCA del Rio Guayuriba definen los Depósitos de Terraza Media como un acuífero de porosidad primaria, libre a semiconfinado, local, discontinuo y de moderada productividad (capacidad específica de 2,3 l/s/m).

- Depósitos de Terraza Baja (Q2t3)

Esta unidad está conformada principalmente por depósitos no consolidados de gravas arenosas, gravas y arenas gravosas. Sin embargo, como resultado de las variaciones en las dinámicas de las facies fluviales, es posible identificar intercalaciones de depósitos con texturas más finas, tales como arenas limosas y lodos arenosos. En conjunto, la unidad presenta un carácter heterogéneo, con predominio de facies gruesas, y en menor proporción, por facies finas.

En total, 22 puntos hidrogeológicos que hacen parte del inventario de agua subterránea captan esta unidad. De ellos, la mayoría (17) corresponden a aljibes, junto con 3 manantiales, un pozo y un piezómetro.

Los parámetros hidráulicos de esta unidad acuífera fueron estimados a partir de la prueba de bombeo realizada en el aljibe AL86, el cual capta exclusivamente esta unidad. Con base en dicha prueba, se estimó una transmisividad de 58,5 m²/día, una conductividad hidráulica de 41,8 m/d y una capacidad específica de 2,73 l/s/m. Por su parte, el coeficiente de almacenamiento obtenido es característico de un acuífero libre.

Sin embargo, aunque las litologías gruesas favorecen la extracción de agua y la productividad de los puntos hidrogeológicos, las litologías finas, junto con el espesor limitado y la distribución discontinua de estos depósitos reducen su potencial y productividad. Por esta razón, esta unidad es clasificada como una unidad hidrogeológica tipo A3, con un comportamiento hidrogeológico heterogéneo, que depende en gran medida del contenido de sedimentos finos y/o gruesos presentes en determinados sectores.

En términos generales, los Depósitos de Terraza Baja se considera que conforman un acuífero de porosidad primaria, con carácter libre a ligeramente semiconfinado, de extensión local, discontinuo y de baja productividad, con capacidades específicas en el orden de 2,73 l/s/m.

En cuanto a su composición hidrogeoquímica, esta unidad acuífera almacena aguas ácidas, con un con un grado de mineralización muy bajo, lo cual indica que son aguas de muy poco tiempo de tránsito por el subsuelo y/o que reciben una recarga constante y directa de agua lluvia. Según los monitoreos, estas aguas se clasifican como bicarbonatadas cálcicas, aunque la mayoría de los iones monitoreados reportan concentraciones inferiores al límite mínimo de detección del laboratorio.

En términos hidrogeoquímicos, la unidad hidrogeológica conformada por los Depósitos de Terraza Baja almacena aguas aptas para consumo humano, caracterizadas por grados de mineralización muy bajos y algunas contaminaciones puntuales provenientes de las actividades antrópicas desarrolladas en la región.

3.2.7.6.1.2 Unidades hidrogeológicas tipo A4

Los acuíferos desarrollados en los Depósitos de planos de inundación de drenajes mayores, los depósitos aluviales de drenajes mayores y los depósitos aluviales de drenajes menores están conformados por materiales con flujo esencialmente intergranular. Debido a sus características litológicas, su espesor y su limitada continuidad lateral, estas unidades se clasifican como acuíferos tipo A4.

Se trata de acuíferos discontinuos y de extensión local, compuestos por sedimentos cuaternarios no consolidados, de muy baja productividad, con capacidades específicas que oscilan entre 0,05 y 1 l/s/m. En el área de estudio, estas unidades conforman acuíferos libres que almacenan aguas de buena calidad química aptas para consumo humano.

Como resultado de su baja productividad, solo siete (7) puntos hidrogeológicos identificados en el inventario captan esta unidad, principalmente asociados a depósitos de planos de inundación de drenajes mayores y depósitos aluviales de drenajes menores. De estos puntos, tres (3) corresponden a aljibes y cuatro (4) a manantiales, cuyas profundidades no superan los 7 m, mientras que los niveles freáticos varían entre superficie (en los manantiales) y valores de 1,01 m a 1,93 m en los aljibes.

3.2.7.6.2 Unidades hidrogeológicas profundas presentes en el área de influencia

Como se menciona anteriormente, a falta de información hidráulica disponible de las unidades geológicas profundas, es decir, aquellas que no afloran dentro del área de influencia del proyecto pero que están presentes en profundidad, estas serán clasificadas teniendo en cuenta principalmente la transmisividad y el comportamiento hidráulico de las mismas, propiedades hidráulicas que se pueden estimar a partir de las descripciones litológicas de estas unidades, obtenidas a partir de la información secundaria disponible. En la **Tabla 3-12** se presenta la descripción litológica y el comportamiento hidrogeológico característico de las unidades geológicas profundas presentes en el área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare.

Tabla 3-12 Clasificación de las unidades hidrogeológicas profundas presentes en el área de estudio.

UNIDAD	CARACTERISTICAS LITOESTRATIGRAFICAS	COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO
Miembro Superior de la Formación Guayabo	Litológicamente, se caracteriza por una alternancia de areniscas finas a medias con sedimentos finos en menor proporción. Corresponde a un acuífero continuo de extensión regional, el cual en el área de influencia conforma acuíferos multicapa semiconfinados, los cuales serán objeto de captación para los pozos de agua subterránea solicitados en la concesión de aguas subterráneas del presente proyecto. A partir de las pruebas de bombeo de información secundaria disponible, se estimó	Unidad hidrogeológica A3

UNIDAD		CARACTERISTICAS LITOESTRATIGRAFICAS	COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO
		para esta formación una capacidad especifica promedio de 1,29 l/s/m, la cual sugiere una productividad media.	
Miembro Inferior de la Formación Guayabo		Litológicamente está conformada predominantemente por materiales arcillosos, con menor proporción de arenas.	Acuitardo de extensión regional, conformado predominantemente por sedimentos arcillosos. Esta unidad en el área de estudio constituye un nivel sello que limita la movilidad vertical de los fluidos y protege los acuíferos aprovechables del Miembro Superior de la Formación Guayabo.
Formación León		Litológicamente está conformada por arcillolitas laminadas (shales), de colores pardos, moteados y grises. Además, presenta intercalaciones menores de arenitas arcillosas. En el área de estudio, esta unidad considerada sello, tiene un espesor aproximado de 182 metros.	Acuicludo (almacena el agua, pero no la transmite en cantidades apreciables) de extensión regional, conformado por sedimentos arcillosos bien consolidados. Esta unidad en el área de estudio constituye un nivel sello regional qué limita la movilidad vertical de los fluidos, protegiendo junto con el miembro Inferior de la Formación Guayabo, los acuíferos aprovechables de la Formación Guayabo Superior.
	Areniscas Superiores de Carbonera	Está compuesta por una alternancia de cuerpos arenosos, separados por niveles delgados de limolitas oscuras y lutitas grises. En el área de estudio tiene un espesor aproximado de 266 metros.	Acuífero confinado de extensión regional, conformados por rocas sedimentarias terciarias poco consolidadas. Estos acuíferos son de tipo confinado en el área de estudio. Contienen aguas cuyas propiedades químicas no son aptas para consumo humano.
	Lutita E	Después de la Formación León, es el sello mejor desarrollado, y el de mayor extensión hacia el Este. Está compuesta casi exclusivamente por lutitas grises y algunas limolitas, con un espesor aproximado de 265 metros en el área de estudio.	Acuicludo de extensión regional, conformado por sedimentos arcillosos terciarios. Esta unidad en el área de estudio constituye un nivel sello qué limita la movilidad vertical de los fluidos.
	C1	Está compuesta por una alternancia rápida de capas de areniscas, limolitas y arcillolitas, de color gris verdoso; . Predomina el contenido de sedimentos finos, razón por la cual constituye una unidad sello. En el área de estudio tiene un espesor aproximado de 79 metros.	Acuitardo de extensión regional, conformado predominantemente por sedimentos arcillosos terciarios. Esta unidad en el área de estudio constituye un nivel sello qué limita la movilidad vertical de los fluidos.
	Arenas de Carbonera	Está compuesta por arenisca fina a gruesa, blanca a translúcida con tamaño de grano que varía entre fino a medio. En el área de influencia, esta unidad tiene un espesor aproximado de 566 metros.	Acuífero confinado de extensión regional, conformados por rocas sedimentarias terciarias poco consolidadas. Estos acuíferos contienen aguas cuyas propiedades químicas no son aptas para consumo humano.
	C2	Está compuesta por alternancia de niveles de arcillolita y de arenisca, poco consolidada, de tamaño de grano predominantemente medio, a veces grueso; en ocasiones ligeramente calcáreas, con glauconita. Esta unidad tiene un espesor aproximado de 224 metros en el área de influencia.	Acuífero confinado de extensión regional, conformados por rocas sedimentarias terciarias poco consolidadas. Estos acuíferos son de tipo confinado en el área de estudio. Contienen aguas cuyas propiedades químicas no son aptas para consumo humano.

UNIDAD		CARACTERISTICAS LITOESTRATIGRAFICAS	COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO
Formación Carbonera	Lutita E3	Esta unidad está compuesta por una secuencia predominantemente arcillosa, conformando uno de los sellos locales del proyecto. En el área de influencia, esta unidad tiene un espesor aproximado de 187 metros.	Acuitardo de extensión regional, conformado predominantemente por sedimentos arcillosos terciarios. Esta unidad en el área de estudio constituye un nivel sello qué limita la movilidad vertical de los fluidos.
	Unidad T1	Esta unidad está constituida por areniscas depositadas en un ambiente continental. Son de color crema a parduzco, de grano fino a medio, a veces conglomerático, separadas por niveles de arcillolita de color gris a verduzco. En el área de estudio, esta unidad tiene un espesor aproximado de 119 metros.	Acuífero de extensión local, conformado por rocas sedimentarias terciarias. Contienen crudo y aguas cuyas propiedades químicas no son aptas para consumo humano.
	Lutita E4	Esta unidad está constituida por sedimentos muy finos, principalmente lutitas, conformando una de las unidades sello del proyecto. Tiene un espesor promedio de 120 meros en el área de influencia.	Acuitardo de extensión regional, conformado predominantemente por sedimentos arcillosos terciarios. Esta unidad en el área de estudio constituye un nivel sello qué limita la movilidad vertical de los fluidos.
Formación Mirador (T2)		Areniscas masivas con diferentes granulometrías, generalmente granodecrecientes de base a techo, compuestas por cuarzo, algunas veces feldespato, materia orgánica leñosa y glauconita, hacia la parte superior de la secuencia. En el área de influencia, esta unidad tiene un espesor aproximado de 33 metros y es de gran interés para el proyecto.	Acuífero confinado de extensión regional, con valores de porosidad y permeabilidad altos. Unidad productora y objeto de inyección para sostenimiento de presión en el presente proyecto.
Formación Guadalupe (K1)		Secuencia de areniscas masivas, con pequeñas intercalaciones de lutitas, a veces con pequeñas capas de carbón. En el área de influencia, cuenta con un espesor promedio de 92 metros.	Acuífero de extensión regional
Formación Gachetá (K1 inferior)		Secuencia de lutitas, de color gris a gris oscuro, con desarrollos menores de areniscas, con contenido variable de glauconita; presenta a veces pequeños niveles calcáreos. Tiene un espesor aproximado de 45 metros en el área de influencia del proyecto.	Acuicludo de extensión regional, conformado por sedimentos arcillosos terciarios. Esta unidad en el área de estudio constituye un nivel sello qué limita la movilidad vertical de los fluidos.
Formación Une (K2)		Areniscas cuarzosas con intercalaciones menores de lutitas y de limolitas carbonosas. En el área de influencia tiene un espesor aproximado de 55 metros.	Acuífero de extensión regional. Unidad objeto de inyección para disposición.

Fuente: SGI S.A.S., 2025.

3.2.7.7 Inventario puntos de agua subterránea

En el marco del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) para el Área de Desarrollo Bucare, se realizó la identificación y caracterización de los puntos de agua subterránea ubicados dentro del área de influencia físico-biótica del presente proyecto.

Para llevar a cabo de forma correcta el levantamiento y desarrollo de un inventario de puntos de agua subterránea, es fundamental tener claro que existen cuatro (4) tipos de puntos de agua subterránea:

- ✓ Manantiales: Son manifestaciones naturales del flujo de agua subterránea que se presentan donde el nivel freático, local o regional, intercepta la superficie.

- ✓ Pozos: Son perforaciones profundas que se hacen en el subsuelo con el objetivo de captar un acuífero y extraer agua de este. Por lo general tienen un revestimiento en acero o PVC con diámetros de 4" - 8".
- ✓ Aljibes: Son puntos de aprovechamiento de agua subterránea excavados manualmente, poco profundos y de gran diámetro (entre 23" – 47"), generalmente no presentan revestimiento y en el caso de presentarlo, tienen cemento anillado y se hacen para captar el primer horizonte acuífero del área.
- ✓ Piezómetros: Son pozos de observación en los que se puede medir el nivel freático o altura piezométrica, al igual que cualquier parámetro físico químico o bacteriológico de interés. Se diferencia de los demás tipos de puntos porque no es utilizado para aprovechamiento de agua subterránea, sólo para monitoreo. Suelen tener diámetros de 2" – 4" y revestimiento en PVC.

Teniendo en cuenta esta clasificación, a continuación, se presenta una breve descripción de la metodología empleada para llevar a cabo el levantamiento del inventario de puntos de agua subterránea.

- ➢ **Levantamiento y caracterización del inventario de puntos de agua subterránea**

Inicialmente, se llevó a cabo la identificación y caracterización de los puntos de agua subterránea dentro del área de influencia físico-biótica del proyecto. Para ello, se recopiló información secundaria de estudios previos (**Tabla 3-13**), lo que permitió conformar un inventario preliminar de 243 puntos de agua subterránea (**Figura 3-35**). Con base en este inventario, se estableció la línea base para definir los puntos que serían visitados y caracterizados durante la campaña de campo. Asimismo, se planificaron la duración de la campaña, los equipos de trabajo y la metodología a implementar.

Tabla 3-13 Fuentes de información secundaria para el inventario de puntos de agua subterránea.

FUENTE	AUTOR	AÑO	ESCALA
ESTUDIO HIDROGEOLOGICO Y ELABORACIÓN DE MODELO HIDROGEOLÓGICO MATEMATICO PARA EVALUAR EL INFLUJO DE AGUA DEL POZO CHICHIMENE-26 EN EL CAMPO CHIMENE	ECOPETROL S.A.	2010	1:10.000
EIA para la Modificación De la Licencia Ambiental para el APE CPO-9	ECOPETROL S.A.	2012	1:25.000
EIA para La Modificación del PMA Bloque Cubarral - Campos Castilla y Chichimene	ECOPETROL S.A.	2022	1:25.000
EIA Campo de Producción 50k CPO-09	ECOPETROL S.A.	2012	1:25.000
EIA Área de Perforación Exploratoria CPO 10 Norte	ECOPETROL S.A.	2014	1:25.000
EIA Área de Perforación Exploratoria Llanos 37	ECOPETROL S.A.	2011	1:25.000
EIA Área de Perforación Exploratoria Zocay	ECOPETROL S.A.	2013	1:25.000
Modelo Hidrogeológico Matemático de la Actividad de Inyección de Agua para Mantenimiento de Presión. Campo Castilla	ECOPETROL S.A.	2020	N.A.
POMCA del Río Acacías - Pajure	CORMACARENA	2012	1:25.000
POMCA del Río Guayuriba	CORMACARENA	2018	1:25.000

Fuente: SGI S.A.S., 2025

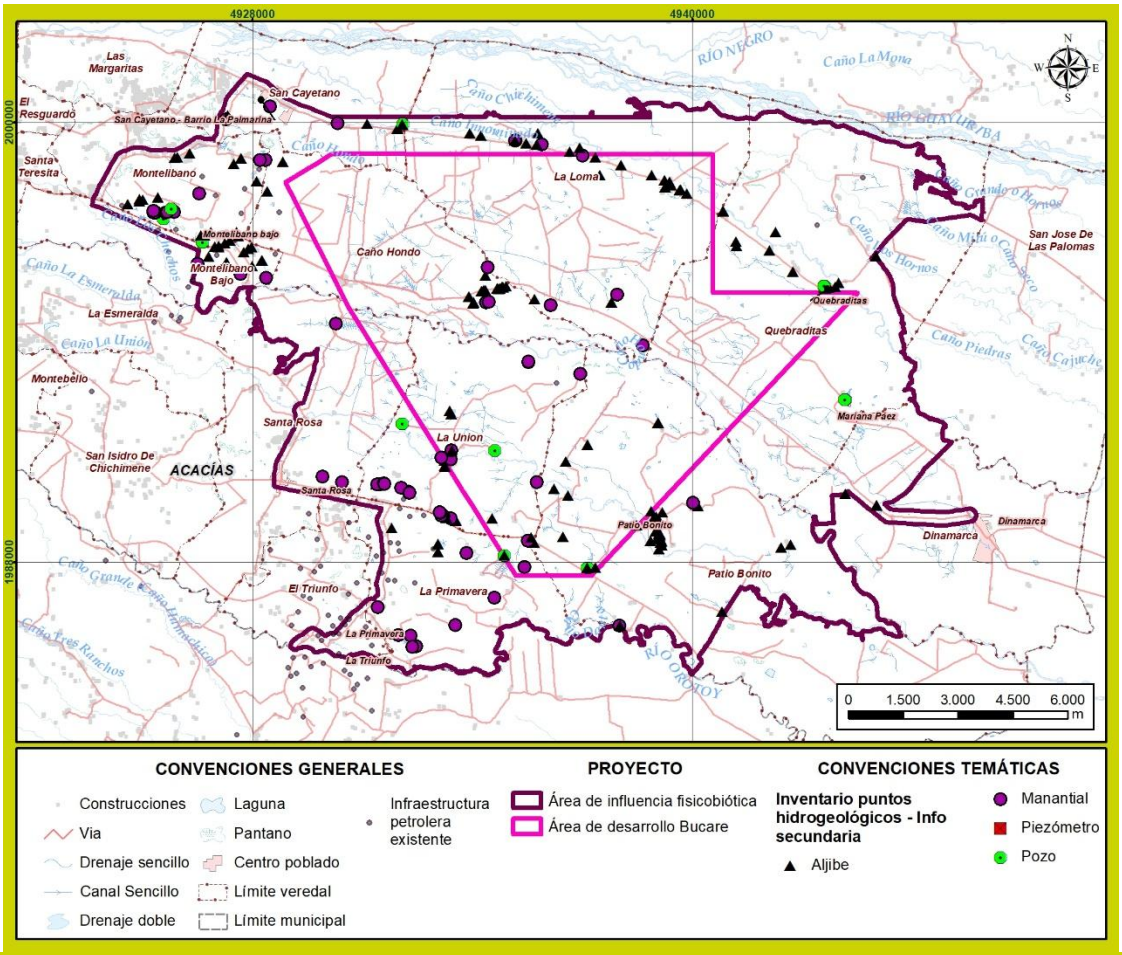


Figura 3-35 Ubicación inventario de puntos de agua subterránea de información secundaria
Fuente: SGI S.A.S, 2025.

La campaña de campo fue realizada por la empresa SGI S.A.S. entre el 27 de marzo y el 15 de abril del 2025. Durante este periodo, se realizó la verificación y caracterización de los puntos de agua subterránea identificados en la información secundaria disponible y se complementó dicho inventario, tanto con la identificación de puntos hidrogeológicos adicionales como con la actualización de la información de los puntos propuestos en estudios anteriores.

A continuación, se describe de forma breve las actividades relevantes realizadas durante el levantamiento del inventario de puntos de agua subterránea, las cuales fueron llevadas a cabo en la campaña de campo.

✓ Verificar los puntos de agua subterránea propuestos

Se realizó la verificación y caracterización de todos los puntos de agua subterránea propuestos a partir de la información secundaria, a excepción de 106 puntos en los que no se pudo acceder por restricciones en los permisos de ingreso por parte de los propietarios (**Tabla 3-20**).

✓ Depuración

De los puntos de agua subterránea que fueron identificados en estudios anteriores, se descartaron algunos manantiales que, por las características

observadas en campo, se definió que no corresponden a nacimientos de agua sino a drenajes de escorrentía, acumulaciones temporales de agua superficial y/o drenajes, por lo que no fueron tenidos en cuenta dentro del inventario de puntos de agua subterránea del presente proyecto. Al igual que algunos aljibes los cuales ya no se encontraban, para un total de 31 puntos descartados (**Tabla 3-19**).

✓ Complementar inventario

Adicional a los puntos de agua subterránea identificados en estudios anteriores, durante el reconocimiento del área de estudio se identificaron 68 puntos de agua subterránea adicionales a los propuestos en la información secundaria.

✓ Actualizar inventario

A partir de la información recolectada durante la salida de campo, se definió el inventario de puntos de agua subterránea del presente EIA, en el cual se actualizó la información de los puntos propuestos en estudios anteriores y se identificaron puntos adicionales.

Finalmente, se realizó el procesamiento de la información levantada en campo, se diligenció el Formulario Único Nacional de Inventario de Puntos de Agua Subterránea (FUNIAS) para cada uno de los 155 puntos hidrogeológicos que conforman el inventario, a partir de la información evidenciada en campo e información brindada por los propietarios de los predios. Los FUNIAS pueden ser consultados en los anexos del presente documento, ubicados en la ruta: **Anexos/5. Anexos Abiótico/5.7 Hidrogeología/5.7.5_FUNIAS**.

- **Caracterización de los puntos de agua subterránea inventariados según el tipo de punto**

Los puntos de agua subterránea pueden ser clasificados según el tipo de punto, es decir, pueden ser aljibes, manantiales, pozos y/o piezómetros. Para facilitar su identificación, cada tipo de punto ha sido codificado con una letra asignada a su ID consecutivo. Así, los manantiales se identifican con la letra “M”, los pozos con la letra “P”, los aljibes con la secuencia “AL” y los piezómetros con la secuencia “Pz”. De los 155 puntos de agua subterránea inventariados en el área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare, 100 puntos son aljibes, 27 corresponden a manantiales; 11 puntos fueron clasificados como pozos; y finalmente, 17 puntos a piezómetros.

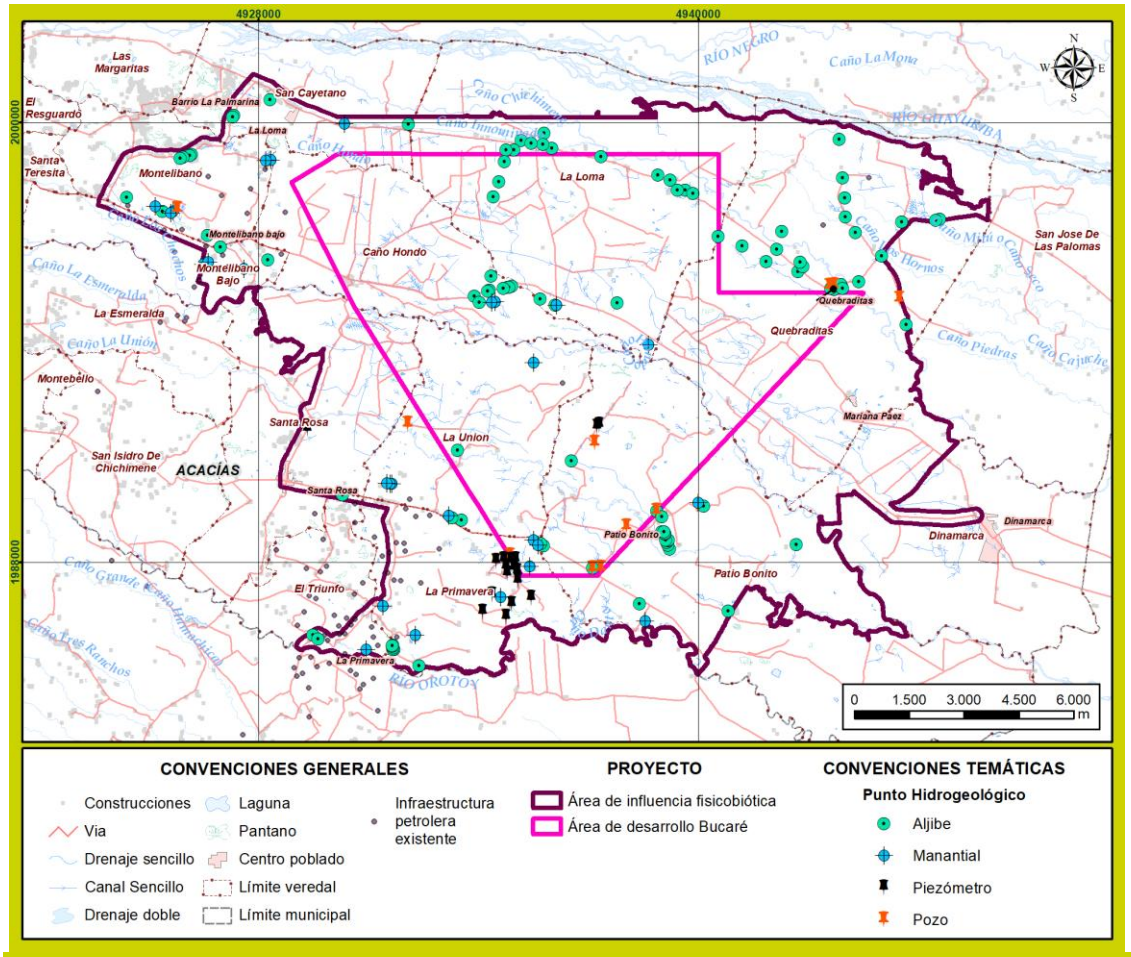


Figura 3-36 Ubicación de los puntos de agua inventariados
Fuente: SGI S.A.S, 2025

Tal como se puede observar en la **Figura 3-37**, la mayor proporción de puntos hidrogeológicos identificados en el área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare corresponde a aljibes, los cuales representan el 64,5 % del inventario total. Estos puntos corresponden a estructuras de aprovechamiento de agua subterránea excavadas manualmente y se encuentran ampliamente distribuidos en el área de influencia. En segundo lugar, se identifican los manantiales, que corresponden a afloramientos naturales de agua subterránea y representan el 17,4 % del total de puntos inventariados. Posteriormente, se encuentran los piezómetros, los cuales abarcan el 11,0 % del inventario y son utilizados principalmente para el monitoreo de los niveles y la dinámica del agua subterránea. Finalmente, los pozos representan el 7,1 % del total de puntos hidrogeológicos identificados en el área de estudio

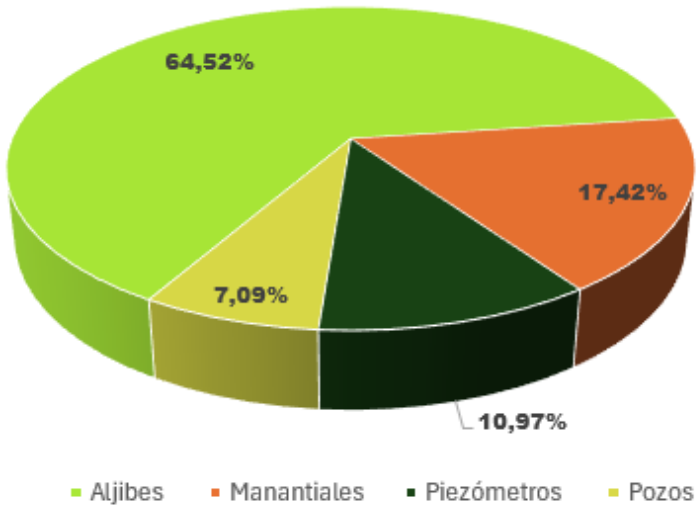


Figura 3-37 Tipos de puntos de agua subterránea identificados
Fuente: SGI S.A.S, 2025

- **Caracterización de los puntos de agua subterránea inventariados según su uso y aprovechamiento**

Parte de la información recolectada durante la campaña de campo desarrollada por la compañía SGI SAS, consiste en determinar los principales usos que le dan al agua subterránea captada en cada uno de los puntos hidrogeológicos que hacen parte del inventario. Para ello, se consultó con los propietarios de los predios, siempre y cuando fue posible, y/o los usos que le dan al agua subterránea que ellos captan mediante los puntos hidrogeológicos y se sintetizaron dichos resultados en la **Tabla 3-14**.

Tabla 3-14 Distribución de los usos del agua en el área de influencia

USO DEL RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO	NÚMERO DE PUNTOS DE AGUA
Doméstico y pecuario	59
Necesidades domésticas individuales	37
Pecuario y/o agrícola	11
Consumo humano colectivo o comunitario	2
Industrial	19
Sin uso o inactivos	27
TOTAL	**155**

Fuente: SGI S.A.S., 2025.

En la **Figura 3-38** se presenta la distribución porcentual de los principales usos que le dan al agua subterránea en el área de influencia, esto a partir de la información recolectada en los 155 puntos hidrogeológicos que hacen parte del inventario del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare.

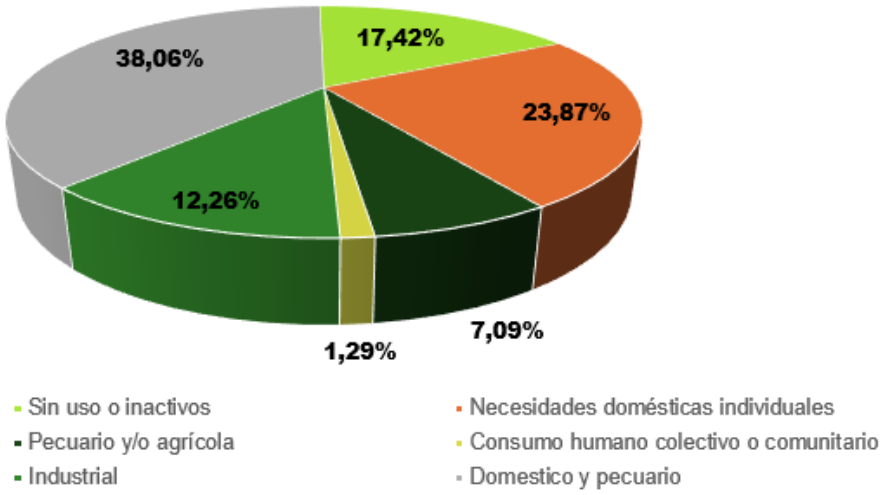


Figura 3-38 Distribución porcentual de los usos del agua subterránea
Fuente: SGI SAS, 2025.

De acuerdo con lo presentado en la **Figura 3-38**, el uso principal del agua subterránea en el área de influencia corresponde al uso doméstico y pecuario, siendo más frecuente su aplicación en actividades ganaderas, y en menor proporción para consumo humano y labores del hogar. Este tipo de aprovechamiento responde a la vocación agropecuaria de la región, donde el agua subterránea es un recurso clave para el sostenimiento del ganado y otras actividades relacionadas con la producción animal.

El siguiente uso del agua subterránea más común, con un 23,87% de los puntos inventariados, es el uso doméstico individual, que también incluye consumo humano, tareas domésticas y actividades pecuarias a pequeña escala, aunque generalmente asociadas a predios de uso familiar. Por otro lado, el 17,42% de los puntos de agua subterránea no presentan uso actual, ya sea porque están inactivos, abandonados o son de reserva. La mayor parte de este grupo corresponde a manantiales, cuya formación ocurre de forma natural y generalmente están alejados de viviendas, por lo que el uso de estos es reducido.

En cuanto al uso industrial, este representa el 12,26% del total inventariado. De estos, 17 puntos corresponden a piezómetros utilizados por la ASA para el monitoreo de aguas subterráneas, mientras que, 2 aljibes son empleados para el abastecimiento de agua en actividades industriales, principalmente relacionadas con la agroindustria local.

Un 7,09% de los puntos tiene un uso exclusivo pecuario y/o agrícola, destinado al riego de cultivos o abastecimiento de ganado en explotaciones rurales.

Finalmente, solo el 1,29% de los puntos de agua subterránea se utiliza para consumo humano colectivo o comunitario, es decir, pozos destinados al abastecimiento público, como acueductos veredales o comunitarios.

Considerando los 155 puntos de agua subterránea inventariados, a continuación, se presentan las principales características de cada tipo de punto (aljibes, manantiales, pozos y piezómetros) identificados en el área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental del Área de Desarrollo Bucare, clasificados según su uso y forma de aprovechamiento.

3.2.7.7.1 Aljibes

Los aljibes son la principal forma de captación de agua subterránea para el abastecimiento en la región, siendo el recurso destinado principalmente para suplir necesidades domésticas y pecuarias.

La ubicación de los aljibes inventariados en el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) para el Área de Desarrollo Bucare se pueden observar en la **Figura 3-39**.

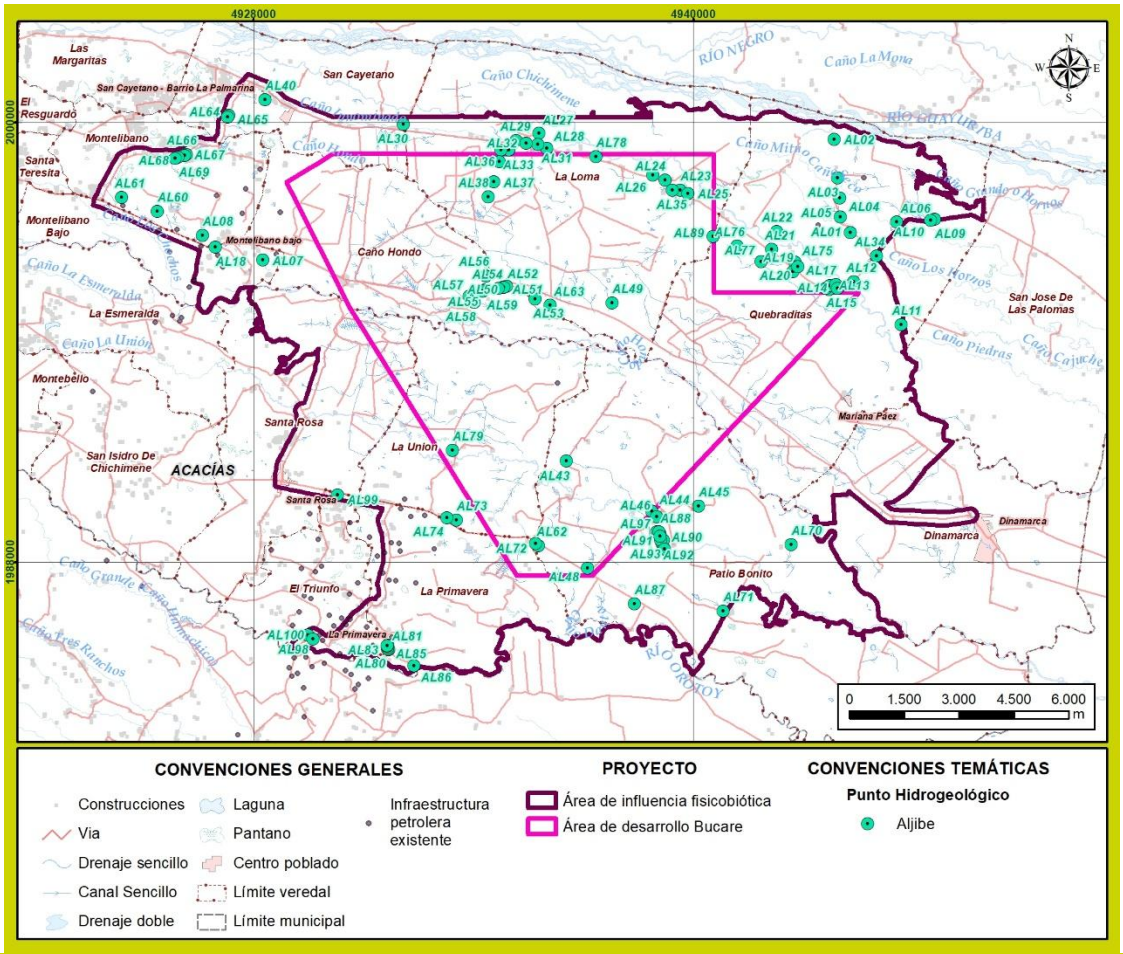


Figura 3-39 Ubicación de los aljibes inventariados en el Área de Desarrollo Bucare
Fuente: SGI S.A.S, 2025

Los aljibes pertenecen al sistema acuífero Cuaternario del cuerpo del abanico aluvial (Q1ca), compuestos principalmente por gravas, gravas arenosas y arenas gravosas, que se presentan en estado semiconsolidado a no consolidados y muestran una mala selección granulométrica, se puede observar en captaciones sin revestimiento como en la **Fotografía 3-1** (obsérvese capa superior gravas, gravas arenosas y arenas gravosas, tipico de la unidad hidrogeológica).



Fotografía 3-1 Captación agua subterránea.
Coordenadas Planas Magna Sirgas Origen Nacional
Este (m): 4934260,98
Norte (m): 1995402,88



Fotografía 3-2 Aljibe con revestimiento en cemento anillado.
Coordenadas Planas Magna Sirgas Origen Nacional
Este (m): 4925366,97
Norte (m): 1997584,05

Durante el trabajo de campo se identificaron los materiales de revestimiento utilizados en la construcción de los aljibes. El 17,79% de ellos presenta revestimiento en cemento anillado como se observa en la **Fotografía 3-2**, mientras que un 1,70% utiliza piedra con cemento y el 60,17% no presenta ningún tipo de revestimiento (Ver: **Figura 3-40**). En cuanto a sus dimensiones, los diámetros de los aljibes varían de 31” a 92” de diámetro, aunque, la mayoría de las captaciones tiene diámetros de 36”. Las profundidades de los aljibes van desde 2 m hasta 14,87 m.

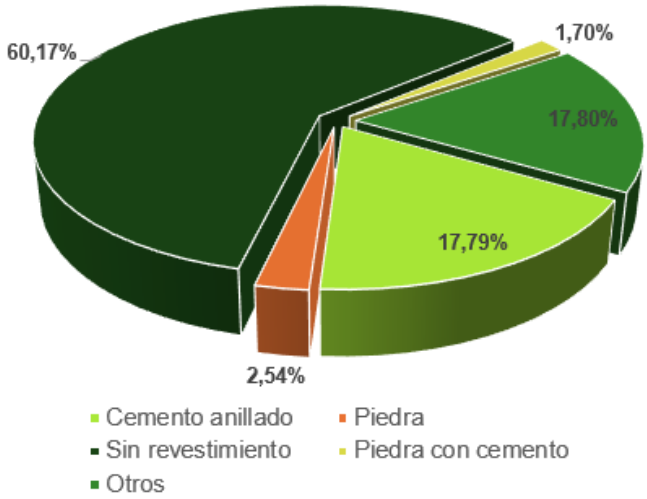


Figura 3-40 Materiales de revestimiento utilizados en la construcción de los aljibes
Fuente: SGI SAS, 2025.

La mayoría de los predios inventariados cuentan con infraestructura complementaria, como tanques de almacenamiento y albercas (Ver: **Fotografía 3-3**), con capacidades de almacenamiento que van desde 500 hasta 5.000 litros, dependiendo del uso del agua.



Fotografía 3-3 Tanque con capacidad de 1.000 litros
Coordenadas Planas Magna Sirgas Origen Nacional
Este (m): 4935789,26
Norte (m): 1988456,61



Fotografía 3-4 Mecanismos de extracción de agua subterránea
Coordenadas Planas Magna Sirgas Origen Nacional
Este (m): 4937797,82
Norte (m): 1995089,95

En relación con los mecanismos de extracción de agua subterránea, se basan principalmente en el uso de motobombas (Ver: **Figura 3-41**), tanto eléctricas como a combustible, siendo estos los equipos más comúnmente empleados como se observa en la **Fotografía 3-4**. En algunos casos, también se utiliza bomba electrosumergible, especialmente cuando se requiere elevar agua desde mayores profundidades.

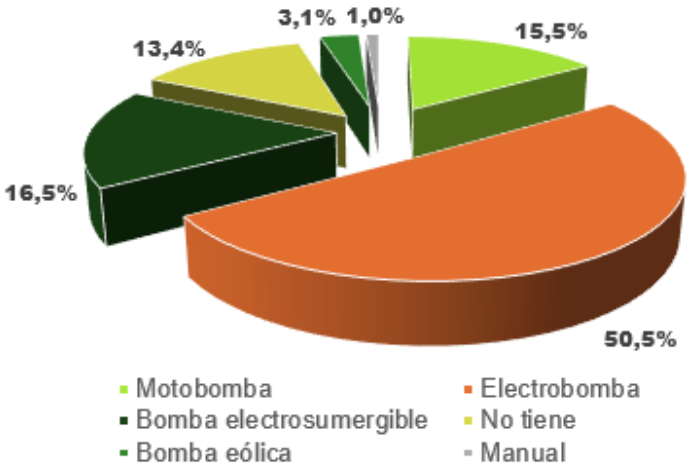


Figura 3-41 Mecanismos de extracción de agua subterránea
Fuente: SGI SAS, 2025.

El régimen de bombeo de los aljibes varía según la demanda de agua o la temporada climática, lo cual influye en el aumento o disminución de las horas diarias de bombeo. En promedio, el tiempo de bombeo diario oscila entre ½ hora hasta 1 hora.

Respecto a los usos identificados de los 100 aljibes inventariados: cuarenta y cinco (45) presentan aprovechamiento para uso doméstico y pecuario, treinta y dos (32) para uso doméstico, once (11) presentan uso agrícola y pecuario, dos (2) para uso industrial y diez (10) no presentan uso. Como se observa en la **Figura 3-42**, el principal uso del agua subterránea en el área de tipo doméstico y

pecuario; en segundo lugar, tenemos el uso doméstico, en tercer lugar, el uso es pecuario y/o agrícola.

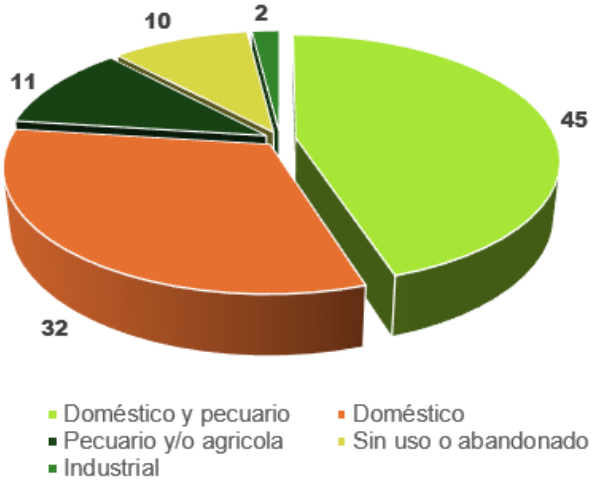


Figura 3-42 Usos del agua subterránea en los aljibes inventariados
Fuente: SGI SAS, 2025.

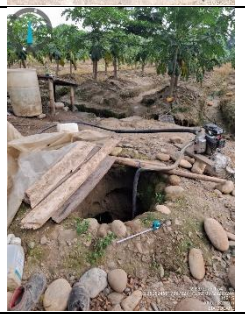
A continuación, en la **Tabla 3-15** se presentan las principales características (ID, coordenadas, tipo de punto, profundidad, nivel freático y registro fotográfico) de los 100 aljibes inventariados en el área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental del Área de Desarrollo Bucare.

Tabla 3-15 Aljibes inventariados

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
AL01	Aljibe	4944304,47	1997001,75	A3	4.68	0.5	1	
AL02	Aljibe	4943866,48	1999548,99	A4	1,52	0		
AL03	Aljibe	4943951,42	1998504,32	A3	3.39	0.6	0.7	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
AL04	Aljibe	4944020,21	1997946,96	A3	3.13	0.45	0.62	
AL05	Aljibe	4944037,42	1997429,55	A3	4.92	1.03	1.39	
AL06	Aljibe	4945568,64	1997300,67	A3	6.83	0.53	0.88	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
AL07	Aljibe	4928251,43	1996252,24	A4	7.72	0.71	1.01	
AL08	Aljibe	4926601,39	1996925,84	A3	2.2	0	0.96	
AL09	Aljibe	4946607,88	1997371,03	A3	2.77	0.14	1.66	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
AL10	Aljibe	4946496,93	1997347,32	A3	3.1	0	1.55	
AL11	Aljibe	4945695,67	1994486,26	A3	5.01	0.12	3.27	
AL12	Aljibe	4944393,37	1995665,60	A3	2.5	0	1.95	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
AL13	Aljibe	4943722,01	1995457,27	A3	4.9	0.1	2.48	
AL14	Aljibe	4943929,80	1995556,33	A3	2.53	0	1.51	
AL15	Aljibe	4943636,45	1995485,36	A3	6.86	0.95	3.26	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
AL16	Aljibe	4943741,30	1995562,41	A3	5.58	0.52	2.96	
AL17	Aljibe	4943905,29	1995593,24	A3	3,36	0,35		
AL18	Aljibe	4926959,72	1996613,88	A3	4.86	0.475	1.945	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
AL19	Aljibe	4942744,58	1995938,07	A3	9.74	0.45	5.49	
AL20	Aljibe	4942880,51	1996073,89	A3	3.52	0.36	0.78	
AL21	Aljibe	4942163,52	1996553,05	A3	10	0.39	6.12	

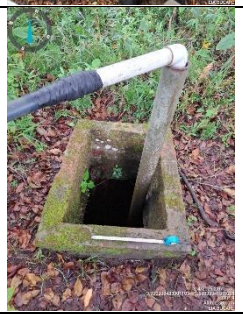
ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
AL22	Aljibe	4942290,13	1997029,23	A3	2.63	0.5	0.59	
AL23	Aljibe	4939657,76	1998169,06	A3	4.04	0.22	1.45	
AL24	Aljibe	4939243,69	1998432,34	A3	5.02	0.3	2.08	

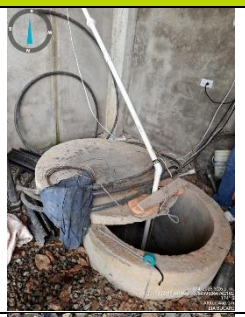
ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
AL25	Aljibe	4939866,59	1998067,44	A3	4.02	0.17	2.04	
AL26	Aljibe	4938904,29	1998570,25	A3	6.96	0.08	1.92	
AL27	Aljibe	4935793,81	1999715,04	A4	2.94	0.06	1.93	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
AL28	Aljibe	4936008,06	1999314,83	A3	8.81	0.64	6.38	
AL29	Aljibe	4935179,20	1999517,46	A3	2.5	0.07	0.81	
AL30	Aljibe	4932095,55	1999960,71	A3	5.37	0.35	1.93	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
AL31	Aljibe	4935766,40	1999419,67	A3	12.2	0.88	2.49	
AL32	Aljibe	4935457,14	1999452,35	A3	Sin información	Sin información	Sin información	
AL33	Aljibe	4934978,70	1999255,84	A3	5.24	0.15	3.22	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
AL34	Aljibe	4945028,46	1996358,51	A3	6.19	0.32	3.04	
AL35	Aljibe	4939445,20	1998163,07	A3	9.82	0	7	
AL36	Aljibe	4934762,34	1999264,19	A3	6.22	0.17	2.42	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
AL37	Aljibe	4934572,77	1998390,96	A3	5.9	0.13	2.08	
AL38	Aljibe	4934411,75	1997976,63	A3	8.13	0.12	5.29	
AL39	Aljibe	4934718,09	1998941,77	A3	5.63	0.17	2.69	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
AL40	Aljibe	4928322,52	2000638,28	A3	9.6	0.25	5.04	
AL41	Aljibe	4939234,30	1988356,00	A3	2	0	0.95	
AL42	Aljibe	4939112,75	1988707,59	A3	13.08	0.47	10.19	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
AL43	Aljibe	4936553,59	1990763,25	A3	4.99	0.48	4.32	
AL44	Aljibe	4938888,23	1989401,22	A3	12.75	0.17	11.43	
AL45	Aljibe	4940163,24	1989541,14	A3	2.45	0.7	1.36	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
AL46	Aljibe	4939024,91	1989251,88	A3	14.13	0.2	11.51	
AL47	Aljibe	4943950,05	1995477,04	A3	4.39	0.07	2.09	
AL48	Aljibe	4937128,90	1987839,89	A3	9.72	0.57	5.71	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
AL49	Aljibe	4937797,82	1995089,95	A3	5.6	0.38	2.5	
AL50	Aljibe	4934919,10	1995540,33	A3	3.16	0	1.7	
AL51	Aljibe	4934813,32	1995516,97	A3	5	0	3.4	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
AL52	Aljibe	4934838,42	1995517,48	A3	6.1	0.775	3.655	
AL53	Aljibe	4935695,66	1995189,66	A3	3.9	0.6	0.66	
AL54	Aljibe	4934685,94	1995474,15	A3	4.8	0.29	2.84	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
AL55	Aljibe	4934312,76	1995435,30	A3	9.2	0.35	3.55	
AL56	Aljibe	4934358,26	1995823,47	A3	7	0.29	2.91	
AL57	Aljibe	4933901,52	1995260,92	A3	8.43	0.87	5.21	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
AL58	Aljibe	4934033,88	1995099,88	A3	6.34	0.11	4.09	
AL59	Aljibe	4934260,98	1995402,88	A3	6.7	0.15	2.23	
AL60	Aljibe	4925366,97	1997584,05	A3	10.82	0.56	6.66	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
AL61	Aljibe	4924398,76	1997961,35	A3	7.26	0.39	4.49	
AL62	Aljibe	4935789,26	1988456,61	A3	6.9	0	5.34	
AL63	Aljibe	4936101,36	1995026,06	A3	5.72	0.7	0.67	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
AL64	Aljibe	4927323,76	2000208,61	A3	4.43	0.27	1.26	
AL65	Aljibe	4927290,35	2000160,74	A3	3.13	0.39	0.49	
AL66	Aljibe	4926160,22	1999143,59	A3	7	0		
AL67	Aljibe	4926114,50	1999113,08	A3	6	0.07	3.13	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
AL68	Aljibe	4925937,18	1999066,41	A3	6.8	0	2.34	
AL69	Aljibe	4925856,64	1999038,25	A3	6.28	0.6	2.73	
AL70	Aljibe	4942687,82	1988483,86	A3	4.37	0.14	2.66	
AL71	Aljibe	4940825,21	1986662,57	A3	7.4	1.5	4.5	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
AL72	Aljibe	4935710,08	1988518,35	A3	9.74	0.52	5.94	
AL73	Aljibe	4933551,00	1989158,18	A3	6.74	1.1	2.7	
AL74	Aljibe	4933284,69	1989212,81	A3	6	0.53		

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
AL75	Aljibe	4942804,77	1996193,84	A3	5.4	0.68	1.66	
AL76	Aljibe	4941208,02	1996638,37	A3	7.3	0.76	3.74	
AL77	Aljibe	4941872,92	1996217,46	A3	7	0	3.8	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
AL78	Aljibe	4937355,73	1999071,99	A3	3.4	0.09	2.01	
AL79	Aljibe	4933436,32	1991061,01	A3	3.9	0.18	1.9	
AL80	Aljibe	4931694,18	1985617,83	A3	5.15	0	3.23	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
AL81	Aljibe	4931674,15	1985622,87	A3	5.45	0.6	2.9	
AL82	Aljibe	4931676,36	1985657,70	A3	4.95	0.12	2.99	
AL83	Aljibe	4931661,71	1985702,35	A3	Sin información	Sin información	Sin información	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
AL84	Aljibe	4931663,34	1985731,80	A3	4.3	0.35	Sin información	
AL85	Aljibe	4931647,09	1985726,30	A3	6.34	0.16	3.74	
AL86	Aljibe	4932386,83	1985171,14	A3	2.56	1.06	0.06	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
AL87	Aljibe	4938410,90	1986864,25	A3	5.25	0.08	3.29	
AL88	Aljibe	4939011,66	1988838,49	A3	12	0.17	Sin información	
AL89	Aljibe	4940555,37	1996903,66	A3	6.14	0.44	2.33	
AL90	Aljibe	4939181,33	1988460,61	A3	9.8	0.56	7.3	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
AL91	Aljibe	4939148,59	1988547,73	A3	10.58	0.58	8.06	
AL92	Aljibe	4939179,17	1988590,24	A3	10.46	0.28	8.28	
AL93	Aljibe	4939205,16	1988605,72	A3	10.88	0.31	8.35	
AL94	Aljibe	4939129,90	1988604,85	A3	10.87	0.7	9.08	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
AL95	Aljibe	4939113,29	1988777,18	A3	12.49	0.63	10.3	
AL96	Aljibe	4939090,47	1988795,93	A3	12.1	0.2	10.24	
AL97	Aljibe	4939077,13	1988832,62	A3	14.87	0.1	11.52	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
AL98	Aljibe	4929494,99	1986015,00	A3	5,4	0,53	1,91	
AL99	Aljibe	4930302,99	1989832,99	A3	10,34	0,79	5,93	
AL100	Aljibe	4929625,99	1985903,00	A3	8,42	0,37	3,63	

Fuente: SGI S.A.S., 2025.

3.2.7.7.2 Manantiales

Los manantiales son una surgencia natural de agua subterránea que se produce cuando el nivel freático intercepta con la superficie del terreno, lo que permite que el agua fluya de manera espontánea sin necesidad de bombeo. En el área de estudio, los manantiales provienen del acuífero libre superior y están asociados a las unidades geológicas de depósitos de abanico, terraza aluvial y depósitos de planos de inundación. La ubicación de los manantiales inventariados en el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) para el Área de Desarrollo Bucare se pueden observar en la **Figura 3-43**.

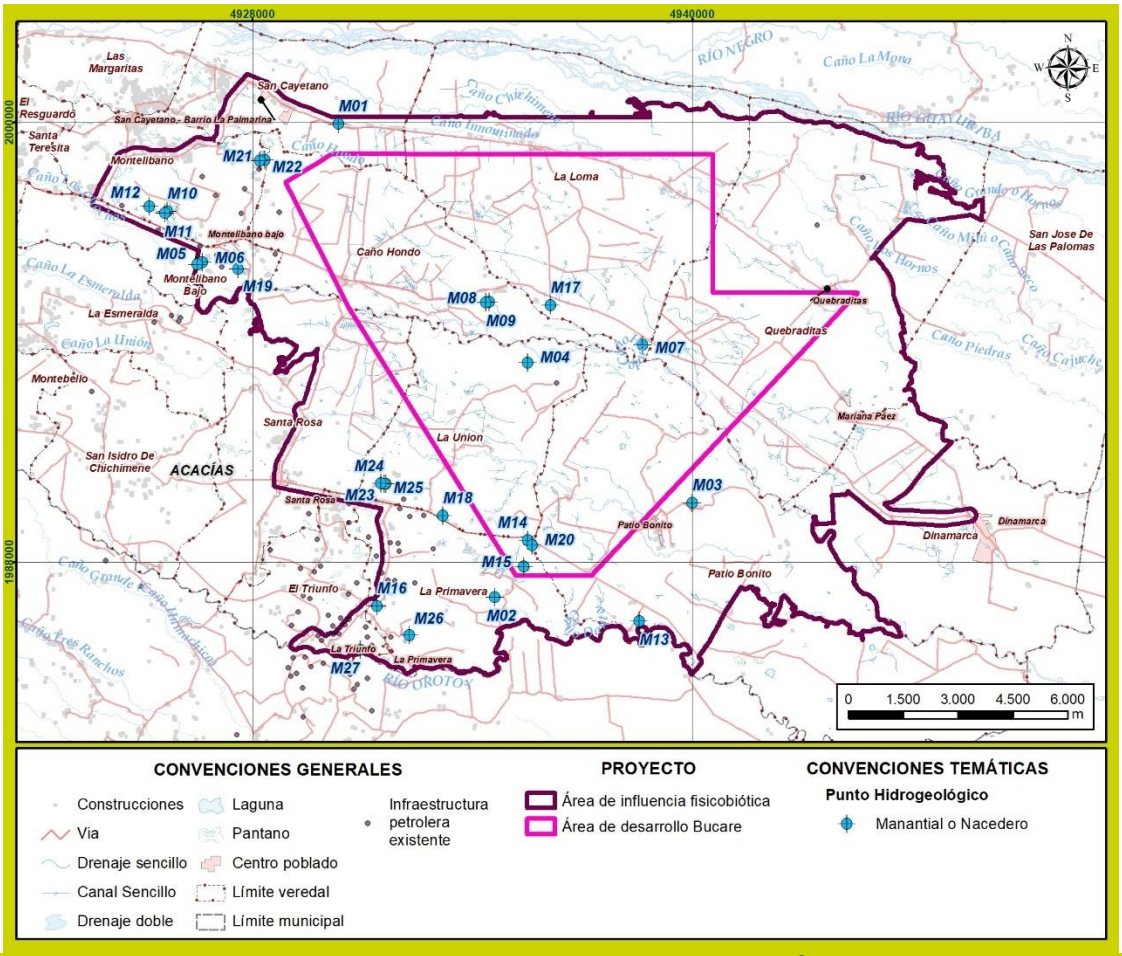


Figura 3-43 Ubicación de los manantiales inventariados en el Área de Desarrollo Bucare
Fuente: SGI S.A.S, 2025

Estos puntos representan la segunda forma más común de aprovechamiento del agua subterránea en la región. Generalmente se localizan en áreas con cobertura vegetal densa, lo que favorece su preservación y reduce la intervención antrópica.

La mayoría de los manantiales identificados se originan por filtración del agua subterránea a través de sedimentos permeables como se observa en la **Fotografía 3-5**. Sin embargo, se registró un manantial de tipo goteo, caracterizado por la salida lenta, continua y localizada del agua en forma de gotas, lo cual indica un flujo subterráneo restringido como se observa en la **Fotografía 3-6.**



**Fotografía 3-5 Manantial por filtración de agua natural a través de los sedimentos
Coordenadas Planas Magna Sirgas
Origen Nacional
Este (m): 4928331,36
Norte (m): 1998989,82**



**Fotografía 3-6 Manantial por goteo
Coordenadas Planas Magna Sirgas
Origen Nacional
Este (m): 4930941,51
Norte (m): 1985624,11**

El aprovechamiento de los manantiales se realiza por medio de represas que permiten canalizar el agua (Ver: **Fotografía 3-7**), la cual es conducida por bombeo a tanques de almacenamiento para ser utilizadas en labores domésticas y pecuarias (Ver: **Fotografía 3-8**). De los manantiales que reportan uso presentan un método de extracción asociado, con motobombas y electrobombas.



**Fotografía 3-7 Canalización y bombeo de agua de manantial, para uso domestico y pecuario.
Coordenadas Planas Magna Sirgas
Origen Nacional
Este (m): 4935516,49
Norte (m): 1988598,07**



**Fotografía 3-8 Canalización y bombeo de agua de manantial, para uso domestico. Coordenadas Planas Magna Sirgas Origen Nacional
Este (m): 4935507,80
Norte (m): 1993456,66**

De los 27 manantiales identificados 6 presentan uso doméstico, agrícola y pecuario; 5 presentan únicamente uso doméstico y 16 no presentan uso observado (Ver: **Figura 3-44**).

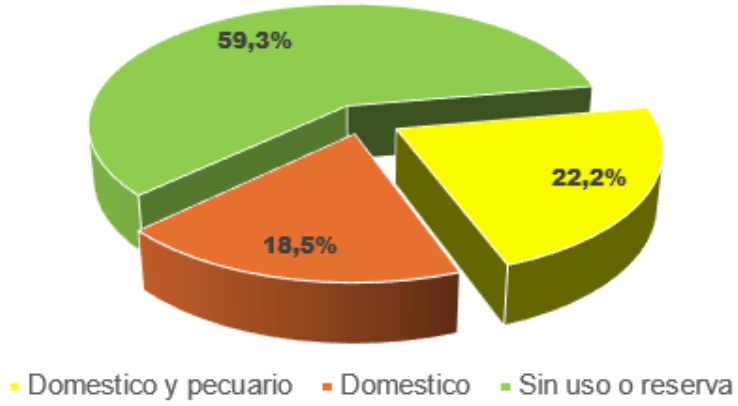


Figura 3-44 Usos del agua en manantiales
Fuente: SGI SAS, 2025.

En la **Tabla 3-16** se presenta un resumen de las principales características de los 27 manantiales inventariados (ID, coordenadas, tipo de punto, unidad hidrogeológica en la que se encuentra ubicado, tipo de manantial, profundidad, nivel freático y registro fotográfico) en el área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental del Área de Desarrollo Bucare.

Tabla 3-16 Manantiales inventariados

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	TIPO DE MANANTIAL	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
M01	Manantial	4930339,32	1999979,64	A3	Por filtración	1.22	1.18	
M02	Manantial	4934611,84	1987049,74	A3	Por filtración	0.1	0	
M03	Manantial	4940007,61	1989627,36	A4	Por filtración	0.25	0	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	TIPO DE MANANTIAL	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
M04	Manantial	4935507,80	1993456,66	A3	Por filtración	0	0	
M05	Manantial	4926484,49	1996143,97	A3	Por filtración	0.15	0	
M06	Manantial	4926618,13	1996203,32	A3	Por filtración	1.1	0.4	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	TIPO DE MANANTIAL	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
M07	Manantial	4938651,01	1993940,36	A4	Por filtración	0.01	0	
M08	Manantial	4934456,62	1995114,50	A3	Por filtración	0.3	0	
M09	Manantial	4934368,02	1995104,86	A4	Por filtración	0.01	0	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	TIPO DE MANANTIAL	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
M10	Manantial	4925667,98	1997580,95	A3	Por filtración	0.02	0	
M11	Manantial	4925603,73	1997542,93	A3	Por filtración	0.01	0	
M12	Manantial	4925174,18	1997716,09	A3	Por filtración	0.25	0	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	TIPO DE MANANTIAL	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
M13	Manantial	4938566,64	1986400,29	A4	Por filtración	0.17	0	
M14	Manantial	4935516,49	1988598,07	A3	Por filtración	0.62	0	
M15	Manantial	4935404,04	1987894,33	A3	Sin información	Sin información	Sin información	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	TIPO DE MANANTIAL	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
M16	Manantial	4936143,88	1995017,93	A3	Por filtración	6.15	0	
M17	Manantial	4933193,98	1989271,56	A3	Por filtración	0.08	0	
M18	Manantial	4927595,66	1996019,65	A3	Por filtración	0.11	0	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	TIPO DE MANANTIAL	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
M19	Manantial	4935630,66	1988468,35	A3	Por filtración	0.1	0	
M20	Manantial	4928331,36	1998989,82	A3	Por filtración	0.01	0	
M21	Manantial	4928197,08	1998978,30	A3	Por filtración	0.15	0	
M22	Manantial	4931645,64	1990141,54	A3	Por filtración	0.1	0	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	TIPO DE MANANTIAL	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
M23	Manantial	4931586,77	1990145,60	A3	Por filtración	0.15	0	
M24	Manantial	4931501,27	1990155,31	A3	Por filtración	2.21	0	
M25	Manantial	4932280,15	1986013,89	A3	Por filtración	0.02	0	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	TIPO DE MANANTIAL	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
M26	Manantial	4930941,51	1985624,11	A3	Por goteo	Sin información	Sin información	
M27	Manantial	4931392,07	1986801,58	A3	Por filtración	0.01	0	

Fuente: SGI S.A.S., 2025.

3.2.7.7.3 Pozos

Se inventariaron 11 pozos los cuales se encuentran entre las siguientes profundidades: 4 entre 6 m y 38 m; 3 entre 60 m y 80 m; 3 entre 100 m y 105 m. La mayoría de estas estructuras están construidas en tubería PVC, con diámetros que varían entre 4” y 6”. Se realizaron mediciones del nivel estático en cinco pozos, se encontraron entre nivel de superficie y 6 m de profundidad. En los pozos restantes no fue posible tomar esta medición, ya que estaban completamente cerrados o el cabezote de la bomba impedía el acceso. La ubicación de los pozos inventariados en el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) para el Área de Desarrollo Bucare se pueden observar en la **Figura 3-45**.

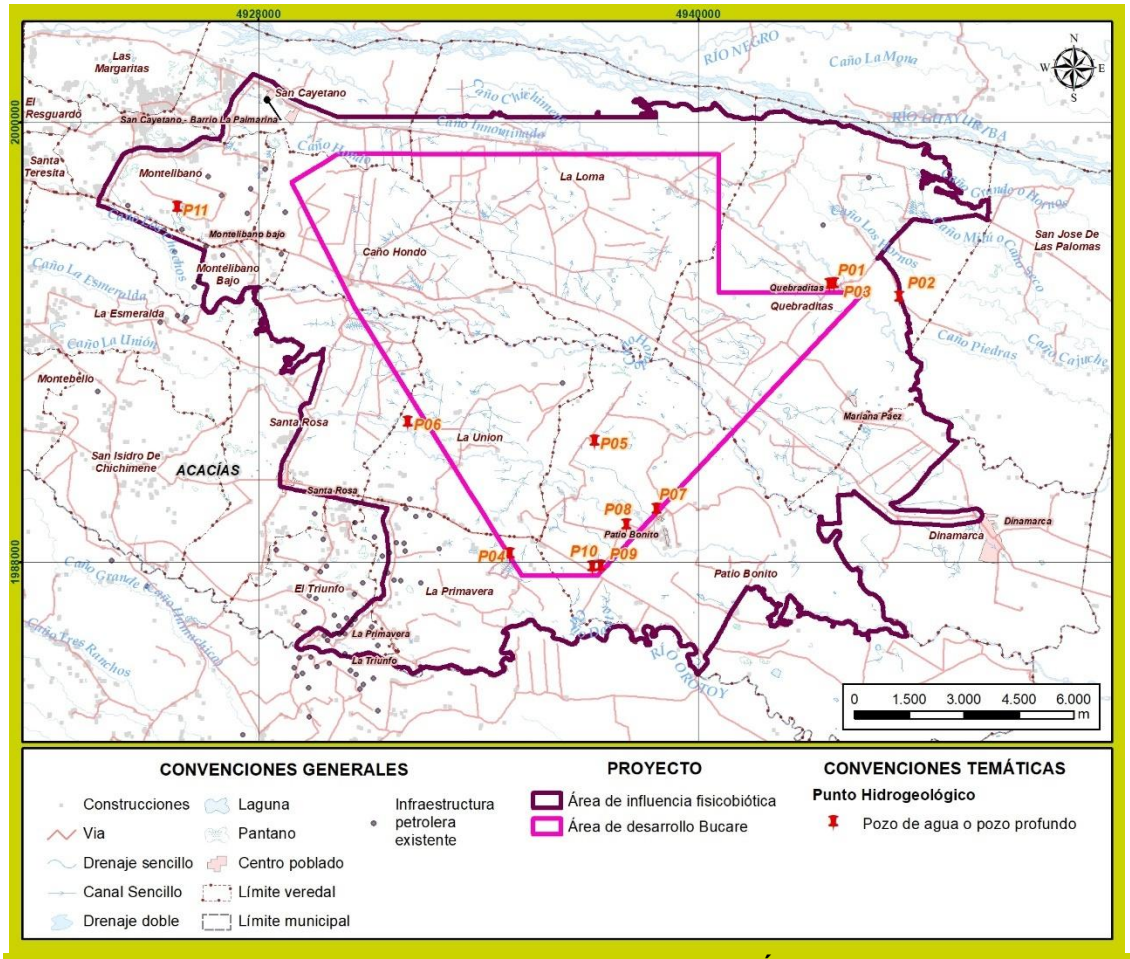


Figura 3-45 Ubicación de los pozos inventariados en el Área de Desarrollo Bucare
Fuente: SGI S.A.S, 2025

En cuanto a la infraestructura complementaria, algunos pozos cuentan con tanques de almacenamiento con capacidades que varían desde 1.000 litros hasta 24.000 litros, para uso público, doméstico y pecuario. La extracción de agua se realiza por medio de electrobombas sumergibles en 6 pozos, y mediante electrobomba en 3 pozos, con un régimen de bombeo aproximado entre ½ y 1 hora diaria.

Respecto al uso, principal aprovechamiento corresponde al uso doméstico y pecuario, con 8 pozos destinados a este fin; y 2 pozos se utilizan para el abastecimiento público (Ver: **Figura 3-46**). En cuanto a los caudales de extracción, los pozos que abastecen el acueducto Quebraditas y la Escuela de Patio Bonito registran caudales de entre 1,25 a 1,5 l/s.

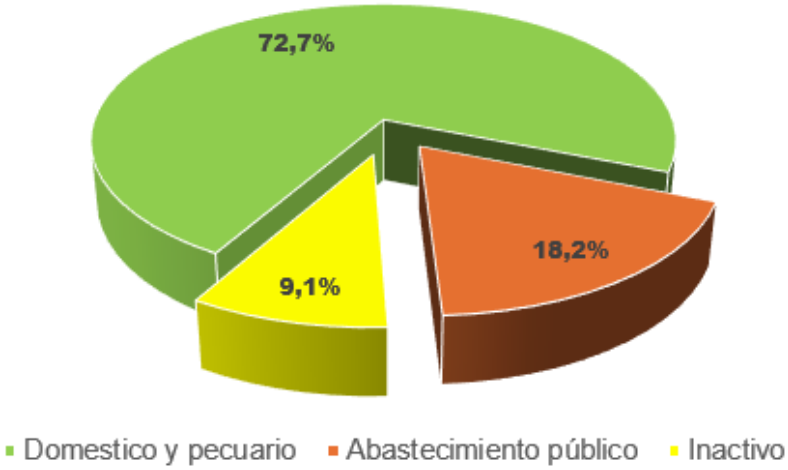


Figura 3-46 Usos del agua de pozos
Fuente: SGI S.A.S, 2025

En la **Tabla 3-17** se presenta un resumen de las principales características de los 11 pozos inventariados (ID, coordenadas, tipo de punto, unidad hidrogeológica en la que se encuentra ubicado, profundidad, nivel freático y registro fotográfico) en el área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental del Área de Desarrollo Bucare

Tabla 3-17 Pozos inventariados

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
P01	Pozo	4943610,49	1995538,77	A3	70	0.38	Sin información	
P02	Pozo	4945517,24	1995189,02	A3	18	Sin información	Sin información	
P03	Pozo	4943735,75	1995559,27	A3	6.95	0.07	3.11	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
P04	Pozo	4934872,74	1988184,67	A3	32.69	0.5	2.23	
P05	Pozo	4937184,06	1991265,64	A3	70	0.48	Sin información	
P06	Pozo	4932081,67	1991778,97	A3	Sin información	80	0.23	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
P07	Pozo	4938886,90	1989391,33	A3	38	Sin información	Sin información	
P08	Pozo	4938059,36	1988978,70	A3	Sin información	Sin información	Sin información	
P09	Pozo	4925776,95	1997639,10	A3	100	0.15	Sin información	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTATICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
P10	Pozo	4937352,31	1987844,12	A3	105	0.2	Sin información	
P11	Pozo	4937133,39	1987835,44	A3	100	6.19	Sin información	

Fuente: SGI S.A.S., 2025.

3.2.7.7.4 Piezómetros

Un piezómetro es un instrumento hidrogeológico utilizado para medir la altura piezométrica o nivel freático, y evaluar así la presión del agua subterránea en un punto específico del subsuelo. Adicionalmente, permite el muestreo de agua para la determinación de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, útiles en estudios de calidad del agua y monitoreo ambiental. La ubicación de los piezómetros inventariados en el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) para el Área de Desarrollo Bucare se pueden observar en la **Figura 3-47**.

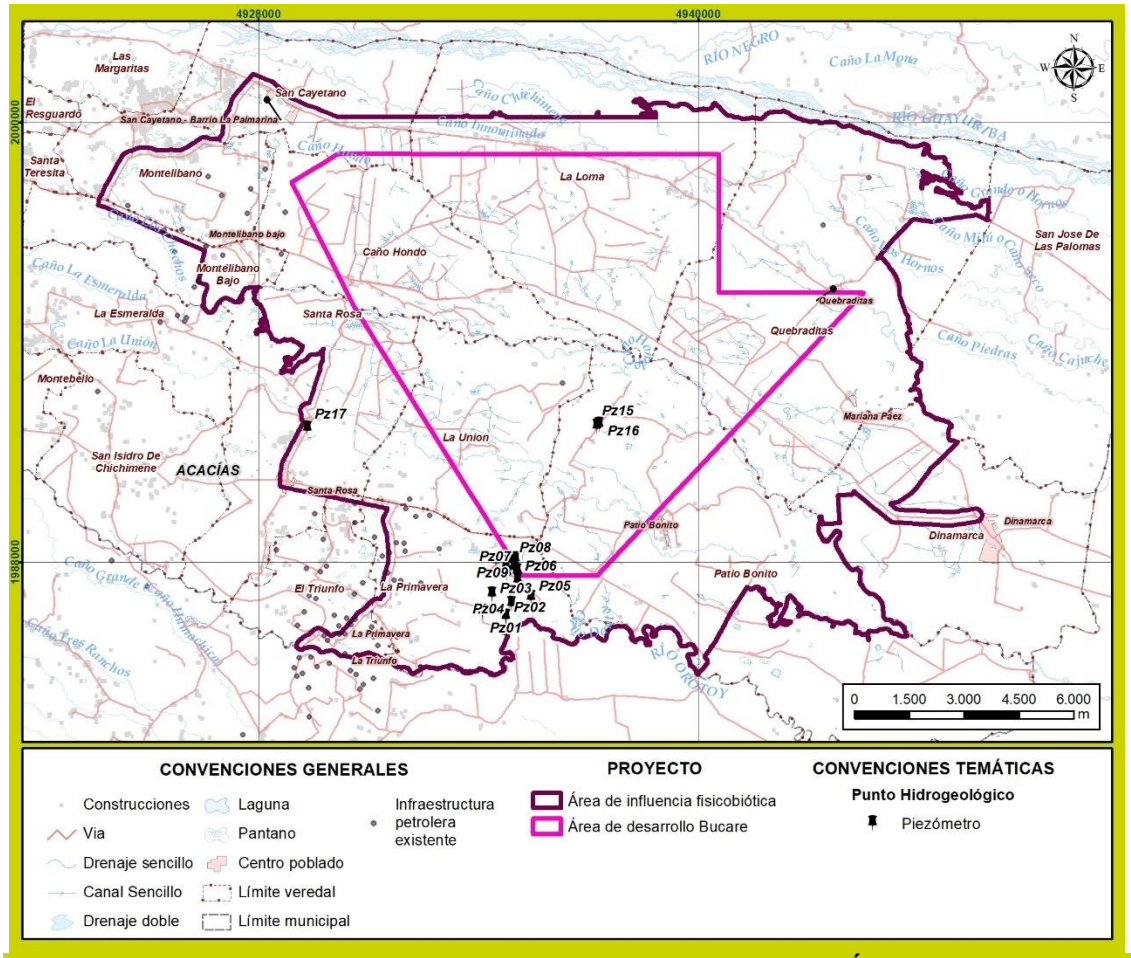


Figura 3-47 Ubicación de los piezómetros inventariados en el Área de Desarrollo Bucare
Fuente: SGI S.A.S, 2025

Estos puntos de observación cuentan con un diseño técnico que garantiza un sellado hidráulico eficiente tanto en superficie como en profundidad, evitando la comunicación entre estratos y posibles contaminaciones cruzadas. Los piezómetros pueden ser de tubo abierto o contener sensores, dependiendo de los objetivos del monitoreo.

En el área de estudio, este tipo de punto hidrogeológico fue identificado únicamente dentro del Área de Saneamiento Ambiental (ASA) y en otras zonas asociadas a la actividad industrial. En total, se inventariaron 17 piezómetros, cuya finalidad principal es el monitoreo de las condiciones hidrogeológicas de las formaciones superficiales, permitiendo evaluar variaciones en el nivel del agua subterránea y su calidad a lo largo del tiempo.

En la **Fotografía 3-9** y la **Fotografía 3-10** se muestra el estado típico de la cabeza de estos piezómetros de monitoreo.



Fotografía 3-9 Piezómetro Pz-06
Coordenadas Planas Magna Sirgas
Origen Nacional
Este (m): 4935089,27
Norte (m): 1987485,47



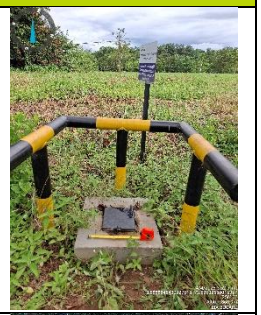
Fotografía 3-10 Piezómetro Pz-07
Coordenadas Planas Magna Sirgas
Origen Nacional
Este (m): 4935072,87
Norte (m): 1987744,23

En la **Tabla 3-18** se presentan las principales características (ID, coordenadas, tipo de punto, profundidad, nivel freático y registro fotográfico) de los 17 piezómetros inventariados en el área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental del Área de Desarrollo Bucare.

Tabla 3-18 Piezómetros inventariados

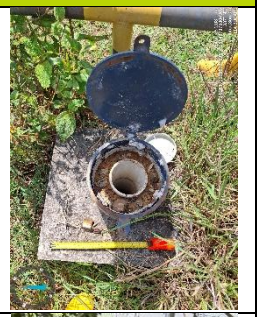
ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTÁTICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
Pz01	Piezómetro	4934121,14	1986641,10	A3	12.46	0.15	Sin información	
Pz02	Piezómetro	4934762,31	1986498,47	A3	12.12	0.25	2.04	
Pz03	Piezómetro	4934377,19	1987115,24	A3	11.63	0.24	9.82	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTÁTICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
Pz04	Piezómetro	4934910,29	1986848,61	A3	10.37	0.24	2.38	
Pz05	Piezómetro	4935445,53	1987026,91	A3	11.92	0.19	4.02	
Pz06	Piezómetro	4935089,27	1987485,47	A3	12.37	0.17	2.98	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTÁTICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
Pz07	Piezómetro	4935072,87	1987744,23	A3	12.04	0.12	2.38	
Pz08	Piezómetro	4934902,81	1988054,31	A3	7.99	0.57	3.9	
Pz09	Piezómetro	4935018,09	1988065,09	A3	10.26	0.495	1.855	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTÁTICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
Pz10	Piezómetro	4934492,64	1988019,22	A3	10.22	0.62	8.123	
Pz11	Piezómetro	4934801,32	1987686,96	A3	0.56	8.93	4.66	
Pz12	Piezómetro	4934757,62	1987873,34	A3	7.92	0.21	4.92	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTÁTICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
Pz13	Piezómetro	4934709,38	1988071,60	A3	8.38	0.26	2.24	
Pz14	Piezómetro	4934989,75	1987843,60	A3	8.7	0.2	5.865	
Pz15	Piezómetro	4937251,94	1991706,99	A3	10.98	0.57	1.345	

ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDRO GEOLOGICA	PROFUNDIDAD (m)	ABP (m)	NIVEL ESTÁTICO (m)	REGISTRO FOTOGRÁFICO
		Este (m)	Norte (m)					
Pz16	Piezómetro	4937312,98	1991752,06	A3	12.08	0.46	2.21	
Pz17	Piezómetro	4929331,44	1991636,16	A3	8,42	0,37	2,92	

Fuente: SGI S.A.S., 2025.

3.2.7.7.5 Depurados

De la revisión de los puntos de agua subterránea previamente identificados en estudios anteriores, se procedió a la exclusión de ciertos elementos tras la verificación en campo. Específicamente, se descartaron varios manantiales al determinar que sus características no correspondían a nacimientos de agua genuinos, sino a drenajes de escorrentía, acumulaciones temporales de agua superficial o sistemas de drenaje. Por consiguiente, estos no fueron incluidos en el inventario de puntos de agua subterránea del presente proyecto. Adicionalmente, se identificó que algunos aljibes registrados ya no existían en el sitio. En total, 31 puntos fueron descartados del análisis los cuales se pueden revisar en la **Tabla 3-19**.

Tabla 3-19 Puntos de agua subterránea de información secundaria descartados.

ID ESTUDIOS ANTERIORES	TIPO DE PUNTO	ESTUDIO
PA-19	Aljibe	EIA CPO 10 NORTE
PA-173	Aljibe	EIA CPO 10 NORTE
A295	Aljibe	EIA CAMPO CASTILLA-CHICHIMENE
M146	Manantial	EIA CAMPO CASTILLA-CHICHIMENE
PA-620	Aljibe	EIA CPO 9
PA-315	Manantial	EIA CPO 9
PA-121	Aljibe	EIA ZOCAY
PA-163	Manantial	EIA ZOCAY
PA-165	Aljibe	EIA ZOCAY
PA-186	Manantial	EIA ZOCAY
PA-205	Manantial	EIA ZOCAY
132	Manantial	EIA LLANOS 37
134	Manantial	EIA LLANOS 37
171	Manantial	EIA LLANOS 37
1	Aljibe	POMCA RIO ACACIAS-PAJURE
15	Aljibe	POMCA RIO ACACIAS-PAJURE
63	Manantial	POMCA RIO ACACIAS-PAJURE
67	Manantial	POMCA RIO ACACIAS-PAJURE
ECH3	Aljibe	MODELO HIDROGEOLOGICO MATEMATICO CAMPO CASTILLA
ECH15	Aljibe	MODELO HIDROGEOLOGICO MATEMATICO CAMPO CASTILLA
ECH16	Aljibe	MODELO HIDROGEOLOGICO MATEMATICO CAMPO CASTILLA
ECH17	Aljibe	MODELO HIDROGEOLOGICO MATEMATICO CAMPO CASTILLA
SUB-114	Aljibe	MODELO HIDROGEOLOGICO MATEMATICO CAMPO CASTILLA
SUB-117	Manantial	MODELO HIDROGEOLOGICO MATEMATICO CAMPO CASTILLA
SUB-118	Manantial	MODELO HIDROGEOLOGICO MATEMATICO CAMPO CASTILLA
SUB-127	Manantial	MODELO HIDROGEOLOGICO MATEMATICO CAMPO CASTILLA
SUB-186	Manantial	MODELO HIDROGEOLOGICO MATEMATICO CAMPO CASTILLA

ID ESTUDIOS ANTERIORES	TIPO DE PUNTO	ESTUDIO
SUB-187	Manantial	MODELO HIDROGEOLOGICO MATEMATICO CAMPO CASTILLA
ECH1	Aljibe	ESTUDIO HIDROGEOLOGICO CHICHIMENE 26
ECH10	Aljibe	ESTUDIO HIDROGEOLOGICO CHICHIMENE 26
ECH11	Aljibe	ESTUDIO HIDROGEOLOGICO CHICHIMENE 26

Fuente: SGI S.A.S., 2025.

3.2.7.7.6 Otros Puntos

En el marco del levantamiento del inventario de puntos de agua subterránea para el Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare, se identificaron 243 puntos a partir de fuentes de información secundaria. Sin embargo, no fue posible realizar la verificación en campo de 106 de estos puntos debido a la negativa o ausencia de autorización por parte de los propietarios de los predios. A pesar de esta limitación, estos puntos se conservarán en el inventario como "no verificados", con el fin de mantener la integridad de la base de datos hidrogeológica, asegurar la trazabilidad de la información y evitar omisiones que puedan afectar la interpretación del sistema acuífero en etapas posteriores del estudio.

Según se presenta en la **Figura 3-48**, la mayoría de los puntos hidrogeológicos identificados corresponden a aljibes, estructuras excavadas manualmente para el aprovechamiento de agua subterránea. En segundo lugar, se encuentran los manantiales, que representan el 20,7% del inventario y corresponden a afloramientos naturales de agua subterránea. Por último, los pozos representan únicamente el 5,7% total de puntos inventariados.

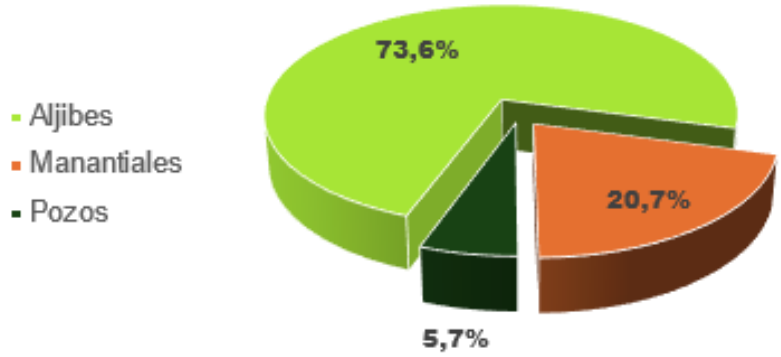


Figura 3-48 Tipos de puntos de agua subterránea en el inventario de información secundaria Área de Desarrollo Bucare
Fuente: SGI S.A.S, 2025

La **Figura 3-49** muestra la distribución porcentual de los principales usos del agua subterránea en el área de influencia, con base en la información secundaria recopilada para los 106 puntos identificados.

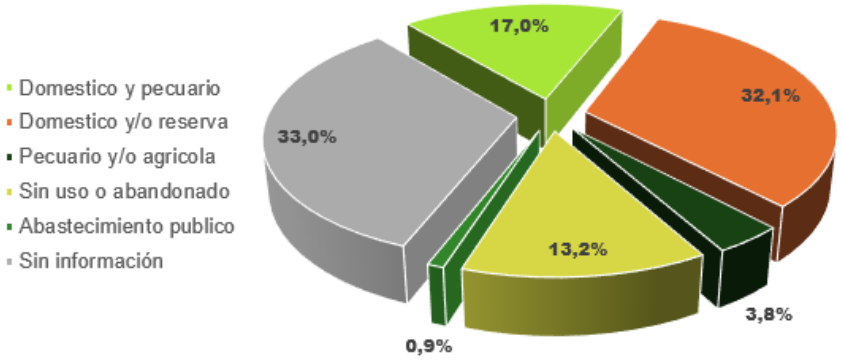


Figura 3-49 Usos de puntos agua subterránea del inventario de información secundaria de Área de Desarrollo Bucare
Fuente: SGI S.A.S, 2025

El uso predominante del recurso hídrico subterráneo corresponde al uso doméstico y/o de reserva, el cual abarca el consumo humano, actividades domésticas y usos pecuarios a pequeña escala, usualmente vinculados a predios de carácter familiar.

En segundo lugar, el uso ganadero representa el 17,0 % del total, siendo empleado para el abastecimiento de ganado y otras actividades relacionadas con la producción animal, lo cual responde a la vocación agropecuaria de la región.

Un 13,2 % de los puntos no presenta un uso actual del recurso, ya sea por encontrarse inactivos, abandonados o ser reservorios sin explotación activa. La mayoría de estos puntos corresponde a manantiales ubicados en zonas alejadas de núcleos habitados, lo que limita su aprovechamiento.

El consumo humano colectivo o comunitario, representado por pozos destinados a acueductos rurales o veredales, constituye solo el 0,9 % de los puntos inventariados. Igualmente, un 3,8 % se emplea exclusivamente para fines pecuarios y/o agrícolas, particularmente en el riego de cultivos y abastecimiento en explotaciones rurales.

Es importante destacar que aproximadamente un 33 % del total de los puntos identificados carece de información suficiente para una caracterización detallada, lo que limita su análisis funcional dentro del inventario.

Considerando los 106 puntos de agua subterránea identificados a partir de información secundaria, a continuación, en la **Tabla 3-20** se presentan las principales características (ID, coordenadas, tipo de punto, profundidad, nivel freático y registro fotográfico) en el área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental del Área de Desarrollo Bucare.

Tabla 3-20 Puntos hidrogeológicos no verificados

ID	TIPO PUNTO	PREDIO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		TIPO DE USO	CARACTERISTICAS EXTRACCIÓN	SISTEMA BOMBEO	PROF	REGISTRO FOTOGRÁFICO	ESTUDIO
			Este (m)	Norte (m)						
PA-12	Aljibe	Vda Quebraditas	4943637,00	1995483,00	Domestico	Caudal = 0.4 l/s # usuarios: 1 familia Nivel estático = 3,8 metros	Sin información	10m	Sin información	EIA CPO 10 NORTE
PA-20	Aljibe	Vda Quebraditas	4943749,00	1995515,00	Domestico/ Reserva	Caudal = 0 l/s Nivel estático = 2.5 metros	Sin información	5m	Sin información	EIA CPO 10 NORTE
PA-23	Aljibe	Vda Quebraditas	4943720,00	1995503,00	Domestico	Caudal = 3.5 l/s # usuarios: 1 familia Nivel estático = 2.6 metros	Sin información	7m	Sin información	EIA CPO 10 NORTE
PA-24	Aljibe	Escuela Quebraditas	4943917,00	1995519,00	Domestico	Caudal = 1.5 l/s # usuarios: 1 familia Nivel estático = 2.4 metros	Sin información	4.8m	Sin información	EIA CPO 10 NORTE
PA-84	Aljibe	El Cedral	4944179,00	1989863,00	Doméstico y pecuario	Caudal = 3.5 l/s # usuarios: 2 familias y 90 animales Nivel estático = 1.5 metros	Sin información	2.9m	Sin información	EIA CPO 10 NORTE

ID	TIPO PUNTO	PREDIO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		TIPO DE USO	CARACTERISTICAS EXTRACCIÓN	SISTEMA BOMBEO	PROF	REGISTRO FOTOGRÁFICO	ESTUDIO
			Este (m)	Norte (m)						
PA-174	Aljibe	Villa Angelica	4945024,00	1996359,00	Doméstico y pecuario	Caudal = 1.5 l/s # usuarios: 1 familia y 70 animales Nivel estático = 2.2 metros	Sin información	7m	Sin información	EIA CPO 10 NORTE
PA-215	Aljibe	El Topacio	4945038,00	1989563,00	Domestico	Caudal = 0.4 l/s # usuarios: 1 familia Nivel estático = 2.4 metros	Sin información	3.9m	Sin información	EIA CPO 10 NORTE
PA-29	Pozo	El Berlín	4944180,00	1992436,00	Doméstico y agrícola	Caudal = 4.3 l/s # usuarios: 2 familias Nivel estático = 8 metros	Sin información	93m	Sin información	EIA CPO 10 NORTE
A18	Aljibe	Finca El Botalon	4934538,00	1989207,00	Domestico	Nivel estático = 0.1 metros	Sin información	5m	Sin información	EIA CAMPO CASTILLA-CHICHIMENE
A25	Aljibe	Lote	4931393,00	1990125,00	Domestico	Sin información	Sin información	5.8m	Sin información	EIA CAMPO CASTILLA-CHICHIMENE
A27	Aljibe	Finca Las Garzas	4933242,00	1990628,00	Domestico	Nivel estático = 2.4 metros	Sin información	9m	Sin información	EIA CAMPO CASTILLA-CHICHIMENE
A28	Aljibe	Finca Las Garzas	4933236,00	1990782,00	Sin información	Nivel estático = 3.2 metros	Sin información	10m	Sin información	EIA CAMPO CASTILLA-CHICHIMENE
A34	Aljibe	Hacienda El Diamante	4933380,00	1992135,00	Sin información	Nivel estático = 0.7 metros	Sin información	9m	Sin información	EIA CAMPO CASTILLA-CHICHIMENE

ID	TIPO PUNTO	PREDIO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		TIPO DE USO	CARACTERISTICAS EXTRACCIÓN	SISTEMA BOMBEO	PROF	REGISTRO FOTOGRÁFICO	ESTUDIO
			Este (m)	Norte (m)						
A193	Aljibe	Hacienda Casa Blanca	4936610,00	1989822,00	Sin información	Nivel estático = 2.9 metros	Sin información	5.7m	Sin información	EIA CAMPO CASTILLA-CHICHIMENE
A202	Aljibe	Hacienda Casa Blanca	4936225,00	1990001,00	Sin información	Nivel estático = 0.9 metros	Sin información	1.8m	Sin información	EIA CAMPO CASTILLA-CHICHIMENE
A203	Aljibe	Altamira	4940848,00	1997593,00	Sin información	Nivel estático = 2.2 metros	Sin información	4.4m	Sin información	EIA CAMPO CASTILLA-CHICHIMENE
A218	Aljibe	Lote	4931365,00	1990126,00	Sin información	Nivel estático = 1.2 metros	Sin información	6m	Sin información	EIA CAMPO CASTILLA-CHICHIMENE
A219	Aljibe	Hacienda Sabucan	4933054,00	1988495,00	Sin información	Nivel estático = 8 metros	Sin información	5.8m	Sin información	EIA CAMPO CASTILLA-CHICHIMENE
A286	Aljibe	Australia	4939071,00	1991804,00	Sin información	Nivel estático = 2.2 metros	Sin información	4.5m	Sin información	EIA CAMPO CASTILLA-CHICHIMENE
A292	Aljibe	Hacienda Sabucan	4933053,00	1988292,00	Sin información	Nivel estático = 5.4 metros	Sin información	9.6m	Sin información	EIA CAMPO CASTILLA-CHICHIMENE
A293	Aljibe	Lote	4936470,00	1988701,00	Sin información	Nivel estático = 3.5 metros	Sin información	6m	Sin información	EIA CAMPO CASTILLA-CHICHIMENE
A296	Aljibe	Altamira	4940842,00	1997590,00	Sin información	Nivel estático = 1.7 metros	Sin información	4.2m	Sin información	EIA CAMPO CASTILLA-CHICHIMENE
A300	Aljibe	La Esperanza	4939268,00	1998239,00	Sin información	Nivel estático = 2.8 metros	Sin información	8.3m	Sin información	EIA CAMPO CASTILLA-CHICHIMENE

ID	TIPO PUNTO	PREDIO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		TIPO DE USO	CARACTERISTICAS EXTRACCIÓN	SISTEMA BOMBEO	PROF	REGISTRO FOTOGRÁFICO	ESTUDIO
			Este (m)	Norte (m)						
M101	Aljibe	Las Brisas	4935601,00	1988675,00	Sin información	Nivel estático = 0.1 metros	Sin información	7m	Sin información	EIA CAMPO CASTILLA-CHICHIMENE
A15-LIN	Aljibe	Finca La Esperanza	4931792,00	1988941,00	Sin información	Nivel estático = 4 metros	Sin información	10m	Sin información	EIA CAMPO CASTILLA-CHICHIMENE
AL1-LN2022	Aljibe	Hacienda El Diamante	4933422,00	1992056,00	Sin información	Nivel estático = 1.2 metros	Sin información	7m	Sin información	EIA CAMPO CASTILLA-CHICHIMENE
M01	Aljibe	Finca Las Garzas	4933412,00	1990810,00	Reserva	Nivel estático = 8 metros	Sin información	-	Sin información	EIA CAMPO CASTILLA-CHICHIMENE
M02	Manantial	La Reforma	4932271,00	1989896,00	Reserva	Sin información	Sin información	-	Sin información	EIA CAMPO CASTILLA-CHICHIMENE
M03	Manantial	Lote	4932052,00	1990040,00	Reserva	Sin información	Sin información	-	Sin información	EIA CAMPO CASTILLA-CHICHIMENE
M07	Manantial	Villa Patricia	4933410,00	1989201,00	Reserva	Sin información	Sin información	-	Sin información	EIA CAMPO CASTILLA-CHICHIMENE
M08	Manantial	Montecarlo	4936942,00	1993148,00	Reserva	Sin información	Sin información	-	Sin información	EIA CAMPO CASTILLA-CHICHIMENE
M96	Manantial	Las Garzas	4933143,00	1990855,00	Reserva	Sin información	Sin información	-	Sin información	EIA CAMPO CASTILLA-CHICHIMENE
M147	Manantial	Brasilia	4935761,00	1990191,00	Domestico	Sin información	Sin información	-	Sin información	EIA CAMPO CASTILLA-CHICHIMENE

ID	TIPO PUNTO	PREDIO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		TIPO DE USO	CARACTERISTICAS EXTRACCIÓN	SISTEMA BOMBEO	PROF	REGISTRO FOTOGRÁFICO	ESTUDIO
			Este (m)	Norte (m)						
M45_LIN	Manantial	Hacienda Sabucan	4933827,00	1988249,00	Domestico	Sin información	Sin información	-	Sin información	EIA CAMPO CASTILLA-CHICHIMENE
MAN01-LN2022	Manantial	Institución Educativa La Unión	4933146,00	1989281,00	Reserva	Sin información	Sin información	-	Sin información	EIA CAMPO CASTILLA-CHICHIMENE
MAN02-LN2022	Manantial	Lote	4931392,00	1990136,00	Reserva	Sin información	Sin información	-	Sin información	EIA CAMPO CASTILLA-CHICHIMENE
MAN04-LN2022	Manantial	La Reforma	4932249,00	1989929,00	Reserva	Sin información	Sin información	-	Sin información	EIA CAMPO CASTILLA-CHICHIMENE
714-M50	Manantial	Institución Educativa La Unión	4933105,00	1989361,00	Reserva	Sin información	Sin información	-	Sin información	EIA CAMPO CASTILLA-CHICHIMENE
P1	Pozo	Inglaterra	4934606,00	1991042,00	Sin información	Nivel estático = 1.0 metros	Sin información	150m	Sin información	EIA CAMPO CASTILLA-CHICHIMENE
P05	Pozo	La Vorágine	1991782,00	4932081,00	Sin información	Sin información	Sin información	80m	Sin información	EIA CAMPO CASTILLA-CHICHIMENE
PA-70	Aljibe	Villa Claudia	4928109,00	1998413,00	Reserva	# usuarios = 0 Nivel estático = 2.7 metros	Electrobomba	4m		EIA CPO 9

ID	TIPO PUNTO	PREDIO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		TIPO DE USO	CARACTERISTICAS EXTRACCIÓN	SISTEMA BOMBEO	PROF	REGISTRO FOTOGRÁFICO	ESTUDIO
			Este (m)	Norte (m)						
PA-197	Aljibe	Pinalito	4927671,00	1999040,00	Inactivo	# usuarios = 0 Nivel estático = 4.4 metros	No presenta sistema de bombeo	5.63m		EIA CPO 9
PA-279	Aljibe	El Porvenir	4926270,00	1999177,00	Domestico	# usuarios = 1 familia Nivel estático = 3.83 metros	Electrobomba	4.58m		EIA CPO 9
PA-305	Aljibe	Cluster 4	4924578,00	1997776,00	Reserva	# usuarios = 1 familia	Electrobomba	10m		EIA CPO 9
PA-589	Aljibe	Hacienda Jarama	4933929,00	1999720,00	Doméstico y Pecuario	# usuarios = 1 familia y 6 animales Nivel estático = 2.3 metros	Electrobomba	4.5m		EIA CPO 9

ID	TIPO PUNTO	PREDIO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		TIPO DE USO	CARACTERISTICAS EXTRACCIÓN	SISTEMA BOMBEO	PROF	REGISTRO FOTOGRÁFICO	ESTUDIO
			Este (m)	Norte (m)						
136	Manantial	Guadalajara	4931115,00	1999973,00	Pecuario	Sin información	Sin información	-	Sin información	EIA LLANOS 37
140	Aljibe	Escuela San Cayetano	4928467,00	2000450,00	Sin información	Sin información	Manual	-	Sin información	EIA LLANOS 37
PA-116	Aljibe	Finca de la Rosa	4938025,00	1986271,00	Domestico y Pecuario	Caudal = < 0.2 l/s # usuarios: 1 familia y 80 animales Nivel estático = 1.94 metros	Electrobomba y Molino de Viento	5.34m		EIA ZOCAY
PA-124	Aljibe	Vda Patio Bonito	4939089,00	1988356,00	Domestico	Caudal = < 0.2 l/s # usuarios: 2 familias Nivel estático = 0.73 metros	Bomba sumergible	2.63m		EIA ZOCAY
PA-125	Aljibe	El Portal 1	4942436,00	1988404,00	Domestico	# usuarios: 2 familias Nivel estático = 4.20 metros	Motobomba (Gasolina)	7.30m		EIA ZOCAY

ID	TIPO PUNTO	PREDIO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		TIPO DE USO	CARACTERISTICAS EXTRACCIÓN	SISTEMA BOMBEO	PROF	REGISTRO FOTOGRÁFICO	ESTUDIO
			Este (m)	Norte (m)						
PA-127	Aljibe	Hacienda Sabucan	4933054,00	1988498,00	Domestico	Caudal = < 0.2 l/s # usuarios: 1 familia Nivel estático = 5.43 metros	Electrobomba	9.60m		EIA ZOCAY
PA-129	Aljibe	El Porvenir	4935677,00	1988541,00	N/A	Nivel estático = 5.10 metros	N/A	7.53m		EIA ZOCAY
PA-133	Aljibe	Vda Patio Bonito	4938864,00	1988586,00	Pecuario	Nivel estático = 1.40 metros	Motobomba (Gasolina)	5m		EIA ZOCAY
PA-134	Aljibe	Vda Patio Bonito	4939040,00	1988633,00	Doméstico y Pecuario	Caudal = < 0.2 l/s # usuarios: 1 familia y 5 animales Nivel estático = 7.50 metros	Electrobomba	8.70m		EIA ZOCAY

ID	TIPO PUNTO	PREDIO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		TIPO DE USO	CARACTERISTICAS EXTRACCIÓN	SISTEMA BOMBEO	PROF	REGISTRO FOTOGRÁFICO	ESTUDIO
			Este (m)	Norte (m)						
PA-136	Aljibe	Lote	4936470,00	1988701,00	Pecuario	# usuarios: 300 semovientes Nivel estático = 3.53 metros	Molino de Viento	6m		EIA ZOCAY
PA-138	Aljibe	Vda Patio Bonito	4939126,00	1988735,00	Domestico	Caudal = < 0.2 l/s # usuarios: 1 familia Nivel estático =8.75 metros	Electrobomba	11.93m		EIA ZOCAY
PA-142	Aljibe	Finca Los Briceño	4938481,00	1989016,00	Domestico	Caudal = < 0.2 l/s # usuarios: 1 familia Nivel estático = 1 metros	Electrobomba	3.16m		EIA ZOCAY
PA-143	Aljibe	Villa Aurora	4938915,00	1989135,00	Doméstico, Agrícola y Pecuario	# usuarios: 1 familia y 10 animales Nivel estático = 8 metros	Bomba sumergible	13.70m		EIA ZOCAY

ID	TIPO PUNTO	PREDIO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		TIPO DE USO	CARACTERISTICAS EXTRACCIÓN	SISTEMA BOMBEO	PROF	REGISTRO FOTOGRÁFICO	ESTUDIO
			Este (m)	Norte (m)						
PA-145	Aljibe	Vda Patio Bonito	4939073,00	1989178,00	Doméstico y Pecuario	Caudal = < 0.2 l/s # usuarios: 1 familia y 50 animales Nivel estático =7.56 metros	Electrobomba	13.40m		EIA ZOCAY
PA-147	Aljibe	Vda Patio Bonito	4938965,00	1989224,00	Domestico	Caudal = < 0.2 l/s # usuarios: 1 familia Nivel estático = 7.52 metros	Electrobomba	12m		EIA ZOCAY
PA-149	Aljibe	Vda Patio Bonito	4939024,00	1989251,00	Domestico	Caudal = < 0.2 l/s # usuarios: 1 familia Nivel estático =7.605 metros	Electrobomba	13.83M		EIA ZOCAY
PA-152	Aljibe	Vda Patio Bonito	4939191,00	1989373,00	Domestico	Caudal = < 0.2 l/s # usuarios: 1 familia Nivel estático = 7.51 metros	Electrobomba	12.70m		EIA ZOCAY
PA-155	Aljibe	El Topacio	4945045,00	1989557,00	Domestico	# usuarios: 1 familia Nivel estático = 2.21 metros	Manual	3.90m		EIA ZOCAY

ID	TIPO PUNTO	PREDIO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		TIPO DE USO	CARACTERISTICAS EXTRACCIÓN	SISTEMA BOMBEO	PROF	REGISTRO FOTOGRÁFICO	ESTUDIO
			Este (m)	Norte (m)						
PA-160	Aljibe	Las Garzas	4933248,00	1990620,00	Domestico	Caudal = < 0.2 l/s # usuarios: 3 familias Nivel estático = 2.14 metros	Electrobomba	6.39m		EIA ZOCAY
PA-162	Aljibe	Las Garzas	4933237,00	1990780,00	Doméstico y Pecuario	Caudal = < 0.2 l/s # usuarios: 1 familia y 50 animales Nivel estático = 3.09 metros	Electrobomba	7.92m		EIA ZOCAY
PA-166	Aljibe	Australia	4939071,00	1991804,00	Domestico	# usuarios: 6 Nivel estático = 2.20 metros	N/A	4.49m		EIA ZOCAY
PA-176	Aljibe	Vda Caño Hondo	4934347,00	1995434,00	Domestico	# usuarios: 1 familia	N/A	N/A		EIA ZOCAY.
PA-178	Aljibe	Vda Caño Hondo	4934723,00	1995464,00	Doméstico y Pecuario	Caudal = < 0.2 l/s # usuarios: 1 familia y 25 animales Nivel estático = 4 metros	Electrobomba	7.1m		EIA ZOCAY

ID	TIPO PUNTO	PREDIO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		TIPO DE USO	CARACTERISTICAS EXTRACCIÓN	SISTEMA BOMBEO	PROF	REGISTRO FOTOGRÁFICO	ESTUDIO
			Este (m)	Norte (m)						
PA-179	Aljibe	Vda Caño Hondo	4934747,00	1995474,00	Domestico	Caudal = < 0.2 l/s # usuarios: 1 familia Nivel estático = 4.10 metros	Electrobomba	6.30m		EIA ZOCAY.
PA-190	Aljibe	Altamira	4940842,00	1997589,00	Doméstico y Pecuario	Caudal = < 0.2 l/s # usuarios: 1 familia y 25 animales Nivel estático = 1.70 metros	Electrobomba	4.20m		EIA ZOCAY
PA-193	Aljibe	La Miriam	4939692,00	1998183,00	Pecuario	Nivel estático = 0.25 metros	N/A	3m		EIA ZOCAY
PA-194	Aljibe	La Esperanza	4939267,00	1998239,00	Doméstico y Pecuario	Caudal = < 0.2 l/s # usuarios: 1 familia y 30 animales Nivel estático = 2.77 metros	Electrobomba	8.31m		EIA ZOCAY

ID	TIPO PUNTO	PREDIO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		TIPO DE USO	CARACTERISTICAS EXTRACCIÓN	SISTEMA BOMBEO	PROF	REGISTRO FOTOGRÁFICO	ESTUDIO
			Este (m)	Norte (m)						
PA-195	Aljibe	Las Brisas	4939426,00	1998303,00	Domestico	Caudal = < 0.2 l/s # usuarios: 1 familia Nivel estático = 2.27 metros	Electrobomba	4.97m		EIA ZOCAY
PA-196	Aljibe	Las Brisas	4939389,00	1998385,00	Doméstico y Pecuario	Caudal = < 0.2 l/s # usuarios: 1 familia y 20 animales Nivel estático = 2.24 metros	Electrobomba	4.46m		EIA ZOCAY
PA-199	Aljibe	La Palmita	4937474,00	1998576,00	Doméstico y Pecuario	Caudal = < 0.2 l/s # usuarios: 1 familia y 60 animales Nivel estático = 1.33 metros	Molino de Viento	6.30m		EIA ZOCAY
PA-200	Aljibe	El Rodeo	4938055,00	1998846,00	Domestico	Caudal = < 0.2 l/s # usuarios: 1 familia Nivel estático = 0.85 metros	Electrobomba	2.70m		EIA ZOCAY
PA-203	Aljibe	Camellon	4936662,00	1999216,00	Doméstico y Pecuario	Caudal = < 0.2 l/s # usuarios: 1 familia personas y 50 animales Nivel estático = 0.60 metros	Electrobomba	2.40m		EIA ZOCAY

ID	TIPO PUNTO	PREDIO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		TIPO DE USO	CARACTERISTICAS EXTRACCIÓN	SISTEMA BOMBEO	PROF	REGISTRO FOTOGRÁFICO	ESTUDIO
			Este (m)	Norte (m)						
PA-204	Aljibe	Entre Rios	4936934,00	1999316,00	Domestico	Caudal = < 0.2 l/s # usuarios: 2 familias Nivel estático = 2 metros	Electrobomba	2.40m		EIA ZOCAY
PA-207	Aljibe	Hacienda Jarama	4934230,00	1999651,00	Domestico	Caudal = < 0.2 l/s # usuarios: 1 familia Nivel estático = 2.30 metros	Motobomba (gasolina)	3.81m		EIA ZOCAY
PA-115	Manantial	Juliana	4938011,00	1986266,00	Domestico	Caudal = N/A # usuarios:4	N/A	-		EIA ZOCAY
PA-151	Manantial	Institución Educativa La Unión	4933114,00	1989359,00	Doméstico, Pecuario y Recreativo	Caudal = < 0.2 l/s # usuarios:3 personas y 26 animales	Electrobomba	-		EIA ZOCAY

ID	TIPO PUNTO	PREDIO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		TIPO DE USO	CARACTERISTICAS EXTRACCIÓN	SISTEMA BOMBEO	PROF	REGISTRO FOTOGRÁFICO	ESTUDIO
			Este (m)	Norte (m)						
PA-202	Manantial	Entre Ríos	4937000,00	1999113,00	Doméstico y Pecuario	Caudal = 5.6 l/s # usuarios:4 personas y 17 animales	Electrobomba	-		EIA ZOCAY
PA-167	Pozo	Berlín	4944178,00	1992436,00	Abastecimiento Publico	# usuarios: 3 familias	Bomba Sumergible	60m		EIA ZOCAY
53	Aljibe	San Nicolás	4927971,00	1996605,00	Domestico	Nivel estático = 2.73 metros	Sin información	5.46m	Sin información	POMCA RIO ACACIAS-PUJARE
58	Aljibe	Hacienda Villa Luz	4926794,00	1996351,00	Sin información	Nivel estático = 2.15 metros	Sin información	6.2m	Sin información	POMCA RIO ACACIAS-PUJARE
59	Aljibe	Las Delicias	4927231,00	1996711,00	Sin información	Nivel estático = 0.97 metros	Sin información	3.1m	Sin información	POMCA RIO ACACIAS-PUJARE
60	Aljibe	Finca Las Tominejas	4927744,00	1996479,00	Domestico	Nivel estático = 3.1 metros	Sin información	5.32m	Sin información	POMCA RIO ACACIAS-PUJARE
61	Aljibe	La Esperanza	4927060,00	1996617,00	Doméstico y Pecuario	Nivel estático = 2.43	Sin información	5.14m	Sin información	POMCA RIO ACACIAS-PUJARE
64	Manantial	La Juliana	4928362,00	1995770,00	Domestico	Sin información	Sin información	-	Sin información	POMCA RIO ACACIAS-PUJARE

ID	TIPO PUNTO	PREDIO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		TIPO DE USO	CARACTERISTICAS EXTRACCIÓN	SISTEMA BOMBEO	PROF	REGISTRO FOTOGRÁFICO	ESTUDIO
			Este (m)	Norte (m)						
65	Manantial	San Nicolas	4927927,00	1996703,00	Domestico	Sin información	Sin información	-	Sin información	POMCA RIO ACACIAS-PUJARE
67	Manantial	Las Delicias	4927665,00	1995879,00	Domestico	Sin información	Sin información	-	Sin información	POMCA RIO ACACIAS-PUJARE
SUB-033	Aljibe	La Esperanza	4927066,00	1996638,00	Sin información	Sin información	Sin información	-	Sin información	MODELO HIDROGEOLOGICO MATEMATICO CAMPO CASTILLA
SUB-034	Aljibe	Las Delicias	4928819,00	1998943,00	Sin información	Sin información	Sin información	-	Sin información	MODELO HIDROGEOLOGICO MATEMATICO CAMPO CASTILLA
SUB-035	Aljibe	Pinalito	4927673,00	1999029,00	Sin información	Sin información	Sin información	-	Sin información	MODELO HIDROGEOLOGICO MATEMATICO CAMPO CASTILLA
SUB-037	Manantial	La Reforma	4932278,00	1989900,00	Sin información	Sin información	Sin información	-	Sin información	MODELO HIDROGEOLOGICO MATEMATICO CAMPO CASTILLA

ID	TIPO PUNTO	PREDIO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		TIPO DE USO	CARACTERISTICAS EXTRACCIÓN	SISTEMA BOMBEO	PROF	REGISTRO FOTOGRÁFICO	ESTUDIO
			Este (m)	Norte (m)						
SUB-050	Manantial	El Porvenir	4933524,00	1986289,00	Sin información	Sin información	Sin información	-	Sin información	MODELO HIDROGEOLOGICO MATEMATICO CAMPO CASTILLA
SUB-055	Manantial	El Recuerdo	4930440,00	1990195,00	Sin información	Sin información	Sin información	-	Sin información	MODELO HIDROGEOLOGICO MATEMATICO CAMPO CASTILLA
SUB-066	Manantial	La Quinta	4929896,00	1990344,00	Sin información	Sin información	Sin información	-	Sin información	MODELO HIDROGEOLOGICO MATEMATICO CAMPO CASTILLA
ECH5	Aljibe	Lote 3	4926851,00	1997027,00	Sin información	Sin información	Sin información	-	Sin información	ESTUDIO HIDROGEOLOGICO CHICHIMENE 26
ECH6	Aljibe	Finca Los Robles	4926680,00	1996932,00	Sin información	Sin información	Sin información	-	Sin información	ESTUDIO HIDROGEOLOGICO CHICHIMENE 26
ECH7	Aljibe	El Ocaso	4927365,00	1996794,00	Sin información	Sin información	Sin información	-	Sin información	ESTUDIO HIDROGEOLOGICO CHICHIMENE 26

ID	TIPO PUNTO	PREDIO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		TIPO DE USO	CARACTERISTICAS EXTRACCIÓN	SISTEMA BOMBEO	PROF	REGISTRO FOTOGRÁFICO	ESTUDIO
			Este (m)	Norte (m)						
ECH8	Aljibe	Finca Las Tominejas	4927868,00	1996563,00	Sin información	Sin información	Sin información	-	Sin información	ESTUDIO HIDROGEOLOGICO CHICHIMENE 26
ECH14	Aljibe	El Estero	4927285,00	1996195,00	Sin información	Sin información	Sin información	-	Sin información	ESTUDIO HIDROGEOLOGICO CHICHIMENE 26
CH33	Pozo	Finca Los Robles	4926624,00	1996736,00	Sin información	Sin información	Sin información	-	Sin información	ESTUDIO HIDROGEOLOGICO CHICHIMENE 26
CH34	Pozo	El Parque	4925563,00	1997368,00	Sin información	Sin información	Sin información	-	Sin información	ESTUDIO HIDROGEOLOGICO CHICHIMENE 26
PA-196	Aljibe	Pinalito	4927473,16	1998878,45	Inactivo	Nivel estático = 4.87 metros	N/A	6.32m		CAMPO DE PRODUCCION 50K CPO 9

Fuente: SGI S.A.S., 2025.

3.2.7.8 Caracterización hidráulica de los acuíferos

La evaluación de las propiedades hidráulicas de las unidades hidrogeológicas presentes en el área de influencia se llevó a cabo mediante la ejecución de pruebas de bombeo en pozos para captación de agua subterránea, ya que este es uno de los ensayos hidráulicos más conocidos por su credibilidad y fácil ejecución. Una prueba de bombeo, en pocas palabras, consiste en bombear un punto de agua subterránea durante cierto tiempo, a un determinado caudal y medir la evolución del nivel piezométrico en el pozo de bombeo y en el pozo de observación (si se dispone de este último).

A partir del comportamiento de los abatimientos del nivel de agua, el caudal de extracción, la cantidad de filtros, el diámetro y profundidad del pozo de bombeo, se pueden obtener las propiedades hidráulicas del acuífero captado, tales como conductividad hidráulica (K), coeficiente de almacenamiento (S), transmisividad (T), capacidad específica y radio de influencia, cada uno de los cuales se describen a continuación.

- Transmisividad (T)

La transmisividad es el volumen de agua que atraviesa una banda de acuífero de ancho unitario en la unidad de tiempo y bajo la carga de un metro y es representativa de la capacidad que tiene el acuífero para ceder agua. Lo más común es que la transmisividad se exprese en m^2/día.

En la **Tabla 3-21** se presentan los rangos de transmisividad con su respectiva calificación estimativa y la clasificación según su potencialidad como fuente de agua subterránea, clasificación tomada de M. Villanueva y A. Iglesias, 1984.

Tabla 3-21 Calificación estimativa de los valores de transmisividad

T (m^2/día)	CALIFICACIÓN ESTIMATIVA	POSIBILIDADES DEL ACUÍFERO	POTENCIALIDAD
T < 10	Muy baja	Pozos de menos de 1 l/s con 10 m de depresión teórica.	Muy baja
10 < T < 100	Baja	Pozos entre 1 y 10 l/s con 10 m de depresión teórica.	Baja
100 < T < 500	Media a alta	Pozos entre 10 y 50 l/s con 10 m de depresión teórica.	Moderada
500 < T < 1000	Alta	Pozos entre 50 y 100 l/s con 10 m de depresión teórica.	Alta
T > 1000	Muy alta	Pozos superiores a 100 l/s con 10 m de depresión teórica.	Muy alta

Fuente: M. Villanueva y A. Iglesias, 1984.

- Conductividad hidráulica (K)

Se conoce como conductividad hidráulica o permeabilidad (K) a la cantidad de agua, que, bajo condiciones físicas específicas, circula a través de una sección de área unitaria de acuífero en sentido del flujo, bajo un gradiente hidráulico unitario. Esta se obtiene como cociente entre la transmisividad (T) y el espesor del acuífero (b), y sus dimensiones se expresan en m/día.

La permeabilidad o conductividad hidráulica (K) es una medida muy característica de la textura del acuífero, pero no representa como la transmisividad las posibilidades de ceder agua. Un acuífero muy permeable, pero de poco espesor, puede ser poco transmisivo y, como consecuencia, los pozos que en el mismo se construyan, no serán muy caudalosos (M. Villanueva y A. Iglesias, 1984). Una calificación cualitativa de los valores de permeabilidad que puede presentar un pozo se presenta en la **Tabla 3-22**.

Tabla 3-22 Calificación estimativa de los valores de conductividad hidráulica

K (m/día)	CALIFICACIÓN ESTIMATIVA
$K < 10^{-2}$	Muy baja

10^{-2} < K < 1	Baja
1 < K < 10	Media a alta
10 < K < 100	Alta
K > 100	Muy alta

Fuente: M. Villanueva y A. Iglesias, 1984.

Conviene tener en cuenta los rangos típicos de permeabilidad reportados para diferentes tipos de rocas y sedimentos (**Tabla 3-23**), con el fin de contextualizar los valores de conductividad hidráulica obtenidos y asociarlos a determinados materiales, así como al grado de permeabilidad que estos presentan (permeables, semipermeables o impermeables). No obstante, debido a la variabilidad litológica y textural que pueden presentar las rocas, es importante resaltar que dichos rangos deben considerarse únicamente como una guía de referencia, y no como valores absolutos. La determinación textural precisa del nivel acuífero captado por un punto hidrogeológico requiere siempre de evidencia directa en campo; sin embargo, esta información constituye una herramienta útil para inferir las características hidrogeológicas de los niveles acuíferos cuando no es posible observar directamente las unidades geológicas involucradas.

Tabla 3-23 Valores de permeabilidad típicos de algunas rocas y sedimentos

ROCAS	K (m/día)	GRADO DE PERMEABILIDAD	TIPO DE FORMACIÓN
Grava limpia	1000	Buena – muy buena	Permeable
Arena gruesa limpia	10 - 1000	Buena – muy buena	Permeable
Mezcla de arena	5 - 10	Mala	Semi permeable
Arena fina	1 - 5	Mala	Semi permeable
Arena limosa	0,1 - 2	Mala	Semi permeable
Limo	0,001 – 0,5	Mala	Semi permeable
Arcilla	<0,001	Nula	Impermeable

Fuente: Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín, 2009.

- Coeficiente de almacenamiento (S)

El coeficiente de almacenamiento es un concepto que determina la capacidad que tiene un acuífero para almacenar agua, la cual depende de manera directa, tanto de las características físicas del agua, como de las condiciones petrofísicas e hidráulicas del acuífero, así como de las presiones a las que se encuentra sometida el agua (presión intersticial o de poro) y las partículas granulares (presión intergranular o efectiva), que en general se consideran constantes, salvo que sean modificadas de manera artificial.

El coeficiente de almacenamiento (S) se define como la cantidad de agua que libera (o toma) una columna del acuífero, de sección horizontal unitaria y altura igual a su espesor saturado, cuando la carga hidráulica desciende (o asciende) una unidad. Por lo anterior S, es un coeficiente adimensional.

Los valores más representativos de coeficientes de almacenamiento para los diferentes tipos de materiales permeables se presentan en la **Tabla 3-24**.

Tabla 3-24 Valores de coeficiente de almacenamiento según el tipo de material

TIPO DE MATERIAL PERMEABLE		FORMA DE FUNCIONAMIENTO DEL ACUIFERO	VALORES DE S (MEDIO)
Kárstico	Caliza y dolomías jurásicas	Libre	2×10^{-2}
		Semiconfinado	5×10^{-4}

		Confinado	5×10^{-5}
	Calizas y dolomías cretácicas y terciarias	Libre	$2 \times 10^{-2} – 6 \times 10^{-2}$
		Semiconfinado	$10^{-3} – 5 \times 10^{-4}$
		Confinado	$10^{-4} – 5 \times 10^{-5}$
Poroso intergranular	Gravas y arenas	Libre	$5 \times 10^{-2} – 15 \times 10^{-2}$
		Semiconfinado	10^{-3}
		Confinado	10^{-4}
Kársticos y porosos	Calcarenitas marinas terciarias	Libre	$15 \times 10^{-2} – 18 \times 10^{-2}$

Fuente: M. Villanueva y A. Iglesias, 1984.

Estos valores son los que parecen ser más adecuados para introducir por tanteo en los ensayos de bombeo, cuando las circunstancias particulares de la prueba no hayan permitido el cálculo directo, el cual se realiza mediante el uso de pozos observadores.

- Capacidad especifica

Es la relación que existe entre el caudal que se obtiene de un pozo y el abatimiento producido y se expresa en unidades de caudal por longitud [l/s/m]. Este valor es constante para acuíferos confinados y variables para los acuíferos libres. Es un término que representa el grado de eficiencia de un pozo ya que, de dos pozos perforados en una misma formación acuífera, el de menor capacidad específica tendrá menos eficiencia (Universidad Nacional de Colombia).

Para calcular la capacidad específica de un pozo, se hace uso de la siguiente fórmula:

$$Ce = \frac{Q}{s} \quad [1]$$

Donde:

Q: Caudal utilizado en la prueba de bombeo

S: Abatimiento máximo presentado durante el bombeo

En función del valor de la capacidad especifica de un pozo, puede estimarse la productividad de este desde el punto de vista de su oferta hídrica subterránea. En la **Tabla 3-25** se presenta la productividad de un acuífero en función de la capacidad especifica, según la AIH, 1983.

Tabla 3-25 Productividad de un acuífero en función de la capacidad específica

CAPACIDAD ESPECIFICA (l/s/m)	PRODUCTIVIDAD
Mayor a 5	Muy alta
Entre 2 y 5	Alta
Entre 1 y 2	Mediana
Entre 0,05 y 1	Baja
Menor a 0,05	Muy baja o nula

Fuente: Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH), 1983.

- Radio de influencia – cono de abatimiento

Cuando se bombea un pozo, baja el nivel de agua en el mismo, y en toda la porción de acuífero circundante a él. La distancia existente entre el pozo de bombeo y la zona del acuífero, en la que la influencia puede considerarse nula, es el llamado radio de influencia, el cual se presenta gráficamente en la **Figura 3-50**.

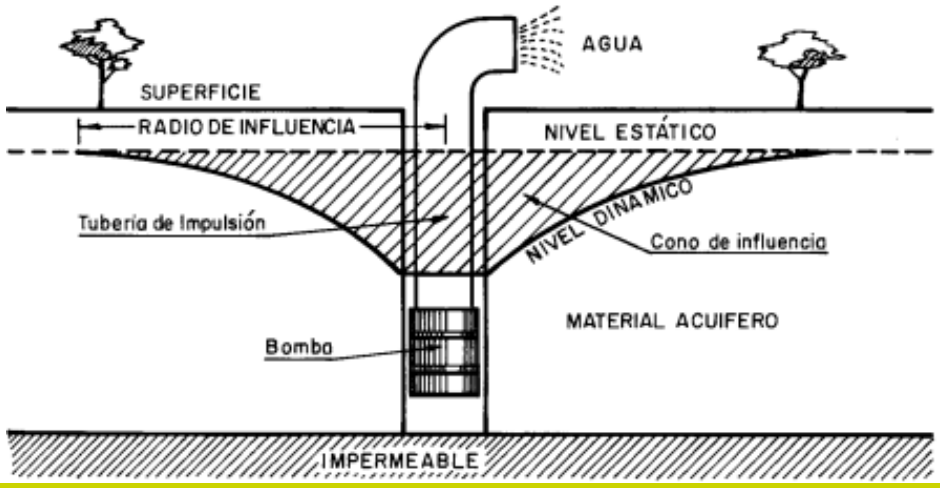


Figura 3-50 Cono de influencia generado al bombear
Fuente: Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH), 1983.

El radio de influencia se calcula a partir de la fórmula de Jacob, la cual se presenta a continuación:

$$R = 1.5\sqrt{\frac{Tt}{S}} \quad \textbf{[2]}$$

Donde:

R: Radio de influencia (m)

T: Transmisividad (m^2/día)

t: Tiempo de bombeo (días)

S: Coeficiente de almacenamiento

El alcance y profundidad de este cono de abatimiento dependerá de las condiciones hidrogeológicas (transmisividad y coeficiente de almacenamiento del acuífero), del caudal y el tiempo de bombeo. El radio de influencia es más corto en los acuíferos porosos que en los kársticos y también más corto en los acuíferos libres que en los confinados. Por el contrario, los conos de abatimiento se presentan con mayores descensos en los acuíferos libres y los acuíferos porosos.

Para caracterizar los niveles acuíferos someros presentes en el área de influencia, se realizaron cinco (5) pruebas de bombeo en pozos y aljibes pertenecientes a la comunidad. Adicionalmente, esta información fue complementada con información secundaria correspondiente a pruebas de bombeo realizadas en pozos profundos para captación de agua subterránea, los cuales se encuentran ubicados en campos petroleros aledaños al área de influencia. Entre estos se encuentran los pozos Chichimene, Acacias, Castilla I y Castilla III, los cuales captan niveles acuíferos del Miembro Superior de la Formación Guayabo.

En los siguientes numerales se describen las pruebas de bombeo realizadas, los puntos de agua subterránea empleados, el procesamiento de los datos, los resultados obtenidos y su respectivo análisis.

3.2.7.8.1 Información primaria

En el marco del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare, para llevar a cabo la caracterización hidráulica de los diferentes niveles acuíferos presentes en el área de influencia, durante la salida de campo se realizaron cinco (5) pruebas de bombeo.

Estas pruebas de bombeo se desarrollaron en pozos y aljibes de la comunidad, los cuales se seleccionaron de forma estratégica procurando que estuvieran distribuidos de forma homogénea dentro del área de influencia y que captaran diferentes profundidades, esto con el fin de determinar los parámetros hidráulicos de las diversas unidades hidrogeológicas presentes en el área de influencia, principalmente las someras.

Durante la realización de estas pruebas de bombeo no fue posible utilizar pozo observador, debido a que en la mayoría de los puntos no existían pozos cercanos que captaran el mismo nivel acuífero que el pozo de bombeo y, en los casos donde sí los había, los propietarios no autorizaron su uso, ya que era necesario mantenerlos fuera de operación durante el desarrollo de la prueba.

Las coordenadas de los pozos y aljibes en los cuales se realizaron las pruebas de bombeo en pozos y aljibes para caracterizar los niveles acuíferos someros, así como el predio donde están ubicados, profundidad y unidad hidrogeológica captada se presenta en la **Tabla 3-26**, mientras que en la **Figura 3-72** se puede observar la distribución espacial de dichos puntos en el área de influencia.

Tabla 3-26 Coordenadas de las pruebas de bombeo – Información primaria

ID PUNTO	TIPO DE PUNTO	LUGAR	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		PROFUNDIDAD (m)	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA CAPTADA
			ESTE (m)	NORTE (m)		
P01	Pozo	Acueducto Quebraditas	4943610,49	1995538,77	70	Depósitos de Abanico aluvial y Miembro Superior Fm Guayabo
P04	Pozo	Ecoreserva ASA	4934872,74	1988184,67	32,69	Depósitos de Abanico aluvial
P10	Pozo	Escuela Patio Bonito	4925776,95	1997639,10	100 - 120	Depósitos de Abanico aluvial y Miembro Superior Fm Guayabo
AL47	Aljibe	El Progreso	4943950,05	1995477,04	4,39	Depósitos de Abanico aluvial
AL86	Aljibe	La Palmera	4932386,83	1985171,14	2,47	Depósitos de Terraza baja

Fuente: SGI S.A.S., 2025.

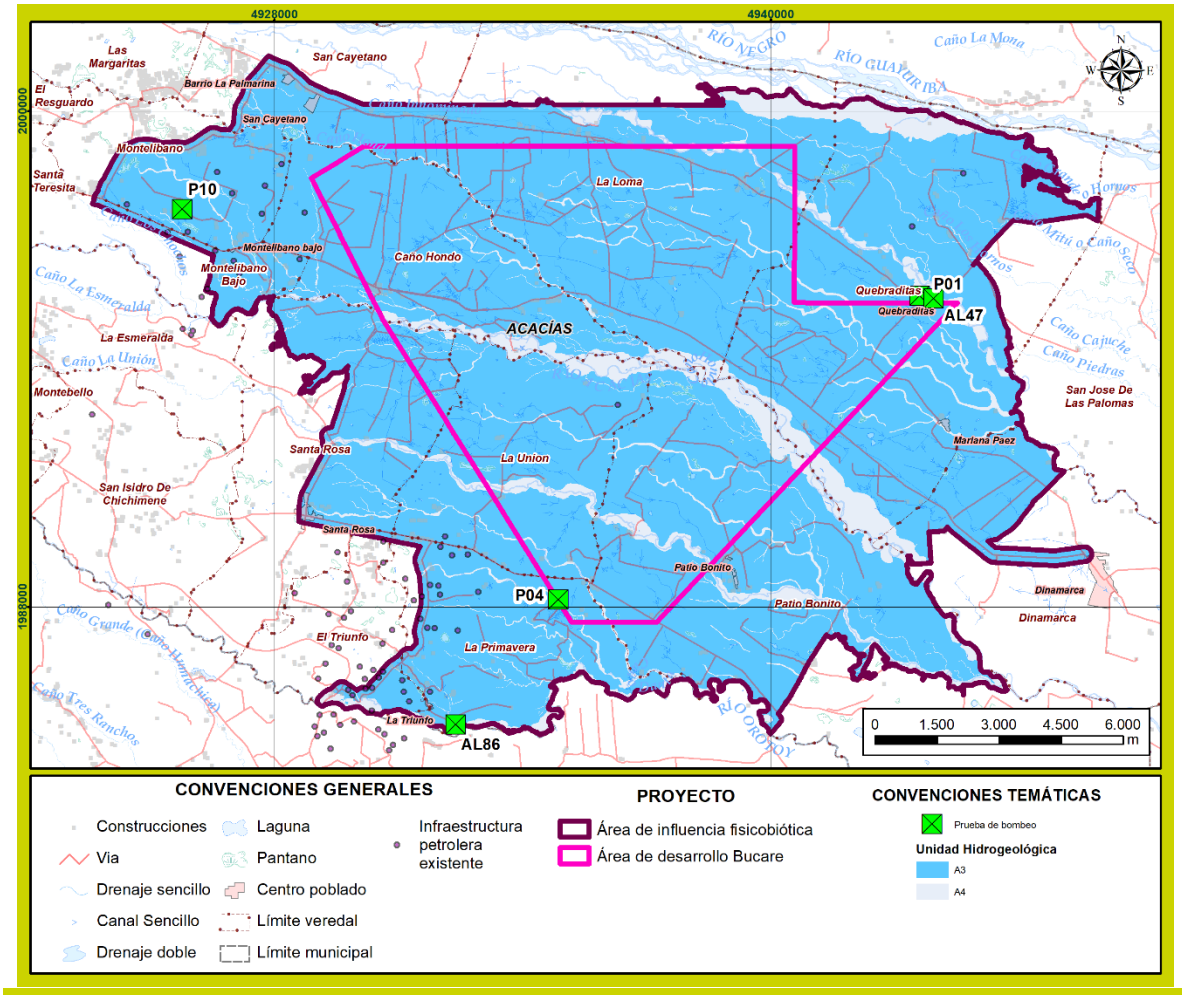


Figura 3-51 Ubicación pruebas de bombeo información primaria
Fuente: SGI S.A.S., 2025.

A continuación, se describen las cinco (5) pruebas de bombeo realizadas en pozos y aljibes de la comunidad ubicados en el área de influencia del presente proyecto.

3.2.7.8.1.1 P01

En el pozo P01, correspondiente al pozo del Acueducto de la Vereda Quebraditas, se realizó una prueba de bombeo a caudal constante. Previamente, el pozo permaneció en reposo durante aproximadamente 12 horas, asegurando que alcanzara su nivel estático antes de iniciar la prueba.

La etapa de bombeo inició el 29 de marzo del 2025 a las 7:16:17, registrando un nivel estático de 3,46 metros, y finalizó a las 16:16:17, registrando un nivel dinámico de 6,81 metros. Es decir, tras 9 horas (540 minutos) de bombeo a un caudal constante de 1,5 l/s, el pozo presentó un abatimiento de 3,35 metros. Posteriormente se apagó la bomba, dando inicio al periodo de recuperación, el cual tuvo una duración de 18 horas y 30 minutos, que van desde las 16:16:17 del 29 de marzo hasta las 10:46:17 del día siguiente.

Para calcular el caudal de extracción se realizaron varios aforos volumétricos durante la etapa de bombeo, obteniéndose un promedio de 1,5 l/s.

En la **Tabla 3-27** se presentan las características principales del pozo P01 y de la prueba de bombeo realizada en este pozo.

Tabla 3-27 Características de la prueba de bombeo realizada en el pozo P01

POZO P01 – ACUEDUCTO QUEBRADITAS		
		
Profundidad (m)		70
Diámetro (in)		6”
Unidad hidrogeológica captada		Mezcla entre Depósitos de Abanico aluvial y Miembro Superior de la Formación Guayabo
Nivel estático (m)		3,46
Tipo de caudal		Constante
Caudal (l/s)		1,5
ETAPA DE BOMBEO	**Fecha y hora de inicio**	7:16:17 29/03/2025
	Fecha y hora de finalización	16:16:17 29/03/2025
	Duración (min)	540
Nivel dinámico (m)		6,81
Abatimiento (m)		3,35
ETAPA DE RECUPERACIÓN	**Fecha y hora de Inicio**	16:16:17 29/03/2025
	Fecha y hora de finalización	10:46:17 30/03/2025
	Duración (minutos)	1110
Nivel residual (m)		3,39
Porcentaje de recuperación (%)		100

Fuente: SGI S.A.S., 2025.

- **Resultados prueba de bombeo pozo P01**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de la prueba de bombeo realizada en el pozo P01.

En la **Figura 3-52** se presentan los abatimientos registrados en el pozo P01 durante el desarrollo de la prueba de bombeo, incluyendo tanto la etapa de bombeo como la de recuperación. Los niveles de agua registrados en el pozo de bombeo pueden ser consultados en **Anexos/5. Anexos Abiótico/5.7**

Hidrogeología/5.7.6_Pruebas_de_bombeo/1. Información primaria/1. Pozo P01 del presente estudio.

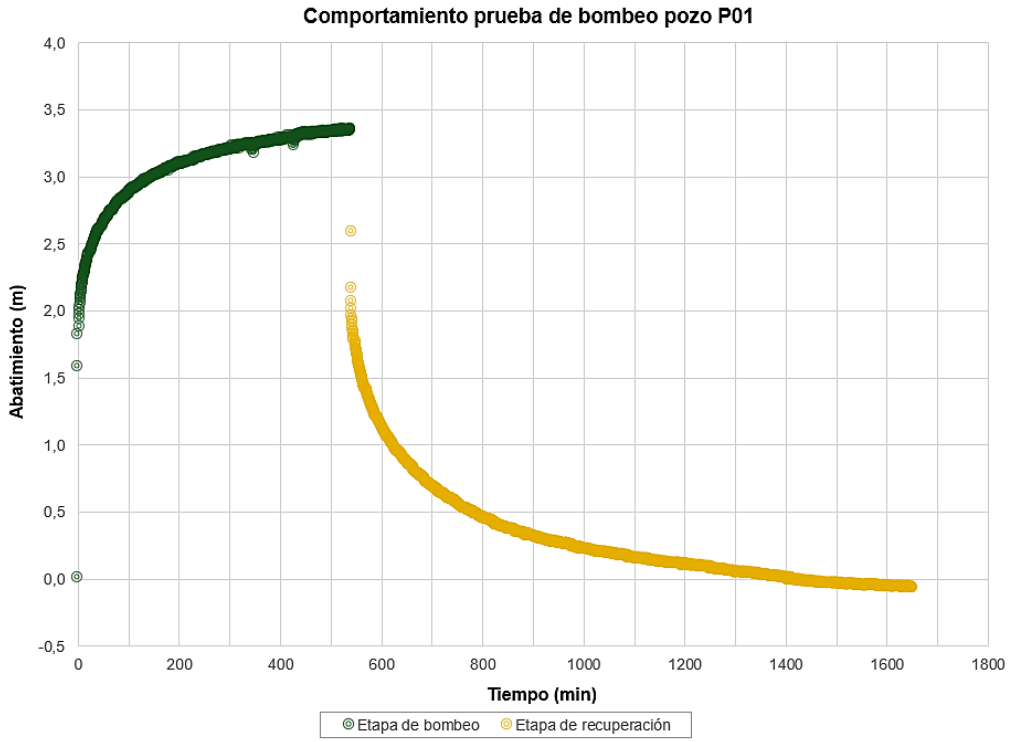


Figura 3-52 Comportamiento del pozo P01 durante la prueba de bombeo
Fuente: SGI S.A.S., 2025.

La forma de la curva presentada por el pozo P01 durante la prueba de bombeo indica un comportamiento continuo y sin interrupciones, característico de sistemas hidrogeológicos homogéneos en los que no intervienen procesos de recarga rápida o límites hidráulicos cercanos (Figura 3-52). Adicionalmente, se puede observar que el pozo recuperó el 100% del abatimiento presentado durante el bombeo e incluso, registró un nivel de agua mayor que el nivel presentado antes de iniciar la prueba de bombeo y, por ende, en la gráfica se observan abatimientos negativos.

✓ Etapa de bombeo pozo P01

La etapa de bombeo de este pozo fue analizada en el software Aquifer Test mediante el método de Cooper & Jacob. En la **Figura 3-53** se presenta el comportamiento de esta fase y en la

Tabla 3-28 los resultados obtenidos a partir de la misma. Los resultados obtenidos mediante el software Aquifer Test pueden ser consultados en **Anexos/5. Anexos Abiótico/5.7 Hidrogeología/5.7.6_Pruebas_de_bombeo/1. Información primaria/1. Pozo P01.**



Figura 3-53 Comportamiento del pozo P01 durante la etapa de bombeo
Fuente: SGI S.A.S., 2025.

Tabla 3-28 Parámetros hidráulicos estimados a partir de la etapa de bombeo del pozo P01

Pozo	Transmisividad (m^2/día)	Conductividad hidráulica (m/día)	Coeficiente de almacenamiento (S)	Tipo de acuífero
P01	$3{,}83 \times 10^{1}$	$5{,}76 \times 10^{-1}$	$3{,}60 \times 10^{-2}$	Semiconfinado

Fuente: SGI S.A.S., 2025

Los parámetros hidrogeológicos calculados a partir del ajuste lineal de la etapa de bombeo indican que el acuífero captado por el pozo P01 presenta una transmisividad de 38,3 m²/día, lo que refleja una baja capacidad del acuífero para transmitir agua. Este valor es típico de medios poco porosos compuestos por materiales consolidados que tienden a ser de granulometrías finas, donde la conexión entre los poros dificulta el movimiento del agua subterránea y, por ende, la capacidad para transmitirla mediante un punto de captación. De igual forma, la conductividad hidráulica estimada fue de 0,576 m/día, la cual según M. Villanueva y A. Iglesias, 1984 se considera baja y se puede asociar a materiales semi permeables, como las arenas limosas, cuyo grado de permeabilidad es bajo, lo que refleja que el agua subterránea dentro del acuífero captado por el pozo P01 fluye con relativa dificultad.

Por su parte, el coeficiente de almacenamiento estimado ($3{,}60 \times 10^{-2}$) sugiere que el acuífero, cuya porosidad es intergranular, presenta un carácter ligeramente semiconfinado. Este valor permite inferir que el pozo P01 no capta niveles acuíferos someros, sino que los filtros se encuentran ubicados hacia la parte inferior del pozo, donde el carácter semiconfinante del acuífero se acentúa debido a la presencia de litologías más finas y compactas en los niveles superiores.

✓ Etapa de recuperación pozo P01

Los datos de la etapa de recuperación del pozo P01 se analizaron en el software AquiferTest mediante el método Theis Recovery. En la **Figura 3-54** se presenta la gráfica de los datos recolectados durante la etapa de recuperación mientras que en la

Tabla 3-29 se presentan los parámetros hidráulicos obtenidos a partir de esta etapa.

Cabe resaltar que, para esta etapa, el ajuste se realizó sobre la parte inicial de la curva (ubicada a la izquierda), la cual corresponde a los últimos minutos de la fase de recuperación, donde los abatimientos residuales son cercanos a cero y la curva está estabilizada. Esta sección evita considerar en el análisis la influencia de los efectos de pozo registrados en los primeros minutos de la recuperación y, con ello, incrementar la confiabilidad de los resultados obtenidos.

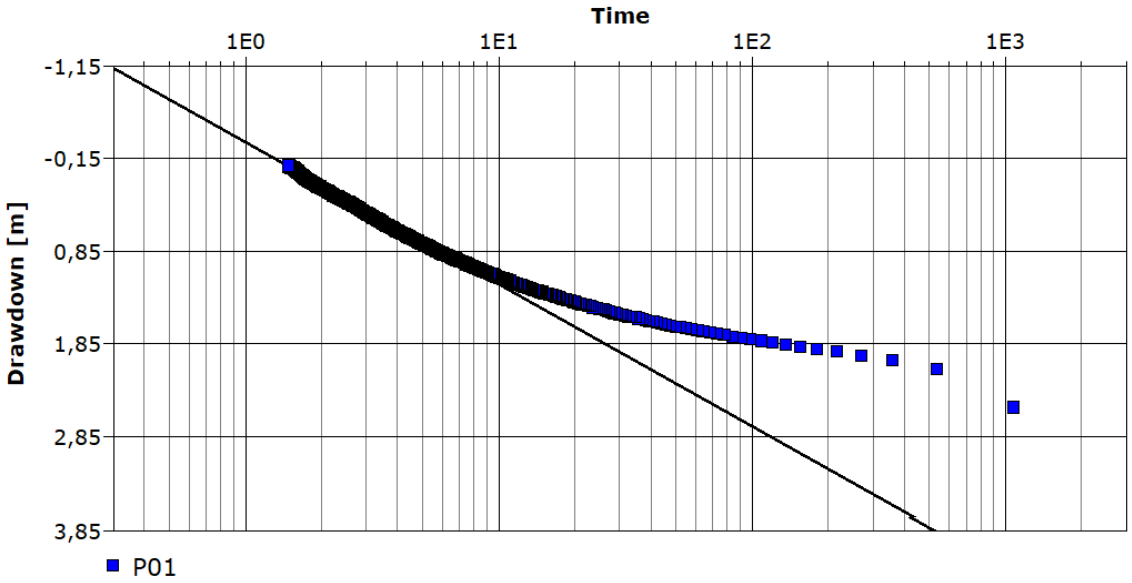


Figura 3-54 Comportamiento del pozo P01 durante la etapa de recuperación
Fuente: SGI S.A.S., 2025.

Tabla 3-29 Parámetros hidráulicos estimados a partir de la etapa de recuperación del pozo P01

Pozo	Transmisividad (m^2/día)	Conductividad hidráulica (m/día)
P01	1,55 x 10^{1}	2,33 x 10^{-1}

Fuente: SGI S.A.S., 2025

Los parámetros hidráulicos estimados durante la etapa de recuperación suelen ser más confiables que los obtenidos a partir de la etapa de bombeo, ya que en esta fase no se presentan pérdidas asociadas al sistema de bombeo. Por ello, los valores de transmisividad y conductividad hidráulica estimados durante la recuperación se consideran más representativos de los niveles acuíferos caracterizados.

Teniendo en cuenta lo anterior, a partir de la etapa de recuperación del pozo P01 se estimó para los niveles acuíferos captados una transmisividad de 15,5 m^2/día, valor considerado bajo. Aunque este resultado es ligeramente inferior al obtenido durante la etapa de bombeo, ambos se encuentran en el mismo rango, lo que evidencia consistencia entre las fases de bombeo y recuperación, y sugiere que las pérdidas de carga asociadas al bombeo son reducidas.

Por su parte, la conductividad hidráulica estimada durante la recuperación fue de 0,233 m/día, lo que indica una baja velocidad de flujo subterráneo. Este valor concuerda con el estimado en la etapa de bombeo, confirmando que los niveles acuíferos interceptados por el pozo P01 se asocian a

materiales semipermeables, como arenas limosas, cuyo grado de permeabilidad es bajo y restringe el movimiento del agua dentro del medio poroso.

En conjunto, los resultados de la etapa de bombeo y recuperación indican que el acuífero captado por el pozo P01 presenta parámetros hidráulicos bajos y un carácter semiconfinante, lo cual sugiere que este pozo capta niveles acuíferos ligeramente profundos, donde predominan litologías que tienden a ser finas o donde el grado de confinamiento dificulta el movimiento del agua subterránea entre los poros, afectando así la productividad del pozo. Estas características permiten concluir que el sistema acuífero presenta un potencial medio para el suministro sostenible de agua, siempre que la extracción se realice bajo condiciones controladas, con tiempos de bombeo moderados y caudales bajos a medios.

- **Radio de influencia**

Para calcular el radio de influencia generado alrededor del pozo P01 producto de la prueba de bombeo realizada, se usó el valor de la transmisividad calculado a partir de la etapa de recuperación (15,5 m^2/d) y el coeficiente de almacenamiento estimado (3,60 × 10^{-2}) y, haciendo uso de la fórmula de Jacob, se obtiene:

$$R = 1{,}5 \times \sqrt{\frac{15{,}5 \times 0{,}375}{3{,}6 \text{ x } 10^{-2}}} = \mathbf{19{,}06\ m}$$

El radio de influencia generado alrededor del pozo P01 durante la prueba de bombeo realizada en este, la cual tuvo una duración de 540 minutos a un caudal constante de 1,5 l/s, es de 19,06 metros. En la Figura 3-55 se presenta el radio de influencia generado durante la prueba de bombeo realizada en el pozo P01.

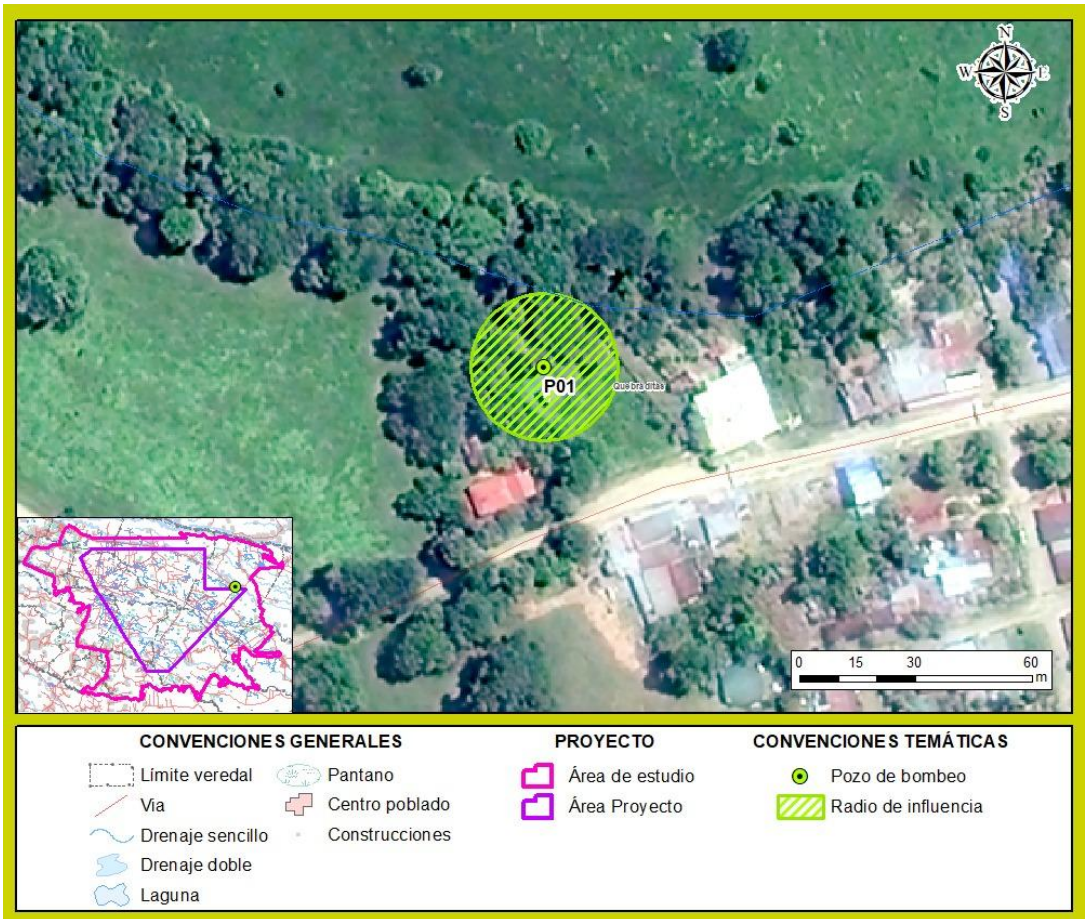


Figura 3-55 Radio de influencia generado en la prueba de bombeo del pozo P01
Fuente: SGI S.A.S., 2025.

- **Capacidad específica del pozo P01**

La capacidad especifica de una captación se define como la relación entre el caudal de extracción y el abatimiento o descenso del nivel en el pozo y se expresa en unidades de caudal por longitud [l/s/m]. El objeto fundamental de este valor es establecer la productividad relativa de una captación. Al reemplazar los datos de la prueba de bombeo realizada en el pozo P01 en la fórmula respectiva, se obtiene la capacidad específica del pozo P01:

$$Ce = \frac{1{,}5}{3{,}35} = \mathbf{0{,}45}\ \frac{\boldsymbol{l/s}}{\boldsymbol{m}}$$

La capacidad específica del pozo P01 es de 0,45 l/s/m, lo cual indica que por cada 0,45 l/s de agua que se bombee, el pozo P01 se abatirá 1 metro. Esta capacidad especifica indica que la productividad del pozo P01 es baja, siendo coherente con los demás parámetros hidráulicos estimados, donde se evidenciaron transmisividades y conductividades hidráulicas igualmente bajas que limitan la productividad de este pozo.

3.2.7.8.1.2 P04

En el pozo P04, ubicado en la Ecoreserva ASA, se realizó una prueba de bombeo a caudal constante de larga duración. Teniendo en cuenta que este pozo está inactivo hace más de 6 meses, previo a la prueba de bombeo estaba en completo reposo, asegurando así el correcto desarrollo de esta.

La etapa de bombeo inició el 25 de junio del 2025 a las 10:25:00, registrando un nivel estático de 3,54 metros y finalizó a las 07:25:00 del siguiente día, registrando un nivel dinámico de 3,93 metros. Es decir, tras 21 horas (1260 minutos) de bombeo a un caudal constante de 1,55 l/s, el pozo presentó un abatimiento de 0,39 metros. Posteriormente, se apagó la bomba e inició la fase de recuperación, la cual tuvo una duración de 525 minutos, momento en el que el pozo registró un nivel freático de 3,56 metros.

Para calcular el caudal de extracción se realizaron varios aforos volumétricos durante la etapa de bombeo, obteniéndose un promedio de 1,55 l/s.

En la **Tabla 3-30** se presentan las características principales del pozo P04 y de la prueba de bombeo realizada en este pozo.

Tabla 3-30 Características de la prueba de bombeo realizada en el pozo P04

POZO P04 – ECORESERVA ASA		
		
Profundidad (m)		32,69
Diámetro (in)		4”
Unidad hidrogeológica captada		Depósitos de Abanico aluvial (A3)
Nivel estático (m)		3,54
Tipo de caudal		Constante
Caudal (l/s)		1,55
ETAPA DE BOMBEO	**Fecha y hora de inicio**	10:25:00 25/06/2025
	Fecha y hora de finalización	07:25:00 26/06/2025
	Duración (min)	1260
Nivel dinámico (m)		3,93
Abatimiento (m)		0,39
ETAPA DE RECUPERACIÓN	**Fecha y hora de inicio**	07:25:00 26/06/2025
	Fecha y hora de finalización	16:10:00 26/06/2025
	Duración (minutos)	525
Nivel residual (m)		3,56
Porcentaje de recuperación (%)		95

Fuente: SGI S.A.S., 2025.

- **Resultados prueba de bombeo pozo P04**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de la prueba de bombeo realizada en el pozo P04.

En la **Figura 3-56** se presentan los abatimientos registrados en el pozo P04 durante el desarrollo de la prueba de bombeo, incluyendo tanto la etapa de bombeo como la de recuperación. Los niveles de agua registrados en el pozo de bombeo pueden ser consultados en **Anexos/5. Anexos Abiótico/5.7 Hidrogeología/5.7.6_Pruebas_de_bombeo/1. Información primaria/2. Pozo P04** del presente estudio.

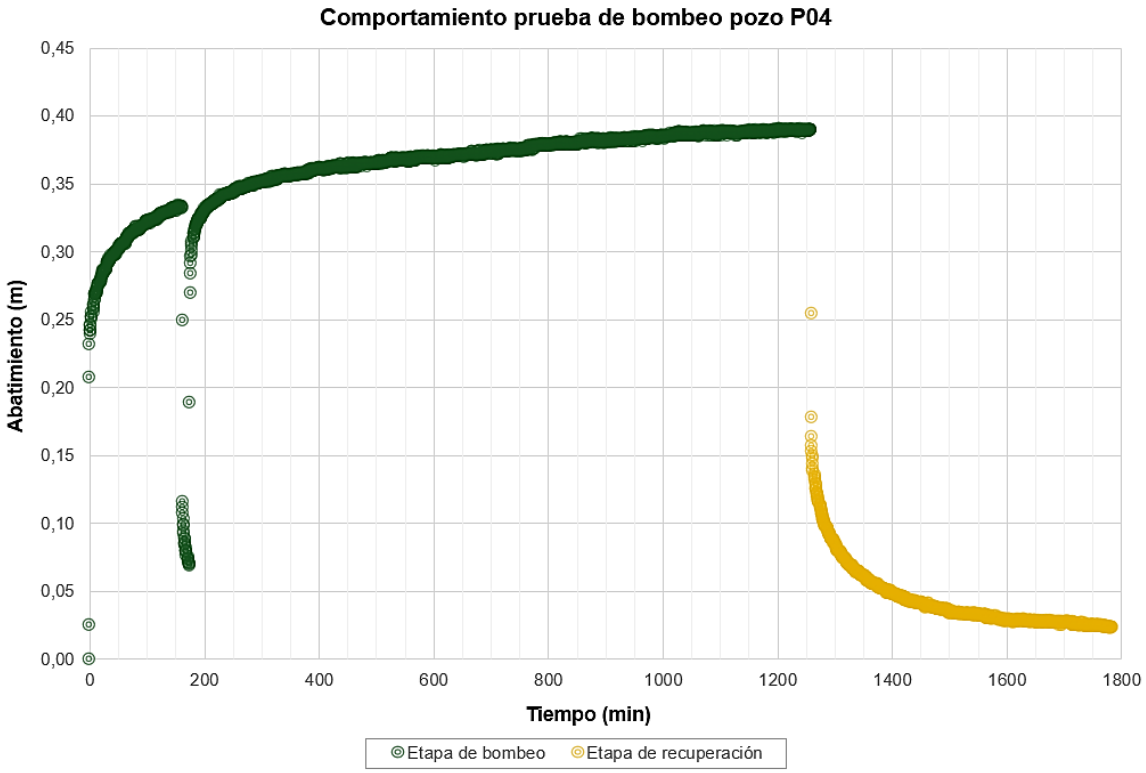


Figura 3-56 Comportamiento del pozo P04 durante la prueba de bombeo
Fuente: SGI S.A.S., 2025.

La forma de la curva presentada por el pozo P04 durante la prueba de bombeo indica un comportamiento continuo y sin interrupciones, característico de sistemas hidrogeológicos en los que no intervienen procesos de recarga rápida o límites hidráulicos cercanos (**Figura 3-56**). Adicionalmente, se evidencia que, durante la etapa de bombeo, el pozo P04 presentó un abatimiento muy reducido, inferior a 0,40 m, a pesar de la prolongada duración del bombeo. Durante la fase de recuperación, que se extendió por 525 minutos, el pozo no alcanzó su nivel freático inicial, pero logró recuperar aproximadamente el 95% del abatimiento, lo cual se considera suficiente para realizar el análisis de los parámetros hidráulicos de los niveles acuíferos captados.

✓ Etapa de bombeo pozo P04

La etapa de bombeo de este pozo fue analizada en el software Aquifer Test mediante el método de Theis. En la **Figura 3-57** se presenta el comportamiento del pozo P04 durante esta fase junto con el respectivo ajuste lineal realizado a estos datos en el software y en la

Tabla 3-31 los parámetros hidráulicos obtenidos a partir de la misma. Los resultados obtenidos mediante el software Aquifer Test pueden ser consultados en **Anexos/5. Anexos Abiótico/5.7 Hidrogeología/5.7.6_Pruebas_de_bombeo/1. Información primaria/2. Pozo P04.**

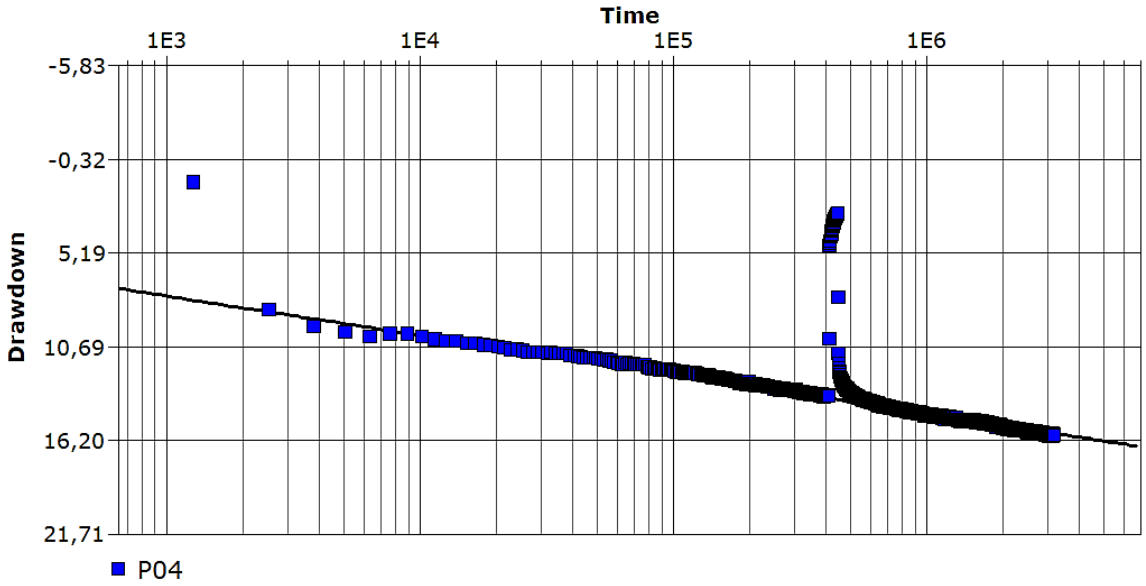


Figura 3-57 Comportamiento del pozo P04 durante la etapa de bombeo
Fuente: SGI S.A.S., 2025.

Tabla 3-31 Parámetros hidráulicos estimados a partir de la etapa de bombeo del pozo P04

Pozo	Transmisividad (m^2/día)	Conductividad hidráulica (m/día)	Coeficiente de almacenamiento (S)	Tipo de acuífero
P04	$4{,}45 \times 10^{2}$	$4{,}94 \times 10^{1}$	$4{,}67 \times 10^{-2}$	Libre

Fuente: SGI S.A.S., 2025

Los parámetros hidráulicos estimados a partir del ajuste lineal de la etapa de bombeo indican que el acuífero captado por el pozo P04 presenta una transmisividad de 445 m²/día, lo cual refleja una capacidad media a alta para transmitir agua. De igual forma, la conductividad hidráulica calculada fue de 49,4 m/día, evidenciando que el agua subterránea circula con gran facilidad dentro del sistema acuífero, ya que este está conformado por materiales permeables con buena permeabilidad. El coeficiente de almacenamiento estimado fue de $4{,}67 \times 10^{-2}$, valor característico de un acuífero libre.

En conjunto, los parámetros obtenidos son consistentes con las características litológicas identificadas en campo, propias de medios porosos constituidos por materiales no consolidados de granulometrías muy gruesas (arenas medias, gruesas y gravas), que presentan una alta porosidad primaria y, en consecuencia, buena conectividad hidráulica. Asimismo, estos parámetros indican que el acuífero captado por el pozo P04 posee características hidráulicas favorables para el aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo, con valores de transmisividad y conductividad hidráulica altos.

✓ Etapa de recuperación pozo P04

Los datos de la etapa de recuperación del pozo P04 se analizaron en el software AquiferTest mediante el método Theis Recovery. En la **Figura 3-58** se presenta la gráfica de los datos recolectados durante la etapa de recuperación mientras que en la

Tabla 3-32 se presentan los parámetros hidráulicos obtenidos a partir de esta etapa.

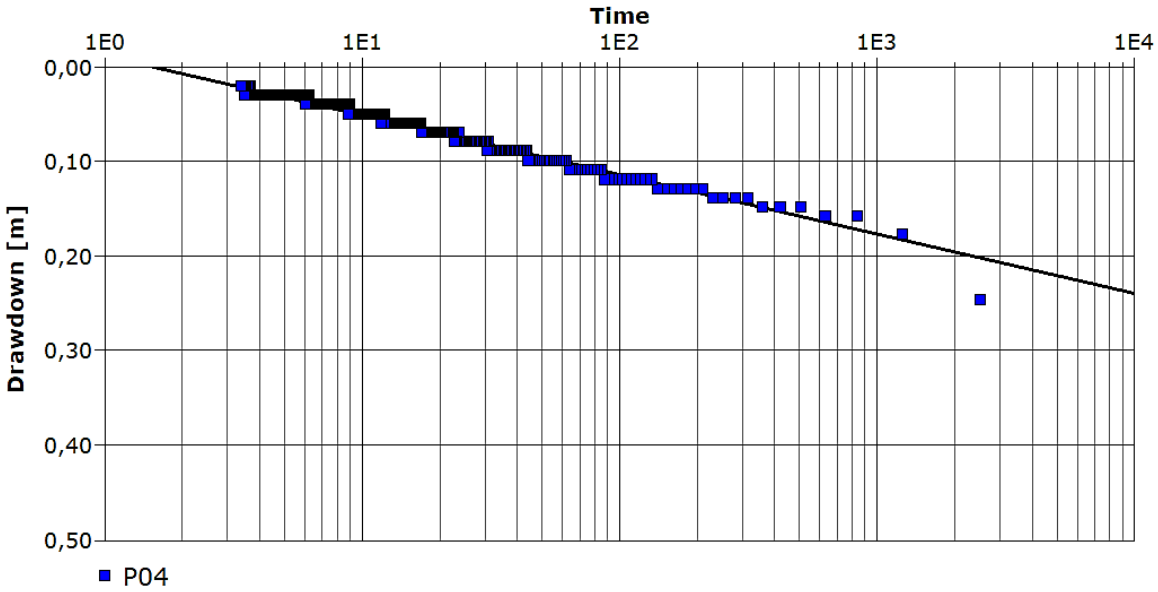


Figura 3-58 Comportamiento del pozo P04 durante la etapa de recuperación
Fuente: SGI S.A.S., 2025.

Tabla 3-32 Parámetros hidráulicos estimados a partir de la etapa de recuperación del pozo P04

Pozo	Transmisividad (m^2/día)	Conductividad hidráulica (m/día)
P04	3,92 x 10^2	4,35 x 10^1

Fuente: SGI S.A.S., 2025

Los parámetros hidráulicos estimados durante la etapa de recuperación suelen ser más confiables que los obtenidos a partir de la etapa de bombeo, ya que en esta fase no se presentan pérdidas asociadas al sistema de bombeo. Por ello, los valores de transmisividad y conductividad hidráulica estimados durante la recuperación se consideran más representativos.

Teniendo en cuenta lo anterior, a partir de la etapa de recuperación se estimó para los niveles acuíferos captados una transmisividad de 392 m^2/día, valor considerado medio a alto. Aunque este resultado es ligeramente inferior al obtenido durante la etapa de bombeo, ambos se encuentran en el mismo rango, lo que evidencia coherencia entre ambas fases y que las pérdidas asociadas al bombeo son bajas.

Por su parte, la conductividad hidráulica estimada para la etapa de recuperación fue de 43,5 m/día, indicando una velocidad de flujo alta que concuerda con la litología de los niveles acuíferos captados.

- **Radio de influencia**

Para calcular el radio de influencia generado alrededor del pozo P04 producto de la prueba de bombeo realizada, se usó el valor de la transmisividad estimado a partir de la etapa de recuperación (392 m^2/d) y el coeficiente de almacenamiento estimado ($4{,}67 \times 10^{-2}$) y, haciendo uso de la fórmula de Jacob, se obtiene:

$$R = 1{,}5 \times \sqrt{\frac{392 \times 0{,}875}{4{,}67 \times 10^{-2}}} = \mathbf{128{,}55\ m}$$

La prueba de bombeo realizada en el pozo P04, la cual tuvo una duración de 1260 minutos y un caudal constante de 1,55 l/s, generó un radio de influencia alrededor de este pozo de 128,55 metros. En la **Figura 3-59** se presenta el radio de influencia generado durante la prueba de bombeo realizada en el pozo P04.

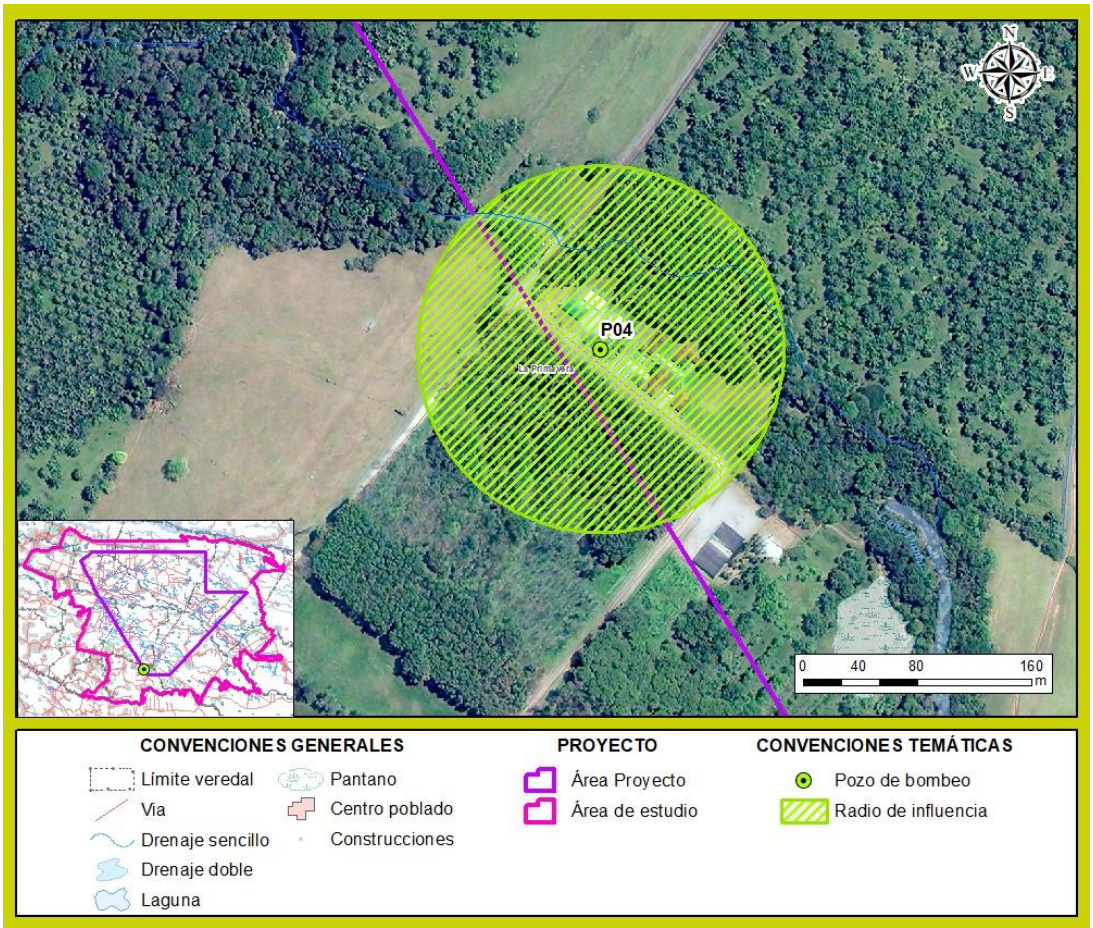


Figura 3-59 Radio de influencia generado en la prueba de bombeo del pozo P04
Fuente: SGI S.A.S., 2025.

- **Capacidad específica del pozo P04**

Al reemplazar en la fórmula respectiva los datos de la prueba de bombeo realizada en el pozo P04, se obtiene la capacidad específica de este pozo:

$$Ce = \frac{1{,}55}{0{,}39} = \mathbf{3{,}97\ \frac{l/s}{m}}$$

La capacidad específica del pozo P04 es de 3,97 l/s/m, lo cual indica que por cada 3,97 l/s de agua que se bombee, la columna de agua dentro del pozo P04 se abatirá 1 metro. Esta capacidad especifica indica que la productividad del pozo P04 es alta, siendo coherente con los demás parámetros hidráulicos estimados, donde se evidenciaron transmisividades y conductividades hidráulicas igualmente altas que favorecen la productividad de este pozo.

3.2.7.8.1.3 P10

En el pozo P10, ubicado en la Institución Educativa Manuela Beltrán de la vereda Patio Bonito, se realizó una prueba de bombeo a caudal constante de larga duración. Previo al inicio de la prueba de bombeo, el pozo permaneció en reposo durante aproximadamente 12 horas, con el fin de permitir la recuperación del nivel freático y garantizar la correcta ejecución de la prueba de bombeo. La etapa de bombeo inició el 13 de abril del 2025 a las 7:45:00, registrando un nivel estático de 6,42 metros y finalizó a las 16:05:00 del mismo día, registrando un nivel dinámico de 21,23 metros. Es decir, tras 8,33 horas (500 minutos) de bombeo a un caudal constante de 1,25 l/s, el pozo presentó un abatimiento de 14,81 metros. Posteriormente, se apagó la bomba e inició la fase de recuperación, la cual tuvo una duración de 1020 minutos, finalizando a las 09:05:00 del 14 de abril de 2025, momento en el que el pozo registró un nivel freático de 6,39 metros.

Para calcular el caudal de extracción se realizaron varios aforos volumétricos durante la etapa de bombeo, obteniéndose un promedio de 1,25 l/s.

En la **Tabla 3-33** se presentan las características principales del pozo P10 y de la prueba de bombeo realizada en este pozo.

Tabla 3-33 Características de la prueba de bombeo realizada en el pozo P10

POZO P10 – ESCUELA MANUELA BELTRAN	
	
Profundidad (m)	100 – 120
Diámetro (in)	3”
Unidad hidrogeológica captada	Mezcla entre Depósitos de Abanico aluvial y Miembro Superior de la Formación Guayabo
Nivel estático (m)	6,42
Tipo de caudal	Constante

POZO P10 – ESCUELA MANUELA BELTRAN		
Caudal (l/s)		1,25
ETAPA DE BOMBEO	Fecha y hora de inicio	13/04/2025 7:45:00
	Fecha y hora de finalización	13/04/2025 16:05:00
	Duración (min)	500
Nivel dinámico (m)		21,23
Abatimiento (m)		14,81
ETAPA DE RECUPERACIÓN	Fecha y hora de inicio	13/04/2025 16:05:00
	Fecha y hora de finalización	14/04/2025 09:05:00
	Duración (minutos)	1020
Nivel de agua final (m)		6,39
Porcentaje de recuperación (%)		100

Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Resultados prueba de bombeo pozo P10**

En la **Figura 3-60** se presentan los abatimientos y abatimientos residuales registrados en el pozo P10 durante el desarrollo de la prueba de bombeo, incluyendo tanto la etapa de bombeo como la de recuperación. Los niveles de agua registrados en el pozo de bombeo pueden ser consultados a detalle en **Anexos/5. Anexos Abiótico/5.7 Hidrogeología/5.7.6_Pruebas_de_bombeo/1. Información primaria/3. Pozo P10** del presente estudio.

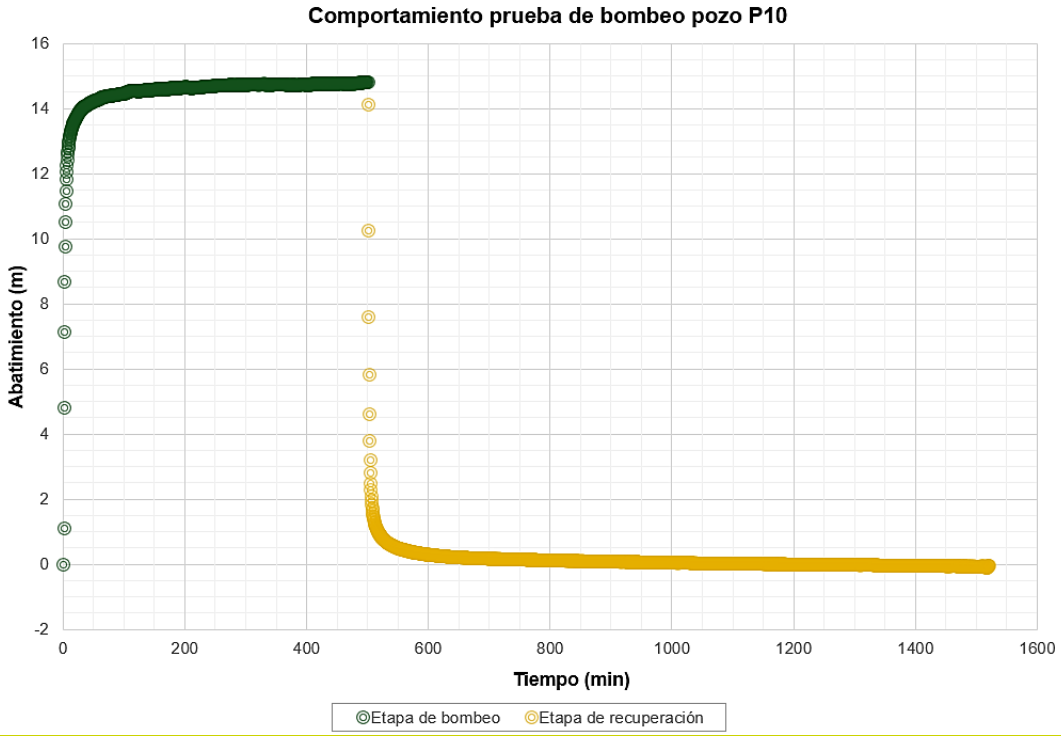


Figura 3-60 Comportamiento del pozo P10 durante la prueba de bombeo
Fuente: SGI S.A.S., 2025.

La curva obtenida en el pozo P10 durante la prueba de bombeo evidencia un comportamiento continuo y sin interrupciones, característico de sistemas hidrogeológicos en los que no se presentan procesos de recarga rápida ni límites hidráulicos cercanos (**Figura 3-60**). Durante la etapa de bombeo, el pozo registró un abatimiento significativo, con una estabilización progresiva del abatimiento a medida que transcurre el tiempo de bombeo; sin embargo, este fue recuperado en su totalidad y en un corto periodo de tiempo durante la fase de recuperación, lo cual refleja una buena capacidad de respuesta del acuífero captado.

✓ Etapa de bombeo pozo P10

La etapa de bombeo de este pozo fue analizada en el software Aquifer Test empleando el método de Neuman, seleccionado por presentar el mejor ajuste frente a la curva generada por los datos registrados durante la etapa de bombeo. En la **Figura 3-61** se presenta la curva generada por el pozo P10 durante esta fase con el ajuste lineal realizado por el software.

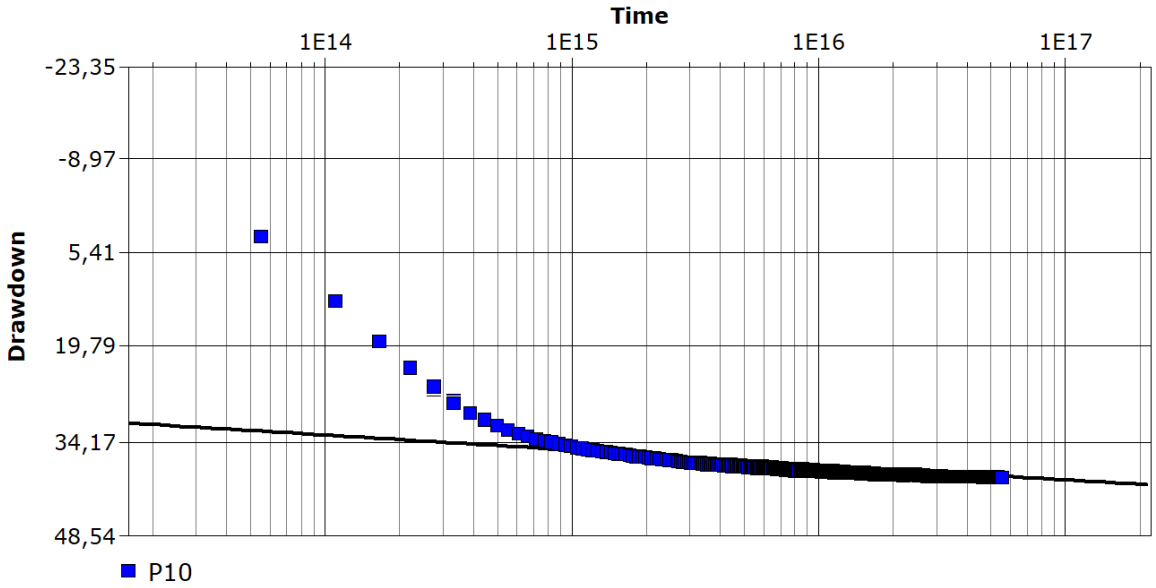


Figura 3-61 Comportamiento del pozo P10 durante la etapa de bombeo
Fuente: SGI S.A.S., 2025.

En la **Tabla 3-34** se presentan los parámetros hidráulicos estimados a partir de la etapa de bombeo de la prueba hidráulica realizada en el pozo P10. Los resultados obtenidos mediante el software Aquifer Test pueden ser consultados en **Anexos/5. Anexos Abiótico/5.7 Hidrogeología/5.7.6_Pruebas_de_bombeo/1. Información primaria/3. Pozo P10.**

Tabla 3-34 Parámetros hidráulicos estimados a partir de la etapa de bombeo del pozo P10

Pozo	Transmisividad (m^2/día)	Conductividad hidráulica (m/día)	Coeficiente de almacenamiento (S)	Tipo de acuífero
P10	$2{,}30 \times 10^{1}$	$7{,}67 \times 10^{-1}$	$1{,}0 \times 10^{-3}$	Confinado

Fuente: SGI S.A.S., 2025

Los parámetros hidráulicos estimados a partir del ajuste lineal de la etapa de bombeo indican que el acuífero captado por el pozo P10 presenta una transmisividad de 23 m²/día, lo cual refleja que el acuífero tiene una baja capacidad para transmitir agua. De igual forma, la conductividad hidráulica estimada de 0,767 m/día, confirma que el acuífero posee una permeabilidad baja, lo cual implica que el flujo de agua subterránea dentro del sistema acuífero es limitado. Finalmente, el coeficiente de almacenamiento adoptado para el acuífero captado por este pozo corresponde a $1{,}00 \times 10^{-3}$. Este valor se considera representativo de un acuífero con comportamiento semiconfinado, dado su rango de profundidad y las características litológicas de las unidades presentes en el área. Se trata de un valor teórico sustentado en el conocimiento geológico local, ya que no se contó con un pozo observador durante la prueba de bombeo que permitiera determinar experimentalmente el coeficiente de almacenamiento real del acuífero.

✓ Etapa de recuperación pozo P10

La etapa de recuperación del pozo P10 fue analizada en el software AquiferTest mediante la aplicación del método Theis Recovery, a partir del comportamiento del ascenso de los niveles dinámicos registrados tras el cese del bombeo.

En la **Figura 3-62** se presenta la curva de recuperación obtenida, junto con el ajuste lineal realizado para esta fase. Dicho ajuste se realizó sobre la sección inicial de la curva, correspondiente a los últimos minutos de la etapa de recuperación, donde los abatimientos residuales son cercanos a cero y la curva muestra un comportamiento más estable. El análisis en este tramo permite evitar la influencia de los efectos de pozo presentes en los primeros minutos de la recuperación, por lo que los resultados son más confiables.

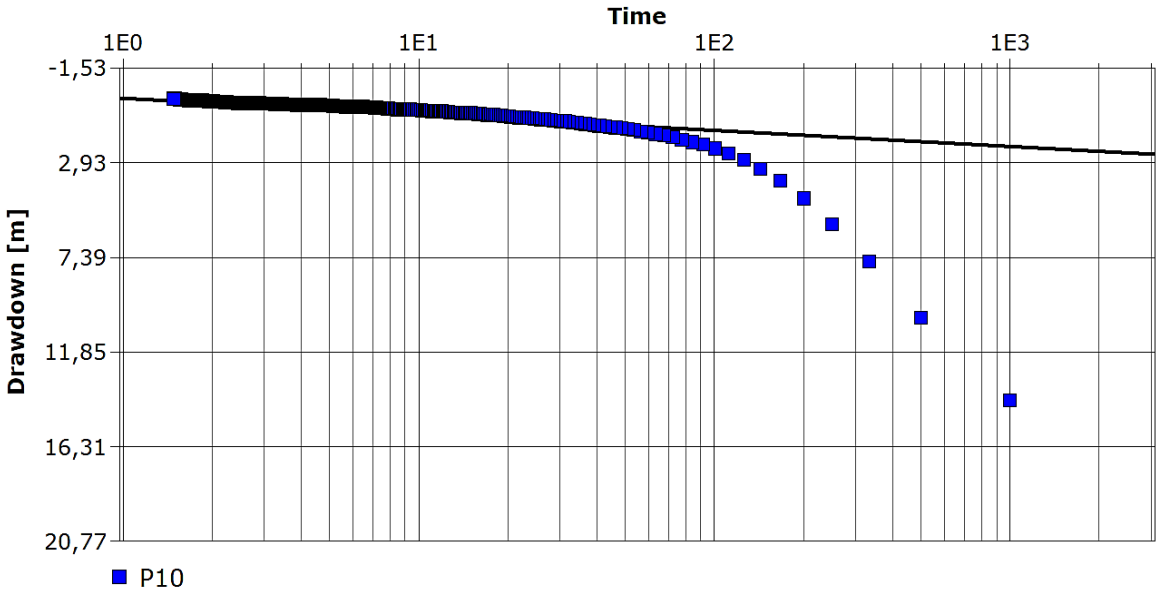


Figura 3-62 Comportamiento del pozo P10 durante la etapa de recuperación
Fuente: SGI S.A.S., 2025.

En la **Tabla 3-35** se presentan los parámetros hidráulicos estimados a partir del análisis de la etapa de recuperación del pozo P10.

Tabla 3-35 Parámetros hidráulicos estimados a partir de la etapa de recuperación del pozo P10

Pozo	Transmisividad (m^2/día)	Conductividad hidráulica (m/día)
P10	$2{,}64 \times 10^{1}$	$8{,}80 \times 10^{-1}$

Fuente: SGI S.A.S., 2025

A partir del ajuste de la curva de recuperación, se obtuvo una transmisividad de 26,4 m²/día, lo cual refleja que el acuífero captado por el pozo P10 presenta una baja capacidad para transmitir agua. Este valor es ligeramente superior al determinado en la etapa de bombeo (23 m²/día), lo cual puede atribuirse a perdidas asociadas al sistema de bombeo empleado durante esta primera etapa; sin embargo, las diferencias entre ambos valores son mínimas, lo que evidencia coherencia entre ambas fases y que las pérdidas asociadas al bombeo son bajas.

Por su parte, la conductividad hidráulica estimada para la etapa de recuperación fue de 0,88 m/día, valor característico de materiales con granulometrías finas o consolidados con baja permeabilidad donde la conexión hidráulica es limitada, por lo que la velocidad de flujo también lo es.

En general, la etapa de recuperación confirma los parámetros hidrogeológicos estimados durante el bombeo y respalda la interpretación de que el pozo P10 capta un acuífero con características hidráulicas más bien limitadas para el aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo.

- **Radio de influencia prueba de bombeo**

Para calcular el radio de influencia generado alrededor del pozo P10 producto de la prueba de bombeo realizada, se emplearon los parámetros hidráulicos estimados. En el caso de la transmisividad, se empleó el valor estimado a partir de la etapa de recuperación, ya que durante esta etapa no se presentan perdidas asociadas al sistema de bombeo, por lo que los parámetros hidráulicos estimados son más acertados. Haciendo uso de la fórmula de Jacob, se obtiene:

$$R = 1{,}5 \times \sqrt{\frac{26{,}4 \times 0{,}347}{1{,}0 \text{ x } 10^{-3}}} \approx \mathbf{143{,}57\ m}$$

La prueba de bombeo realizada en el pozo P10, la cual tuvo una duración de 500 minutos y un caudal constante de 1,25 l/s, generó un radio de influencia alrededor de este pozo de 143,57 metros. En la Figura 3-63 se presenta el radio de influencia generado durante la prueba de bombeo realizada en el pozo P10.



Figura 3-63 Radio de influencia generado en la prueba de bombeo del pozo P10
Fuente: SGI S.A.S., 2025.

- **Capacidad especifica**

Al reemplazar en la fórmula respectiva los datos de la prueba de bombeo realizada en el pozo P04, se obtiene la capacidad específica de este pozo:7

$$Ce = \frac{1{,}25}{14{,}81} = \mathbf{0{,}084}\ \frac{\boldsymbol{l/s}}{\boldsymbol{m}}$$

La capacidad específica del pozo P10 es de 0,084 l/s/m, lo cual indica que por cada 0,084 l/s de agua que se bombee, la columna de agua dentro del pozo P10 se abatirá 1 metro. Por lo tanto, por cada 1 l/s que se bombee, este pozo presentará un abatimiento de 12 metros aproximadamente. Esta capacidad especifica indica que la productividad del pozo P10 es baja, siendo coherente con los demás parámetros hidráulicos estimados, donde se evidenciaron transmisividades y conductividades hidráulicas igualmente bajas que limitan la productividad de este pozo.

Es importante mencionar que la capacidad específica y el radio de influencia estimados anteriormente, corresponden a datos calculados a partir de las condiciones específicas con las que se desarrolló la prueba de bombeo. Teniendo en cuenta que estos parámetros consideran el caudal, tiempo de bombeo y el abatimiento, se pueden leer como una respuesta del pozo a determinadas condiciones de bombeo, las cuales dan una idea del comportamiento del pozo, pero no corresponden estrictamente a características intrínsecas de los niveles acuíferos captados.

3.2.7.8.1.4 AL47

En el aljibe AL47, ubicado en el predio el Progreso de la vereda Quebraditas, se realizó una prueba de bombeo a caudal constante. Previo al inicio de dicha prueba, el aljibe permaneció en reposo más de 12 horas, asegurando así el correcto desarrollo de esta prueba.

La etapa de bombeo inició el 12 de abril del 2025 a las 10:37:00, registrándose en el aljibe un nivel estático de 1,86 metros y finalizó a las 14:29:00, momento en el cual registró un nivel dinámico de 2,6 metros. Es decir, tras un periodo de bombeo de 3 horas y 52 minutos (232 minutos), el aljibe presentó un abatimiento de 0,74 metros.

Durante el desarrollo de la etapa de bombeo, se realizaron múltiples aforos volumétricos para determinar el caudal de extracción. Los resultados evidenciaron que, desde el inicio de la prueba hasta los 50 minutos de bombeo, el caudal promedio fue de 1,35 l/s. Transcurrido este periodo, el aljibe eliminó los efectos de almacenamiento inicial, lo cual se manifestó en campo mediante el vaciado del volumen de agua almacenada dentro del aljibe. Posteriormente, se observó en las paredes del aljibe el ingreso de agua proveniente del acuífero captado, lo que generó una leve disminución del caudal, alcanzando un valor de 1,09 l/s, el cual se mantuvo constante hasta el final de la etapa de bombeo. Es importante resaltar que la prueba tuvo que darse por terminada debido al sobrecalentamiento del sistema de bombeo empleado, y no por falta de respuesta por parte del acuífero.

Posteriormente, se apagó la bomba e inició la fase de recuperación, la cual tuvo una duración de 155 minutos, iniciando a las 14:29:00 y finalizando a las 17:04:00 del mismo día, momento en el que el pozo registró un nivel residual de 2,16 metros, recuperando aproximadamente el 60% del abatimiento generado durante el bombeo.

En la **Tabla 3-36** se presentan las características principales del aljibe AL47 y de la prueba de bombeo realizada en este aljibe.

Tabla 3-36 Características de la prueba de bombeo realizada en el aljibe AL47

ALJIBE AL47 – EL PROGRESO		
		
Profundidad (m)		4,39
Diámetro (in)		39”
Unidad hidrogeológica captada		Depósitos de Abanico aluvial (A3)
Nivel estático (m)		1,86
Tipo de caudal		Constante
Caudal (l/s)		0 – 50 min: 1,35 l/s 50 – 232 min: 1,09 l/s
ETAPA DE BOMBEO	**Fecha y hora de inicio**	12/04/2025 10:37:00
	Fecha y hora de finalización	12/04/2025 14:29:00
	Duración (min)	232
Nivel dinámico (m)		2,6
Abatimiento (m)		0,74
ETAPA DE RECUPERACIÓN	**Fecha y hora de inicio**	12/04/2025 14:29:00
	Fecha y hora de finalización	12/04/2025 17:04:00
	Duración (minutos)	155
Nivel de agua final (m)		2,16
Porcentaje de recuperación (%)		60

Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Resultados prueba de bombeo aljibe AL47**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de la prueba de bombeo realizada en el aljibe AL47.

En la **Figura 3-64** se presentan los abatimientos registrados en el aljibe AL47 durante el desarrollo de la prueba de bombeo, incluyendo tanto la etapa de bombeo como la de recuperación. Los niveles de agua registrados en el aljibe durante el desarrollo de la prueba de bombeo pueden ser consultados a detalle en **Anexos/5. Anexos Abiótico/5.7 Hidrogeología/5.7.6_Pruebas_de_bombeo/1. Información primaria/4. Aljibe AL47** del presente estudio.

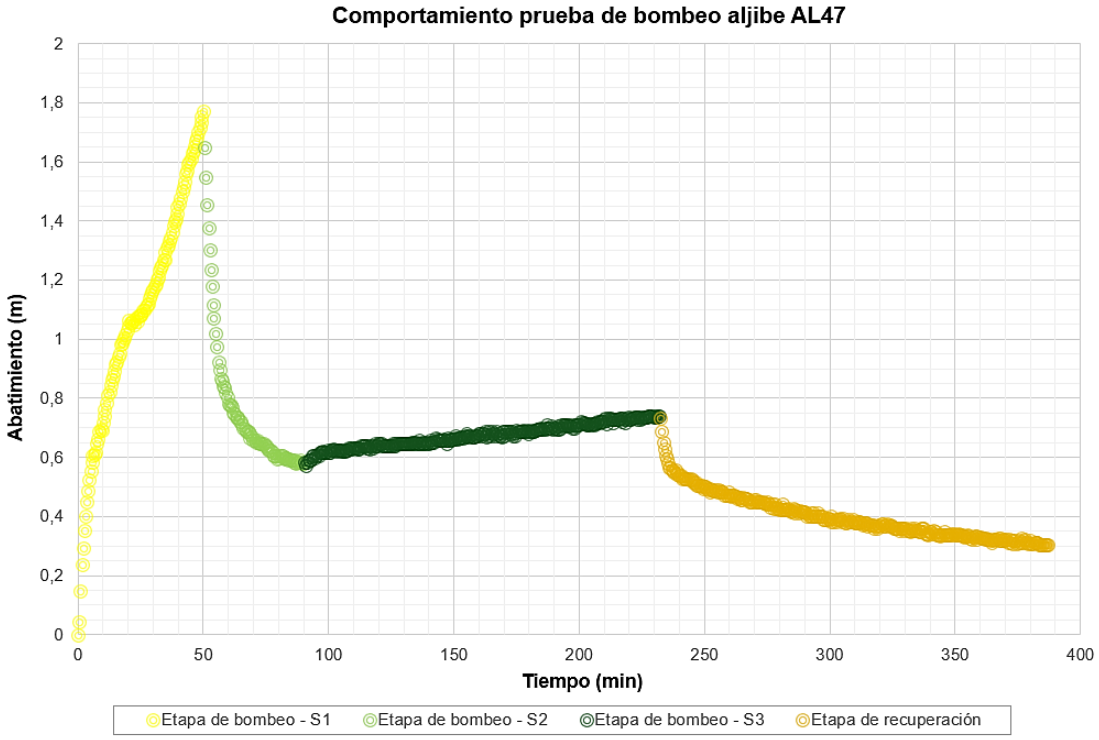


Figura 3-64 Comportamiento del aljibe AL47 durante la prueba de bombeo
Fuente: SGI S.A.S., 2025.

Tal como se observa en la **Figura 3-64**, la curva de la prueba de bombeo realizada en el aljibe AL47 presenta tres (3) secciones o fases dentro de la etapa de bombeo. La primera sección, identificada con color amarillo en la **Figura 3-64**, abarca desde el inicio de la prueba hasta los 50 minutos posteriores. Durante este periodo se registraron los abatimientos más significativos, asociados a la eliminación del almacenamiento del aljibe, es decir, al vaciado del agua almacenada en su interior. A diferencia de los pozos convencionales, el almacenamiento en los aljibes no es despreciable debido a su gran diámetro, por lo que en los primeros minutos el descenso del nivel freático refleja principalmente la descarga del volumen almacenado dentro del aljibe, y no la respuesta inmediata del acuífero. Posteriormente, durante los siguientes 40 minutos, se evidencia una marcada recuperación del nivel de agua, recuperando aproximadamente 1,2 metros del abatimiento inicial. Cabe resaltar que este comportamiento ocurrió mientras la bomba permanecía en operación, por lo que dicha recuperación se atribuye al aporte directo del acuífero, lo cual fue evidenciado en campo por la entrada de agua a través de las paredes del aljibe. En esta sección de tiempo, el caudal aportado por el acuífero, en búsqueda del equilibrio hidrostático, superó al volumen de agua extraído, generando un ascenso en los niveles dinámicos (sección de color verde claro en la **Figura 3-64**).

Una vez eliminado el efecto de almacenamiento inicial y alcanzado el equilibrio hidrostático, el aljibe presentó nuevamente una disminución progresiva pero sustancial de los niveles dinámicos, con

abatimientos inferiores a 20 cm. Esta sección, comprendida entre los 90 y 232 minutos y representada en color verde oscuro en la **Figura 3-64**, refleja el comportamiento característico de una etapa de bombeo. Por esta razón, se considera la sección más adecuada para aplicar el ajuste lineal y estimar los parámetros hidráulicos del acuífero captado, dado que corresponde a la respuesta del acuífero frente a un periodo de bombeo.

Finalmente, la etapa de recuperación, identificada de color naranja en la gráfica, evidencia una lenta recuperación del nivel dinámico, lo que indica que el abatimiento generado durante la fase de bombeo requiere de un periodo de tiempo considerable para recuperarse totalmente. Adicionalmente, es importante señalar que la recuperación del nivel freático en un aljibe suele ser más lenta que en un pozo, debido al gran diámetro que caracteriza a este tipo de puntos, el cual incrementa el volumen de almacenamiento y, por ende, el tiempo necesario para alcanzar nuevamente el nivel freático.

✓ Etapa de bombeo aljibe AL47

La etapa de bombeo del aljibe AL47 fue analizada en el software AquiferTest mediante la aplicación del método de Boulton, seleccionado por su idoneidad para la interpretación de pruebas realizadas en acuíferos libres y por presentar el mejor ajuste respecto a la curva generada con los datos registrados durante la etapa de bombeo de este aljibe. En la **Figura 3-65** se presenta el comportamiento del aljibe AL47 durante esta fase junto con el ajuste lineal realizado por el software. Los resultados obtenidos mediante el software Aquifer Test pueden ser consultados en **Anexos/5. Anexos Abiótico/5.7 Hidrogeología/5.7.6_Pruebas_de_bombeo/1. Información primaria/4. Aljibe AL47**.

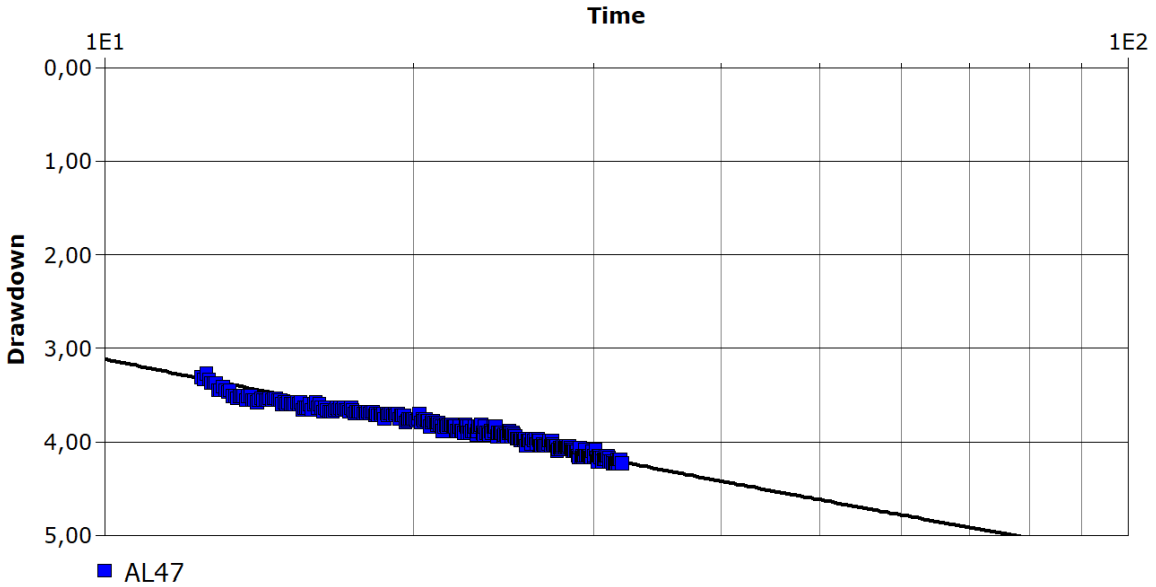


Figura 3-65 Comportamiento del aljibe AL 47 durante la etapa de bombeo
Fuente: SGI S.A.S., 2025.

Como se mencionó anteriormente, el ajuste lineal se realizó sobre el tercer tramo de la etapa de bombeo, comprendido entre los 90 minutos y el final de esta, es decir, hasta 232 minutos. Este intervalo fue seleccionado ya que corresponde a la respuesta real del acuífero frente a la extracción de agua, sin considerar el efecto de almacenamiento que se eliminó en los primeros minutos de bombeo y superado la "falsa recuperación" que presentó al aljibe durante el bombeo, producto del

aporte directo del acuífero. Por tal motivo, este tramo se considera el más adecuado para estimar los parámetros hidráulicos del acuífero captado por el aljibe AL47, los cuales se presentan en la **Tabla 3-37**.

Tabla 3-37 Parámetros hidráulicos estimados a partir de la etapa de bombeo del aljibe AL47

Aljibe	Transmisividad (m^2/día)	Conductividad hidráulica (m/día)	Coeficiente de almacenamiento (S)	Tipo de acuífero
AL47	$4{,}5 \times 10^{1}$	$1{,}8 \times 10^{1}$	$1{,}00 \times 10^{-2}$	Libre

Fuente: SGI S.A.S., 2025

A partir del ajuste lineal de la etapa de bombeo se estimó una transmisividad de 45 m²/día, lo cual indica que el acuífero captado por el aljibe AL47 presenta una baja capacidad para transmitir agua. Por su parte, la conductividad hidráulica fue de 18 m/día, valor considerado alto según M. Villanueva y A. Iglesias, 1984, característico de materiales permeables, como las gravas embebidas en matriz arenosa observadas en las paredes del aljibe.

Estos resultados sugieren que, aunque el acuífero captado por el aljibe AL47, constituido por los depósitos asociados a los planos de inundación, es altamente permeable, su espesor saturado es limitado, lo que reduce su transmisividad, es decir, la capacidad de transmitir el agua almacenada entre sus poros. Por esta razón, si bien el acuífero presenta buenas condiciones de flujo, su baja capacidad para transmitir agua podría restringir parcialmente su aprovechamiento. En cuanto al coeficiente de almacenamiento, la prueba de bombeo arrojó un valor de $1{,}00 \times 10^{-2}$, característico de un acuífero libre.

✓ Etapa de recuperación aljibe AL47

La etapa de recuperación de la prueba de bombeo, ilustrada en el gráfico de abatimiento residual versus la relación tiempo/tiempo de recuperación (t/t'), presenta el ascenso de la columna de agua en el aljibe AL47 luego de finalizado el bombeo. Los datos de la etapa de recuperación del aljibe AL47 se analizaron en el software AquiferTest mediante el método Theis Recovery. Para esta etapa, el ajuste se realizó sobre la parte inicial de la curva (ubicada a la izquierda), la cual corresponde a los últimos minutos de la fase de recuperación, donde los abatimientos residuales son cercanos a cero y la curva está estabilizada (**Figura 3-66**).

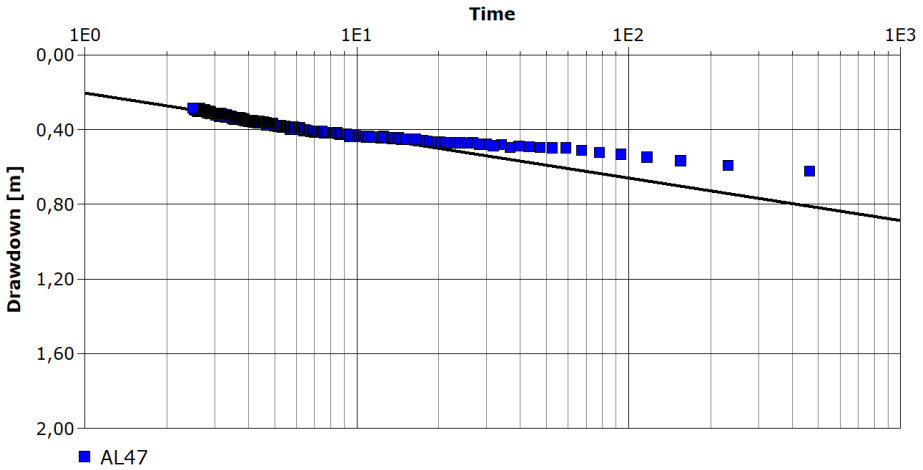


Figura 3-66 Comportamiento del aljibe AL47 durante la etapa de recuperación Fuente: SGI S.A.S., 2025.

En la **Tabla 3-38** se presentan los parámetros hidráulicos estimados a partir de la etapa de recuperación de la prueba de bombeo realizada en el aljibe AL47.

Tabla 3-38 Parámetros hidráulicos estimados a partir de la etapa de recuperación del aljibe AL47

Aljibe	Transmisividad (m^2/día)	Conductividad hidráulica (m/día)
AL47	8,43 x 10^1	3,37 x 10^1

Fuente: SGI S.A.S., 2025

Los parámetros hidráulicos estimados durante la etapa de recuperación suelen ser más confiables que los obtenidos a partir de la etapa de bombeo, ya que en esta fase no se presentan pérdidas asociadas al sistema de bombeo.

Teniendo en cuenta lo anterior, a partir de la etapa de recuperación se estimó que el nivel acuífero captado por el aljibe AL47 presenta una transmisividad de 84,3 m²/día, valor considerado bajo. Aunque este resultado es ligeramente mayor al obtenido durante la etapa de bombeo, ambos se encuentran dentro del mismo rango, lo que evidencia coherencia entre ambas etapas y sugiere que las pérdidas asociadas al bombeo no son significativas. Por su parte, la conductividad hidráulica estimada para esta etapa fue de 33,7 m/d, indicando una velocidad de flujo alta, consistente con la etapa de bombeo y las granulometrías evidenciadas en las paredes de este aljibe, las cuales se caracterizan por ser gruesas y, por ende, permeables.

En conjunto, los resultados obtenidos en esta prueba de bombeo permiten concluir que la unidad hidrogeológica captada por el aljibe AL47, conformada por depósitos de abanico aluvial, constituye un acuífero libre integrado por materiales de alta permeabilidad, como lo evidencia la alta conductividad hidráulica estimada para los sedimentos gruesos captados por este aljibe. Sin embargo, la transmisividad baja sugiere que el espesor saturado de esta unidad, al menos en el entorno del aljibe, es reducido, lo que limita ligeramente su capacidad para transmitir agua. Estas características indican que, aunque el acuífero presenta materiales favorables para la circulación del agua subterránea, la heterogeneidad litológica de esta unidad reduce en algunos sectores su aptitud para un aprovechamiento sostenido del recurso.

- **Radio de influencia prueba de bombeo**

Para calcular el radio de influencia generado alrededor del aljibe AL47 producto de la prueba de bombeo realizada, se usó el valor de la transmisividad estimado a partir de la etapa de recuperación, ya que durante esta etapa no se presentan perdidas asociadas al sistema de bombeo, por lo que los parámetros hidráulicos estimados son más acertados. Al aplicar la fórmula de Jacob, se obtiene:

$$R = 1.5 \times \sqrt{\frac{84{,}3 \times 0{,}16}{1 \text{ x } 10^{-2}}} = \mathbf{55{,}28\ m}$$

El radio de influencia generado por el aljibe AL47 durante la prueba de bombeo, la cual tuvo una duración de 232 minutos, es de 55,28 metros. En la **Figura 3-67** se presenta el radio de influencia generado durante la prueba de bombeo realizada en el aljibe AL47.

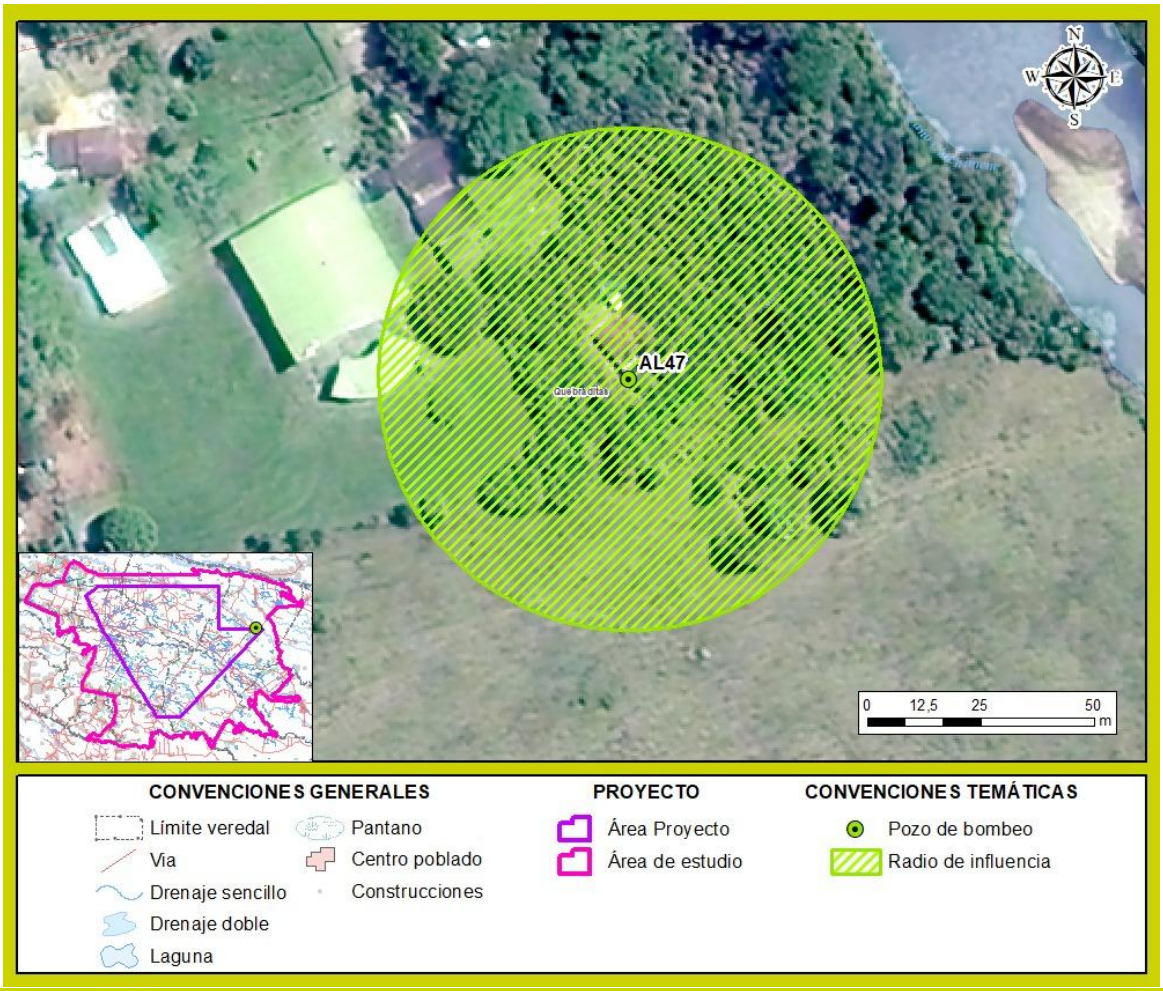


Figura 3-67 Radio de influencia generado en la prueba de bombeo del aljibe AL47
Fuente: SGI S.A.S., 2025.

- **Capacidad especifica**

Al reemplazar en la fórmula respectiva los datos de la prueba de bombeo realizada en el aljibe AL47, se obtiene la capacidad específica de este aljibe:

$$Ce = \frac{1{,}09}{0{,}74} = \mathbf{1{,}47}\ \frac{\boldsymbol{l/s}}{\boldsymbol{m}}$$

Teniendo en cuenta que tras un bombeo continuo de 232 minutos a un caudal constante de 1,09 l/s, el aljibe AL47 presentó un abatimiento de 0,74 m, se estima que la capacidad específica de este aljibe es 1,47 l/s/m. Este valor indica que por cada 1,47 l/s de agua que se extraiga, la columna de agua dentro de este aljibe se abatirá un metro. Esta capacidad especifica indica que el aljibe AL47 presenta una productividad media, siendo coherente con los demás parámetros hidráulicos estimados, donde se evidenciaron conductividades hidráulicas altas, pero transmisividades medianamente bajas.

Es importante mencionar que la capacidad específica y el radio de influencia estimados anteriormente, corresponden a datos estimados a partir de las condiciones específicas con las que

se desarrolló esta prueba de bombeo. Teniendo en cuenta que estos parámetros consideran el caudal, tiempo de bombeo y abatimiento, se pueden leer como una respuesta del aljibe a determinadas condiciones de bombeo, las cuales dan una idea del comportamiento del aljibe, pero no corresponden estrictamente a características intrínsecas del acuífero captado.

3.2.7.8.1.5 AL86

El aljibe AL86, ubicado en el predio La Palmera, vereda La Primavera, presenta una profundidad total de 2,47 metros y capta depósitos de terraza baja. En este aljibe se realizó una prueba de bombeo a caudal constante, previo a la cual permaneció en reposo durante aproximadamente 15 horas, con el fin de asegurar el correcto desarrollo de la prueba.

La etapa de bombeo en este aljibe inició el 15 de abril del 2025 a las 10:08:00, registrando un nivel estático de 1,20 metros y finalizó a las 14:29:00, registrando un nivel dinámico de 1,59 metros. El máximo abatimiento generado en el nivel freático de este aljibe producto del bombeo realizado es de 0,44 m.

Posteriormente, se apagó la bomba e inició la etapa de recuperación, la cual tuvo una duración de 151 minutos, momento en el que el aljibe registró un nivel freático de 1,18 metros, recuperando el 100% del abatimiento generado durante la etapa de bombeo.

Para el cálculo del caudal de extracción, se hicieron múltiples aforos volumétricos a lo largo de la etapa de bombeo, dando como resultado un caudal promedio de 1,2 l/s.

En la **Tabla 3-39** se presentan las características principales del aljibe AL86 y de la prueba de bombeo realizada en este aljibe.

Tabla 3-39 Características de la prueba de bombeo realizada en el aljibe AL86

ALJIBE AL86 – LA PRIMAVERA		
		
Profundidad (m)		2,47
Unidad hidrogeológica captada		Depósitos de Terraza baja (A3)
Nivel estático (m)		1,20
Tipo de caudal		Constante
Caudal (l/s)		1,2
ETAPA DE BOMBEO	**Fecha y hora de inicio**	15/04/2025 10:08:00

ALJIBE AL86 – LA PRIMAVERA		
	Fecha y hora de finalización	15/04/2025 14:29:00
	Duración (min)	261
Nivel dinámico (m)		1,59
Abatimiento (m)		0,44
ETAPA DE RECUPERACIÓN	Fecha y hora de inicio	15/04/2025 14:29:00
	Hora de finalización	15/04/2025 17:00:00
	Duración (min)	151
Nivel de agua final (m)		1,18
Porcentaje de recuperación (%)		100

Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Resultados prueba de bombeo aljibe AL86**

En la **Figura 3-68** se presentan los abatimientos registrados durante la etapa de bombeo y los abatimientos residuales correspondientes a la etapa de recuperación, ambos registrados en el aljibe AL86 durante el desarrollo de la prueba de bombeo. Los niveles de la columna de agua registrados en el aljibe pueden ser consultados a detalle en **Anexos/5. Anexos Abiótico/5.7 Hidrogeología/5.7.6_Pruebas_de_bombeo/1. Información primaria/5. Aljibe AL86** del presente estudio.

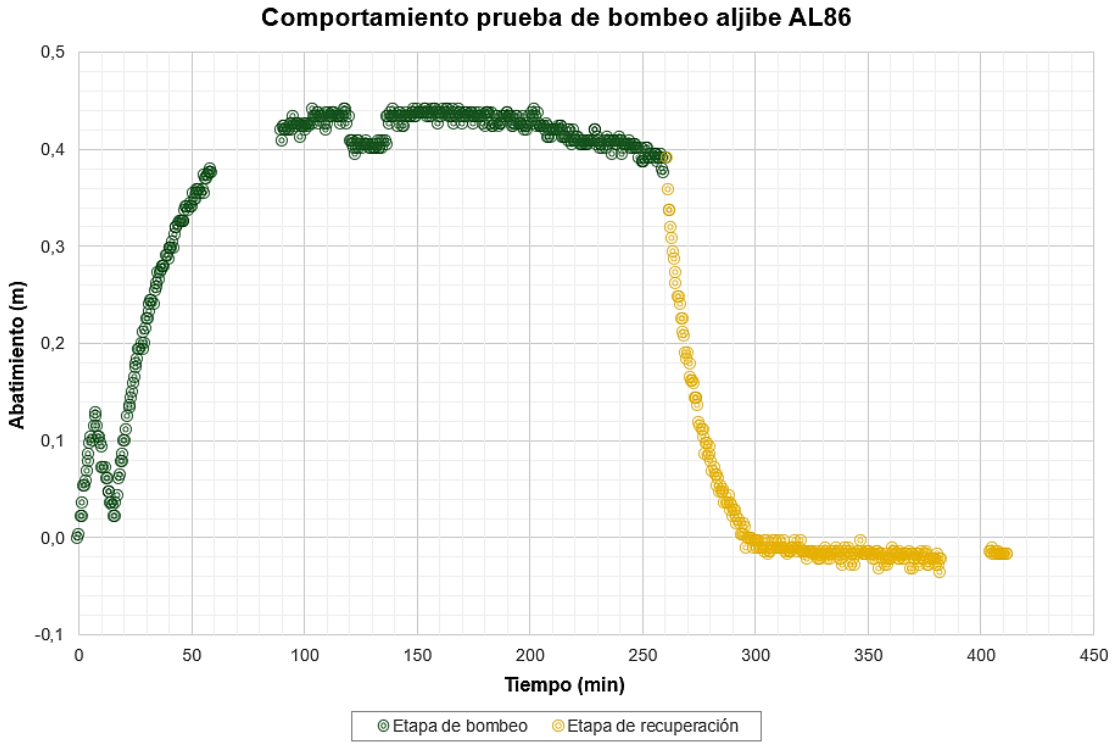


Figura 3-68 Comportamiento del aljibe AL86 durante la prueba de bombeo
Fuente: SGI S.A.S., 2025.

En términos generales, la forma de la curva generada durante el desarrollo de la prueba de bombeo realizada en el aljibe AL86 (**Figura 3-68**) muestra un comportamiento continuo y sin interrupciones, característico de sistemas hidrogeológicos en los que no intervienen procesos de recarga rápida ni límites hidráulicos cercanos.

Transcurridos los primeros 8 minutos de bombeo, se presentó una breve interrupción en el suministro de energía eléctrica al sistema de bombeo utilizado durante la prueba, motivo por el cual entre los 8 y 16 minutos se observa en la curva una breve recuperación del nivel freático. Posterior a este evento, el bombeo continuó de forma habitual, al igual que la tendencia de los niveles freáticos registrados.

A partir de los 170 minutos de bombeo hasta el final de esta etapa, la curva presenta una tendencia sutil a recuperar el abatimiento, a pesar de que el bombeo continuaba. Esta tendencia no alcanza a definirse completamente debido al corto tiempo que fue posible bombear en este aljibe. Dicho comportamiento corresponde a la “falsa recuperación” típica de este tipo de puntos, originada por el vaciado de los efectos de almacenamiento y el aporte directo del acuífero a través de sus paredes.

Finalmente, durante la etapa de recuperación, el abatimiento generado fue recuperado en su totalidad en un corto periodo de tiempo (aproximadamente 40 minutos), lo que refleja una buena capacidad de respuesta por parte del acuífero captado.

✓ Etapa de bombeo aljibe AL86

La etapa de bombeo desarrollada en el aljibe AL86 fue analizada en el software Aquifer Test aplicando el método de Papadopulos & Cooper, seleccionado por considerar el efecto del almacenamiento interno, el cual en el caso de los aljibes no es despreciable debido a su gran diámetro. En la **Figura 3-69** se presenta el comportamiento del aljibe AL86 durante la etapa de bombeo, así como el ajuste lineal obtenido a partir de la aplicación de dicho método.

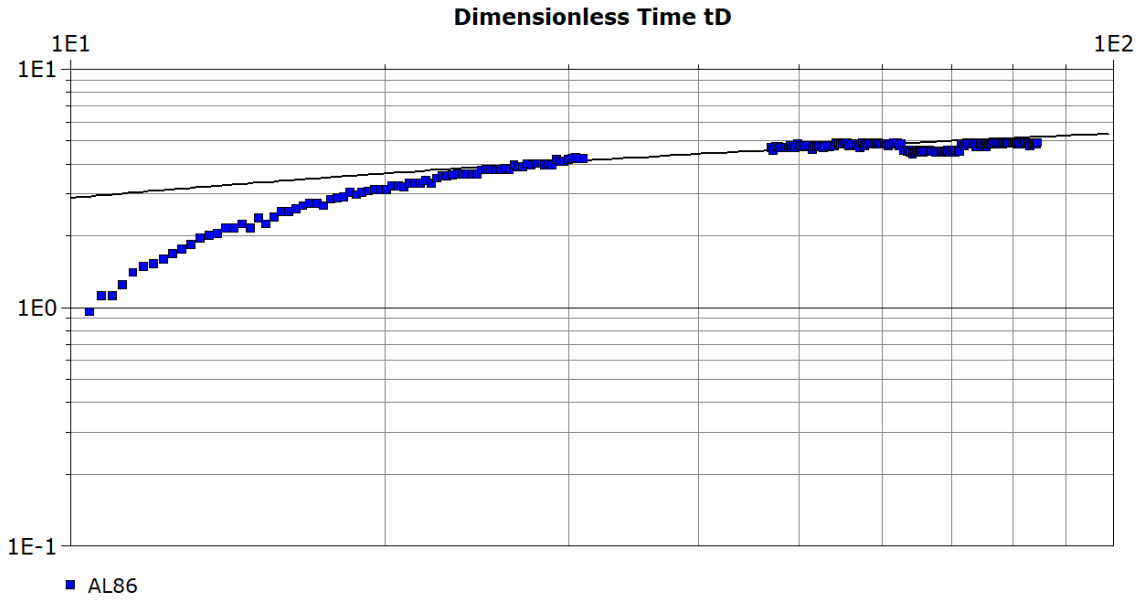


Figura 3-69 Comportamiento del aljibe AL86 durante la etapa de bombeo
Fuente: SGI S.A.S., 2025.

En la **Tabla 3-40** se presentan los parámetros hidráulicos estimados a partir de la etapa de bombeo del aljibe AL86. Los resultados obtenidos mediante el software Aquifer Test pueden ser consultados a detalle en **Anexos/5. Anexos Abiótico/5.7 Hidrogeología/5.7.6_Pruebas_de_ bombeo/1. Información primaria/5. Aljibe AL86**.

Tabla 3-40 Parámetros hidráulicos estimados a partir de la etapa de bombeo del aljibe AL86

Aljibe	Transmisividad (m^2/día)	Conductividad hidráulica (m/día)	Coeficiente de almacenamiento (S)	Tipo de acuífero
AL86	$9{,}2 \times 10^{1}$	$6{,}57 \times 10^{1}$	$3{,}04 \times 10^{-1}$	Libre

Fuente: SGI S.A.S., 2025

Los parámetros hidráulicos estimados a partir del ajuste lineal de la etapa de bombeo indican que el acuífero captado por el aljibe AL86 presenta una transmisividad de 92 m²/día y una conductividad hidráulica de 65,7 m/día. Estos valores indican que el acuífero captado por este aljibe presenta una permeabilidad alta, asociada a los sedimentos de granulometrías gruesas que este aljibe capta, pero su capacidad para transmitir agua es baja a moderada, por lo que se considera que el potencial de aprovechamiento de este acuífero es moderado.

Respecto al coeficiente de almacenamiento, se estimó un valor de $3{,}04 \times 10^{-1}$, el cual es característico de acuíferos libres.

✓ Etapa de recuperación aljibe AL86

Los abatimientos residuales registrados durante la etapa de recuperación del aljibe AL86 se analizaron en el software AquiferTest mediante el método Theis Recovery. En la **Figura 3-70** se presenta la curva generada por el aljibe AL86 durante la etapa de recuperación junto con el ajuste lineal realizado por el software y en la

Tabla 3-41 los parámetros hidráulicos estimados a partir de dicho análisis.

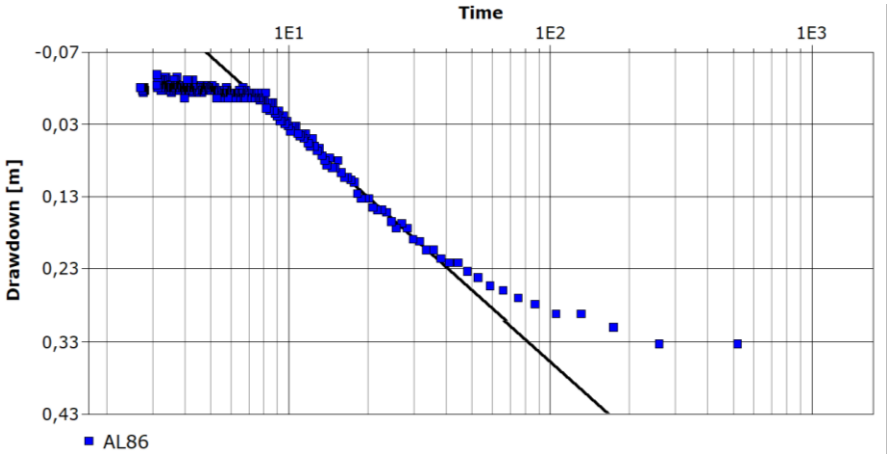


Figura 3-70 Comportamiento del aljibe AL86 durante la etapa de recuperación
Fuente: SGI S.A.S., 2025.

Tabla 3-41 Parámetros hidráulicos estimados a partir de la etapa de recuperación del aljibe AL86

Aljibe	Transmisividad (m^2/día)	Conductividad hidráulica (m/día)
AL86	5,85 x 10^1	4,18 x 10^1

Fuente: SGI S.A.S., 2025

Los parámetros hidráulicos estimados durante la etapa de recuperación suelen ser más confiables que los obtenidos a partir de la etapa de bombeo, ya que en esta fase no se presentan pérdidas asociadas al sistema de bombeo.

Teniendo en cuenta lo anterior, a partir de la etapa de recuperación se estimó, para el acuífero captado por el aljibe AL86, correspondiente a los depósitos de terraza baja, una transmisividad de 58,5 m²/día, valor considerado bajo, que indica que estos depósitos presentan una capacidad limitada para transmitir agua. Aunque este resultado es ligeramente inferior al obtenido durante la etapa de bombeo, ambos valores se encuentran dentro del mismo rango, lo que evidencia consistencia entre las dos fases y sugiere que las pérdidas asociadas al bombeo no son significativas.

Por su parte, la conductividad hidráulica estimada para esta etapa fue de 41,8 m/día, lo que indica una velocidad de flujo alta, asociada a materiales de granulometría gruesa como gravas arenosas, gravas y arenas gravosas, que conforman esta unidad hidrogeológica. Esta alta conductividad hidráulica sugiere la presencia de un medio acuífero de buena permeabilidad, constituido por materiales granulares gruesos (arenas medias a gruesas y/o gravas), lo cual concuerda con la litología observada en las paredes del aljibe, que favorece una rápida recuperación del nivel piezométrico.

- **Radio de influencia prueba de bombeo**

Para calcular el radio de influencia generado alrededor del aljibe AL86 producto de la prueba de bombeo realizada, se usó el valor de la transmisividad estimado a partir de la etapa de recuperación, ya que durante esta etapa no se presentan perdidas asociadas al sistema de bombeo, por lo que los parámetros hidráulicos estimados son más acertados.

Al aplicar la fórmula de Jacob, se obtiene:

$$R = 1.5 \times \sqrt{\frac{58{,}5 \times 0{,}181}{3{,}40 \text{ x } 10^{-1}}} = \mathbf{8{,}38\ m}$$

La prueba de bombeo realizada en el aljibe AL86, la cual tuvo una duración de 261 minutos (0,181 días), generó un radio de influencia alrededor de este aljibe de 8,38 metros. En la Figura 3-71 se presenta el radio de influencia generado durante la prueba de bombeo realizada en el aljibe AL86.

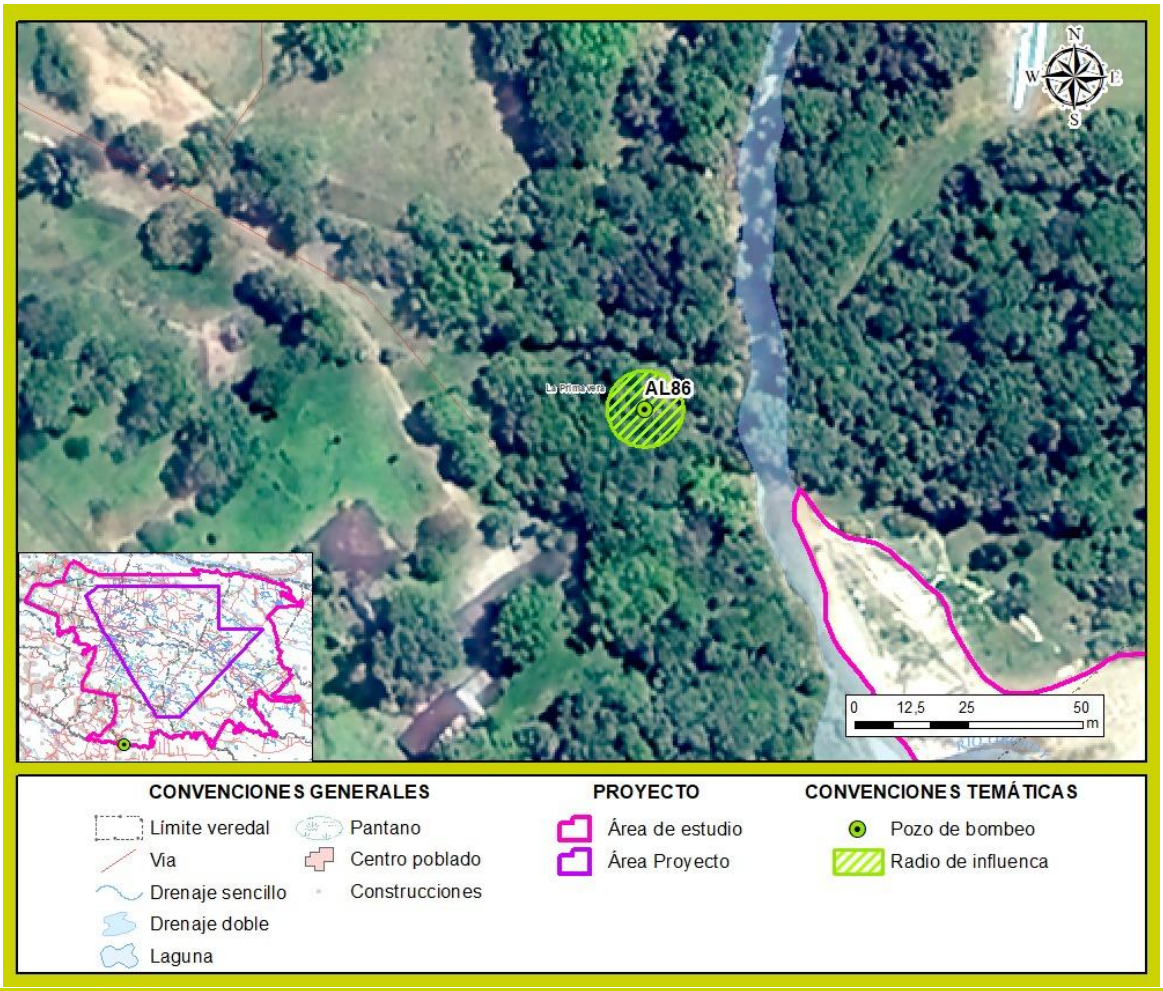


Figura 3-71 Radio de influencia generado en la prueba de bombeo del aljibe AL86
Fuente: SGI S.A.S., 2025.

- **Capacidad especifica**

Al reemplazar en la fórmula respectiva los datos de la prueba de bombeo realizada en el aljibe AL86, se obtiene la capacidad específica de este aljibe:

$$Ce = \frac{1{,}2}{0{,}44} = 2{,}73 \ \frac{l/s}{m}$$

La capacidad específica de este aljibe es de 2,73 l/s/m, lo cual indica que por cada 2,73 l/s de agua que se extraiga, la columna de agua dentro del aljibe se abatirá 1 metro. Esta capacidad especifica indica que el aljibe AL86 presenta una productividad alta, siendo coherente con los demás parámetros hidráulicos estimados, donde se evidenciaron conductividades hidráulicas altas, pero transmisividades ligeramente bajas, lo cual indica que el espesor saturado de la unidad hidrogeológica constituida por los depósitos de terraza baja es limitado, por lo que aunque la

conductividad hidráulica sea alta, es decir, el flujo del agua subterránea, la capacidad para transmitir agua no lo es.

Es importante mencionar que la capacidad específica y el radio de influencia estimados anteriormente, corresponden a datos calculados a partir de las condiciones específicas con las que se desarrolló la prueba de bombeo. Teniendo en cuenta que estos parámetros consideran el caudal, tiempo de bombeo y el abatimiento, se pueden leer como una respuesta del aljibe a determinadas condiciones de bombeo, las cuales dan una idea del comportamiento del aljibe, pero no corresponden estrictamente a características intrínsecas del nivel acuífero captado.

3.2.7.8.2 Información secundaria

Para la caracterización de los niveles acuíferos del Miembro Superior de la Formación Guayabo, unidad objetivo de captación de agua subterránea para el presente proyecto, se recurrió a información secundaria, dado que, si bien en la información primaria se realizaron pruebas de bombeo en pozos profundos cuyas profundidades oscilan entre 70 y 120 metros (P01 y P10), no se cuenta con la ubicación exacta de los filtros en dichos pozos y se presume que estos interceptan tanto niveles acuíferos asociados a los depósitos de abanico aluvial como al Miembro Superior de la Formación Guayabo. Por esta razón, no es posible caracterizar de manera exclusiva esta unidad a partir de los mencionados pozos, ya que estos captan más de una unidad hidrogeológica.

La relevancia de caracterizar el Miembro Superior de la Formación Guayabo, aun cuando no aflora en el área de estudio, radica en que constituye la unidad hidrogeológica objetivo de captación para los cinco (5) pozos profundos solicitados en la concesión de aguas subterráneas del presente proyecto. En este sentido, su adecuada caracterización resulta fundamental para garantizar un aprovechamiento sostenible del recurso hídrico subterráneo, evitando afectaciones que puedan comprometer la integridad y funcionalidad del sistema acuífero.

La información secundaria considerada corresponde a nueve (9) pruebas de bombeo ejecutadas en cuatro (4) pozos profundos ubicados en zonas aledañas al área de influencia del Área de Desarrollo Bucare. Estos pozos fueron seleccionados con base en criterios de proximidad al área de estudio, correspondencia con los niveles acuíferos objetivo, disponibilidad de datos en crudo y duración suficiente de las pruebas para permitir una evaluación confiable de los parámetros hidráulicos.

En la **Tabla 3-42** se presentan las coordenadas y características de los pozos profundos donde se ejecutaron las pruebas de bombeo empleadas como fuente de información secundaria para caracterizar el Miembro Superior de la Formación Guayabo, mientras que en la Figura 3-72 se presenta la ubicación de estos pozos en relación con el área de influencia y el área de intervención del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare.

Tabla 3-42 Características de los pozos profundos – Pruebas de bombeo información secundaria

POZO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		PROFUNDIDAD (m)	ACUÍFERO CAPTADO
	ESTE (m)	NORTE (m)		
Subestación Chichimene	4923823	1992642	304	Miembro Superior de la Formación Guayabo
Subestación Castilla I	4926166,31	1982006,27	124	Miembro Superior de la Formación Guayabo
Subestación Castilla III	4925292	1984212	100	Miembro Superior de la Formación Guayabo
Subestación Acacias	4929763,67	1986816,01	122	Miembro Superior de la Formación Guayabo

Fuente: SGI S.A.S., 2025

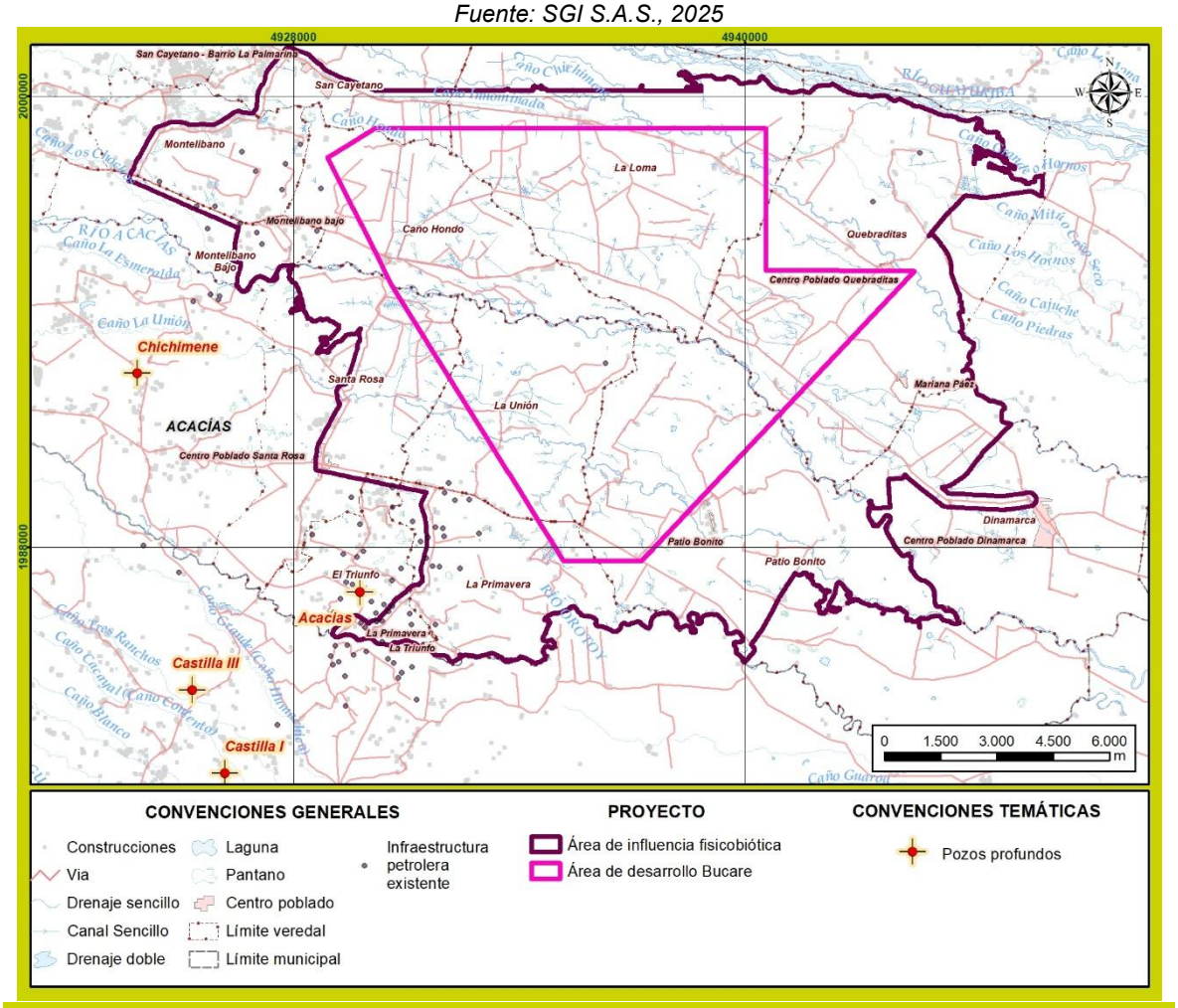


Figura 3-72 Ubicación pruebas de bombeo - Información secundaria
Fuente: SGI S.A.S., 2025

En los cuatro (4) pozos mencionados anteriormente se han realizado, a lo largo de los últimos años, pruebas de bombeo que han servido como base para la caracterización hidráulica del acuífero captado por estos pozos. En la **Tabla 3-43** se presentan las principales características de dichas pruebas, las cuales fueron empleadas para la determinación de los parámetros hidráulicos de los niveles acuíferos del Miembro Superior de la Formación Guayabo, unidad que será objeto de captación por los pozos profundos solicitados en el marco de la concesión de aguas subterráneas del presente proyecto.

Tabla 3-43 Características de las pruebas de bombeo en pozos profundos - Información secundaria

POZO	FECHA DE EJECUCIÓN	TIPO DE PRUEBA	NIVEL ESTÁTICO (m)	DURACIÓN ETAPA DE BOMBEO (min)	CAUDAL (l/s)	DURACIÓN ETAPA DE RECUP (min)	% DE RECUP
Subestación Castilla I	22/02/2020	Caudal constante	2,13	1440	5,75	1440	91,48
	3/08/2022	Caudal constante	1,1	240	6,22	80	98,25

POZO	FECHA DE EJECUCIÓN	TIPO DE PRUEBA	NIVEL ESTÁTICO (m)	DURACIÓN ETAPA DE BOMBEO (min)	CAUDAL (l/s)	DURACIÓN ETAPA DE RECUP (min)	% DE RECUP
Subestación Acacias	4/08/2022	Caudal constante	-0,37*	180	4,074	16	100,00
Subestación Castilla III	5/08/2022	Caudal constante	3,43	169,5	7,801	124,5	99,61
Subestación Chichimene	20/06/2021	Caudal constante	11,36	1440	2,8	1440	95,32
	23/12/2022	Caudal constante	10,2	1440	4,71	370	98,13
	28/12/2023	Caudal constante	10,77	420,5	10	800	99,04
	2/12/2024	Caudal constante	10,8	368	10	998	92,13
	21/06/2025	Caudal constante	12,69	493,5	10,4	331	97,22

** Pozo saltante, el nivel freático está por encima de la superficie.*

Fuente: SGI S.A.S., 2025

A partir de estas nueve (9) pruebas de bombeo realizadas en los cuatro (4) pozos mencionados, se determinaron los parámetros hidráulicos característicos de los niveles acuíferos del Miembro Superior de la Formación Guayabo, entre los cuales se incluyen la transmisividad (T), la conductividad hidráulica (K), el coeficiente de almacenamiento (S) y la capacidad específica (Ce). Los valores estimados para estos parámetros hidráulicos se presentan en la **Tabla 3-44**.

Tabla 3-44 Parámetros hidráulicos del Miembro Superior de la Formación Guayabo - Información secundaria

POZO	FECHA DE EJECUCIÓN	CAUDAL (l/s)	TRANSMISIVIDAD (m^2/día)			CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA (m/día)			COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO	CAPACIDAD ESPECIFICA (l/s/m)
			ETAPA DE BOMBEO	ETAPA DE RECUPERACIÓN	PROMEDIO	ETAPA DE BOMBEO	ETAPA DE RECUPERACION	PROMEDIO		
Subestación Castilla I	22/02/2020	5,75	37,9	57,2	47,55	0,972	1,47	1,221	$2,79 \times 10^{-2}$	0,66
	3/08/2022	6,22	89,9	76	82,95	2,31	1,95	2,13	$5,58 \times 10^{-4}$	1,09
Subestación Acacias	4/08/2022	4,074	220	107	163,5	6,29	3,05	4,67	$1,49 \times 10^{-2}$	4,33
Subestación Castilla III	5/08/2022	7,801	66	58,8	62,4	2,44	2,18	2,31	1×10^{-4}	0,77
Subestación Chichimene	20/06/2021	2,8	43,9	81,9	62,9	0,175	0,326	0,251	$5,06 \times 10^{-2}$	1,007
	23/12/2022	4,71	82,7	75	78,85	1,38	1,25	1,315	$3,24 \times 10^{-2}$	0,88
	28/12/2023	10	28,5	69	48,75	0,115	0,278	0,1965	$8,45 \times 10^{-5}$	0,96
	2/12/2024	10	85,2	81,7	83,45	0,352	0,338	0,345	$2,28 \times 10^{-3}$	0,90
	21/06/2025	10,4	100	70,2	85,1	0,409	0,287	0,348	$6,52 \times 10^{-4}$	0,995
PROMEDIO			**83,79**	**75,20**	**79,49**	**1,60**	**1,24**	**1,42**	**$1,4 \times 10^{-2}$**	**1,29**

Fuente: SGI S.A.S., 2025

Es importante mencionar que se consideran más aptos los parámetros hidráulicos, transmisividad y conductividad hidráulica, estimados durante la etapa de recuperación, dado que en esta fase no se presentan interferencias ni pérdidas asociadas al sistema de bombeo, como sí puede ocurrir durante la etapa de bombeo. Por esta razón, los valores obtenidos en la recuperación se consideran más verídicos y cercanos a las condiciones reales de las unidades hidrogeológicas.

Teniendo en cuenta lo anterior y tal como se presenta en la **Tabla 3-44**, la transmisividad de los niveles acuíferos del Miembro Superior de la Formación Guayabo, estimada a partir de las etapas de recuperación de las nueve (9) pruebas de bombeo analizadas, varía entre 57,2 y 107 m²/día, con un valor promedio de 75,2 m²/día. Estos valores se clasifican como bajos a medios, lo que sugiere que los niveles acuíferos de esta unidad presentan una capacidad moderada para transmitir agua.

Por su parte, la conductividad hidráulica estimada oscila entre 0,278 m/día (valor bajo) y 3,05 m/día (valor medio a alto), siendo este último calculado en el pozo Acacías, el cual es saltante y constituye el punto más próximo al área de estudio. El promedio general de conductividad hidráulica es de 1,24 m/día, valor que, según la clasificación de M. Villanueva y A. Iglesias (1984), corresponde a un rango medio a alto. Estos resultados sugieren que los materiales del Miembro Superior de la Formación Guayabo presentan características semipermeables, asociadas a arenas finas a medias con intercalaciones de limos y arcillas, lo que refleja la heterogeneidad textural y litológica de esta unidad.

Por otra parte, el coeficiente de almacenamiento estimado a partir de las pruebas de bombeo varía entre $8{,}45 \times 10^{-5}$ y $5{,}06 \times 10^{-2}$, con un valor promedio de $1{,}4 \times 10^{-2}$, lo que indica que los niveles acuíferos del Miembro Superior de la Formación Guayabo presentan un carácter semiconfinado, asociado a la presencia de los depósitos cuaternarios que suprayacen esta unidad acuífera en el área de estudio. Si bien dichos depósitos presentan granulometrías gruesas hacia el tope, es decir, en los niveles más someros, en las cinco (5) tomografías eléctricas realizadas se observa un mayor contenido de sedimentos finos hacia la base. En estas tomografías, las resistividades de los depósitos disminuyen progresivamente con la profundidad, lo que refleja una mayor proporción de materiales finos, responsables de otorgar cierto grado de confinamiento a la unidad infrayacente, correspondiente al Miembro Superior de la Formación Guayabo.

Finalmente, la capacidad específica estimada para estos pozos profundos oscila entre 0,66 l/s/m y 4,33 l/s/m, siendo este último valor particularmente alto en comparación con los demás pozos y pruebas analizadas, cuyo valor máximo alcanza 1,09 l/s/m. Estos valores indican que la productividad de la mayoría de los pozos es baja, a excepción del pozo Acacías, que presenta una productividad alta. No obstante, la capacidad específica es una propiedad particular de cada captación y, aunque permite evidenciar la productividad del pozo, no constituye un parámetro hidráulico intrínseco del acuífero. Sin embargo, su análisis conjunto con la transmisividad y la conductividad hidráulica permite obtener una visión general del comportamiento hidráulico del sistema acuífero.

En conjunto, los resultados obtenidos a partir de las nueve (9) pruebas de bombeo analizadas permiten concluir que el Miembro Superior de la Formación Guayabo constituye un acuífero multicapa, constituido por materiales arenosos heterogéneos con intercalaciones de sedimentos finos. Esta unidad, que no aflora en el área de estudio, presenta un carácter semiconfinado, con valores de transmisividad y conductividad hidráulica considerados bajos a medios, lo que indica una capacidad moderada a baja para transmitir y almacenar agua subterránea, generando que los pozos que capten esta unidad hidrogeológica presenten productividades generalmente bajas a medias.

3.2.7.8.3 Análisis de resultados caracterización hidráulica de los acuíferos

A partir de la integración de las cinco (5) pruebas de bombeo que hacen parte de la información primaria levantada en el marco del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare,

se definieron los parámetros hidráulicos de los niveles acuíferos someros asociados a los depósitos de abanico aluvial (Q1ca) y los depósitos de terraza baja (Q2t3), tales como transmisividad, conductividad hidráulica, coeficiente de almacenamiento, capacidad específica y radio de influencia. Estos parámetros son fundamentales para la caracterización hidráulica de estos niveles acuíferos, los cuales constituyen la principal fuente de abastecimiento de agua subterránea por parte de la comunidad. En la Tabla 3-45 se presenta el resumen de los parámetros hidráulicos estimados a partir de las cinco (5) pruebas de bombeo realizadas en pozos y aljibes comunitarios ubicados dentro del área de influencia del presente proyecto.

Tabla 3-45 Parámetros hidráulicos estimados para los niveles acuíferos someros

ID INVENTARIO	PROFUNDIDAD (m)	CAUDAL DE EXTRACCIÓN (l/s)	ABATIMIENTO (m)	TRASMISIVIDAD (m^2/día)		CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA (m/día)		COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO	CAPACIDAD ESPECIFICA (l/s/m)	RADIO DE INFLUENCIA (m)
				ETAPA DE BOMBEO	ETAPA DE RECUPERACIÓN	ETAPA DE BOMBEO	ETAPA DE RECUPERACIÓN			
MEZCLA ENTRE DEPÓSITOS DE ABANICO ALUVIAL Y MIEMBRO SUPERIOR DE LA FORMACIÓN GUAYABO										
P01	70	1,5	3,35	23	26,4	0,767	0,88	$3,60 \times 10^{-2}$	0,45	19,06
P10	100 - 120	1,25	14,81	38,3	15,5	0,576	0,233	$1,00 \times 10^{-7}$	0,08	14361,41
PROMEDIO				**30,65**	**20,95**	**0,6715**	**0,5565**	**$1,80 \times 10^{-2}$**	**0,265**	**7190,235**
DEPÓSITOS DE ABANICO ALUVIAL										
P04	32,69	1,55	0,39	445	392	49,4	43,5	$4,67 \times 10^{-2}$	3,97	128,55
AL47	4,39	1,09	0,63	45	84,3	18	33,7	$1,00 \times 10^{-2}$	1,47	55,28
PROMEDIO				**245**	**238,15**	**33,7**	**38,6**	**$2,8 \times 10^{-2}$**	**2,72**	**91,915**
DEPÓSITOS DE TERRAZA BAJA										
AL86	2,47	1,2	0,44	92	58,5	65,7	41,8	$3,4 \times 10^{-1}$	2,73	8,38

Fuente: SGI S.A.S., 2025

Es importante mencionar que los parámetros hidráulicos, especialmente la transmisividad y la conductividad hidráulica, estimados durante la etapa de recuperación se consideran más confiables, dado que en esta fase no se presentan interferencias ni pérdidas de carga asociadas al sistema de bombeo, como sí puede ocurrir durante la fase de bombeo. Por esta razón, al igual que en el análisis de las pruebas de bombeo que conforman la información secundaria, los valores obtenidos en la recuperación se asumen como más representativos y cercanos a las condiciones reales de las unidades hidrogeológicas.

Para los depósitos del abanico aluvial, la caracterización hidráulica se realizó con base en las pruebas de bombeo realizadas en el pozo P04 y el aljibe AL47, los cuales captan exclusivamente esta unidad hidrogeológica (**Tabla 3-45**). De acuerdo con la **Tabla 3-9,** esta unidad presenta una heterogeneidad litológica, condición que se refleja en la variabilidad de los parámetros hidráulicos estimados, algunos de los cuales muestran rangos amplios entre sí.

La transmisividad estimada para esta unidad oscila entre 84,3 m²/día en el aljibe AL47, valor considerado bajo, y 392 m²/día en el pozo P04, valor medianamente alto. Por su parte, la conductividad hidráulica varía entre 33,7 y 43,5 m/d, valores considerados altos según M. Villanueva y A. Iglesias (1984), lo que es consistente con materiales altamente permeables, tales como las gravas, gravas arenosas y arenas gravosas, semiconsolidadas a no consolidadas, que caracterizan esta unidad. Estos valores de conductividad son relativamente similares entre sí pese a las diferencias en profundidad de captación entre ambos puntos. Sin embargo, la transmisividad si presenta una variación considerable. Esto indica que, aunque los materiales del abanico aluvial son permeables, el espesor saturado de esta unidad, asociado a la consolidación y la composición litológica, varía espacialmente, lo cual influye directamente en los valores de transmisividad estimados.

Adicionalmente, la capacidad especifica estimada oscila entre 3,97 l/s/m (pozo P04) y 1,47 l/s/m (aljibe AL47), con un promedio de 2,72 l/s/m, lo que señala una productividad media a alta para esta unidad hidrogeológica. Las diferencias observadas en este parámetro pueden estar asociadas a características constructivas o intrínsecas de cada punto hidrogeológico.

Finalmente, los coeficientes de almacenamiento estimados para estos puntos hidrogeológicos son muy similares entre sí, con valores entre $4{,}67 \times 10^{-2}$ y 1×10^{-2}, con un valor promedio de $2{,}8 \times 10^{-2}$, lo cual es característico de un acuífero libre.

Por otro lado, los depósitos de terraza baja fueron caracterizados a partir de la prueba de bombeo realizada en el aljibe AL86. Para esta unidad hidrogeológica se estimó una transmisividad de 58,5 m²/día, valor considerado bajo, y una conductividad hidráulica de 41,8 m/día, clasificada como alta, lo cual es coherente con los materiales permeables que conforman esta unidad. La capacidad específica obtenida fue de 2,73 l/s/m, indicando una productividad alta del aljibe. Finalmente, el coeficiente de almacenamiento estimado fue de $3{,}4 \times 10^{-1}$, valor característico de acuíferos libres.

A partir de lo anterior, se puede afirmar que los depósitos de terraza baja presentan una capacidad limitada para transmitir agua, evidenciada en la baja transmisividad, pero permiten un flujo subterráneo eficiente dentro del medio poroso, debido a su alta permeabilidad. Esto sugiere que, aunque la permeabilidad de sus sedimentos favorece la circulación del agua en el acuífero, el espesor saturado de la unidad es reducido, lo que restringe su potencial de aprovechamiento. En consecuencia, son pocos los puntos hidrogeológicos dentro del área de influencia que captan esta unidad acuífera.

Finalmente, los pozos P01 y P10 corresponden a pozos profundos, con profundidades que oscilan entre 70 y 100–120 metros. Si bien no se cuenta con la ubicación exacta de los filtros, por su profundidad y por los parámetros hidráulicos estimados se infiere que estos pozos podrían estar captando niveles acuíferos ligeramente más profundos que los demás puntos hidrogeológicos en los que se realizaron pruebas de bombeo, los cuales podrían incluir niveles acuíferos profundos de los depósitos de abanico aluvial y probablemente parte del Miembro Superior de la Formación Guayabo.

En términos generales, las transmisividades estimadas para estos pozos son muy similares entre sí, con un promedio de 20,95 m²/día, valor considerado bajo. La conductividad hidráulica presenta un promedio de 0,556 m/día, también clasificada como baja, lo cual es indicativo de materiales de baja permeabilidad. El coeficiente de almacenamiento estimado fue de $1,8 \times 10^{-2}$, ligeramente inferior al obtenido en los puntos hidrogeológicos que captan exclusivamente los depósitos del abanico aluvial. La capacidad específica promedio fue de 0,265 l/s/m, lo que evidencia una productividad baja.

En conjunto, los parámetros hidráulicos estimados a partir de estas 2 pruebas de bombeo son marcadamente menores que los obtenidos para los depósitos de abanico aluvial y para los depósitos de terraza baja, lo que sugiere que los niveles acuíferos interceptados por estos pozos presentan una productividad significativamente inferior.

3.2.7.9 Estimación de la recarga potencial

El cálculo de la recarga potencial de acuíferos se realizó mediante un balance hídrico de suelos, según la propuesta de Schosinsky (2006) y Schosinsky y Losilla (2000), en la que intervienen las siguientes variables: precipitación mensual, intercepción de lluvia por follaje, capacidad de infiltración del suelo, capacidad de campo, punto de marchitez, cobertura vegetal, profundidad de las raíces, evapotranspiración real determinada por coeficientes de humedad, uso del suelo y pendiente del terreno.

Con base en la información climatológica puntual de las estaciones del IDEAM agregada a nivel mensual multianual en cercanías del área de influencia, para la selección de estas se aplicó la metodología de polígonos de Thiessen, identificando las estaciones con mayor representatividad espacial y continuidad de datos. Para este estudio se tomaron como base las estaciones Acacías [35010020], Bolsa-Lar [35025060], Caño-Hondo [35010040], Guamal [35010070], Pompeya [35020060], Ojo-de-Agua [35030050], Unillanos [35035070] y Yaguarito [35011050] para el análisis de precipitación.

Para el análisis de temperatura (mínima, media y máxima) se emplearon las estaciones Aeropuerto Vanguardia [35035020], Bolsa-Lar [35025060], Llano-Largo [35025050] y Unillanos [35035070]. A partir de los valores de evapotranspiración potencial (ETP) (ver numeral 3.2.4 Hidrología del presente estudio) y de la precipitación media mensual calculada, se evaluó y determinó la evapotranspiración real mediante la metodología de Thornthwaite, insumo fundamental para el balance climatológico del área de estudio.

Con el balance hídrico del suelo, en una unidad de análisis geológicamente homogénea, se puede estimar la recarga potencial por infiltración de la precipitación, sin embargo, es necesario tener en cuenta que puede darse también recarga lateral con acuíferos o ríos circundantes o por el contrario descarga del acuífero (no solo de los pozos) como flujo base hacia los ríos.

3.2.7.9.1 Cálculo de la recarga potencial

Para evaluar la precipitación que penetra al suelo en una zona, se determina la precipitación media mensual de la zona, los diferentes valores de infiltración básica de los suelos, la cobertura vegetal del suelo y su pendiente. Determinados los valores anteriormente mencionados, se puede evaluar la infiltración mediante la ecuación presentada por Schosinsky & Losilla, (2000).

Conocida la infiltración, se puede realizar un balance de suelos para estimar el agua que queda libre para recargar el acuífero que se encuentra debajo del suelo analizado. Para poder realizar el balance, se determinan: la infiltración de lluvia que penetra al suelo, la cobertura vegetal del suelo, la profundidad de las raíces extractoras del agua, la capacidad de campo, el punto de marchitez del suelo, la evapotranspiración potencial y la humedad del suelo al inicio del análisis. El estudio del balance de suelos se basa en el principio de la conservación de la materia. Es decir, el agua que entra a un suelo es igual al agua que se almacena en el suelo, más el agua que sale de él. Las

entradas son debidas a la infiltración del agua, y las salidas se deben a la evapotranspiración de las plantas, más la descarga a los acuíferos (Schosinsky, 2006).

Dicho lo anterior, a continuación, se presenta el cálculo de cada una de las variables requeridas para la estimación de la recarga potencial del acuífero.

3.2.7.9.1.1 Fracción de lluvia interceptada por el follaje

Lluvias menores de 5 mm mensuales, no generan infiltración en el suelo ya que se considera que, en un mes con lluvia, al menos 5 mm son retenidos por el follaje sin llegar al suelo (Schosinsky, 2006) la **Figura 3-73** presenta la retención mínima 5 mm y la precipitación media mensual del área de influencia del área de desarrollo Bucare. Además, se considera que la retención de la lluvia en follajes es del 12% (Butler, 1957) de la precipitación mensual. Sin embargo, en bosques muy densos, la retención de la lluvia se considera en un 20% (Linsley et al., 1958). Por lo anterior, se define el coeficiente de follaje (Cfo) como el porcentaje de la lluvia mensual que es retenida en follaje, expresado en decimales.

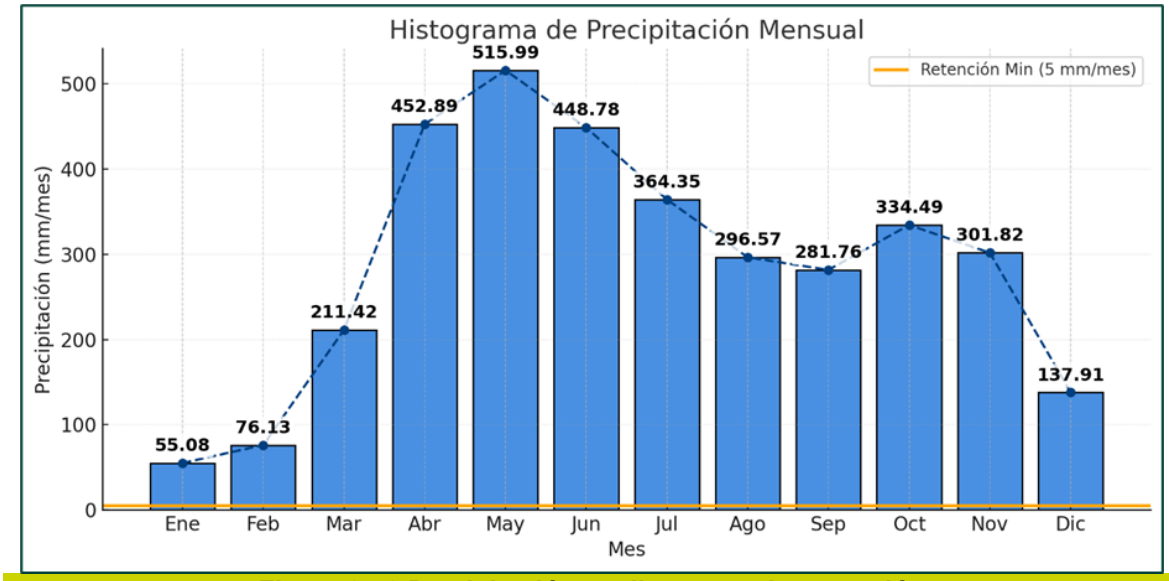


Figura 3-73 Precipitación media mensual y retención
Fuente: SGI S.A.S., 2025

A partir de los presentado en la **Figura 3-73** se observan valores superiores a los 5 mm mencionados por Schosinsky (2006) como umbral de referencia, incluyendo tanto los meses de mayor como de menor precipitación. Esto indica que, bajo las condiciones evaluadas, ningún mes se excluye del presente balance hídrico, lo que sugiere una contribución potencial durante todo el año al proceso de recarga de los acuíferos.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, para el cálculo la retención mensual de lluvia por follaje es expresado en la siguiente ecuación:

Si P es menor o igual a 5 mm/mes, Ret =P

Si el producto (P)(Cfo) es mayor o igual de 5 mm/mes, Ret=(P)(Cfo)

Si P es mayor de 5 mm/mes y el producto (P) (Cfo) menor de 5, Ret= 5.

Donde:

P=Precipitación mensual del mes [mm/mes]

Ret=Retención de lluvia en el follaje [mm/mes]

Cfo=Coeficiente de retención del follaje

Para bosques muy densos Cfo= 0,20, otros Cfo=0,12 [Adimensional]

Con el fin de asignar el coeficiente de retención del follaje (Cfo) al área de estudio, se tomó como base el mapa de coberturas vegetales presentado en la Figura 3-74. A las áreas clasificadas como bosques (bosque de galería y/o ripario, bosque denso alto de tierra firme, bosque denso alto inundable y palmares) se les asignó un Cfo de 0.20, considerando su mayor densidad foliar y capacidad de interceptación. Para las coberturas correspondientes a cultivos agrícolas, vegetación secundaria, pastos y coberturas agroforestales, se asignó un Cfo de 0.12, valor que representa una capacidad de retención intermedia del follaje. Finalmente, a las coberturas urbanizadas, cuerpos de agua superficiales (naturales y artificiales), zonas industriales, extractivas, vías, tierras desnudas, áreas degradadas y demás superficies sin vegetación se les asignó un Cfo de 0, al no aportar retención significativa de agua sobre el follaje. Las coberturas del área de influencia se pueden ver en la **Figura 3-74**.

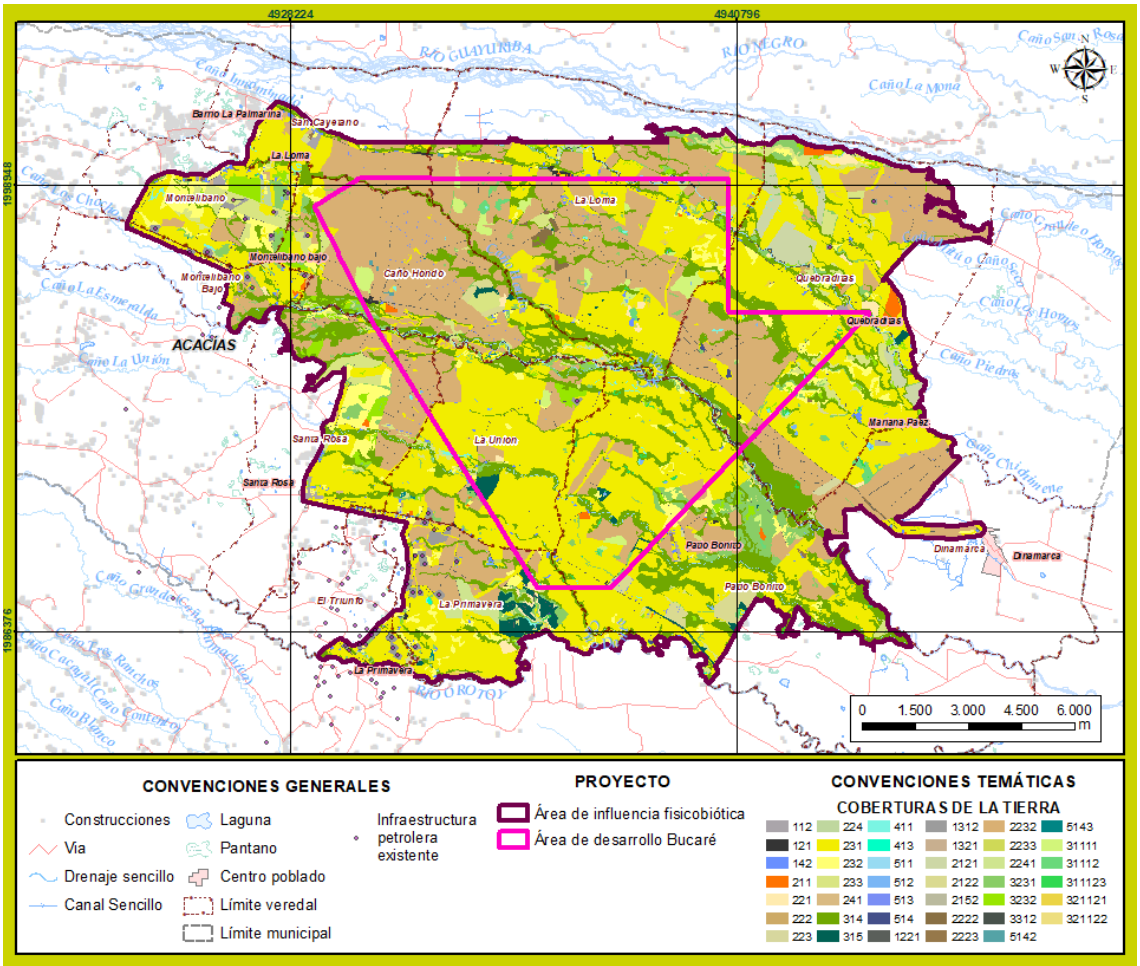


Figura 3-74 Mapa de coberturas
Fuente: SGI S.A.S., 2025

Dentro del área de estudio la cobertura que predomina son los pastos limpios, palma de aceite y el bosque de galería y/o ripario. A continuación, en la **Tabla 3-46** se presentan los porcentajes de área de cada cobertura.

Tabla 3-46 Coberturas del área de estudio

Cobertura	Área (ha)	Porcentaje (%)
Pastos limpios	9575.61	38.295
Palma de aceite	6948.71	27.789
Bosque de galería y/o ripario	3419.73	13.676
Pastos arbolados	873.03	3.491
Vegetación secundaria alta	776.58	3.106
Pastos enmalezados	771.75	3.086
Vegetación secundaria baja	362.68	1.450
Arroz	273.74	1.095
Plantación forestal	215.27	0.861
Bosque denso alto de tierra firme	171.76	0.687
Ríos	167.50	0.670
Maíz	153.36	0.613
Explotación de hidrocarburos	152.93	0.612
Red vial y territorios asociados	145.47	0.582
Cultivos permanentes herbáceos	103.99	0.416
Instalaciones recreativas	98.11	0.392
Otros cultivos transitorios	85.42	0.342
Arenales	83.90	0.336
Pastos y árboles plantados	80.00	0.320
Herbazal denso inundable no arbolado	74.58	0.298
Bosque denso alto inundable	57.34	0.229
Tejido urbano discontinuo	57.08	0.228
Zonas pantanosas	46.20	0.185
Herbazal denso inundable arbolado	35.39	0.142
Palmares	34.97	0.140
Cultivos permanentes arbóreos	34.84	0.139
Café	31.16	0.125
Zonas industriales o comerciales	26.94	0.108
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	22.88	0.091
Canales	20.98	0.084
Cacao	16.78	0.067
Cultivos agroforestales	14.44	0.058
Cuerpos de agua artificiales	13.43	0.054
Cultivos permanentes arbustivos	12.87	0.051
Mosaico de cultivos	9.48	0.038
Yuca	7.85	0.031

Cobertura	Área (ha)	Porcentaje (%)
Estanques para acuicultura continental	7.74	0.031
Cítricos	7.48	0.030
Lagunas de oxidación	6.05	0.024
Otros sitios de disposición de residuos a cielo abierto	5.02	0.020
Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	1.99	0.008

Fuente: SGI S.A.S., 2025

El producto entre la precipitación y el coeficiente de retención del follaje (Cfo) da como resultado la retención de lluvia en el follaje. Se identifica que la mayor retención de la lluvia está asociada a coberturas de vegetación más densa y alta, como lo son los bosques y vegetación secundaria alta. Los valores de precipitación utilizados para estos cálculos se pueden consultar en el capítulo de hidrología del presente Estudio de Impacto Ambiental.

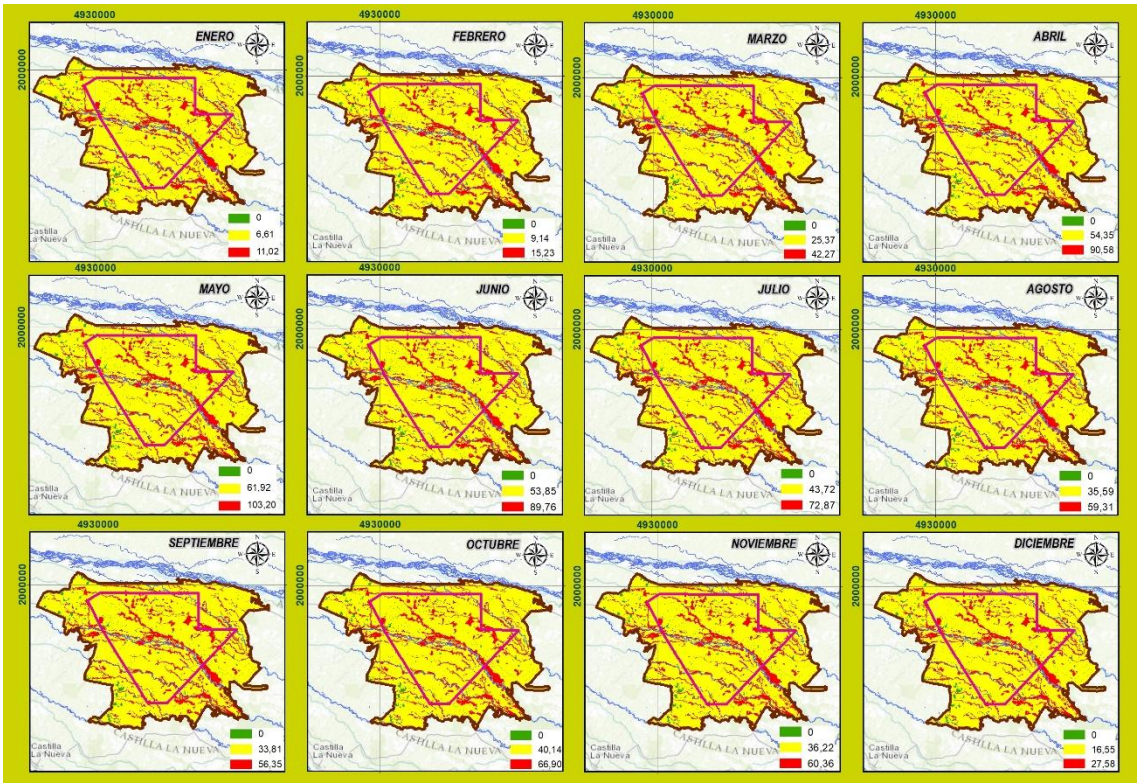


Figura 3-75 Retención de lluvia en el follaje (P-Ret) Mensual
Fuente: SGI S.A.S., 2025

3.2.7.9.1.2 Infiltración

Uno de los factores que más influyen en la infiltración de la lluvia en el suelo, es el coeficiente de infiltración debido a la textura del suelo (Kfc), el cual está dado tentativamente por la siguiente ecuación (Schosinsky & Losilla, 2000):

$$Kfc = 0.267\ ln(Fc) - 0.000154\ Fc - 0.723$$

Donde:

Kfc [adimensional] = Coeficiente de infiltración (fracción que infiltra por textura del suelo);

Fc [mm/día] = Infiltración básica del suelo.

Para aplicar esta ecuación, el rango de Fc ha de encontrarse entre 16 a 1568 mm/día. Para valores de Fc menores a 16 mm/día:

$$Kfc = 0.014\ Fc\ /16$$

Para valores de Fc mayor a 1568 mm/día, Kfc = 1.

El valor Fc corresponde a la permeabilidad del suelo saturado en los primeros 30 centímetros de profundidad, ya que se considera que este es el espesor del suelo que está en contacto directo con el agua lluvia. Este valor se obtuvo a partir de análisis de laboratorio en las muestras de suelos tomadas en campo en las diferentes unidades identificadas. Los puntos de muestreo, donde se recolectaron las muestras de suelo se presentan en la **Tabla 3-53** y la **Figura 3-76.**

Tabla 3-47 Ubicación de las calicatas por unidad de suelo (UCS)

UCS	CALICATA	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL	
		Este (m)	Norte (m)
VVT3P	Calicata 6	4924850	1997502
PVAC	Calicata 7	4926146	1997927
PVAT	Calicata 5	4925612	1997559
PVABA	Calicata 4	4932808	1992052
VVPCD	Calicata 2	4941836	1987991
PVAC	Calicata 3	4934111	1987337
VVT1P	Calicata 9	4930144	1994432
VVT2P	Calicata 1	4926430	1995779
RVT1P	Calicata 8	4935907	1999662
VVT3B	Calicata 10	4925792	1997275
RVPN	Calicata 11	4943869	1999856
VVT3T	Calicata 12	4926506	1995988
PVABA	Calicata 13	4941239	1987585

Fuente: SGI S.A.S., 2025

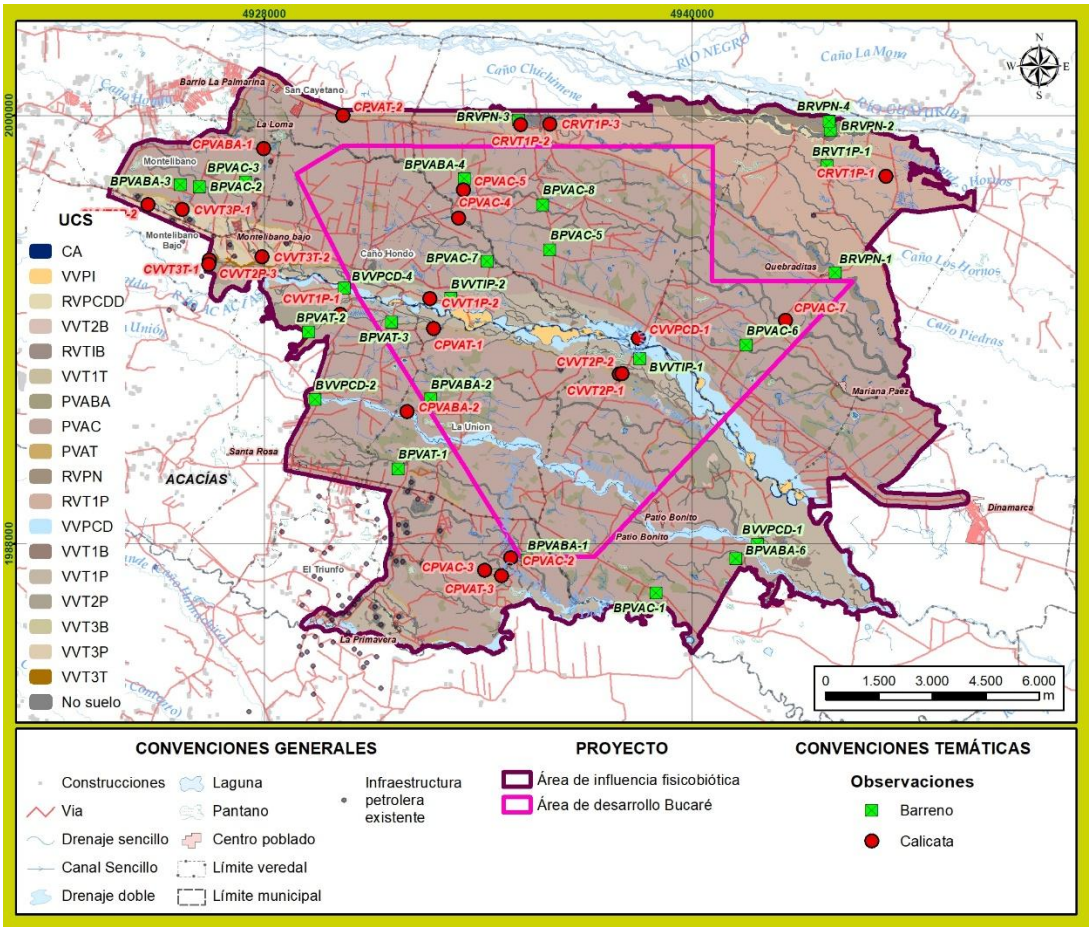


Figura 3-76 Localización de los puntos de muestreo de suelos
Fuente: SGI S.A.S., 2025

De los resultados del laboratorio, se tomó en cuenta el parámetro de infiltración, el cual es relacionado como la velocidad de infiltración básica. Esta es la propiedad que evalúa la velocidad de entrada del agua al suelo. Es un parámetro crítico cuando se están haciendo diseños de riego, los factores que intervienen en este proceso son el contenido de humedad del suelo, el tipo de poros, en poros más finos la infiltración será baja, el contenido de coloides (Arcillas y humus) y la presencia de sellamiento y/o encostramiento superficial del suelo (Jaramillo, 2002).

Para medir la infiltración en campo se utilizó el método del doble anillo y la infiltración básica se determinó por el método propuesto por Kostiakov (1932). Para la interpretación de los resultados se utilizó los niveles de referencia de Montenegro y Malagón (1990).

En la **Tabla 3-48** se presentan las características físicas obtenidas en las muestras de suelo recolectadas en el área de influencia, tales como Capacidad de campo (%), Punto de marchitez permanente (%) e Infiltración (mm/h).

Tabla 3-48 Características físicas de los puntos de suelos analizados

UCS	Calicata/muestra	Profundidad (m)	Capacidad de campo (%)	Punto de marchitez permanente (%)	Infiltración (mm/h)
PVABA	4/M36947	0-18	19.9	14.5	51.4
	4/M36948	18-55	17.6	12.7	51.4
	4/M36949	55-78	17.8	11.7	51.4
	13/M37048	0-15	27.6	16.5	200.65
	13/M37049	15-51	20.2	12.9	200.65
	13/M37050	51-100	40.7	32.7	200.65
PVAC	7/M36826	0-15	18.8	9.3	4.288
	7/M36827	15-57	22.3	14.9	4.288
	7/M36828	57-100	20.3	13.2	4.288
	3/M36942	0-15	22.1	14.1	64.1
	3/M36943	15-107	35.7	28.4	64.1
PVAT	5/M36950	0-10	10.6	7.7	41.54
	5/M36951	10-53	15.9	11.2	41.54
RVT1P	8/M37037	0-20	20.6	12.4	3.17
	8/M37038	20-64	19.5	11.9	3.17
	8/M37039	64-100	18.6	12.8	3.17
RVPN	11/M37043	0-44	16.2	7.6	217.24
	11/M37044	44-65	13	4.6	217.24
VVT3P	6/M36824	0-16	15.6	6.7	22.09
	6/M36825	16-72	22.3	12.9	22.09
VVT3T	12/M37045	0-15	22.5	13.5	41.54
	12/M37046	15-70	20.9	13.4	41.54
VVT3B	10/M37040	0-15	25.7	15.1	1.26
	10/M37041	15-53	21.3	12.2	1.26
VVT2P	1/M37011	0-12	11.5	4.7	257.98
	1/M37012	12-27	18.5	12.2	257.98
	1/M37013	27-110	17.8	11.8	257.98
VVT1P	9/M37014	0-20	18.7	9.1	28.3
	9/M37015	20-34	15.1	7.2	28.3
	9/M37016	34-78	15.1	10.7	28.3
VVPCD	2/M36939	0-20	23.4	11.2	279.07
	2/M36940	20-32	25.1	14.4	279.07
	2/M36941	32-81	18.8	11.8	279.07

Fuente: SGI S.A.S., 2025

Los resultados, como lo muestra la **Figura 3-77**, que la velocidad de infiltración básica en las unidades cartográficas, están en el rango de muy rápida a lenta, donde las calificadas como muy rápidas se presentaron en la calicata 13 de la unidad PVABA, la calicata 11 (UCS RVPN y RVPCDD), la calicata 1 (UCS VVT2P) y la calicata 2 (UCS VVPCD y VVPI), las demás unidades cartográficas están en el rango de moderadamente rápida a lenta.

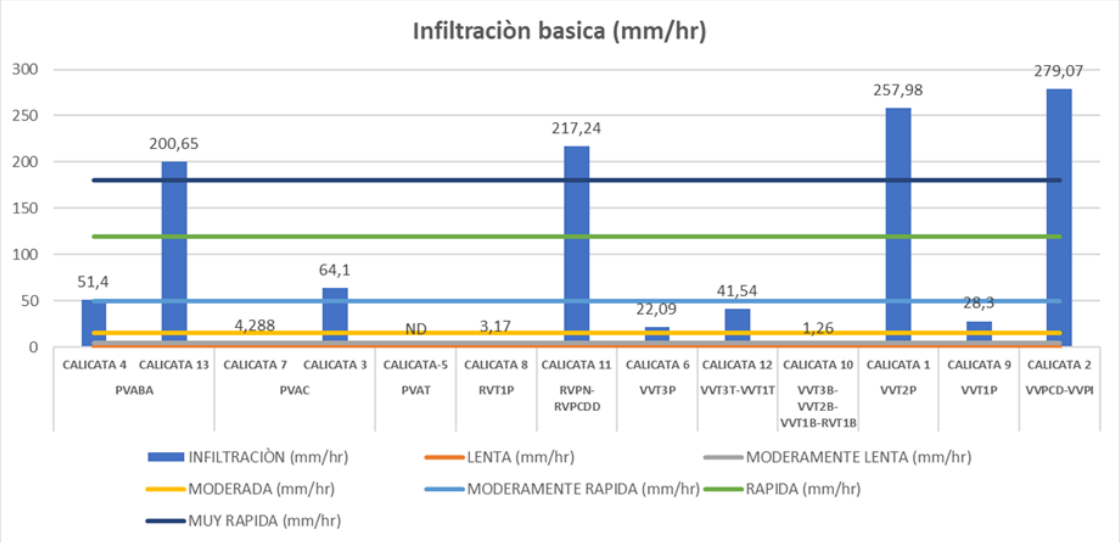


Figura 3-77 Velocidad de infiltración básica (mm/hr)
Fuente: SGI S.A.S., 2025

Con base en las velocidades de infiltración presentadas en la **Tabla 3-49** y **Figura 3-78**, se calculó el coeficiente de infiltración por textura del suelo (Kfc)para las diferentes unidades de suelo identificadas en el área de influencia. Los valores de Kfc obtenidos para cada unidad cartografiable de suelo se presentan en la **Tabla 3-49** y su distribución espacial dentro del área de influencia se puede observar en la **Figura 3-78**.

Tabla 3-49 Valores de Kfc obtenidos de la UCS

UCS	Fc (mm/día)	Kfc
PVABA	1233.6	0.99
	4815.6	1
PVAC	102.912	0.49
	1538.4	1
PVAT	996.96	0.97
RVT1P	76.8	0.42
RVPN	5213.76	1
VVT3P	530.16	0.87
VVT3T	996.96	0.97
VVT3B	30.24	0.18
VVT2P	6191.52	1

UCS	Fc (mm/día)	Kfc
VVT1P	679.2	0.91
VVPCD	6697.68	1

Fuente: SGI S.A.S., 2025

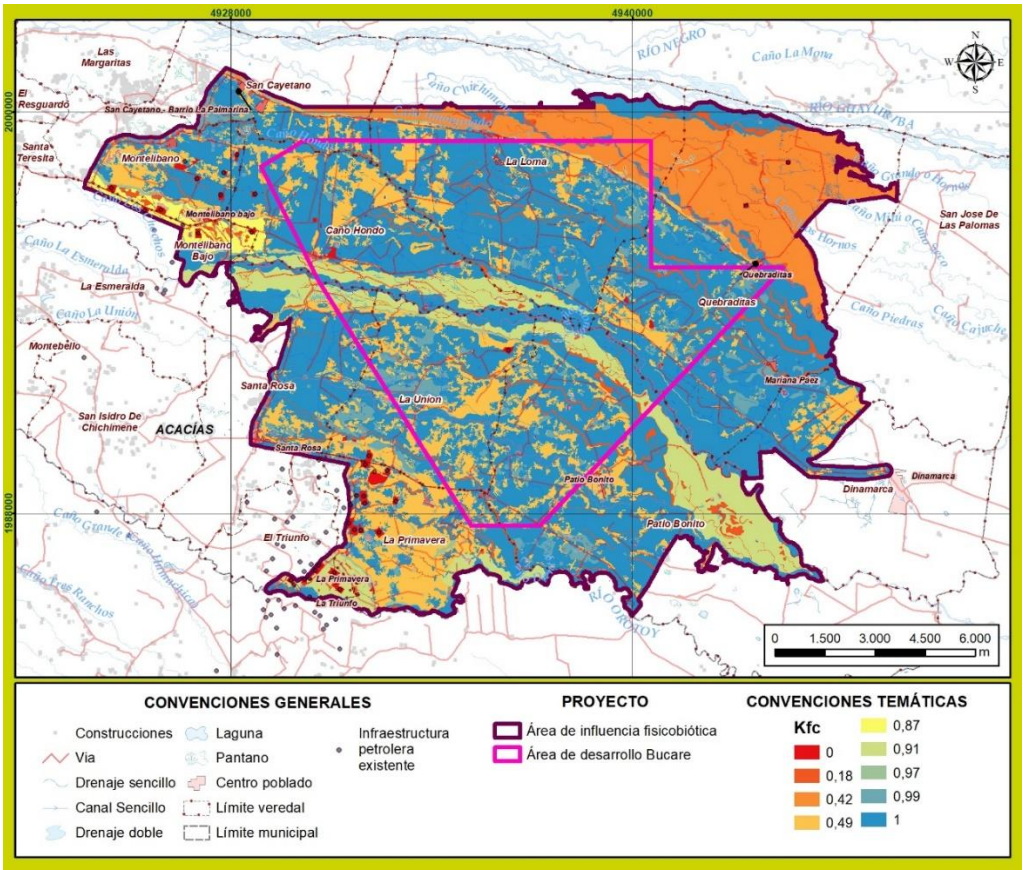


Figura 3-78 Coeficiente de infiltración por textura de suelo (Kfc)
Fuente: SGI S.A.S., 2025

Adicional al coeficiente de infiltración por textura del suelo (Kfc), para poder obtener el coeficiente de infiltración (Ci), es necesario calcular la fracción que infiltra por efecto de la pendiente (Kp) y la fracción que infiltra por efecto de cobertura (Kv) los cuales dependen de la pendiente y la cobertura vegetal respectivamente del área de influencia.

Para la determinación de las fracciones Kv y Kp, se hace uso de los valores sugeridos por Schosinsky y Losilla (2000), los cuales se presentan en la **Tabla 3-56**.

Tabla 3-50 Valores sugeridos para la fracción Kp y Kv según Schosinsky y Losilla (2000)

POR PENDIENTE	PENDIENTE	KP
MUY PLANA	0.02% - 0.06%	0.30
PLANA	0.3% - 0.4%	0.20
ALGO PLANA	1% – 2%	0.15

PROMEDIO	2% - 7%	0.10
FUERTE	Mayor a 7%	0.06
POR COBERTURA VEGETAL	**KV**	
COBERTURA CON ZACATE MENOS DEL 50%	0.09	
TERRENOS CULTIVADOS	0.10	
COBERTURA CON PASTIZAL	0.18	
BOSQUES	0.20	
COBERTURA CON ZACATE MÁS DEL 75%	0.21	

Fuente: Schosinsky y Losilla, 2000

La asignación de los valores de cada coeficiente se realizó con base en los valores sugeridos en la **Tabla 3-50**. En la **Figura 3-79** se presentan los mapas relacionados a la fracción que infiltra por efecto de la pendiente (Kp). La pendiente de la zona de estudio se tomó a partir del Shape de pendientes generado para el área de influencia.

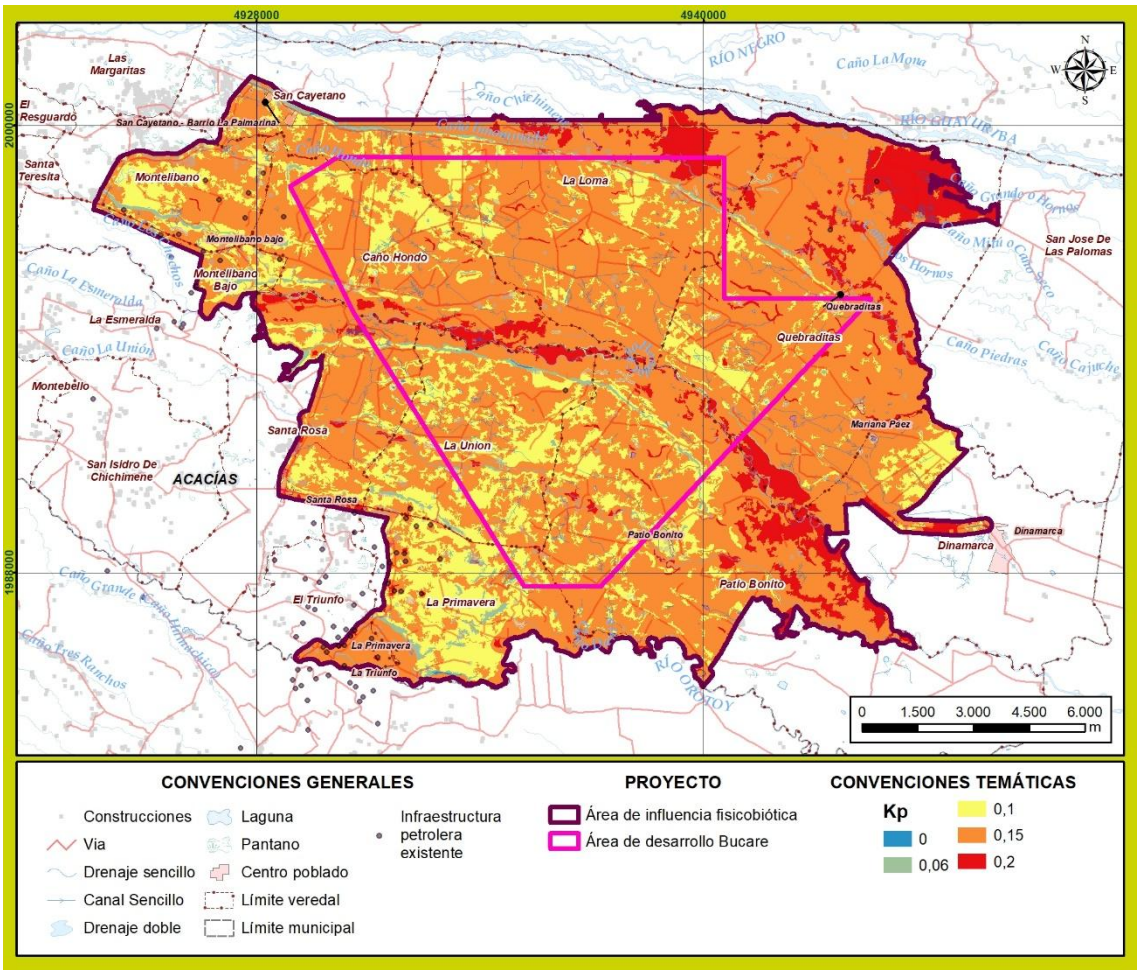


Figura 3-79 Coeficiente de pendiente (Kp)
Fuente: SGI S.A.S., 2025

En la **Figura 3-80** se presentan los mapas relacionados a la fracción que infiltra por efecto de la cobertura (Kv). En cuanto a las coberturas vegetales, se tomó el mapa de coberturas elaborado en el marco del presente proyecto.

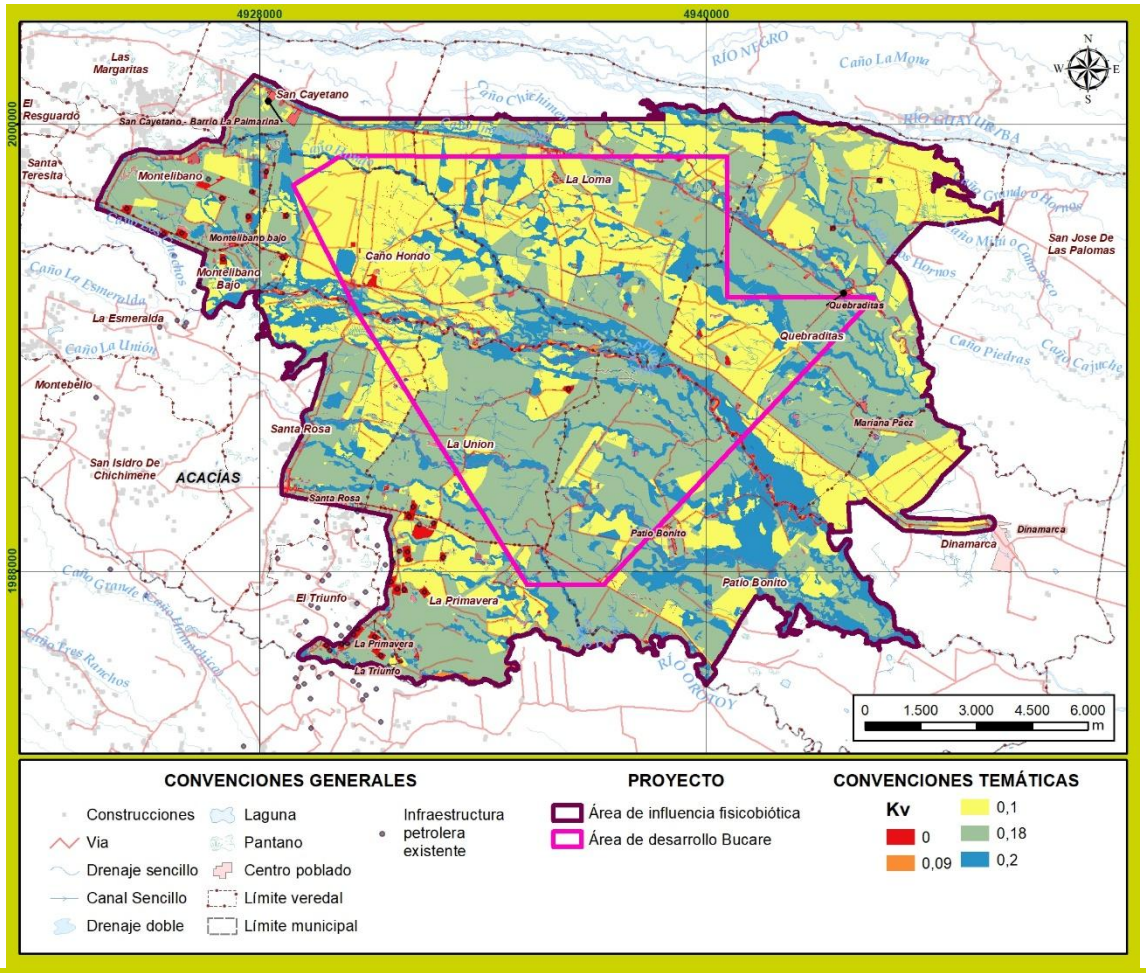


Figura 3-80 Coeficiente de vegetación (Kv)
Fuente: SGI S.A.S., 2025

Una vez establecidos los parámetros requeridos para el cálculo del coeficiente de infiltración del suelo, se aplica la siguiente formula:

$$C_i = k_p + k_v + k_{fc}$$

Donde:

***Ci* =** Coeficiente de infiltración [adimensional].

***Kp* =** Fracción que infiltra por efecto de pendiente [adimensional].

***Kv* =** Fracción que infiltra por efecto de cobertura vegetal [adimensional]

***Kfc* =** Fracción que infiltra por textura del suelo [adimensional]

Además de esto es impuramente tener en cuenta lo siguiente:

Si ***Kp+Kv+Kfc*** es mayor de **1, Ci=1**

Si ***Kp+Kv+Kfc*** es menor o igual a **1**, Entonces ***Ci=Kp+Kv+Kfc***

A continuación, se presenta el resultado de coeficiente de infiltración del suelo con valores entre 0,06 y 1, siendo 1 el valor más representativo en el área de influencia, ya que los resultados cumplen con la condición Si ***Kp+Kv+Kfc*** es mayor de ***1, Ci=1***, tal como se muestra en Figura 3-81.

A continuación, se presentan los resultados del coeficiente de infiltración del suelo, los cuales oscilan entre 0,06 y 1. En este contexto, el valor de **1** es el más representativo dentro del área de influencia, ya que los resultados cumplen con la condición establecida: Si *Kp+Kv+Kfc* es mayor de *1, Ci=1*. Este comportamiento es ilustrado de manera detallada en la **Figura 3-81**, donde se evidencia la distribución espacial y el predominio de este coeficiente en las condiciones evaluadas. Estos valores son fundamentales para caracterizar la capacidad de infiltración del suelo y su implicación en la dinámica hídrica de la zona.

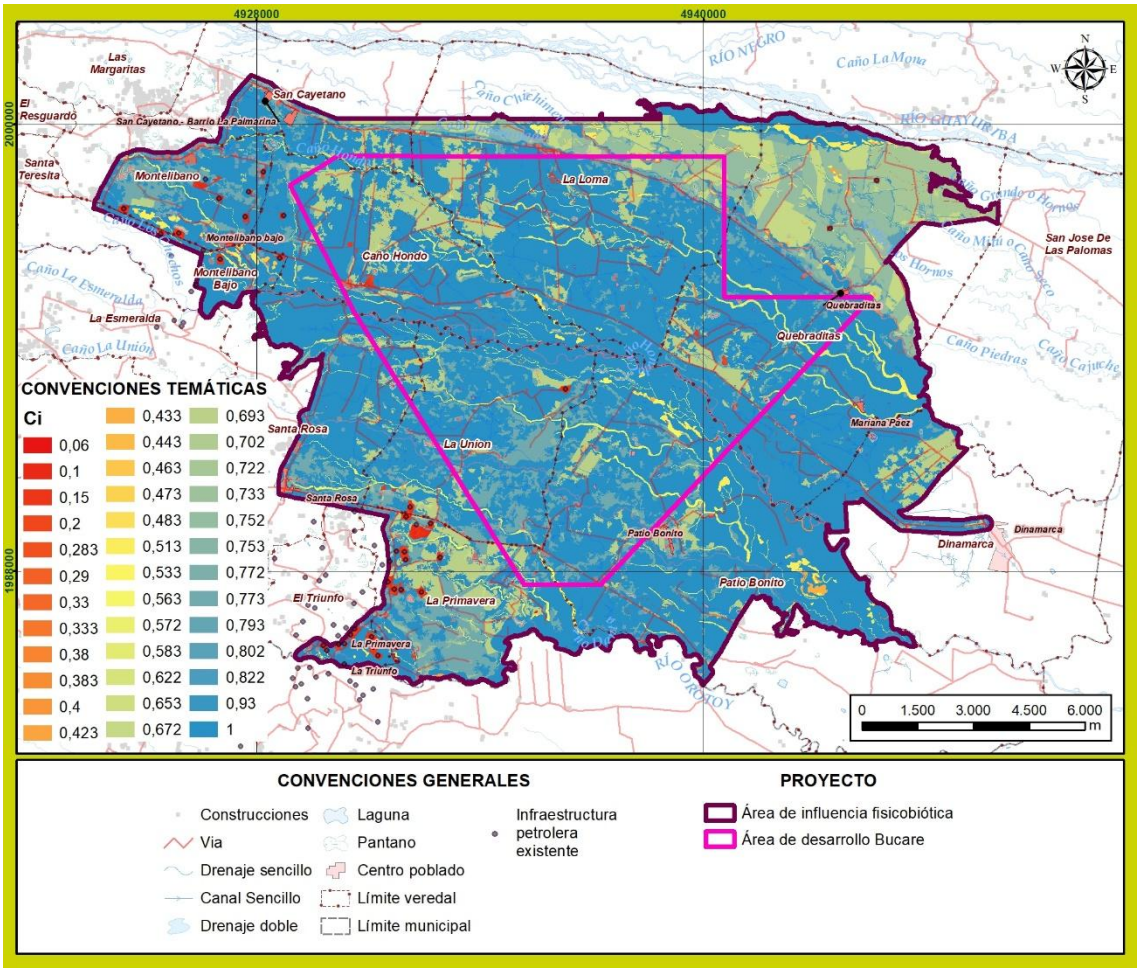


Figura 3-81 Coeficiente de infiltración (Ci)
Fuente: SGI S.A.S., 2025

3.2.7.9.1.3 Precipitación que infiltra mensualmente (Pi)

Una vez calculado el coeficiente de infiltración (Ci) y el coeficiente de retención por follaje (Ret), se calcula la precipitación que infiltra mensualmente (Pi) haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{P_i = (C_I) * (P - Ret)}$$

Donde:

Pi = precipitación que infiltra mensualmente en el suelo [mm]

Ci = coeficiente de infiltración

P = precipitación mensual en [mm/mes]

Ret = retención de la lluvia mensual por el follaje en [mm/mes]

En la Figura 3-82 se presenta el resultado asociado a la precipitación que infiltra mensualmente en el suelo (Pi) para cada mes del año. La mayor infiltración se presenta en la zona norte del área de influencia, donde se calcularon los mayores coeficientes de infiltración debido a la granulometría gruesa del suelo y cobertura presente. Igualmente, la precipitación juega un papel fundamental e influye directamente en que tanta infiltración se genera mes a mes. La precipitación gobierna la infiltración, haciendo que esté presente el mismo comportamiento cíclico, generando los valores pico de infiltración en los meses de mayor pluviosidad (marzo – noviembre) y presentando los valores mínimos de infiltración en los meses más secos (diciembre-enero-febrero).

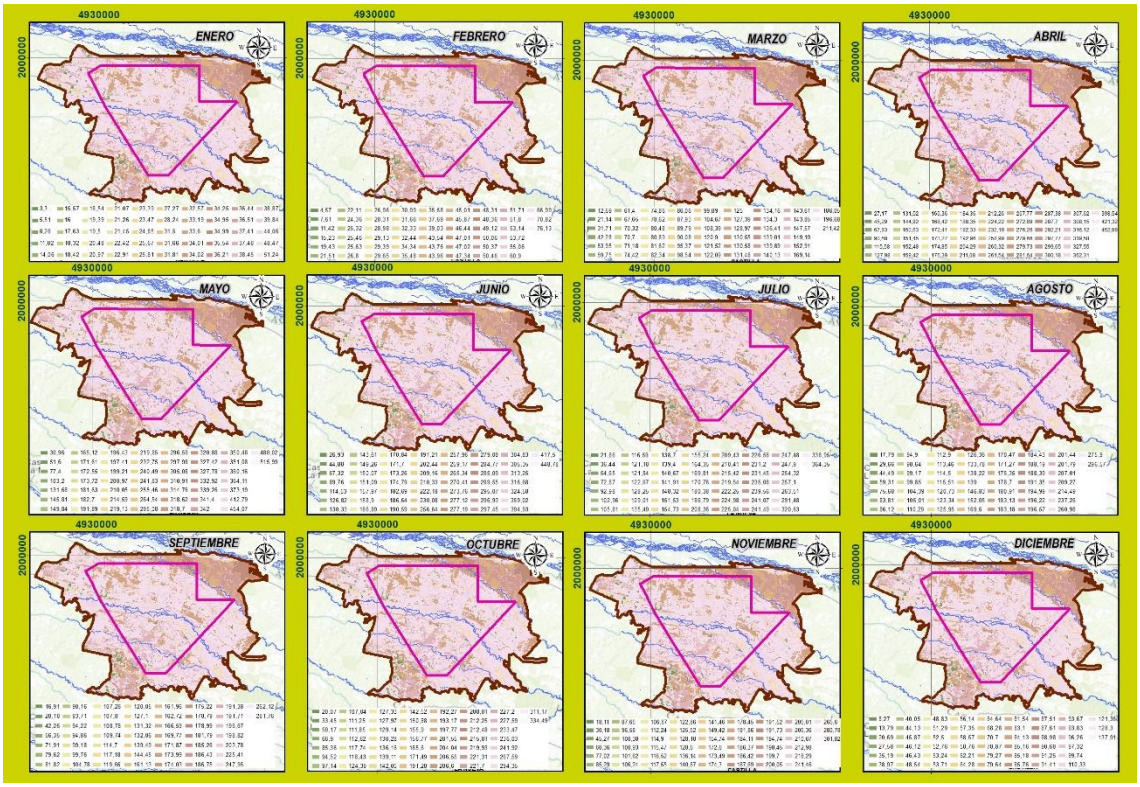


Figura 3-82 Precipitación que infiltra mensualmente
Fuente: SGI S.A.S., 2025

3.2.7.9.1.4 Balance de humedad

Para tener consistencia en unidades y trabajar todas las variables en milímetros (mm), las unidades de capacidad de campo y punto de marchitez se convirtieron de porcentaje por peso de suelo seco a mm, haciendo uso de la profundidad de las raíces, la profundidad de las raíces se determinó con base en las coberturas del área de influencia físico-biótica teniendo en cuenta la

Tabla 3-51.

Tabla 3-51 Profundidad de raíces de diferentes coberturas según Grassi (1976)

COBERTURA	PROFUNDIDAD (m)
ALFALFA (pastos)	1 – 2
ALGODÓN	1 – 1.7
BANANO	0.5 – 0.8
CAÑA DE AZUCAR	1.2 - 2
FRIJOL	0.5 – 0.7
CÉBOLLA	0.3 – 0.5
CITRICOS	1.2 – 2.0
ZACATE	0.3 – 0.5
BOSQUES	2.0 – 3.0
PALMA DE ACEITE	1

Fuente: Grassi, 1976

Para obtener la recarga potencial del acuífero es necesario conocer cuatro variables: precipitación que infiltra en el suelo (Pi), la evapotranspiración real (ETR), humedad del suelo al final del mes (Hf), humedad del suelo al inicio de mes (Hi) la cual se asume igual a la capacidad de campo el mes siguiente al mes más lluvioso del año, en este caso junio, por esta razón el balance hidrológico inicia el mes de julio asumiendo la humedad inicial igual a la capacidad de campo.

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial real se aplicó la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{ETPR} = \frac{\boldsymbol{C_1} + \boldsymbol{C_2}}{\boldsymbol{2}}\ \boldsymbol{ETP}$$

Dónde:

$\boldsymbol{C_1}$ = Es el coeficiente de humedad máximo sin considerar la evapotranspiración.

$\boldsymbol{C_2}$ = Es el coeficiente de humedad mínimo considerando la evapotranspiración con $\boldsymbol{C_1}$

$\boldsymbol{ETP}$ = es la evapotranspiración potencial mensual $(\frac{mm}{mes})$ calculada por el método de Blanney y Criddle.

Los coeficientes de humedad no pueden ser mayores que 1 ni menores que 0, y se calculan como:

$$C_1 = \frac{HS_i - PM + P_i}{CC - PM}$$, y $$C_2 = \frac{HS_i - PM + P_i - ETR_1}{CC - PM}$$

Dónde *CC* es la capacidad de campo (mm) y $ETR_1 = C_1 ETP$

Donde:

C_1 = Coeficiente de humedad al final del mes antes de que ocurra la evapotranspiración.

Hsi = Humedad al inicio del mes, humedad de suelo inicial en [mm].

PM = Punto de marchitez en [mm].

P_i = Precipitación que infiltra en [mm/mes].

CC =Capacidad de campo en [mm].

C_2 = Coeficiente de humedad al final del mes, después de que ocurra la evapotranspiración.

ETR_1 = Evapotranspiración potencial real [mm/ mes], considera la humedad correspondiente al coeficiente C1.

Es importante mencionar que ninguno de los coeficientes de humedad, *C1* y *C2*, pueden ser superiores a 1, ni menores a 0. En caso de que *C1* o *C2*, sea mayor de 1, se tomará igual a 1. Si *C1* o *C2* son negativos se tomarán con valor de 0.

Para el cálculo de los coeficientes *C1* y *C2* se hizo uso de los parámetros de capacidad de campo y punto de marchitez, definidos a partir de los análisis de laboratorio desarrollados en las muestras de suelo tomadas en campo (ver capitulo Suelo _EIA Bucare), de la precipitación que infiltra en el suelo (Pi) calculada anteriormente, de la humedad al inicio del mes (HSi) y de la evapotranspiración potencial real que considera el coeficiente *C1* (ETR1).

La humedad al inicio de mes, por simplicidad y falta de información, se asume en el primer mes de mayor precipitación del balance como igual a la capacidad de campo, teniendo en cuenta que el suelo se encontraría saturado. Para los meses siguientes, se toma como la humedad del suelo al final del mes (HSf) del mes anterior. Para el cálculo de la HSf se aplica la siguiente expresión:

Si (***HD+PM-ETR***) es menor que la capacidad de campo *CC* entonces $HSf = HD + PM - ETR$

Si (***HD+PM-ETR***) es menor que la capacidad de campo *CC* entonces $HSf = CC$

HD se refiere a la humedad disponible en el suelo, humedad que pueden tomar las raíces de las plantas.

$$HD = HSi + Pi - PM.$$

De esta manera se calculó la Humedad disponible, asumiendo ***HSi*** como la capacidad de campo, ***Pi*** como la precipitación que infiltra ya calculada y ***PM*** como el punto de marchitez calculado en laboratorio.

Por último, se calcula la evapotranspiración potencial real que considera la humedad correspondiente al coeficiente C1 (***ETR1***), multiplicando la evapotranspiración potencial (***ETP***).

Teniendo todos los parámetros calculados, se puede obtener la evapotranspiración potencial real (ETPR), sin embargo, si la humedad disponible en el suelo es menor que la ETPR, la planta no podrá evapotranspirar dicha cantidad, sino que evapotranspirará únicamente la humedad disponible. De otra manera, si la humedad disponible (HD) es mayor que la evapotranspiración potencial real (ETPR), la planta evapotranspirará dicha cantidad. Por lo tanto, la evapotranspiración real (ETR) para la zona de estudio es:

$ETR = \frac{C_1 + C_2}{2} ETP$ si $ETPR$ es menor o igual a HD

$\boldsymbol{ETR} = \mathbf{HD}$ si $\boldsymbol{ETPR}$ es mayor que $\boldsymbol{HD}$

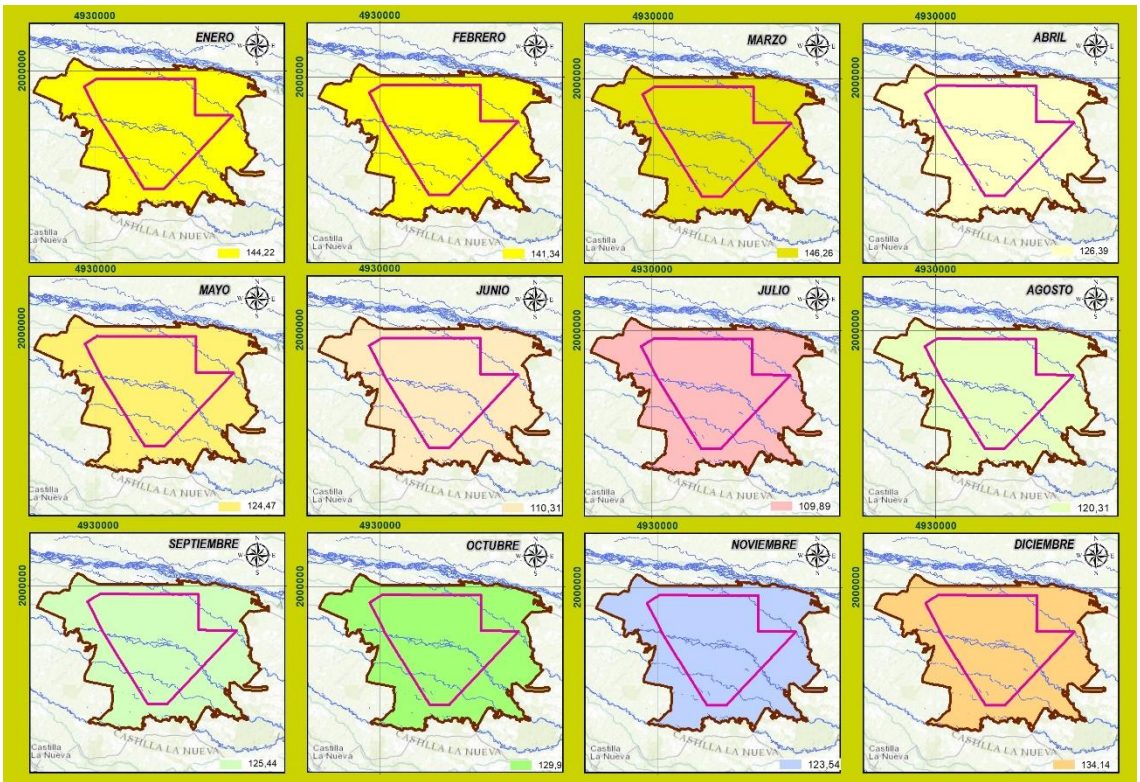


Figura 3-83 Evapotranspiración mensual
Fuente: SGI S.A.S., 2025

La Figura 3-83 presenta los valores de evapotranspiración mensual que oscilan entre aprox. 110 y 146 mm/mes. El mes con mayor evapotranspiración corresponde a enero, seguido por marzo y febrero. En general, los valores se mantienen dentro de un rango similar, lo cual es coherente con el comportamiento climático de la zona, donde la evapotranspiración depende principalmente de la temperatura y la radiación, variables que en la latitud del área de estudio presentan poca variación mensual.

3.2.7.9.1.5 Recarga potencial

Para definir la recarga potencial se emplea la siguiente expresión, la cual básicamente es un balance hidrológico con las variables calculadas en los anteriores pasos:

$$\boldsymbol{R_p = P_i + HS_i - HS_f - ETR}$$

Dónde:

$\boldsymbol{R_p}$ = Es la recarga potencial mensual $(\frac{mm}{mes})$

$\boldsymbol{P_i}$ = Es la precipitación que infiltra $(\frac{mm}{mes})$

$\boldsymbol{HS_i}$ = Es la humedad del suelo al inicio del mes (mm)

$\boldsymbol{HS_f}$ = Es la humedad del suelo al final del mes (mm)

$\boldsymbol{ETR}$ = Es la evapotranspiración real $(\frac{mm}{mes})$

Los comportamientos de valores de recarga potencial mensual van de 0 mm/mes a 391.52 mm/mes para área de influencia del presente estudio (Ver Figura 3-84). La menor recarga potencial del acuífero se presenta en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo, coincidente con que estos son los meses más secos del año. Así mismo, se observa un incremento de las lluvias desde abril hasta noviembre, siento mayo el de mayor recarga con valor máximo de 391.2 mm/mes generando. Es destacable que en abril se evidencie una transición, con un aumento progresivo en los valores, reflejando el inicio de la temporada de lluvias. Este análisis pone en evidencia la fuerte influencia de la estacionalidad climática en los procesos hídricos del área.

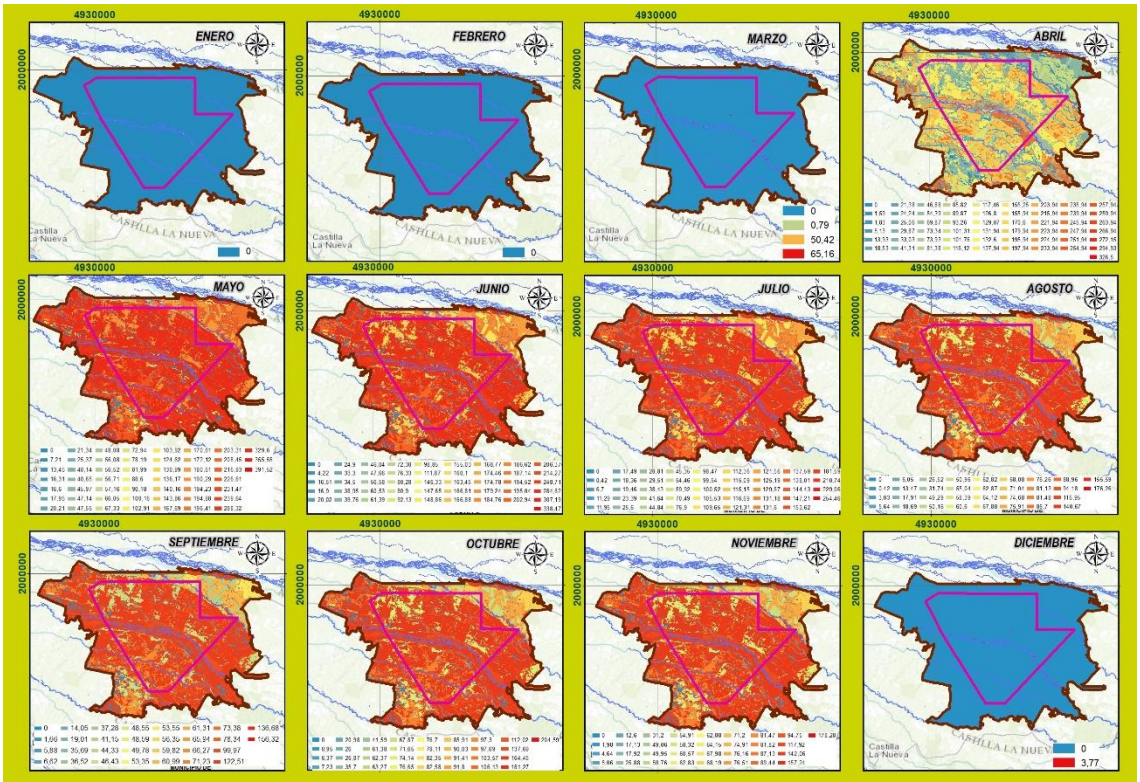


Figura 3-84 Recarga potencial mensual
Fuente: SGI S.A.S., 2025

El valor máximo registrado en la recarga potencial es de 2095.33 mm/año, mientras que los valores mínimos oscilan entre 0 y 99.18 mm/año. Espacialmente se observan valores medios de retención en la mayor parte del área de influencia, exceptuando las márgenes de los afluentes, donde la vegetación más densa incrementa la retención. Esta distribución, en conjunto con las características de las unidades de suelo y las coberturas presentes, explica la magnitud de los valores de recarga obtenidos en la zona.

La mayor parte de la recarga se concentra en los meses de mayor precipitación, evidenciando la relación directa entre los pulsos estacionales de lluvia y los procesos de recarga del acuífero. Durante estos periodos, el incremento en la disponibilidad hídrica favorece la infiltración y el tránsito del agua hacia el subsuelo, reflejándose en picos de recarga más elevados en comparación con los meses secos.

De los resultados obtenidos, se concluye que la recarga anual calculada para el área de estudio refleja un balance hídrico favorable, resultado de una precipitación promedio de 3477.19 mm/año y

una ETP de 1536.21 mm/año. Esta diferencia entre el agua que ingresa y la que se evapora permite que una porción importante del agua disponible se infiltre y aporte al sistema subterráneo. Los valores obtenidos en el modelo muestran que, en general, el territorio cuenta con condiciones que permiten una recarga significativa a lo largo del año, coherente con el régimen climático húmedo de la zona y con las características del suelo y la cobertura presentes en el área de estudio (**Figura 3-85**).

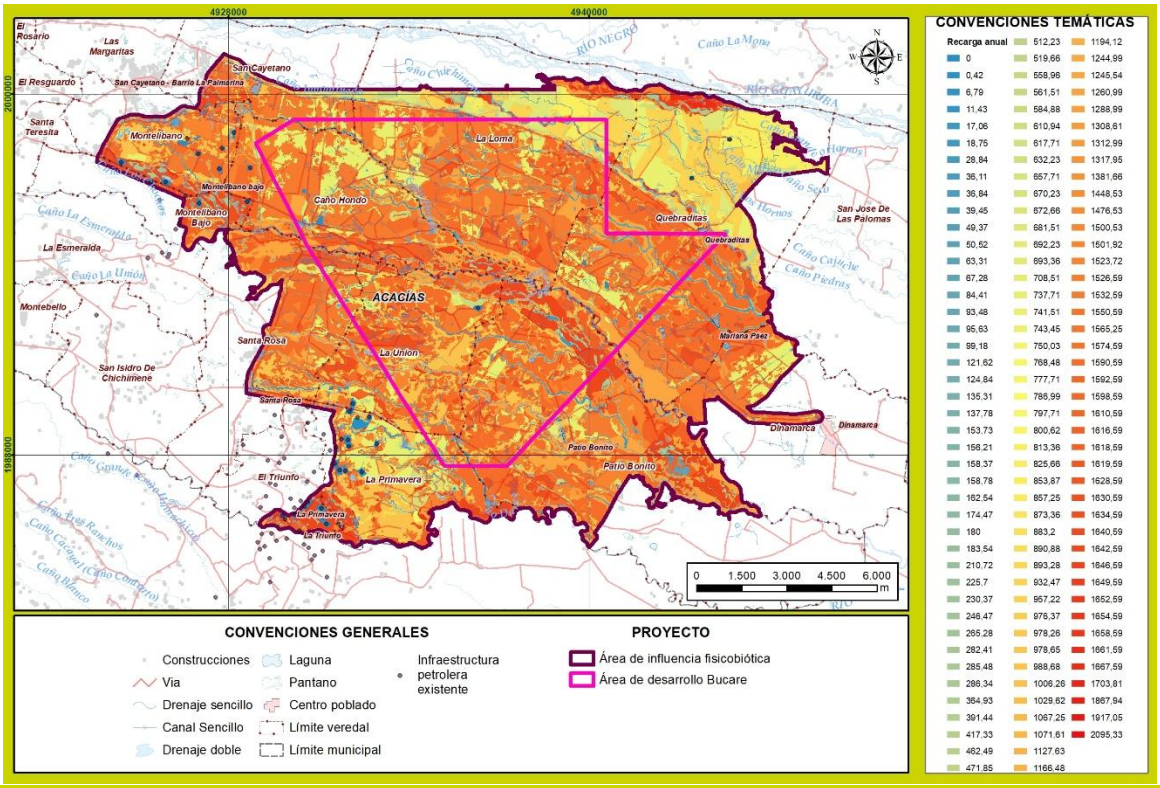


Figura 3-85 Recarga potencial anual
Fuente: SGI S.A.S., 2025

3.2.7.10 Determinación de las principales direcciones de flujo de agua subterránea

La dirección de flujo del agua subterránea se puede definir como el trayecto que sigue el agua en el subsuelo, determinado por el gradiente hidráulico, que es la diferencia en la energía potencial del agua entre dos puntos. Este flujo se mueve perpendicular a las isopiezas (líneas de igual nivel piezométrico) y sigue la dirección desde zonas de mayor hacia menor energía, influenciado por las características del acuífero y la permeabilidad del medio.

Para la definición entonces de la dirección de flujo, es importante la información recolectada durante el inventario de puntos de agua subterránea, específicamente la relacionada a la profundidad de captación de cada punto hidrogeológico, la profundidad del nivel del agua y la cota topográfica. El acuífero de la Formación Guayabo está compuesto por lentes y capas intercaladas de arena y arcilla, estas características generan diferentes niveles acuíferos, cada uno con superficies potenciométricas o freáticas específicas, lo que puede dar lugar a flujos someros o más profundos.

Para diferenciar estos flujos, es necesario identificar el nivel acuífero captado por cada punto hidrogeológico y contar con una cantidad suficiente de puntos distribuidos espacialmente para construir un modelo de flujo representativo. En este orden de ideas, y con base en las tomografías eléctricas realizadas en el área de estudio, se delimitó un primer intervalo acuífero identificado como Zona A que alcanza espesores desde los primeros metros hasta los 32 metros, con un espesor promedio aproximado de 50 metros. En esta zona se concentran la mayoría de los puntos hidrogeológicos inventariados y sobre esta construyó el modelo de flujo de agua subterránea.

El proceso para construir este modelo de flujo comenzó con el filtrado del inventario de puntos de agua subterránea, dejando aquellos que tuvieran una profundidad cercana a los primeros 32 metros desde la superficie y la medición de la profundidad del nivel estático del agua. Haciendo esto se asegura que los puntos estén captando el primer intervalo acuífero del área de estudio dejando un total de 136 puntos de los 155 inventariados. Los puntos del inventario que no contaban con profundidad, pero si con medición de profundidad del nivel del agua, y esta era similar a aquellos puntos con profundidades menores a los 32 metros, se incluyeron para el análisis de la dirección de flujo.

Una vez hecho el filtro, se procede a calcular el nivel piezométrico de cada uno de los 136 puntos, realizando la resta entre la cota topográfica y la profundidad del nivel del agua medida en cada uno de estos puntos. La cota topográfica se obtuvo a partir de la nivelación topográfica de los puntos haciendo uso de un GPS RTK de alta precisión y el Modelo Digital de Elevación del Terreno (DEM). La relación de estos puntos se presenta en la **Tabla 3-52**.

Tabla 3-52 Puntos de agua subterránea utilizados para el modelo de dirección de flujo

ID	TIPO DE PUNTO	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL PIEZOMÉTRICO (msnm)	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL	
				ESTE (m)	NORTE (m)
AL01	Aljibe	4,68	317,76	4944304,48	1997001,76
AL02	Aljibe	1,52	322,74	4943866,48	1999548,99
AL03	Aljibe	3,39	320,06	4943951,42	1998504,33
AL04	Aljibe	3,13	321,74	4944020,22	1997946,97
AL05	Aljibe	4,92	319,17	4944037,43	1997429,56
AL06	Aljibe	6,83	307,28	4945568,65	1997300,67
AL07	Aljibe	7,72	423,57	4928251,43	1996252,25
AL08	Aljibe	2,20	434,57	4926601,39	1996925,84
AL09	Aljibe	2,77	298,15	4946607,88	1997371,04
AL10	Aljibe	3,10	310,72	4946496,93	1997347,32
AL11	Aljibe	5,01	293,59	4945695,67	1994486,27
AL12	Aljibe	2,50	312,10	4944393,38	1995665,60
AL13	Aljibe	4,90	317,20	4943722,01	1995457,28
AL14	Aljibe	2,53	314,34	4943929,80	1995556,33
AL15	Aljibe	6,86	317,54	4943636,45	1995485,36
AL16	Aljibe	5,58	317,22	4943741,30	1995562,41
AL17	Aljibe	3,36	317,84	4943905,30	1995593,24
AL18	Aljibe	4,86	430,53	4926959,72	1996613,89
AL19	Aljibe	9,74	328,11	4942744,58	1995938,07

ID	TIPO DE PUNTO	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL PIEZOMÉTRICO (msnm)	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL	
				ESTE (m)	NORTE (m)
AL20	Aljibe	3,52	338,34	4942880,51	1996073,90
AL21	Aljibe	10,00	337,01	4942163,52	1996553,06
AL22	Aljibe	2,63	323,15	4942290,14	1997029,24
AL23	Aljibe	4,04	352,96	4939657,76	1998169,07
AL24	Aljibe	5,02	352,50	4939243,70	1998432,34
AL25	Aljibe	4,02	359,56	4939866,59	1998067,45
AL26	Aljibe	6,96	355,82	4938904,29	1998570,25
AL27	Aljibe	2,94	372,76	4935793,81	1999715,05
AL28	Aljibe	8,81	366,46	4936008,06	1999314,84
AL29	Aljibe	2,50	375,45	4935179,21	1999517,47
AL30	Aljibe	5,37	387,29	4932095,56	1999960,71
AL31	Aljibe	12,20	366,87	4935766,41	1999419,67
AL33	Aljibe	5,24	375,28	4934978,70	1999255,85
AL34	Aljibe	6,19	310,91	4945028,47	1996358,51
AL35	Aljibe	9,82	356,78	4939445,21	1998163,08
AL36	Aljibe	6,22	380,09	4934762,34	1999264,19
AL37	Aljibe	5,90	375,77	4934572,77	1998390,96
AL38	Aljibe	8,13	376,12	4934411,76	1997976,63
AL39	Aljibe	5,63	374,38	4934718,10	1998941,78
AL40	Aljibe	9,60	422,85	4928322,52	2000638,29
AL41	Aljibe	2,00	319,88	4939234,31	1988356,01
AL42	Aljibe	13,08	320,24	4939112,76	1988707,59
AL43	Aljibe	4,99	353,61	4936553,60	1990763,26
AL44	Aljibe	12,75	328,50	4938888,24	1989401,22
AL45	Aljibe	2,46	307,63	4940163,25	1989541,14
AL46	Aljibe	14,13	327,66	4939024,91	1989251,88
AL47	Aljibe	4,39	316,66	4943950,06	1995477,04
AL48	Aljibe	9,72	330,93	4937128,91	1987839,89
AL49	Aljibe	5,60	354,13	4937797,83	1995089,95
AL50	Aljibe	3,16	366,98	4934919,10	1995540,34
AL51	Aljibe	5,00	368,04	4934813,33	1995516,97
AL52	Aljibe	6,10	366,80	4934838,42	1995517,48
AL53	Aljibe	3,90	359,75	4935695,66	1995189,67
AL54	Aljibe	4,80	368,92	4934685,94	1995474,16
AL55	Aljibe	9,20	370,84	4934312,77	1995435,30
AL56	Aljibe	8,00	370,48	4934358,27	1995823,48
AL57	Aljibe	8,43	371,17	4933901,53	1995260,92
AL58	Aljibe	6,34	370,13	4934033,89	1995099,89

ID	TIPO DE PUNTO	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL PIEZOMÉTRICO (msnm)	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL	
				ESTE (m)	NORTE (m)
AL59	Aljibe	6,70	372,62	4934260,99	1995402,88
AL60	Aljibe	10,82	446,10	4925366,98	1997584,06
AL61	Aljibe	7,26	453,43	4924398,77	1997961,35
AL62	Aljibe	6,90	347,69	4935789,27	1988456,61
AL63	Aljibe	5,72	356,55	4936101,37	1995026,06
AL64	Aljibe	4,43	442,53	4927323,77	2000208,61
AL65	Aljibe	3,13	443,27	4927290,36	2000160,75
AL67	Aljibe	6,00	453,64	4926114,50	1999113,08
AL68	Aljibe	6,80	455,57	4925937,18	1999066,42
AL69	Aljibe	6,28	454,37	4925856,64	1999038,26
AL70	Aljibe	4,37	301,64	4942687,83	1988483,86
AL71	Aljibe	7,40	310,89	4940825,22	1986662,57
AL72	Aljibe	9,74	347,35	4935710,08	1988518,36
AL73	Aljibe	6,74	385,18	4933551,01	1989158,19
AL75	Aljibe	5,40	327,98	4942804,78	1996193,85
AL76	Aljibe	7,30	351,89	4941208,02	1996638,37
AL78	Aljibe	3,40	353,21	4937355,73	1999072,00
AL79	Aljibe	3,90	379,95	4933436,32	1991061,02
AL80	Aljibe	5,15	377,09	4931694,19	1985617,84
AL81	Aljibe	5,45	376,98	4931674,15	1985622,87
AL82	Aljibe	4,95	377,89	4931676,37	1985657,70
AL85	Aljibe	6,34	377,49	4931647,09	1985726,31
AL86	Aljibe	2,47	356,18	4932386,84	1985171,15
AL87	Aljibe	5,25	323,89	4938410,91	1986864,26
AL89	Aljibe	6,14	343,00	4940555,38	1996903,66
AL90	Aljibe	9,80	319,28	4939181,34	1988460,62
AL91	Aljibe	10,58	319,45	4939148,60	1988547,73
AL92	Aljibe	10,46	319,65	4939179,18	1988590,25
AL93	Aljibe	10,88	319,00	4939205,16	1988605,73
AL94	Aljibe	10,87	319,98	4939129,91	1988604,85
AL95	Aljibe	12,49	321,29	4939113,30	1988777,18
AL96	Aljibe	12,10	322,31	4939090,48	1988795,93
AL97	Aljibe	14,87	321,33	4939077,13	1988832,62
AL98	Aljibe	5,40	391,81	4929495,00	1986015,00
AL99	Aljibe	10,34	411,18	4930305,00	1989830,00
AL100	Aljibe	8,42	391,10	4929626,00	1985903,00
M01	Manantial	1,22	420,09	4930339,32	1999979,65
M02	Manantial	0,00	354,07	4934611,84	1987049,74

ID	TIPO DE PUNTO	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL PIEZOMÉTRICO (msnm)	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL	
				ESTE (m)	NORTE (m)
M03	Manantial	0,25	326,78	4940007,62	1989627,37
M04	Manantial	0,00	363,90	4935507,81	1993456,67
M05	Manantial	0,00	430,71	4926484,50	1996143,97
M06	Manantial	1,10	442,61	4926618,13	1996203,33
M07	Manantial	0,00	337,87	4938651,01	1993940,37
M08	Manantial	0,30	366,78	4934456,63	1995114,50
M09	Manantial	0,00	369,98	4934368,02	1995104,87
M10	Manantial	0,00	454,13	4925667,99	1997580,96
M11	Manantial	0,00	450,53	4925603,74	1997542,93
M12	Manantial	0,25	452,91	4925174,19	1997716,10
M13	Manantial	0,17	328,50	4938566,65	1986400,29
M14	Manantial	0,62	351,45	4935516,49	1988598,08
M16	Manantial	6,15	415,18	4931392,08	1986801,59
M17	Manantial	0,08	358,66	4936143,89	1995017,93
M18	Manantial	0,11	388,78	4933193,98	1989271,56
M19	Manantial	0,00	428,19	4927595,67	1996019,66
M20	Manantial	0,00	349,06	4935630,66	1988468,36
M21	Manantial	0,00	440,97	4928331,36	1998989,82
M22	Manantial	0,00	442,98	4928197,08	1998978,31
M23	Manantial	0,00	399,85	4931645,64	1990141,54
M24	Manantial	2,21	404,63	4931586,77	1990145,60
M25	Manantial	0,00	399,62	4931501,28	1990155,32
M27	Manantial	0,00	382,08	4930941,51	1985624,11
P03	Pozo	6,95	317,65	4943735,76	1995559,28
P04	Pozo	32,69	355,05	4934872,75	1988184,67
Pz02	Piezómetro	12,12	333,47	4934762,32	1986498,47
Pz03	Piezómetro	11,63	355,87	4934377,20	1987115,25
Pz04	Piezómetro	10,37	338,53	4934910,29	1986848,61
Pz05	Piezómetro	11,92	329,24	4935445,53	1987026,92
Pz06	Piezómetro	12,37	349,23	4935089,28	1987485,48
Pz07	Piezómetro	12,04	351,76	4935072,87	1987744,24
Pz08	Piezómetro	7,99	355,99	4934902,81	1988054,32
Pz09	Piezómetro	10,26	352,35	4935018,10	1988065,10
Pz10	Piezómetro	10,22	358,27	4934492,65	1988019,23
Pz11	Piezómetro	8,93	354,47	4934801,32	1987686,96
Pz12	Piezómetro	7,92	356,55	4934757,63	1987873,35
Pz13	Piezómetro	8,38	361,12	4934709,38	1988071,60
Pz14	Piezómetro	8,70	352,21	4934989,76	1987843,60

ID	TIPO DE PUNTO	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL PIEZOMÉTRICO (msnm)	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL	
				ESTE (m)	NORTE (m)
Pz15	Piezómetro	10,98	353,07	4937251,95	1991706,99
Pz16	Piezómetro	12,08	353,14	4937312,99	1991752,06
Pz17	Piezómetro	5,45	414,46	4929334,00	1991633,00

Fuente: SGI S.A.S., 2025

Definidos los puntos de agua subterránea adecuados para la estimación de la dirección del flujo subterráneo en el área de influencia, se realizó una interpolación de estos con el objetivo de generar un mapa de isopiezas (líneas de igual nivel piezométrico) para el primer nivel acuífero. Estas isopiezas se ajustaron de manera manual en aquellas zonas donde se generaron comportamientos anómalos del flujo producto de la interpolación en sectores con baja densidad de puntos hidrogeológicos, esto con el fin de obtener el modelo de flujo del agua subterránea en el primer intervalo acuífero. El modelo de flujo construido se presenta en la **Figura 3-86**.

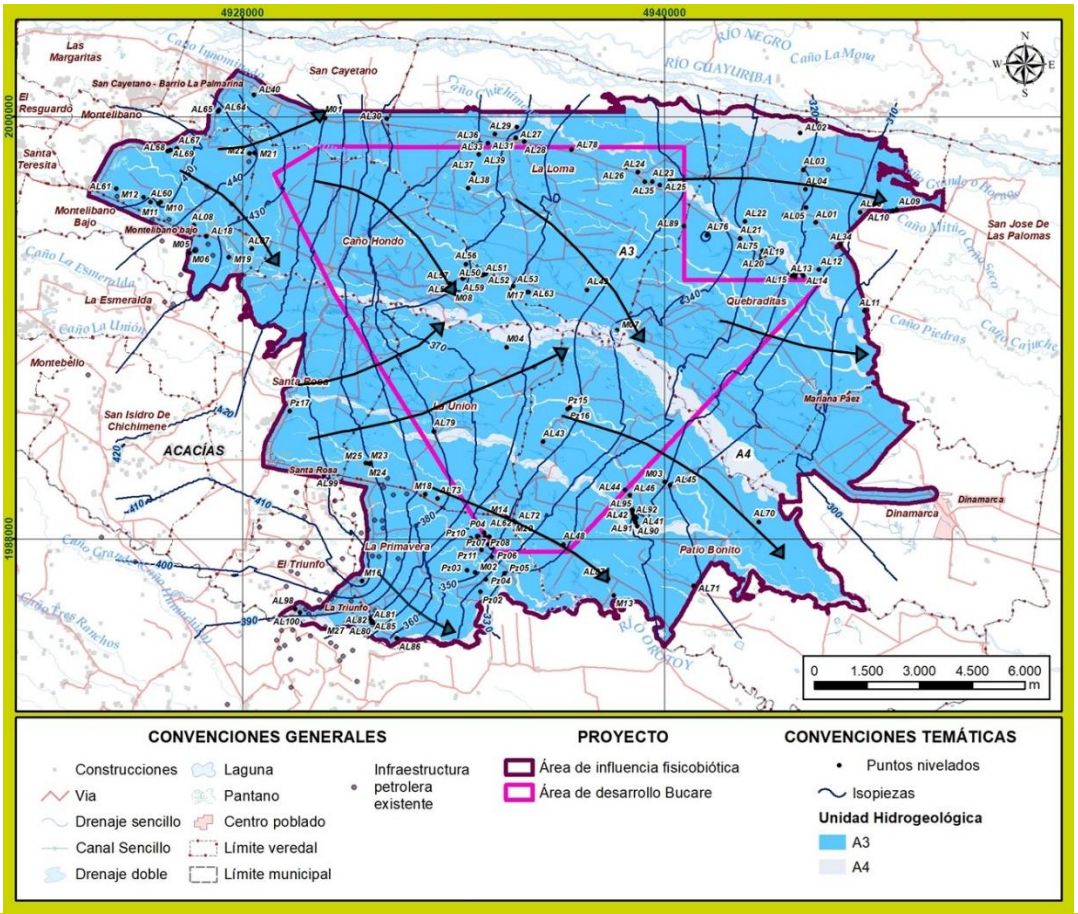


Figura 3-86 Direcciones preferenciales de flujo de agua subterránea.
Fuente: SGI S.A.S., 2025.

Como se evidencia en la Figura 3-86, el flujo de agua subterránea en el primer nivel acuífero presenta una dirección general desde las zonas topográficamente más elevadas, donde se generan los procesos de recarga, hacia los drenajes principales, siendo el río Acacías la principal zona de descarga del sistema. La información disponible no cuenta con una densidad suficiente de puntos de control hidrogeológico que permita realizar un análisis independiente y representativo del régimen de flujo exclusivo para la unidad hidrogeológica A4, por lo cual se realiza un análisis general y no por unidad hidrogeológica. Adicionalmente, con base en la información geológica e hidrogeológica analizada, no se identifican barreras hidráulicas conocidas que separen o interrumpan el flujo subterráneo entre las dos unidades hidrogeológicas evaluadas, por lo cual el comportamiento del flujo se interpreta como un sistema hidráulicamente continuo a la escala de análisis del presente estudio.

3.2.7.11 Zonas con potencial de recarga

En términos generales, se denomina recarga al proceso por el cual se incorpora a un acuífero agua procedente del exterior o del contorno que lo limita. Son varias las procedencias de esa recarga, desde la infiltración de la lluvia (la más importante en general) y de las aguas superficiales (importante en climas poco lluviosos), hasta la transferencia desde otro acuífero, si los mismos son externos al acuífero o sistema acuífero en consideración (Custodio, E., Llamas, M.R., 1983). La recarga procedente de la infiltración de la lluvia es la entrada neta de agua al terreno (infiltración menos evaporación, menos escorrentía superficial), que se transmite hacia los acuíferos.

El área o zona donde ocurre la recarga se denomina zona de recarga y son sitios donde la capacidad de infiltración es alta. Este proceso ocurre de manera natural cuando el agua lluvia se infiltra hacia el acuífero a través de suelos con alta capacidad de infiltración o rocas suficientemente permeables (Losilla, 1986).

Para definir las zonas potenciales de recarga de los acuíferos en el área de influencia del presente proyecto, se aplicó una modificación de la metodología propuesta por Matus Silva, O. D. (2007), basada en las características particulares de la zona de estudio. A continuación, se describe de forma breve la metodología propuesta por Matus Silva, O. D. (2007) y la modificación realizada para su aplicación en este estudio.

3.2.7.11.1 Metodología

En el año 2007, Matus Silva O.D. propuso una metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica, la cual se basa en el análisis y evaluación de cinco (5) elementos biofísicos que tienen relación directa en la determinación de zonas con altas o bajas posibilidades para que se dé la recarga hídrica, las cuales son:

- Pendiente
- Tipo de suelo
- Tipo de roca
- Cobertura vegetal
- Uso del suelo

A cada una de las variables o elementos considerados en la metodología se le asigna una valoración o ponderación que va de 1 a 5, donde 1 corresponde al valor más bajo (características menos favorables para que ocurra la recarga hídrica) y 5 se les asigna a las características que más favorecen la recarga de los acuíferos.

A continuación, se detalla cada una de las variables consideradas dentro de la metodología y las ponderaciones que se les puede asignar según las características que estos elementos biofísicos presenten en el área de influencia:

➢ **Descripción de las variables consideradas**

- Pendiente y microrrelieve (*Pend*)

En relieves con elevaciones altas, escarpados y de rápido escurrimiento superficial, el proceso de infiltración y recarga disminuye y se aceleran los procesos de erosión y compactación de los suelos; esto indica que el relieve afecta de forma negativa. Por el contrario, en lugares con relieves planos, semiplanos y cóncavos se favorece el proceso de infiltración y recarga hídrica, al permitir un mayor tiempo de contacto del agua con el suelo.

Al igual que el relieve, la pendiente es un criterio muy importante para el análisis e identificación de las zonas con potencial para la recarga hídrica, ya que está directamente relacionada con la escorrentía superficial. En los sitios con pendientes altas o fuertes aumenta la velocidad de la escorrentía, lo que modifica las condiciones del suelo, la capacidad de recarga y la susceptibilidad a la erosión; por el contrario, en pendientes suaves, el agua se mueve lentamente y permanece por más tiempo en contacto con el suelo, lo que favorece el proceso de infiltración (Matus Silva, O.D., 2007).

En la **Tabla 3-53** se presentan las ponderaciones asignadas para la posibilidad de recarga hídrica que puede presentar un área según el grado de pendiente y microrrelieve.

Tabla 3-53 Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según la pendiente

MACRORRELIEVE	PENDIENTE (%)	POSIBILIDAD DE RECARGA	PONDERACIÓN
Plano a casi plano, con o sin rugosidad	0 - 6	Muy alta	5
Moderadamente ondulado o cóncavo	6 - 15	Alta	4
Ondulado/cóncavo	15 - 45	Moderada	3
Escarpado	45 - 65	Baja	2
Fuertemente escarpado	>65	Muy baja	1

Fuente: SGI S.A.S., 2025

- Tipo de suelo (*TS*)

El suelo es la primera barrera que debe atravesar el agua en su movimiento desde la superficie. Así, entre mayor sea la porosidad, el tamaño de las partículas y el fisuramiento del suelo, mayor será la capacidad de infiltración. Las áreas de recarga requieren suelos con alta capacidad de infiltración, lo cual depende de la textura del suelo. Suelos con textura gruesa y porosa, altamente permeables, presentan una mayor capacidad para recargar acuíferos. En cambio, suelos finos, arcillosos y compactos dificultan o impiden la infiltración y recarga hídrica (Matus Silva, O.D., 2007).

En la **Tabla 3-54** se presentan las ponderaciones asignadas para las diferentes posibilidades de recarga hídrica que se pueden presentar considerando la textura del suelo.

Tabla 3-54 Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según la textura del suelo

TEXTURA	POSIBILIDAD DE RECARGA	PONDERACIÓN
Suelos franco-arenosos a arenosos, con tamaño de agregados o partículas de gruesos a medios, con muy rápida capacidad de infiltración (más de 25 cm/h).	Muy alta	5

TEXTURA	POSIBILIDAD DE RECARGA	PONDERACIÓN
Suelos francos, con partes iguales de arena, limo y arcilla, con rápida capacidad de infiltración (12,7 – 25 cm/h).	Alta	4
Suelos franco-limosos, con partículas de tamaño medio a finas, con moderada a moderadamente rápida capacidad de infiltración (2 – 12,7 cm/h).	Moderada	3
Suelos franco-arcillosos, combinación de limo y arcilla, con partículas finas, suelos pesados, con muestras de compactación, con lenta a moderadamente lenta capacidad de infiltración (0,13 – 2 cm/h).	Baja	2
Suelos arcillosos, muy pesados, con partículas muy finas, compactados, con muy lenta capacidad de infiltración (menos de 0,13 cm/h).	Muy baja	1

Fuente: SGI S.A.S., 2025

- Tipo de roca (*TR*)

Se puede tener una zona con buenas características climáticas, de pendiente, tipo de suelo, cobertura vegetal y buen uso del suelo que favorezcan la recarga del acuífero, pero si existe una capa de material rocoso o arcilla impermeable que no permite el paso del agua hacia los acuíferos, no habrá recarga, sino que se formará un flujo de agua subsuperficial, con movimiento horizontal, que saldrá a la superficie o alimentará a un río (INAB 2003).

Por esta razón, la litología, o tipo de roca, desempeña un papel fundamental en la recarga de acuíferos. Las características de las rocas que determinan su capacidad de recarga son la porosidad y la permeabilidad. Rocas con alta permeabilidad, como areniscas y gravas, facilitan la infiltración y el movimiento del agua hacia los acuíferos subyacentes, mientras que materiales de baja permeabilidad, como arcillas y lutitas, tienden a actuar como barreras hidráulicas.

En la **Tabla 3-55** se presentan las ponderaciones asignadas a las diferentes posibilidades de recarga hídrica que se pueden presentar al considerar el tipo de roca o litología aflorante en un área.

Tabla 3-55 Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el tipo de roca

ROCAS	POSIBILIDAD DE RECARGA	PONDERACIÓN
Rocas muy permeables, muy suaves, constituidas por cristales o agregados gruesos, con macroporos interconectados; por ejemplo, arena gruesa, piedra pómez, grava o cascajo.	Muy alta	5
Rocas permeables, suaves, constituidas por cristales o agregados medianos, con poros interconectados; por ejemplo, arena fina o arenisca con poca cementación.	Alta	4
Rocas moderadamente permeables, semisuaves, con regular conexión entre poros.	Moderada	3
Rocas poco permeables, un poco duras, moderadamente compactadas, constituidas por partículas finas, con presencia de fracturas interconectadas; por ejemplo, la combinación de gravas con arcillas.	Baja	2
Rocas impermeables, duras, cementadas, compactadas, constituidas por partículas muy finas, sin presencia de fracturas.	Muy baja	1

Fuente: SGI S.A.S., 2025

- Cobertura vegetal permanente (*CVE*)

Se entiende como cobertura vegetal al porcentaje del suelo ocupado por comunidades vegetales permanentes. La cobertura del suelo es otro elemento considerado en la metodología porque es un factor que influye en la infiltración del agua, ya que permite un mayor contacto con el suelo, disminuye la velocidad de la escorrentía, la erosión, el impacto de la gota de lluvia y la resequedad causada por los rayos del sol. Todo esto contribuye a conservar las características del suelo que favorecen la recarga hídrica e incluso, por sí misma la cobertura vegetal la favorece (Matus Silva, O.D., 2007).

En la **Tabla 3-56** se presentan las diferentes posibilidades de recarga hídrica que se pueden presentar con base en el porcentaje de cobertura vegetal presente en un área.

Tabla 3-56 Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el porcentaje de cobertura vegetal

COBERTURA VEGETAL PERMANENTE (PORCENTAJE)	POSIBILIDAD DE RECARGA	PONDERACIÓN
>80	Muy alta	5
70 - 80	Alta	4
50 - 70	Moderada	3
30 - 50	Baja	2
<30	Muy baja	1

Fuente: SGI S.A.S., 2025

- Usos del suelo (*US*)

Un uso inadecuado del suelo puede disminuir la recarga del acuífero hasta en un 50%; a la vez, hace que aumenten los riesgos naturales y la pérdida de suelo por erosión hídrica o eólica (FORGAES sf). Con este parámetro se busca establecer el grado en el que una determinada actividad o cambio de uso del suelo influye en el deterioro de las características del suelo, en la erosión, compactación y en la reducción de la capacidad de infiltración y, por ende, en la recarga hídrica de los acuíferos (Matus Silva, O.D., 2007).

En la **T**abla **3-57** se presentan las diferentes posibilidades de recarga hídrica establecidas con base en el uso que se le da al suelo en un área determinada.

Tabla 3-57 Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el uso del suelo

USO DEL SUELO	POSIBILIDAD DE RECARGA	PONDERACIÓN
Bosque donde se dan los tres estratos: árboles, arbustos y hierbas o zacate denso	Muy alta	5
Sistemas agroforestales o silvopastoriles	Alta	4
Terrenos cultivados y con obras de conservación de suelo y agua	Moderada	3
Terrenos cultivados sin ninguna obra de conservación de suelo y agua	Baja	2
Terrenos agropecuarios con manejo intensivo	Muy baja	1

Fuente: SGI S.A.S., 2025

➢ **Determinación del potencial de recarga**

Para determinar la posibilidad de recarga hídrica de un área determinada, una vez evaluadas sus características mediante las variables definidas en la metodología y de la ponderación asignada a cada una de ellas (**Tabla 3-53**, **Tabla 3-54**, **Tabla 3-55**, **Tabla 3-56** y **T**abla **3-57**), se procede a

multiplicar cada valor obtenido por su respectivo peso. Posteriormente, se suman los resultados ponderados, obteniendo así un valor que permite establecer el nivel de potencial de recarga para el área analizada.

Matus Silva, O.D., (2007) propone los siguientes pesos para cada elemento considerado dentro de la metodología, los cuales se relacionan tal como se presenta en la siguiente ecuación:

$$ZR = [0{,}27(Pend) + 0{,}23(Ts) + 0{,}12(Tr) + 0{,}25(Cve) + 0{,}13(Us)]$$

Donde:

Pend: Pendiente y microrrelieve
TS: Tipo de suelo
TR: Tipo de roca
CVE: Cobertura vegetal permanente
US: Usos del suelo

A partir de esta ecuación, se obtiene un número comprendido dentro del rango de posibilidades de recarga hídrica, los cuales se detallan en la **Tabla 3-58**.

Tabla 3-58 Categorías del potencial de recarga hídrica y su respectivo rango

POTENCIAL DE RECARGA	RANGO
Muy alta	4,1 – 5
Alta	3,5 – 4,09
Moderada	2,6 – 3,49
Baja	2 – 2,59
Muy baja	1 – 1,99

Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Adaptación de la metodología para el área de estudio**

Es importante mencionar que la metodología propuesta por Matus Silva, O.D., (2007), fue desarrollada específicamente para la subcuenca del río Jucuapa, en Nicaragua; por lo cual los pesos relativos incluidos en la ecuación original corresponden a las condiciones biofísicas y ambientales particulares de dicha zona.

Sin embargo, el autor señala que la asignación de los pesos relativos se definió en función de la importancia que cada variable ejerce sobre el proceso de infiltración del agua. En este sentido, los factores que más favorecen la infiltración reciben un mayor peso en la ponderación. Para el caso de la subcuenca del río Jucuapa, la variable de mayor incidencia en la recarga fue la pendiente, seguida de la cobertura vegetal, el tipo de suelo, el uso del suelo y, por último, el tipo de roca.

Teniendo en cuenta que cada territorio presenta características particulares que influyen en la dinámica de infiltración y recarga, en el presente Estudio de Impacto Ambiental se realizó una adaptación de la metodología original, específicamente en lo referente a la asignación de los pesos de las variables. Esta modificación responde a las diferencias físicas existentes entre las cuencas de los ríos Acacías y Guayuriba, dentro de las cuales se ubica él Área de Desarrollo Bucare, y la subcuenca del río Jucuapa.

Si bien en los POMCA de los ríos Acacías y Guayuriba no se estima el potencial de recarga de acuíferos, el POMCA del río Tillavá, también ubicado en el departamento del Meta, sí desarrolla esta estimación utilizando la metodología de Matus Silva, O.D. (2007). En ese POMCA se aplica

igualmente una modificación de los pesos originales, considerando las características particulares de dicha cuenca, las cuales son muy similares a las del Área de Desarrollo Bucare. Esto respalda la pertinencia técnica de la adaptación realizada en el presente análisis.

El ajuste en los pesos se efectuó siguiendo el mismo criterio conceptual empleado por Matus Silva, O.D. (2007): asignar mayor relevancia a las variables que más influyen en la infiltración del agua. No obstante, con el fin de mantener la coherencia con la metodología original, en lugar de modificar los valores propuestos por el autor, en el presente EIA se reorganizó la distribución de estos pesos entre las variables, de acuerdo con su importancia relativa en el proceso de recarga dentro del Área de Desarrollo Bucare. Es decir, se conservaron los valores absolutos definidos en la metodología, pero se reasignaron conforme a la influencia que ejerce cada elemento en el área de estudio.

Siguiendo este enfoque adaptado, se analizaron las cinco (5) variables contempladas en la metodología para determinar su relevancia en el área de influencia y establecer cuáles favorecen en mayor o menor grado la recarga hídrica de los acuíferos. El análisis permitió concluir lo siguiente:

- El tipo de roca (Tr) se identificó como el factor más influyente en la infiltración del agua lluvia. Esta conclusión se alcanzó al considerar que, aunque una zona cuente con características favorables para la recarga de acuíferos, tales como precipitaciones constantes, pendientes bajas, suelos porosos, coberturas vegetales adecuadas y usos del suelo favorables, la presencia de una unidad geológica impermeable puede impedir el paso del agua hacia los acuíferos, limitando la recarga. Por lo tanto, se considera adecuado asignar el mayor peso a esta variable.

- En segundo lugar, se encuentra la cobertura vegetal (Cve), la cual juega un papel determinante en la recarga de los acuíferos, dado que favorece la infiltración del agua pluvial al aumentar el contacto del agua lluvia con el suelo, disminuir la escorrentía superficial, reducir la erosión y mantener la humedad del terreno, lo que favorece los procesos de recarga.

- En tercer lugar, se ubica el tipo de suelo (Ts), dado que constituye la primera barrera que debe atravesar el agua en su tránsito desde la superficie; por lo que entre mayor sea la porosidad, el tamaño de las partículas y el fisuramiento del suelo, mayor será la capacidad de infiltración.

- En cuarto lugar se encuentra el uso del suelo (Us), ya que, si bien esta variable influye en la recarga de los acuíferos, lo hace en un grado menor respecto a los factores previamente mencionados.

- Finalmente, la pendiente (Pend) se considera la variable de menor influencia en el área de estudio, debido a que, aunque teóricamente contribuye a la infiltración al disminuir la velocidad de escorrentía y aumentar el tiempo de contacto del agua con el suelo, en el área de influencia predominan pendientes bajas y homogéneas. Esta morfología uniforme implica que la topografía no presenta variaciones significativas que puedan modificar de manera sustancial los procesos de infiltración. Por lo tanto, y después del uso del suelo (Us), la pendiente se clasifica como el factor de menor relevancia, dada su marcada homogeneidad en la zona.

A partir de este análisis, se estableció que, para la estimación del potencial de recarga de los acuíferos en el área de influencia, los pesos deben asignarse en el siguiente orden de importancia: tipo de roca (Tr), cobertura vegetal (Cve), tipo de suelo (Ts), uso del suelo (Us) y, finalmente, la pendiente (Pend). Esta jerarquización coincide con la adoptada en el POMCA del río Tillavá, donde se intercambiaron los pesos originalmente asignados al tipo de roca y a la pendiente, de modo que el tipo de roca fuera el factor de mayor influencia, manteniéndose iguales los pesos de las demás variables.

Por esta razón, en el presente proyecto se empleará la distribución de pesos expresada en la siguiente ecuación:

$$ZR = [0{,}12(Pend) + 0{,}23(Ts) + 0{,}27(Tr) + 0{,}25(Cve) + 0{,}13(Us)]$$

Las ponderaciones asignadas a cada categoría dentro de cada variable, así como las variables consideradas y los rangos para la clasificación del potencial de recarga, se mantuvieron idénticos a los establecidos en la metodología original. La única modificación consistió en la redistribución de los pesos asignados a las variables tipo de roca y pendiente.

3.2.7.11.2 Potencial de recarga en el área de influencia

A continuación, se presenta una breve descripción y la ponderación asignada a cada una de las variables consideradas en la metodología propuesta por Matus Silva, O.D. (2007) para determinar el potencial de recarga en el área de estudio. La escala de valoración utilizada para cada variable oscila entre 1 y 5, donde 5 representa la condición más favorable para la recarga y 1 la menos favorable.

- **Tipo de roca**

En la **Tabla 3-59** se presenta la ponderación otorgada a cada una de las unidades geológicas aflorantes en el área de influencia, acorde a la litología de cada una y su capacidad para favorecer y/o dificultar la infiltración de agua lluvia y la posterior recarga de los acuíferos someros.

Tabla 3-59 Ponderación del tipo de roca en el área de influencia

UNIDAD GEOLÓGICA	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	PONDERACIÓN
Depósitos de Abanico Aluvial (Q1ca)	Gravas, gravas arenosas y arenas gravosas, semiconsolidados a no consolidados y con mala selección granulométrica. Esta unidad presenta una composición dominantemente gruesa, acompañadas por una matriz de lodos arenosos con arenas finas a muy finas.	4
Depósitos de Terraza Alta (Qt1)	Está compuesta por sedimentos no consolidados, de grado de meteorización avanzado, conformados por gravas y gravas arenosas con matriz predominantemente arenosa.	4
Depósitos de Terraza Media (Qt2)	Materiales no consolidados compuestos predominantemente por gravas arenosas, con matriz de arenas finas a muy finas y una fracción arcillosa, haciendo de esta matriz moderadamente plástica.	4
Depósitos de Terraza Baja (Q2t3)	Depósitos no consolidados de gravas arenosas, gravas y arenas gravosas. También es posible identificar intercalaciones de depósitos con texturas más finas (arenas limosas y lodos arenosos).	4
Depósitos de planos de inundación de drenajes mayores (Q2pi)	Sedimentos no consolidados que hacia la base presenta niveles de granulometría gruesa (gravas arenosas o arenas gravosas), en algunos casos clastosoportados, que yacen por debajo de capas con sedimentos más finos, como arenas, arenas limosas o limos arenosos.	3
Depósitos aluviales de drenajes mayores (Q2al1)	Sedimentos no consolidados, principalmente clasto-soportados, caracterizados por una alta proporción de gravas. La mayoría presenta contenidos de grava superiores al 65%, alcanzando valores de hasta el 95%. En general, las arenas mal seleccionadas, con tamaños de muy fina a muy gruesa, constituyen el segundo componente más abundante, mientras que el contenido de lodo es escaso o nulo, con valores máximos de hasta el 10%.	3
Depósitos aluviales de drenajes menores (Q2al2)	Materiales no consolidados, en su mayoría matriz soportados, clasificados como arenas gravosas, ya que las arenas constituyen entre el 80% y el 85% del material, mientras que las gravas representan entre el 15% y el 20%, a excepción de algunos sectores donde la proporción de gravas puede alcanzar hasta un 40%.	3

Fuente: SGI S.A.S., 2025

Dentro del área de influencia, se considera que los Depósitos de abanico aluvial, los Depósitos de terraza alta, los Depósitos de terraza media y los Depósitos de terraza baja son las unidades geológicas aflorantes que en más favorecen la infiltración del agua lluvia y, por tanto, la recarga de los acuíferos. Esto se debe a sus propiedades litológicas y texturales, caracterizadas por sedimentos no consolidados a semiconsolidados, con granulometrías predominantemente gruesas.

Por el contrario, las otras tres unidades geológicas aflorantes en el área de estudio, es decir, los Depósitos de planos de inundación de drenajes mayores, Depósitos aluviales de drenajes mayores y Depósitos aluviales de drenajes menores, están conformadas por sedimentos no consolidados,

pero con granulometrías más finas. Debido a ello, se consideran las unidades menos favorables para la recarga hídrica de los acuíferos. En la **Figura 3-87** se presentan distribuidas espacialmente las posibilidades de recarga hídrica del área de influencia según el tipo de roca o unidad geológica aflorante.

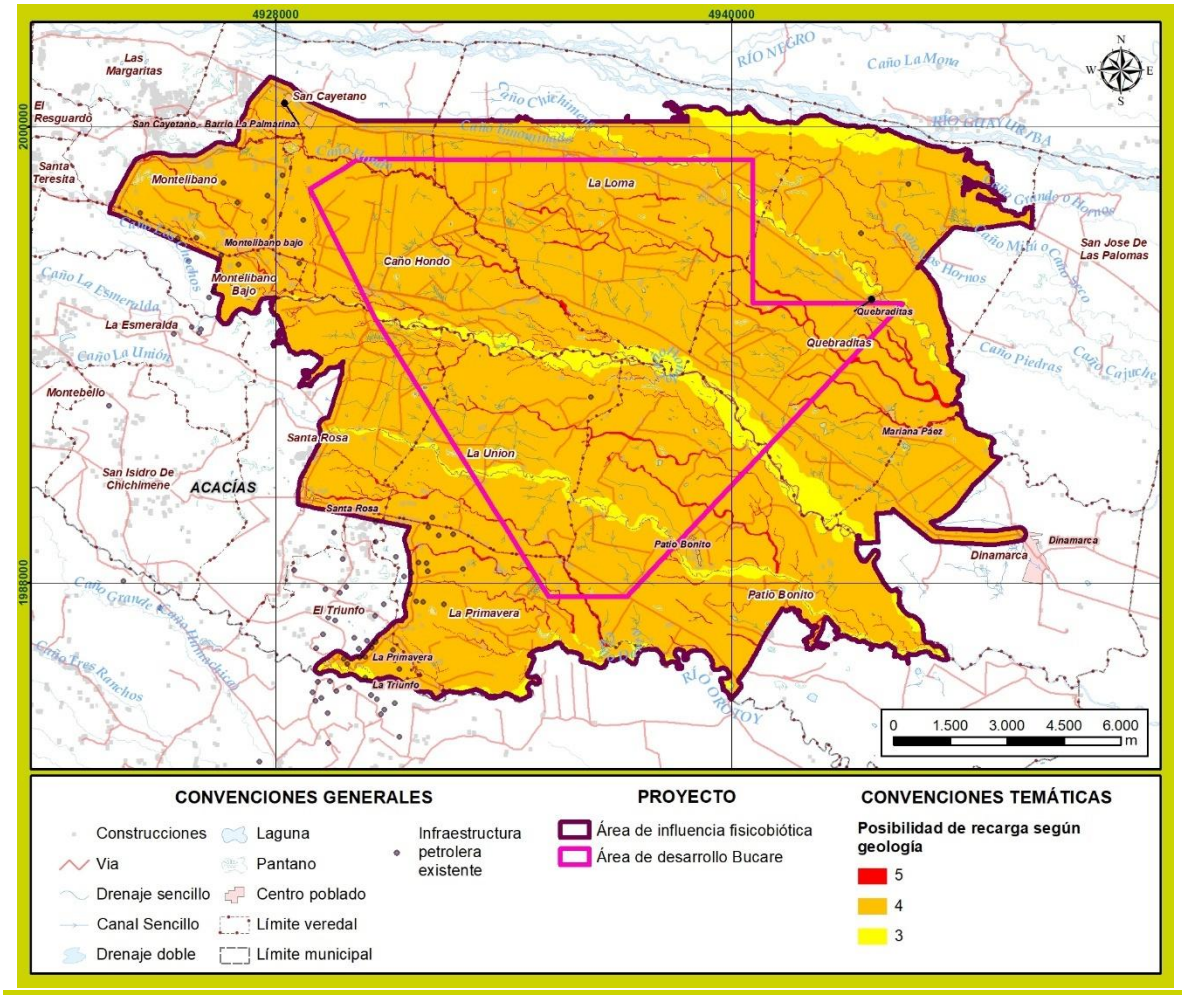


Figura 3-87 Posibilidad de recarga en el área de influencia según el tipo de roca
Fuente: SGI S.A.S., 2025

Con base en la unidad geológica aflorante, se evidencia que la gran mayoría del área de influencia presenta una posibilidad de recarga hídrica moderada, asociada al afloramiento de los depósitos de abanico aluvial y los diferentes niveles de terraza de acumulación, los cuales, gracias a su composición litológica y textural, junto con el bajo grado de compactación que presentan, favorecen la infiltración del agua lluvia.

- **Tipo de suelo (velocidad de infiltración)**

En la **Tabla 3-60** se presenta la ponderación asignada a cada una de las unidades cartográficas de suelo identificadas en el área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare.

Tabla 3-60 Ponderación del tipo de suelo en el área de influencia

UGS	FASE		TEXTURA Y VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN	PONDERACIÓN
CA	Cauce aluvial		No suelo - Muy lenta velocidad de infiltración	1
	Laguna		No suelo - Muy lenta velocidad de infiltración	1
	Meandro abandonado		No suelo - Muy rápida velocidad de infiltración	5
-	No suelo		No suelo - Muy lenta velocidad de infiltración	1
	NS-dep.cau	Barra longitudinal	No suelo - Muy rápida velocidad de infiltración	5
		Barra puntual	No suelo - Muy rápida velocidad de infiltración	5
		Barras compuestas	No suelo - Muy rápida velocidad de infiltración	5
		Isla	No suelo - Muy lenta velocidad de infiltración	1
		Orillar	No suelo - Muy rápida velocidad de infiltración	5
		Vega	No suelo - Muy rápida velocidad de infiltración	5
PVABA	PVABAapo		Suelos franco-limosos con moderada a moderadamente rápida velocidad de infiltración (5,14 cm/hr)	3
	PVABAbpo		Suelos franco-limosos con moderada a moderadamente rápida velocidad de infiltración (5,14 cm/hr)	3
	PVABAapm		Suelos franco-arenosos con rápida velocidad de infiltración (20,07 cm/hr)	4
	PVABAbpm		Suelos francos-arenosos, con rápida velocidad de infiltración (20,07 cm/hr)	4
PVAC	PVACabn		Suelos franco-limosos con moderada a moderadamente rápida velocidad de infiltración (6,41 cm/hr)	3
	PVACpbn		Suelos franco-limosos con moderada a moderadamente rápida velocidad de infiltración (6,41 cm/hr)	3
	PVACbbn		Suelos franco-arcillosos con lenta a moderadamente lenta velocidad de infiltración (0,43 cm/hr)	2
	PVACcbn		Suelos franco-arcillosos con lenta a moderadamente lenta velocidad de infiltración (0,43 cm/hr)	2
PVAT			Suelos franco-limosos con moderada a moderadamente rápida velocidad de infiltración (4,15 cm/hr)	3
RVPCDD			Suelos franco-arenosos con rápida velocidad de infiltración (21,72 cm/hr)	4
RVPN			Suelos franco-arenosos con rápida velocidad de infiltración (21,72 cm/hr)	4
RVT1P			Suelos franco-arcillosos con lenta a moderadamente lenta velocidad de infiltración (0,32 cm/hr)	2
RVT1B			Suelos franco-arcillosos con lenta a moderadamente lenta velocidad de infiltración (0,13 cm/hr)	1
VVPCD			Suelos francos-arenosos con muy rápida velocidad de infiltración (27,91 cm/hr)	5
VVPI			Suelos francos-arenosos con muy rápida velocidad de infiltración (27,91 cm/hr)	5
VVT1B			Suelos franco-arcillosos con lenta a moderadamente lenta velocidad de infiltración (0,13 cm/hr)	1
VVT1P			Suelos franco-limosos con moderada a moderadamente rápida velocidad de infiltración (2,83 cm/hr)	3

UGS	FASE	TEXTURA Y VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN	PONDERACIÓN
VVT1T		Suelos franco-limosos con moderada a moderadamente rápida velocidad de infiltración (4,15 cm/hr)	3
VVT2B		Suelos franco-arcillosos con lenta a moderadamente lenta velocidad de infiltración (0,13 cm/hr)	1
VVT2P		Suelos francos-arenosos con muy rápida velocidad de infiltración (25,8 cm/hr)	5
VVT3B		Suelos franco-arcillosos con lenta a moderadamente lenta velocidad de infiltración (0,13 cm/hr)	1
VVT3P		Suelos franco-limosos con moderada a moderadamente rápida velocidad de infiltración (2,21 cm/hr)	3
VVT3T		Suelos franco-limosos con moderada a moderadamente rápida velocidad de infiltración (4,15 cm/hr)	3

Fuente: SGI S.A.S., 2025

Para el área de influencia, las unidades cartográficas de suelo que más favorecen la infiltración de agua son las denominadas VVPCD, VVPI y VVT2P, así como los depósitos de cauce, que, si bien no constituyen formalmente una unidad de suelo, presentan características texturales gruesas que les confieren velocidades de infiltración muy rápidas.

En contraste, las unidades de suelo RVT1B, VVT1B, VVT2B y VVT3B, caracterizadas por presentar suelos franco-arcillosos con velocidades de infiltración lenta a moderadamente lenta, son las que menos favorecen el ingreso del agua desde la superficie. A ello se suman las zonas sin presencia de suelo, como infraestructura, rellenos, ríos, lagunas y otros cuerpos de agua artificiales, donde la ausencia de capa edafológica y la alta compactación o impermeabilización limitan significativamente la infiltración.

En la **Figura 3-88** se presenta la distribución espacial de la posibilidad de recarga hídrica asociada a la velocidad de infiltración que presentan las unidades de suelos identificadas en el área de influencia del presente proyecto.

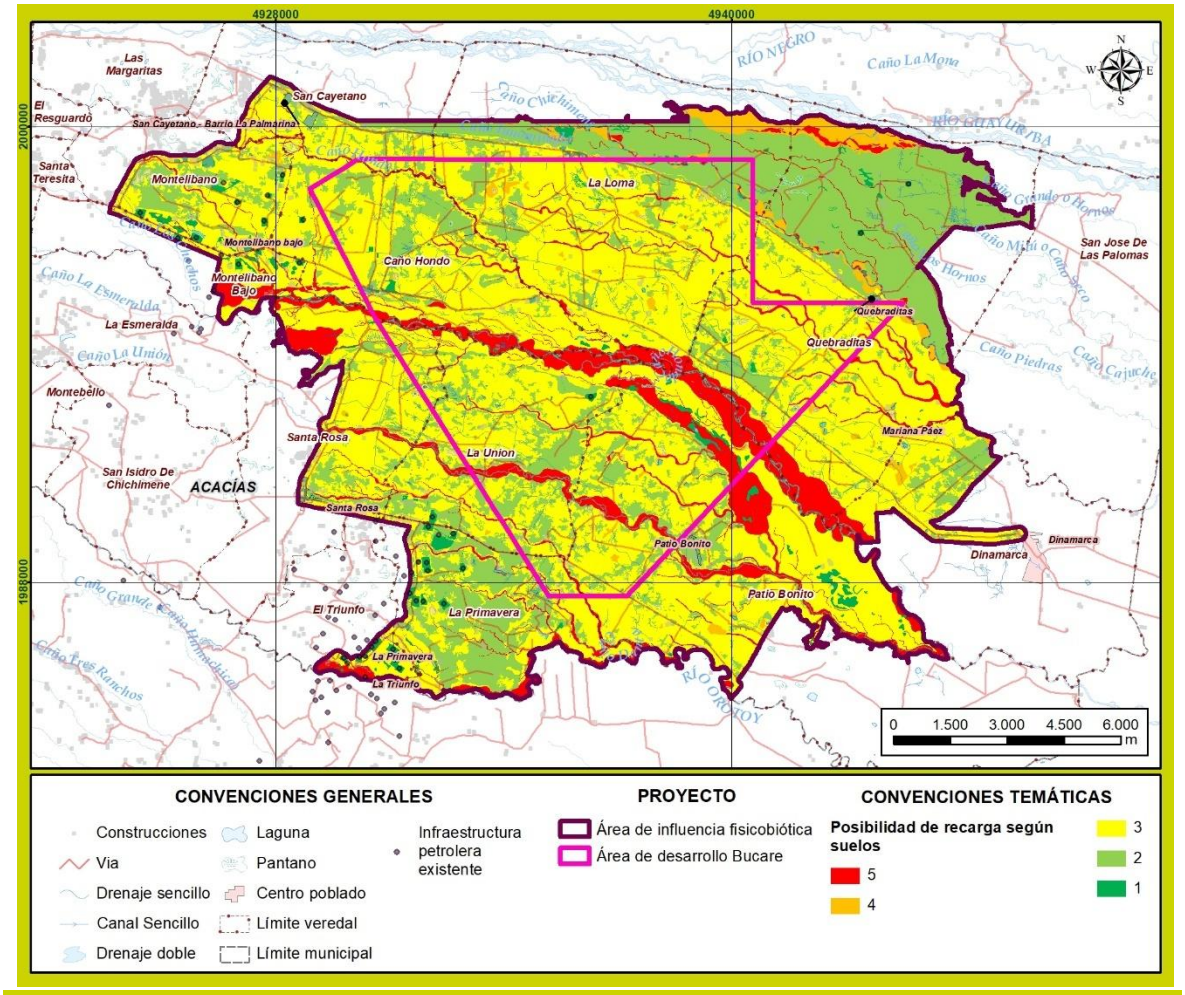


Figura 3-88 Posibilidad de recarga en el área de influencia según el tipo de suelo
Fuente: SGI S.A.S., 2025

Con base en la unidad de suelo, se evidencia que la mayor parte del área de influencia presenta una posibilidad de recarga hídrica moderada, asociada a suelos cuya velocidad de infiltración oscila entre 2,21 y 6,41 cm/hr. Dentro de estas unidades se encuentran PVAT, VVT1P, VVT1T, VVT3T, VVT3P, así como las fases PVABAapo y PVABAbpo de la unidad PVABA, y las fases PVACabn y PVACpbn de la unidad PVAC. En conjunto, estas unidades abarcan el 56,44% del área de influencia fisicobiótica del proyecto, seguido por el 28,06% asociado a una posibilidad de recarga baja.

Por el contrario, las zonas con posibilidad de recarga muy alta se asocian principalmente a los depósitos de cauce, los cuales presentan velocidades de infiltración muy elevadas, favoreciendo significativamente el ingreso de agua hacia los acuíferos. Estas zonas representan el 9,67% del área de influencia.

- **Cobertura vegetal**

En la **Tabla 3-61** se presentan las diferentes coberturas vegetales presentes en el área de influencia fisicobiótica del proyecto junto con la ponderación asignada según su capacidad para contribuir a la infiltración del agua.

Tabla 3-61 Ponderación de la cobertura vegetal en el área de influencia

UNIDAD CARTOGRÁFICA DE SUELO	PONDERACIÓN
Bosque de galería y/o ripario	5
Bosque denso alto de tierra firme	5
Bosque denso alto inundable	5
Canales	1
Cereales	2
Cuerpos de agua artificiales	1
Cultivos agroforestales	3
Pastos y árboles plantados	3
Cultivos permanentes arbóreos	3
Cultivos permanentes arbustivos	3
Cultivos permanentes herbáceos	3
Herbazal denso inundable arbolado	4
Herbazal denso inundable no arbolado	3
Instalaciones recreativas	1
Lagunas, lagos y ciénagas naturales	1
Mosaico de cultivos	2
Otros cultivos transitorios	2
Palma de aceite	3
Palmares	5
Pastos arbolados	3
Pastos enmalezados	2
Pastos limpios	2
Plantación forestal	4
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	1
Ríos	1
Tejido urbano discontinuo	1
Tubérculos	2
Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	1
Vegetación secundaria alta	4
Vegetación secundaria baja	3
Zonas arenosas naturales	5
Zonas de disposición de residuos	1
Zonas de extracción minera	1
Zonas industriales o comerciales	1
Zonas pantanosas	1

Fuente: SGI S.A.S., 2025

En la **Figura 3-89** se presenta la distribución espacial de las posibilidades de recarga hídrica asociadas a la capacidad de infiltración que presentan las coberturas vegetales dentro del área de influencia del proyecto.

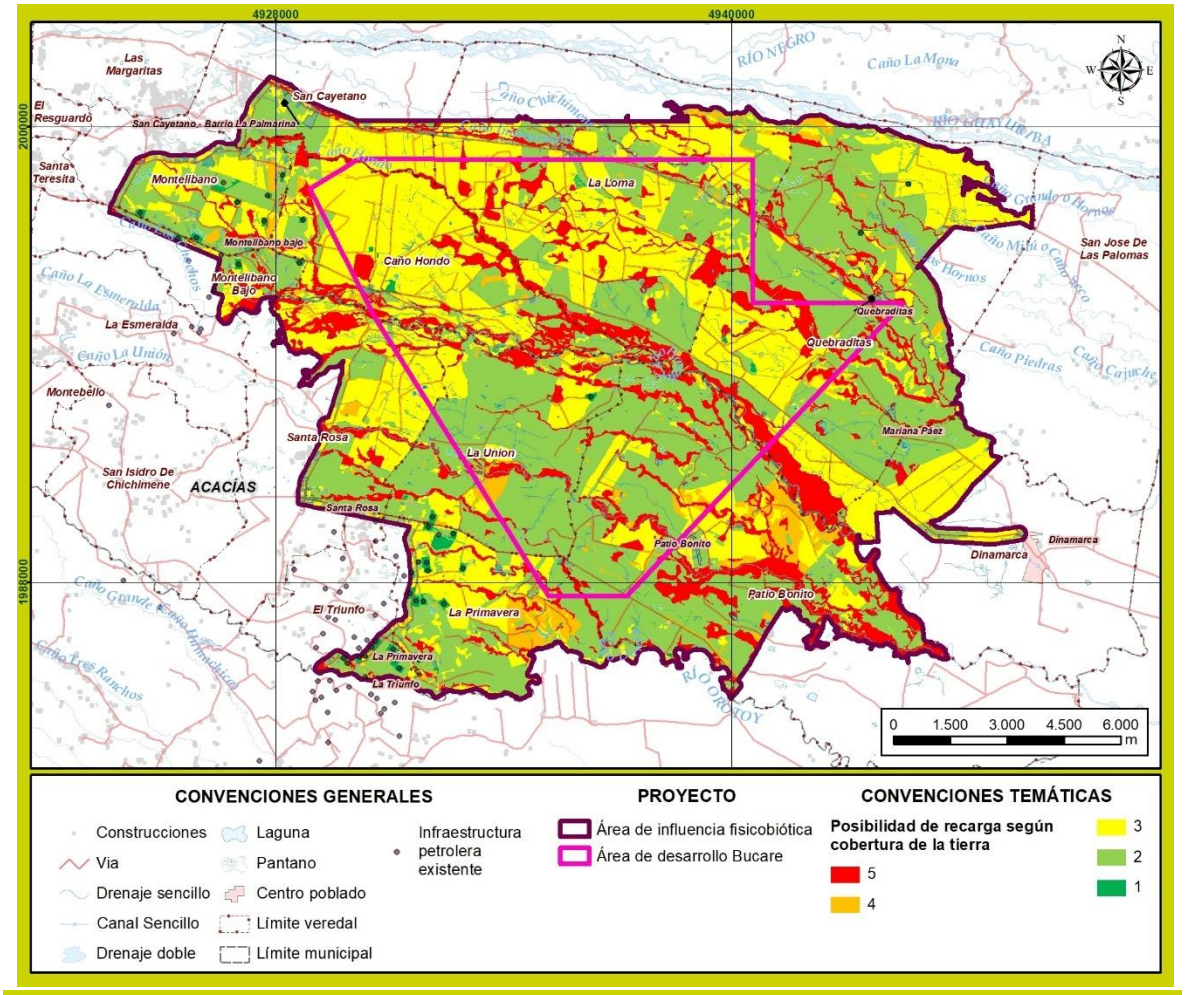


Figura 3-89 Posibilidad de recarga en el área de influencia según la cobertura vegetal
Fuente: SGI S.A.S., 2025

Con base en la cobertura vegetal, se evidencia que la mayor parte del área de influencia presenta una posibilidad de recarga baja, asociada a cereales, mosaico de cultivos, cultivos transitorios, pastos enmalezados, pastos limpios y tubérculos. En conjunto, estas coberturas abarcan el 43,5% del área de influencia fisicobiótica del proyecto.

Seguido de esto, se encuentran las coberturas cuya posibilidad de recarga es media, constituida por los cultivos permanentes y agroforestales, pastos arbolados, herbazal denso inundable no arbolado y vegetación secundaria baja, las cuales abarcan el 34,24% del área de influencia. Finalmente, la posibilidad de recarga muy alta abarca el 15,07% de esta área y está compuesta principalmente por los bosques de galería y/o ripario, bosques densos y los arenales.

- **Pendiente**

La pendiente del terreno influye directamente en el tiempo que el agua permanece en la superficie antes de escurrir, afectando así su posibilidad de infiltración. En la **Tabla 3-62** se presenta la ponderación asignada a la pendiente dentro del área de influencia.

Tabla 3-62 Ponderación de la pendiente en el área de influencia

DESCRIPCIÓN	% DE INCLINCACIÓN	PONDERACIÓN
A nivel	0-1%	5
Ligeramente plana	1-3%	5
Ligeramente inclinada	3-7%	5
Moderadamente inclinada	7-12%	4
Fuertemente inclinada	12-25%	3
Ligeramente escarpada o ligeramente empinada	25-50%	2

Fuente: SGI S.A.S., 2025

En la **Figura 3-90** se presentan las diferentes posibilidades de recarga hídrica que presenta el área de influencia asociado a la pendiente del terreno.

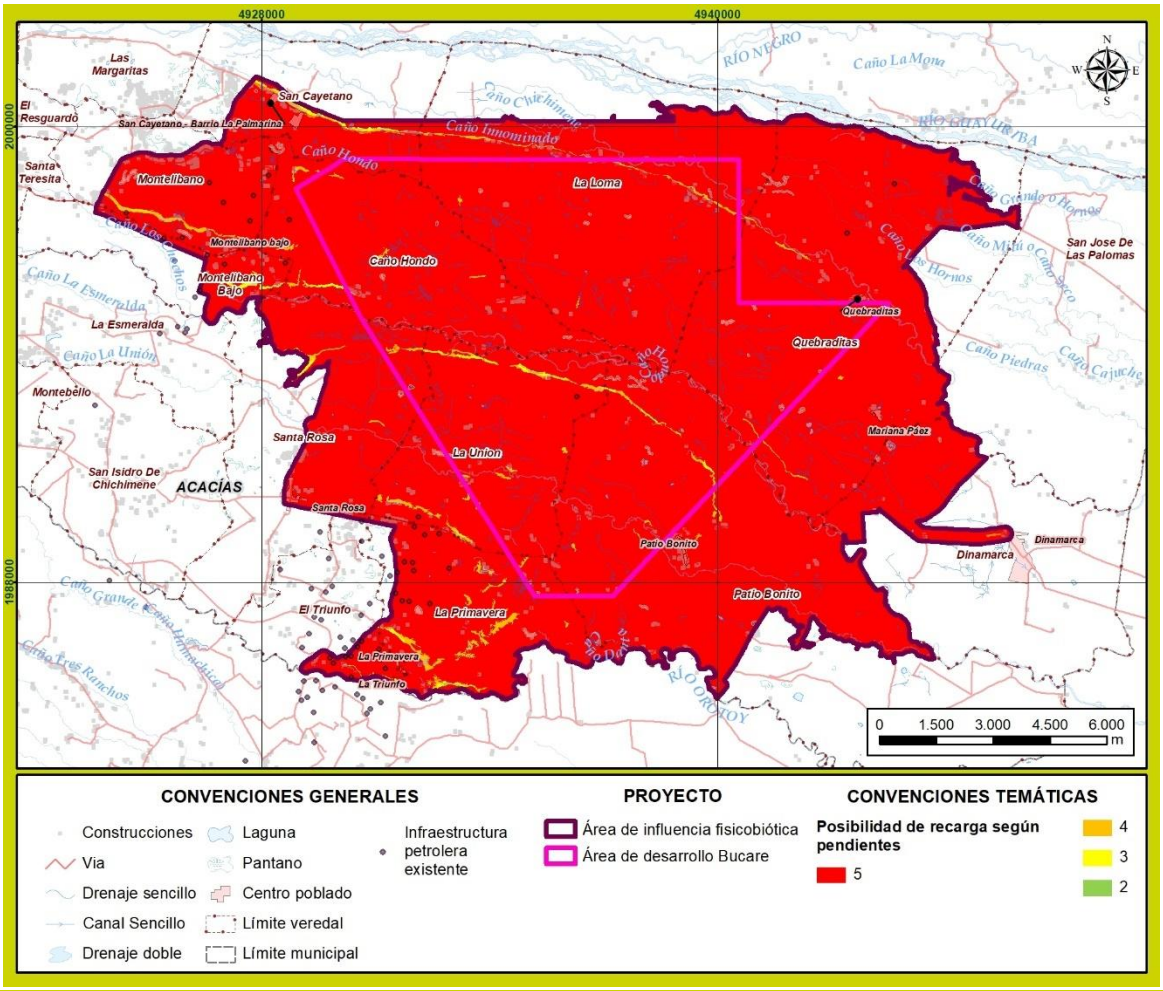


Figura 3-90 Posibilidad de recarga en el área de influencia según el grado de pendiente
Fuente: SGI S.A.S., 2025

Tal como se observa en la **Figura 3-90**, en la mayoría del área de influencia predominan las pendientes suaves, con inclinaciones que no superan el 7%, las cuales favorecen la infiltración del

agua lluvia hacia los acuíferos, ya que las bajas inclinaciones permiten que el agua fluya lentamente a través del terreno, lo que aumenta el tiempo de contacto con el suelo y facilita su infiltración.

- **Uso del suelo**

En la **Tabla 3-63** se presenta la ponderación asignada a los diferentes usos del suelo identificados en el área de influencia.

Tabla 3-63 Ponderación del uso del suelo en el área de influencia

USO ACTUAL DEL SUELO	PONDERACIÓN
Cultivos permanente semi intensivos	2
Cultivos transitorios intensivos	2
Cultivos permanente intensivos	2
Cultivos transitorios semi intensivos	2
Plantación Forestal	4
Pastoreo extensivo	1
Sistemas silvopastoril	4
Protección	4
Cuerpos de Agua Artificiales	1
Cuerpos de Agua Naturales	1
Residencial	1
Transporte	1
Industrial	1
Minerales energéticos	1

Fuente: SGI S.A.S., 2025

En el área de influencia, los usos del suelo que más favorecen la infiltración de agua son las áreas para protección, los sistemas silvopastoriles y las plantaciones forestales. En la **Figura 3-91** se presentan las diferentes posibilidades de recarga hídrica identificadas en el área de influencia con base en el uso del suelo.

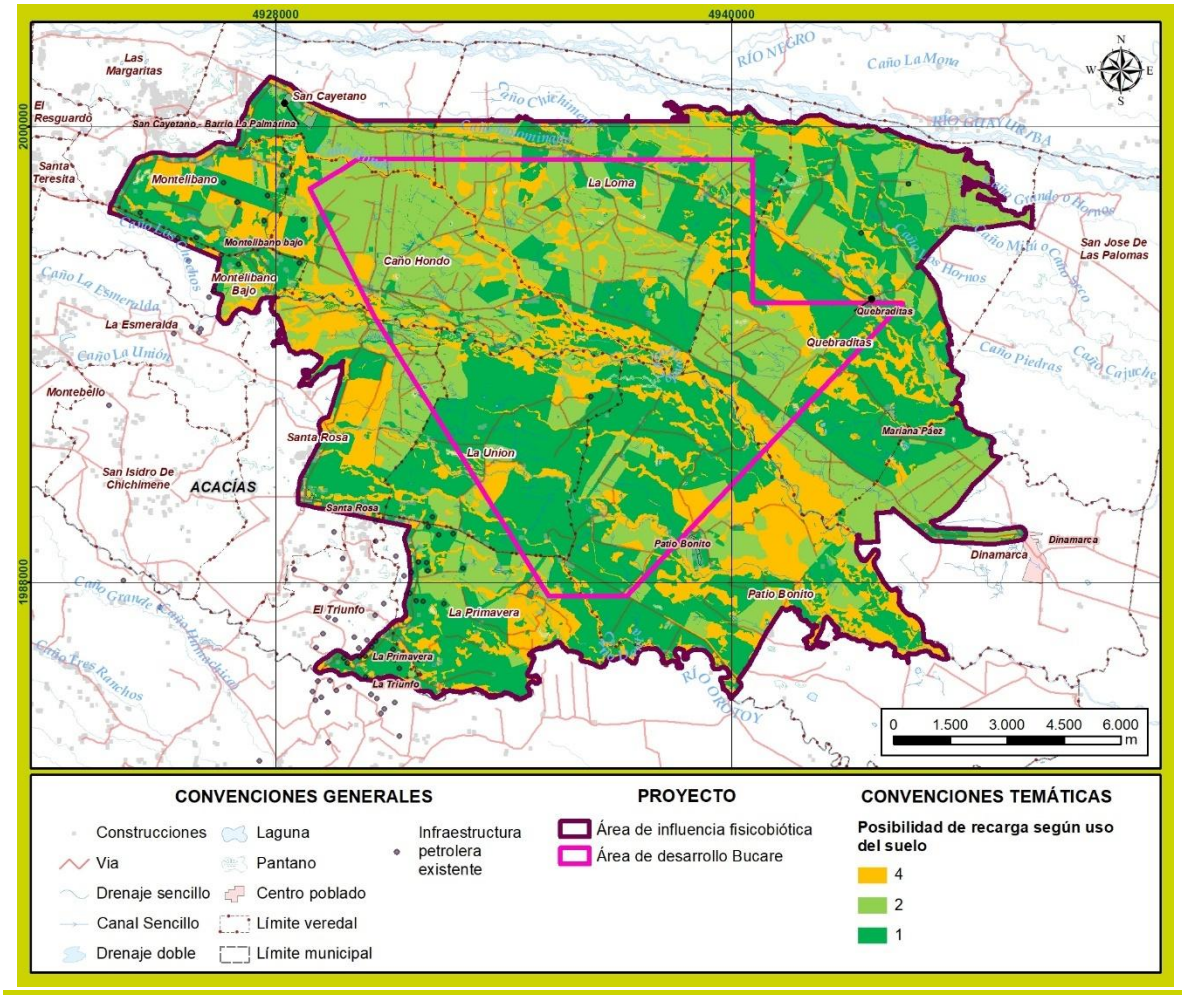


Figura 3-91 Posibilidad de recarga en el área de influencia según el uso del suelo
Fuente: SGI S.A.S., 2025

Con base en el uso del suelo, se evidencia que la mayor parte del área de influencia presenta una posibilidad de recarga muy baja, ya que la mayoría del suelo se emplea principalmente para el desarrollo de actividades ganaderas, las cuales conllevan la compactación del terreno y, por ende, dificultan la infiltración del agua lluvia. Seguido de este, el uso más abundante es la agricultura, la cual presenta un potencial de recarga bajo. Lo anterior demuestra que, en la mayoría del área de influencia, la posibilidad de que se recarguen los acuíferos con base en los usos del suelo es limitada.

- **Delimitación del potencial de recarga de acuíferos en el área de influencia**

Una vez calificada cada variable según las características del área de influencia, se realizó la superposición de las capas temáticas siguiendo la ecuación presentada anteriormente. De esta manera, se obtuvo la clasificación del potencial de recarga de los acuíferos teniendo en cuenta los rangos presentados en la **Tabla 3-58**.

En la **Figura 3-92** se presenta la distribución espacial del potencial de recarga de los acuíferos estimado a partir de la modificación propuesta a la metodología de Matus Silva, O.D., (2007) y con base en la información adquirida durante la salida de campo desarrollada en el marco del presente proyecto.

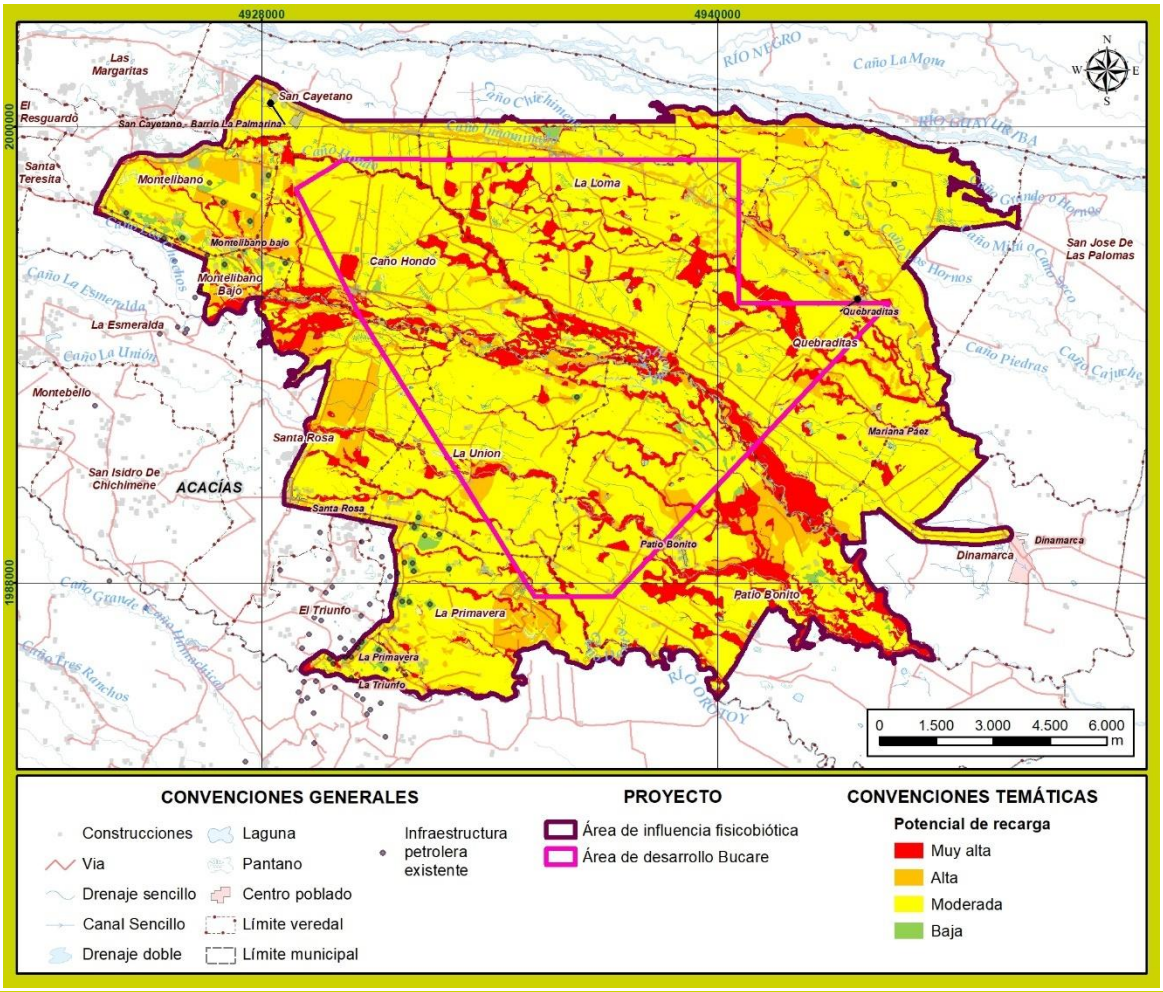


Figura 3-92 Distribución espacial del potencial de recarga de los acuíferos en el área de influencia estimado en el presente proyecto
Fuente: SGI S.A.S., 2025

Como se puede observar en la **Figura 3-92**, la mayor parte del área de influencia (aproximadamente el 72,54%) presenta un potencial de recarga moderado, asociado al afloramiento de los depósitos de abanico aluvial, donde a su vez las pendientes son suaves, suelos franco-limosos con velocidades de infiltración moderadas a moderadamente rápidas y coberturas que presentan una posibilidad de recarga moderada como los pastos arbolados y la palma de aceite.

Seguidamente, se encuentran las áreas con un potencial de recarga muy alto, las cuales abarcan el 13,57% del área de influencia y están asociadas a áreas donde coinciden diferentes características que favorecen la recarga, tales como la presencia de unidades de suelo con las mayores velocidades de infiltración, sedimentos no consolidados, pendientes muy bajas, coberturas vegetales abundantes, principalmente bosques y suelos asociados a los depósitos de cauce, principalmente los drenajes el Río Acacias y Caño la Unión.

Teniendo en cuenta la influencia que tiene la cobertura vegetal en la infiltración de agua (siendo este uno de los mayores pesos asignados en la ecuación), la mayoría de las zonas consideradas con muy alto potencial de recarga se ubican alrededor de los cauces aluviales, esto debido a que en este

sector predomina la presencia de bosques densos y bosques de galería, los cuales favorecen la retención de la gota de agua lluvia y su posterior infiltración al subsuelo.

Por otra parte, un potencial de recarga alto se identificó en el 10,77% del área de influencia fisicobiótica mientras que el potencial bajo abarca únicamente el 3,12% del área de influencia del proyecto y está asociado a tierras desnudas, pendientes moderadas y suelos con texturas francas que dificultan la infiltración del agua.

3.2.7.12 Zonas de recarga, tránsito y descarga

Una vez identificados los potenciales de recarga hídrica y su distribución espacial en el área de influencia, se procede a realizar la definición de las zonas de recarga teniendo en cuenta dichos resultados.

Para ello, se correlacionan los rangos de potencial de recarga hídrica que fueron estimados a partir de la modificación de la metodología propuesta por Matus Silva, O.D. (2007), con zonas de recarga y tránsito, tal como se presenta en la **Tabla 3-64**.

Tabla 3-64 Relación entre el potencial de recarga y las zonas de recarga y tránsito

POTENCIAL DE RECARGA	ZONA
Muy alta	Zona de recarga
Alta	
Moderada	Zona de tránsito
Baja	
Muy baja	

Fuente: SGI S.A.S, 2025

Las zonas con potencial de recarga hídrica muy alta y alta, se consideran zonas de recarga, mientras que los rangos de potencial inferiores a estos (moderada, baja y muy baja) se consideran zonas de tránsito. Ahora bien, para definir las zonas de descarga en el área de influencia, no se tienen en cuenta dichos potenciales sino los niveles piezométricos medidos en campo, a partir de los cuales se construyó un mapa con las direcciones preferenciales en las que fluye el agua subterránea en el primer nivel acuífero y, se evidenció que las zonas de descarga corresponden principalmente a los drenajes mayores ubicados dentro del área de influencia como lo son el río Acacías, Caño la Unión, río Chichimene y río Orotoy y, de forma puntual, los manantiales, pues en estos puntos se intercepta el nivel freático con la superficie, generando la descarga puntual del agua subterránea almacenada en el primer nivel acuífero.

Es importante aclarar que, si bien las zonas de recarga se delimitaron considerando las áreas con potencial de recarga clasificado como alto o muy alto, esto no implica que en el resto del área de estudio no ocurra recarga. Es fundamental reconocer que el proceso de recarga puede ocurrir prácticamente en cualquier zona, en especial si topográficamente son altas, aunque con variaciones en su magnitud. Las condiciones específicas del suelo, la litología, la cobertura vegetal y la pendiente influyen en la cantidad de agua que se infiltra hacia el acuífero, lo que significa que algunas áreas contribuyen de manera más significativa que otras. Por lo tanto, las zonas con potencial bajo o moderado también desempeñan un papel, aunque en menor medida, en la dinámica de recarga de los acuíferos.

Teniendo en cuenta lo anterior, en la **Figura 3-93** se presenta la ubicación y distribución espacial de las zonas de recarga, tránsito y descarga de agua subterránea identificadas dentro del área de influencia fisicobiótica del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare.

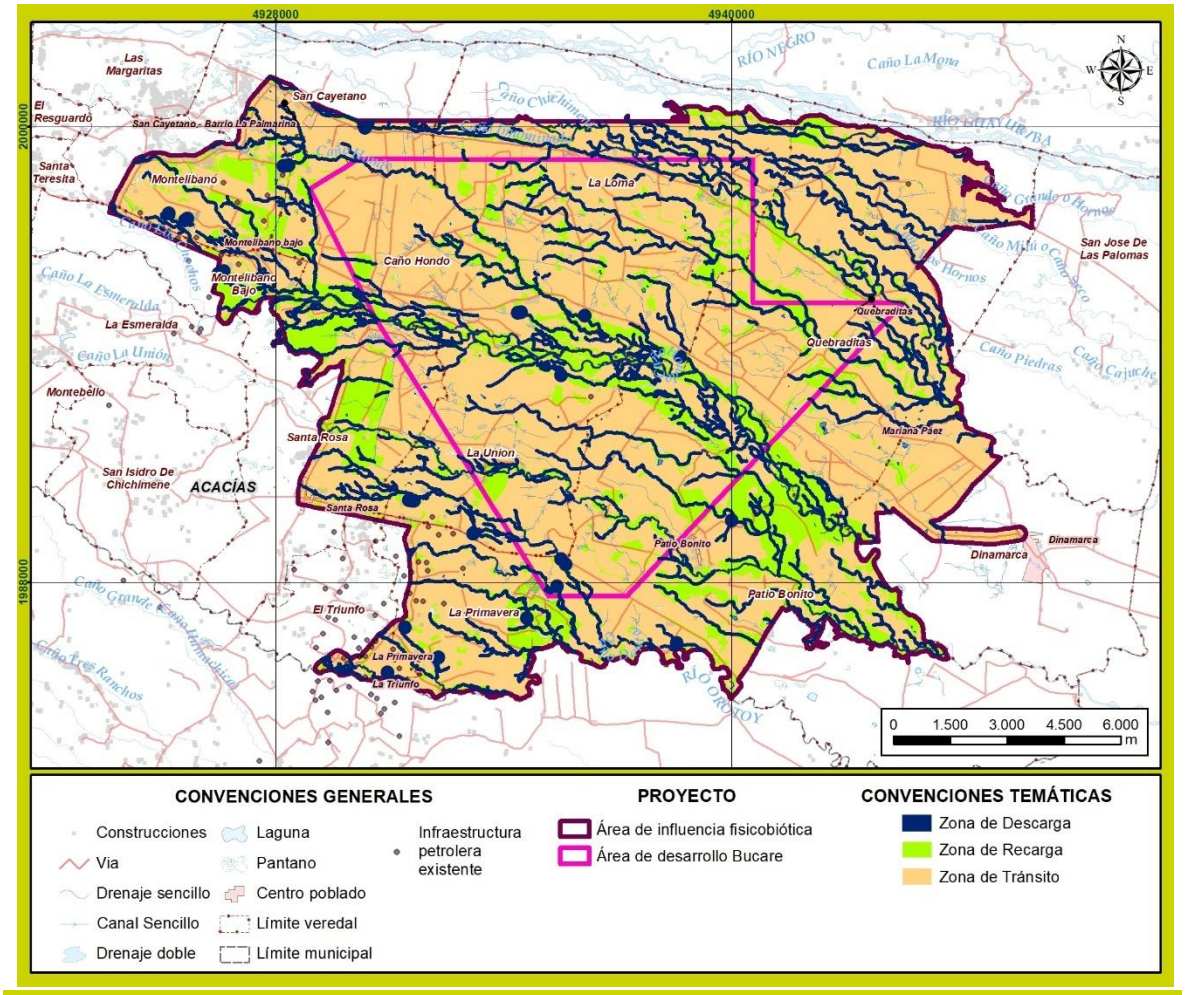


Figura 3-93 Zonas de recarga, tránsito y descarga
Fuente: SGI S.A.S., 2025

3.2.7.12.1 Interacción agua subterránea y agua superficial

Al analizar de forma integrada las direcciones preferenciales del flujo subterráneo en el primer nivel acuífero (**Figura 3-86**), la distribución espacial del potencial de recarga de los acuíferos (Figura 3-92) y las zonas de recarga, tránsito y descarga identificadas en el área de estudio (**Figura 3-93**), es posible conocer e interpretar la dinámica hidrogeológica característica de los niveles acuíferos someros presentes en el área de influencia fisicobiótica del proyecto, así como su estrecha relación con los cuerpos de agua superficial.

Los vectores de flujo representados en la **Figura 3-86** evidencian que el movimiento del agua subterránea en el acuífero somero sigue un patrón controlado principalmente por la topografía regional, desplazándose desde las áreas topográficamente más elevadas hacia los valles donde se ubican los principales drenajes superficiales. En este contexto, cuerpos de agua como el río Chichimene, el río Orotoy, el Caño La Unión y, de manera destacada, el río Acacías, juegan un papel fundamental dentro del sistema hidrogeológico regional.

En particular, el río Acacías es un cuerpo hidrodinámico principal, ya que actúa tanto como zona de descarga del flujo subterráneo regional como, en determinadas condiciones hidrológicas, como una

zona de recarga para los acuíferos someros. Este comportamiento dual responde a las variaciones estacionales del nivel freático y de los caudales superficiales, de tal forma que, durante periodos de altos niveles en los cuerpos de agua superficial (época de lluvias), puede presentarse una recarga inducida hacia los acuíferos someros. Por el contrario, durante épocas secas, cuando el nivel freático se sitúa por encima del nivel de los ríos y caños, estos actúan predominantemente como zonas de descarga del agua subterránea.

Esta alternancia entre condiciones de recarga y descarga es indicativa de una conexión hidráulica directa entre los acuíferos someros y los drenajes superficiales principales presentes en el área de influencia. Dicha conexión se ve favorecida por la presencia de materiales de alta permeabilidad en los niveles acuíferos someros, particularmente asociados a los depósitos cuaternarios, lo que permite un intercambio dinámico y bidireccional entre el agua subterránea y el agua superficial.

3.2.7.13 Caracterización hidrogeoquímica

La caracterización hidrogeoquímica del agua subterránea almacenada en los diferentes niveles acuíferos identificados en el área de influencia se realizó a partir de información primaria y secundaria. La información primaria permitió caracterizar los niveles acuíferos más someros, mientras que la información secundaria fue empleada para la caracterización de los niveles acuíferos más profundos asociados al Miembro Superior de la Formación Guayabo, unidad que constituye el objetivo de captación para los pozos solicitados en el marco del presente proyecto.

El uso de información secundaria fue necesario debido a que, dentro del área de influencia, no se identificaron pozos que capten de manera exclusiva el Miembro Superior de la Formación Guayabo, lo que imposibilitó su caracterización hidrogeoquímica directa mediante muestreos primarios. En este contexto, la información secundaria disponible permitió complementar el análisis y obtener una caracterización representativa de la calidad química del agua subterránea en dicha unidad acuífera.

3.2.7.13.1 Información primaria

En el marco del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare, para llevar a cabo la caracterización hidrogeoquímica del agua subterránea, se realizó la recolección de treinta (30) muestras de agua subterránea en puntos hidrogeológicos que hacen parte del inventario de puntos de agua subterránea del presente proyecto.

Los resultados obtenidos en las muestras de agua subterránea analizadas fueron representados en diferentes diagramas hidrogeoquímicos, entre los que se destacan los diagramas de Stiff, Piper y Mifflin, con el fin de identificar los tipos hidroquímicos predominantes, las posibles interrelaciones entre las unidades hidrogeológicas y los procesos hidrogeoquímicos que controlan la composición del agua subterránea.

A continuación, se presenta la caracterización hidrogeoquímica de las unidades hidrogeológicas someras identificadas en el área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental del Área de Desarrollo Bucare, realizada a partir de los resultados obtenidos en los puntos de agua subterránea monitoreados.

3.2.7.13.1.1 Puntos de agua subterránea monitoreados

Para la selección de los puntos de agua subterránea considerados para realizar la caracterización hidrogeoquímica, inicialmente se realizó una revisión detallada del inventario de puntos de agua subterránea del área de influencia. En este proceso se tuvieron en cuenta criterios técnicos como la profundidad de captación, el tipo de punto hidrogeológico, la ubicación geográfica, las condiciones mecánicas y sanitarias, la accesibilidad y, de manera importante, la autorización de los propietarios para la recolección de las muestras de agua subterránea.

Esta selección buscó garantizar que los puntos hidrogeológicos monitoreados estuvieran distribuidos de manera representativa en el área de influencia, cubriendo la mayor extensión posible y

permitiendo la caracterización de las diferentes unidades hidrogeológicas, especialmente las unidades someras identificadas en el área de influencia del proyecto.

En total, se seleccionaron treinta (30) puntos de agua subterránea, entre los que se incluyen manantiales (asociados al acuífero libre más somero), aljibes (que captan niveles acuíferos entre la superficie y los 15 metros de profundidad), piezómetros (con profundidades de hasta 13 metros) y pozos (tanto someros como profundos). Esta diversidad de puntos permite caracterizar las distintas unidades hidrogeológicas presentes en el área de influencia y evaluar si existen variaciones hidrogeoquímicas según la profundidad de los niveles acuíferos captados.

En la **Tabla 3-65** se presentan los puntos de agua subterránea seleccionados para el monitoreo fisicoquímico y microbiológico y determinar la calidad del agua subterránea en el marco del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare, junto con la información correspondiente al tipo de punto hidrogeológico, coordenadas, profundidad, unidad hidrogeológica captada y el código asignado por el laboratorio a cada una de las muestras de agua subterránea analizadas.

Tabla 3-65 Puntos hidrogeológicos seleccionados para el monitoreo hidrogeoquímico y microbiológico del agua subterránea

N°	ID	TIPO DE PUNTO	PROF (m)	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDROGEOLÓGICA CAPTADA	CÓDIGO LABORATORIO
				ESTE (m)	NORTE (m)		
1	AL02	Aljibe	1,52	4943866,48	1999548,99	A4	M37223
2	AL05	Aljibe	4,92	4944037,42	1997429,55	A3	M37253
3	AL09	Aljibe	2,77	4946607,88	1997371,03	A3	M37224
4	AL11	Aljibe	5,01	4945695,67	1994486,26	A3	M37225
5	AL30	Aljibe	5,37	4932095,55	1999960,71	A3	M37343
6	AL31	Aljibe	12,2	4935766,40	1999419,67	A3	M31344
7	AL35	Aljibe	9,82	4939445,20	1998163,07	A3	M37254
8	AL38	Aljibe	8,13	4934411,75	1997976,63	A3	M37673
9	AL40	Aljibe	9,6	4928322,52	2000638,28	A3	M37345
10	AL49	Aljibe	5,6	4937797,82	1995089,95	A3	M37340
11	AL57	Aljibe	8,43	4933901,52	1995260,92	A3	M37341
12	AL70	Aljibe	4,37	4942687,82	1988483,86	A3	M37632
13	AL71	Aljibe	7,4	4940825,21	1986662,57	A3	M37630
14	AL73	Aljibe	6,74	4933551,00	1989158,18	A3	M37617
15	AL86	Aljibe	2,47	4932386,83	1985171,14	A3	M37615
16	M03	Manantial	0,25	4940007,61	1989627,36	A4	M37629
17	M04	Manantial	<1	4935507,80	1993456,66	A3	M37671
18	M07	Manantial	<1	4938651,01	1993940,36	A4	M37342
19	M19	Manantial	<1	4927595,66	1996019,65	A3	M37378
20	M22	Manantial	<1	4928197,08	1998978,30	A3	M37379
21	M25	Manantial	<1	4931501,27	1990155,31	A3	M37621
22	M27	Manantial	<1	4930941,51	1985624,11	A3	M37618
23	P01	Pozo	70	4943610,49	1995538,77	Mezcla A3 y Miembro Superior Fm Guayabo	M37255
24	P06	Pozo	80	4932081,67	1991778,97	A3	M37616

25	P07	Pozo	38	4938886,90	1989391,33	A3	M37614
26	P10	Pozo	100	4937133,39	1987835,44	Mezcla A3 y Miembro Superior Fm Guayabo	M37631
27	P11	Pozo	105	4925776,95	1997639,10	A3	M37796
28	Pz02	Piezómetro	12,12	4934762,31	1986498,47	A3	M37620
29	Pz09	Piezómetro	10,26	4935018,09	1988065,09	A3	M37672
30	Pz15	Piezómetro	10,98	4937251,94	1991706,99	A3	M37619

Fuente: SGI S.A.S., 2025

Tal como se evidencia en la **Tabla 3-65**, de las treinta (30) muestras de agua subterránea analizadas, veintisiete (27) corresponden a puntos hidrogeológicos que captan la unidad hidrogeológica A3, mientras que las tres (3) restantes captan la unidad hidrogeológica A4.

En la Figura 3-94 se presenta la ubicación y distribución espacial de los treinta (30) puntos de agua subterránea seleccionados para realizar el monitoreo fisicoquímico, microbiológico y determinar la calidad del agua subterránea. Como se mencionó anteriormente, estos puntos fueron seleccionados de manera tal que cubrieran la mayor parte del área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental para el área de Desarrollo Bucare y que permitieran la caracterización de las unidades hidrogeológicas identificadas en el área de influencia del proyecto.

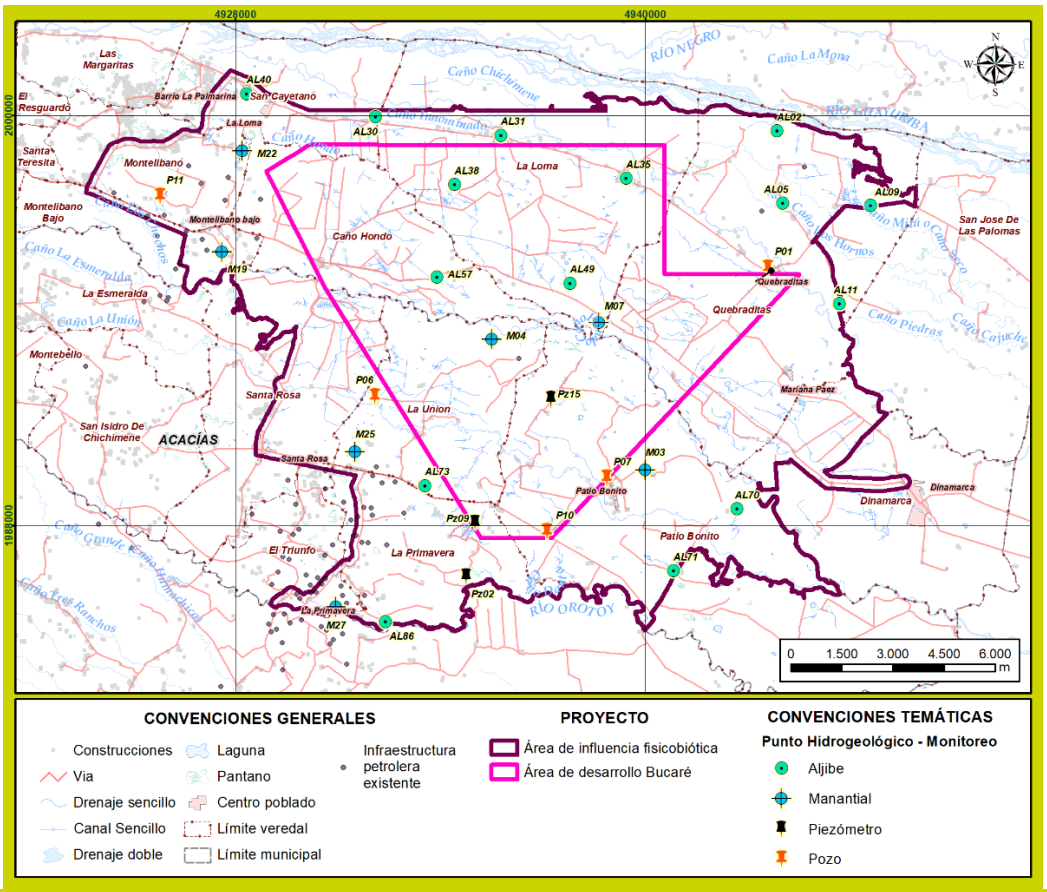


Figura 3-94 Ubicación de los puntos de agua subterránea monitoreados
Fuente: SGI S.A.S., 2025

3.2.7.13.1.2 Resultados caracterización hidrogeoquímica

Los resultados obtenidos en el análisis fisicoquímico, hidrogeoquímico y de calidad de agua en las treinta (30) muestras de agua subterránea analizadas en el marco del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare pueden ser consultados a detalle en **Anexos/5. Anexos Abiótico/5.7 Hidrogeología/5.7.7_Reporte_resultados**.

3.2.7.13.1.2.1 Balance iónico

El balance iónico es una herramienta esencial en la química del agua que permite validar la coherencia y exactitud de las concentraciones de iones presentes en una muestra. Este proceso asegura que la suma de las cargas positivas (cationes) y negativas (aniones) esté equilibrada, lo cual es un principio fundamental para confirmar la neutralidad eléctrica de la muestra (Hem, J. D., 1985). La verificación de este balance es crucial para detectar posibles errores analíticos o problemas en la muestra, garantizando así la precisión de los análisis químicos realizados (Appelo,C. A. J., & Postma, D., 2005).

El balance iónico de los puntos evaluados, presentados en la Tabla 3-66, muestra que las sumas de cationes (Na^+, K^+, N-NH_3, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Fe^{3+} y Al^{3+}) varían entre 0,180 y 2,475 meq/L, mientras que las de aniones (Cl^-, N-NO_2^-, N-NO_3^-, HCO_3^-, SO_4^{2-} y P-PO_4^{3-}) oscilan entre 0,183 y 2,160 meq/L. Las diferencias mínimas entre cationes y aniones en cada punto indican un balance adecuado, lo que sugiere que los resultados reflejan correctamente la neutralidad eléctrica esperada en el agua subterránea. El error analítico en las mediciones varía de -0,073% a 0,082%, valores muy bajos que se mantienen dentro del rango aceptable de ±10%. Esto confirma la precisión en la cuantificación de los iones y la fiabilidad de los datos obtenidos, validando la consistencia del análisis químico y asegurando que las concentraciones de cationes y aniones están representadas con exactitud en las muestras de agua subterránea analizadas.

El balance iónico de las treinta (30) muestras de agua subterránea analizadas en el presente proyecto, puede ser consultado a detalle en **Anexos/5. Anexos Abiótico/5.7 Hidrogeología/5.7.7_ Reporte_resultados/Anexo 5. Balance iónico**.

Tabla 3-66 Balance iónico muestras de agua subterránea monitoreadas

Código	Relación (SDT/C.E) (0,55 - 0,75	meq/ L Na^{+}	meq/ L K^{+}	meq/ L N-NH_3	meq/ L Mg^{+2}	meq/ L Ca^{+2}	meq/ L Fe^{+3}	meq/ L Mn^{+2}	meq/ L Al^{+3}	meq/ L Cl^{-}	meq/L N - NO_2^{-}	meq/ L N – NO_3^{-}	meq/ L HCO_3	meq/ L SO_4^{-2}	meq/L P-PO_4^{-3}	Suma Cationes	Suma Aniones	Error Analítico (%) *
M37223	0,64	0,127	0,069	0,109	0,223	0,480	0,009	0,0111	0,046	0,222	0,000608	0,016	0,414	0,266	0,000338	1,075	0,919	7,81%
M37224	0,59	0,102	0,036	0,050	0,150	0,227	0,003	0,0029	0,056	0,186	0,000106	0,008	0,149	0,190	0,000461	0,627	0,533	8,07%
M37225	0,61	0,451	0,115	0,072	0,664	1,089	0,008	0,0169	0,058	0,171	0,000583	0,019	1,398	0,571	0,000388	2,475	2,160	6,78%
M37253	0,60	0,163	0,166	0,089	0,156	0,117	0,013	0,0099	0,068	0,195	0,000558	0,012	0,303	0,196	0,001401	0,781	0,708	4,91%
M37254	0,57	0,005	0,015	0,112	0,021	0,059	0,015	0,0067	0,078	0,016	0,000131	0,020	0,012	0,228	0,000399	0,312	0,276	6,09%
M37255	0,63	0,011	0,010	0,009	0,010	0,035	0,031	0,0054	0,069	0,004	0,000682	0,011	0,012	0,156	0,000461	0,180	0,183	-1,01%
M37340	0,62	0,047	0,015	0,467	0,064	0,037	0,015	0,0004	0,073	0,128	0,000032	0,022	0,110	0,169	0,185964	0,717	0,614	7,74%
M37341	0,59	0,026	0,057	0,074	0,098	0,052	0,009	0,0004	0,088	0,125	0,000214	0,023	0,063	0,154	0,000299	0,404	0,365	5,06%
M37342	0,61	0,010	0,008	0,149	0,053	0,016	0,017	0,000	0,082	0,003	0,000608	0,013	0,059	0,281	0,000323	0,336	0,356	-2,95%
M37343	0,56	0,083	0,092	0,036	0,162	0,151	0,009	0,0001	0,092	0,195	0,000008	0,023	0,148	0,172	0,000038	0,626	0,538	7,56%
M37344	0,60	0,045	0,041	0,080	0,091	0,145	0,014	0,0011	0,067	0,084	0,000082	0,014	0,109	0,209	0,000513	0,484	0,417	7,46%
M37345	0,68	0,020	0,020	0,054	0,063	0,098	0,017	0,0003	0,071	0,040	0,000089	0,012	0,095	0,158	0,000388	0,342	0,306	5,62%
M37378	0,61	0,317	0,024	0,084	0,068	0,037	0,007	0,0041	0,020	0,173	0,000165	0,007	0,113	0,171	0,181121	0,562	0,646	-6,97%
M37379	0,63	0,097	0,036	0,102	0,058	0,029	0,040	0,005	0,023	0,023	0,000169	0,014	0,093	0,190	0,130756	0,389	0,450	-7,29%
M37614	0,60	0,432	0,042	0,129	0,055	0,021	0,006	0,0046	0,025	0,213	0,000436	0,023	0,174	0,175	0,092982	0,714	0,678	2,58%
M37615	0,61	0,415	0,075	0,080	0,063	0,029	0,013	0,0046	0,029	0,193	0,00046	0,019	0,149	0,321	0,070192	0,710	0,753	-2,94%
M37616	0,63	0,379	0,048	0,106	0,074	0,035	0,009	0,003	0,016	0,201	0,000386	0,016	0,177	0,200	0,000062	0,670	0,595	5,99%
M37617	0,63	0,376	0,033	0,146	0,055	0,023	0,005	0,0045	0,020	0,195	0,000362	0,019	0,164	0,183	0,000538	0,662	0,561	8,24%
M37618	0,60	0,336	0,037	0,134	0,063	0,027	0,005	0,0048	0,022	0,176	0,000707	0,016	0,161	0,185	0,000311	0,630	0,539	7,79%

M37619	0,60	0,330	0,036	0,112	0,055	0,034	0,006	0,0049	0,026	0,192	0,000707	0,015	0,179	0,160	0,000688	0,604	0,548	4,88%
M37620	0,69	0,998	0,036	0,109	0,059	0,029	0,034	0,0042	0,036	0,780	0,000288	0,023	0,148	0,223	0,00398	1,306	1,179	5,12%
M37621	0,60	0,346	0,043	0,254	0,057	0,023	0,014	0,0036	0,025	0,284	0,000608	0,015	0,170	0,204	0,000237	0,765	0,674	6,30%
M37629	0,63	0,285	0,033	0,140	0,056	0,014	0,005	0,0044	0,019	0,196	0,000485	0,015	0,149	0,185	0,000173	0,556	0,546	0,84%
M37630	0,61	0,267	0,038	0,046	0,059	0,025	0,008	0,0035	0,020	0,180	0,000707	0,039	0,140	0,175	0,000072	0,466	0,534	-6,85%
M37631	0,61	0,211	0,118	0,140	0,049	0,045	0,005	0,0029	0,021	0,173	0,000682	0,015	0,236	0,204	0,000425	0,591	0,630	-3,19%
M37632	0,59	0,312	0,108	0,140	0,072	0,064	0,007	0,0031	0,018	0,193	0,000091	0,022	0,141	0,416	0,000572	0,724	0,773	-3,27%
M37671	0,62	0,213	0,035	0,164	0,052	0,011	0,006	0,0052	0,033	0,132	0,00046	0,019	0,144	0,158	0,002641	0,519	0,455	6,56%
M37672	0,60	0,229	0,031	0,156	0,056	0,026	0,030	0,006	0,031	0,152	0,000657	0,017	0,155	0,170	0,003943	0,566	0,499	6,28%
M37673	0,60	0,190	0,034	0,152	0,065	0,117	0,007	0,0055	0,022	0,200	0,000115	0,017	0,134	0,160	0,001299	0,592	0,512	7,29%
M37796	0,63	0,051	0,094	0,241	0,049	0,146	0,027	0,0026	0,000	0,179	0,000219	0,021	0,145	0,177	0,000348	0,611	0,523	7,78%

**El error analítico tiene un rango de aceptación de ± 10%*

Fuente: SGI S.A.S., 2025

3.2.7.13.1.2.2 Análisis caracterización hidrogeoquímica

Para facilitar la interpretación y comparación de la composición química del agua subterránea almacenada en las distintas unidades hidrogeológicas presentes en el área de influencia, los resultados analíticos se representaron gráficamente en tres (3) diagramas ampliamente utilizados en estudios hidrogeoquímicos:

- ✓ Diagrama de Stiff, útil para visualizar la concentración relativa de los principales iones en cada muestra.
- ✓ Diagrama de Piper, que permite clasificar los tipos de agua según su facies hidroquímica.
- ✓ Diagrama de Mifflin, empleado para inferir el grado de evolución hidrogeoquímica del agua subterránea y su posición dentro del flujo subterráneo regional (recarga, tránsito o descarga).

Cabe destacar que la mayoría de las muestras de agua subterránea analizadas presentaron concentraciones de aniones y cationes inferiores al límite mínimo de cuantificación del laboratorio encargado de los análisis. En estos casos, y siguiendo la recomendación metodológica propuesta por Farnham et al. (2002), los valores inferiores al límite de detección fueron reemplazados por la mitad de dicho límite, permitiendo su inclusión en los análisis gráficos e interpretativos. Adicionalmente, en los diagramas correspondientes, la suma de cationes ($Na^+ + K^+$) y de aniones ($Cl^- + SO_4^{2-}$) se expresa en unidades de miliequivalentes por litro (meq/L), utilizando una escala logarítmica.

Con el propósito de realizar una caracterización integral de las condiciones hidrogeoquímicas y microbiológicas de las unidades hidrogeológicas someras presentes en el área de influencia, el análisis de resultados se estructuró agrupando las muestras de agua subterránea en función de la unidad hidrogeológica captada. Esta estrategia metodológica permitió definir firmas hidroquímicas representativas para cada unidad y evidenciar posibles diferencias composicionales entre ellas.

De manera complementaria, las muestras fueron diferenciadas y agrupadas según el tipo de punto hidrogeológico en el que fueron recolectadas, es decir, pozos, aljibes, manantiales y piezómetros, lo cual facilitó la organización e interpretación de los resultados asociados a cada unidad.

A continuación, se presenta la caracterización hidrogeoquímica de las unidades hidrogeológicas identificadas en el área de influencia, así como el análisis interpretativo de los resultados obtenidos para cada una de ellas.

3.2.7.13.1.2.2.1 Unidad hidrogeológica A3

A continuación, se presenta la caracterización hidrogeoquímica de los veintisiete (27) puntos de agua subterránea que captan la unidad hidrogeológica A3, para la cual se graficaron los resultados obtenidos en dichas muestras en los diagramas de Stiff, Piper y Mifflin, separados según el tipo de punto al que corresponde cada muestra, de manera que se pueda diferenciar si existen patrones diferentes entre ellos que evidencien un comportamiento característico según la profundidad de captación.

- ➢ **Diagramas de Stiff**

A continuación, se presentan los diagramas de Stiff en los cuales se agruparon las muestras de agua subterránea analizadas según el tipo de punto hidrogeológico en el que fueron recolectadas: aljibes (12), manantiales (7), pozos (4) y piezómetros (3).

Para la construcción de los diagramas de Stiff, las concentraciones iónicas que reportaron ser inferiores al límite mínimo de detección de los métodos analíticos empleados por el laboratorio fueron sustituidos por la mitad del valor de dicho límite, tal como lo sugiere Farnham et al. (2002).

✓ Aljibes

Dentro de los 30 puntos de agua subterránea monitoreados para llevar a cabo la caracterización hidrogeoquímica del agua subterránea en el área de influencia, catorce (14) corresponden a aljibes que permiten caracterizar los niveles acuíferos someros de la unidad hidrogeológica A3 ubicados entre la superficie y los 12 metros de profundidad, ya que en este rango de profundidad están perforados los aljibes analizados. En la **Figura 3-95** se presentan los diagramas de Stiff realizados a partir de las concentraciones iónicas registradas en los 14 aljibes monitoreados que captan la unidad hidrogeológica A3.

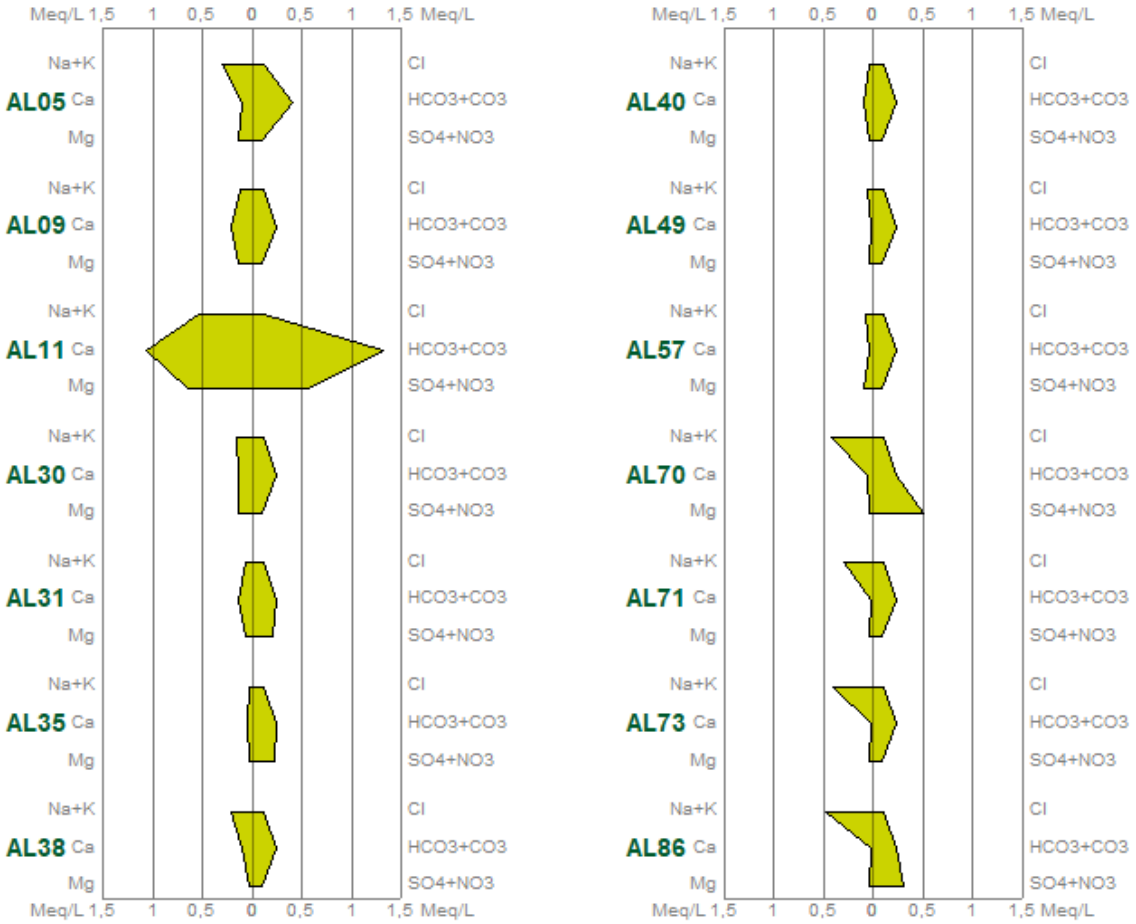


Figura 3-95 Diagramas de Stiff de los aljibes que captan la unidad A3
Fuente: SGI S.A.S, 2025

En la **Figura 3-95** se observa que la mayoría de las muestras de agua subterránea recolectadas en los aljibes que captan la unidad hidrogeológica A3 presentan un ligero enriquecimiento en bicarbonatos y carbonatos, a excepción del aljibe AL86, cuyo enriquecimiento lo presenta en sulfatos, potasio y especialmente sodio.

La representación en los diagramas de Stiff de los iones mayoritarios reportados en los (14) aljibes monitoreados permite identificar distintos patrones químicos entre las aguas subterráneas

almacenadas en estos aljibes, destacándose el aljibe AL70 que presenta un patrón químico diferente a los demás aljibes monitoreados, con predominio de los iones de sulfato y sodio y el aljibe AL11 que presenta un evidente enriquecimiento en bicarbonatos y calcio. Un patrón similar lo presentan los aljibes AL09, AL31 y AL40, con enriquecimiento en los iones de bicarbonato y calcio, pero con concentraciones notablemente menores a las reportadas en el aljibe AL11. Por otra parte, aljibes como AL49 y AL57 presentan un diagrama tipo flecha, con enriquecimiento en los iones de bicarbonatos, mientras que los AL05, AL38, AL71 y AL73 presentan una forma denominada “visto bueno hacia atrás”, el cual se caracteriza por presentar mayores concentraciones en los iones de sodio y/o potasio y en bicarbonatos, dándole esta forma característica de aguas jóvenes o de rápida recarga, con escasa interacción agua–roca.

En conjunto, los resultados muestran que, los aljibes analizados que captan la unidad hidrogeológica A3 presentan aguas de muy baja mineralización, de reciente infiltración o que reciben constantemente aporte de agua lluvia y, por esta razón, el contenido iónico es muy bajo, la mayoría por debajo del límite mínimo de detección del laboratorio, a excepción del aljibe AL11. Sin embargo, estos comportamientos no son homogéneos en toda el área de estudio, sino que varían según el aljibe evaluado, lo que sugiere variaciones locales en los procesos de interacción agua–roca, en el tiempo de residencia o en aportes puntuales de iones provenientes de las actividades antrópicas que se desarrollen en los alrededores de estos aljibes.

✓ Manantiales

Para llevar a cabo la caracterización hidrogeoquímica del nivel acuífero más somero que hace parte de la unidad hidrogeológica A3, se recolectaron muestras de agua subterránea en cinco (5) manantiales asociados a dicha unidad. En la **Figura 3-96** se presentan los resultados obtenidos en los cinco (5) manantiales seleccionados para realizar el monitoreo hidrogeoquímico del agua subterránea almacenada en la unidad hidrogeológica A3.

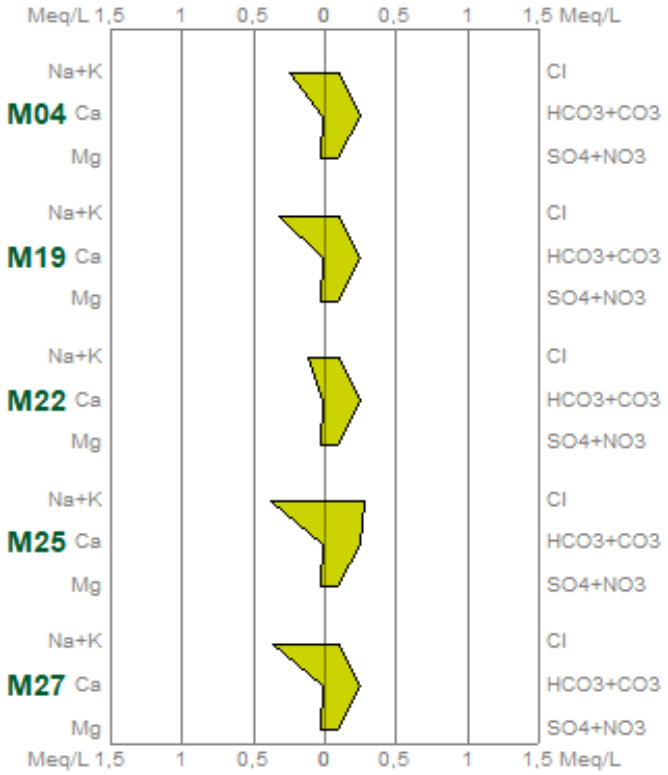


Figura 3-96 Diagramas de Stiff de los manantiales que captan la unidad A3
Fuente: SGI S.A.S, 2025

Tal como se presenta en la **Figura 3-96**, la mayoría de las muestras de agua subterránea recolectadas en los manantiales presentan un patrón hidroquímico tipo “visto bueno hacia atrás”, característico de aguas jóvenes con muy baja mineralización, donde predominan los iones de bicarbonato y sodio/potasio, pero con concentraciones inferiores a 0,5 meq/L.

Sin embargo, el manantial M25 presenta enriquecimiento en los iones de sodio y cloruros, en vez de bicarbonatos como se evidencia en los demás aljibes. Este comportamiento refleja una composición iónica diferente, probablemente asociada al aporte de cloruros provenientes de actividades antrópicas que se desarrollen alrededor de este aljibe o a las técnicas de desinfección de aguas usadas, en las cuales algunos habitantes de la zona agregan pastillas o gotas de cloro directamente al aljibe con el fin de “desinfectar” el agua allí almacenada. Sin embargo, las concentraciones totales siguen siendo bajas, inferiores a 0,5 meq/L, lo que indica un grado de mineralización muy bajo.

✓ Pozos

En el marco del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare se seleccionaron cinco (5) pozos captadores para realizar la caracterización hidrogeoquímica del agua subterránea. Entre estos pozos se tuvieron en cuenta tanto pozos profundos como someros, esto con el fin de caracterizar el agua subterránea almacenada a diferentes profundidades en la unidad hidrogeológica A3. En la Figura 3-97 se presentan los diagramas de Stiff construidos a partir de los resultados obtenidos en dichos pozos monitoreados que captan la unidad hidrogeológica A3.

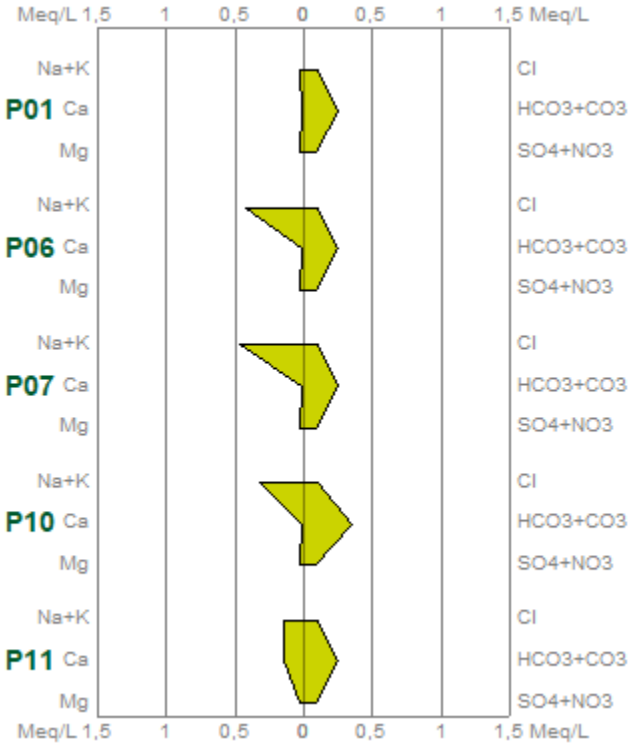


Figura 3-97 Diagramas de Stiff de los pozos que captan la unidad hidrogeológica A3
Fuente: SGI S.A.S, 2025

Tal como se presenta en la **Figura 3-97**, todos los diagramas de Stiff correspondientes a los cinco (5) pozos monitoreados evidencian un predominio de bicarbonatos y carbonatos.

El pozo P01 presenta un patrón muy reducido, donde predominan los iones de bicarbonatos y carbonatos, con todos los iones mayoritarios graficados con concentraciones muy bajas, incluso inferiores al límite mínimo de detección del laboratorio. Esto indica aguas muy poco mineralizadas, posiblemente asociadas a recarga directa y una limitada interacción agua–roca. Por otro lado, el pozo P11 presenta un enriquecimiento en cationes como el calcio, sodio y potasio mientras que los aniones se mantuvieron todos por debajo del límite mínimo de detección del laboratorio. Finalmente, los pozos P06, P07 y P10 muestran un enriquecimiento en sodio y potasio, con un patrón tipo “visto bueno hacia atrás”, lo que sugiere la ocurrencia de procesos incipientes de intercambio iónico, aunque con baja mineralización.

En general, todos los pozos mantienen concentraciones menores a 0,5 meq/L, lo que confirma que se trata de aguas jóvenes, de rápida recarga y con limitada disolución de minerales. Estos presentan aguas dominadas por bicarbonatos, especialmente el pozo P10, típicas de sistemas de recarga reciente o con aporte constante de agua lluvia, lo que indica aguas de baja mineralización.

✓ Piezómetros

De los 30 puntos de agua subterránea seleccionados para realizar la caracterización hidrogeoquímica del agua subterránea en el área de influencia, tres (3) puntos corresponden a piezómetros o pozos de monitoreo, cuyas profundidades varían entre 10 a 12 metros aproximadamente. En la Figura 3-98 se presentan los diagramas de Stiff realizados para los tres (3) piezómetros monitoreados en el marco del presente Estudio de Impacto Ambiental.

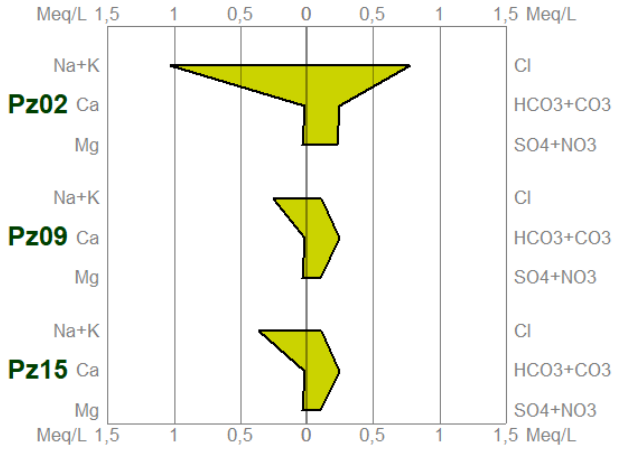


Figura 3-98 Diagramas de Stiff de los piezómetros que captan la unidad hidrogeológica A3
Fuente: SGI S.A.S, 2025

De acuerdo con lo presentado en la **Figura 3-98**, en los tres piezómetros analizados (Pz02, Pz09 y Pz15) se observa un ligero enriquecimiento en iones de bicarbonatos y carbonatos.

El piezómetro Pz02, muestra un fuerte enriquecimiento en sodio y potasio, y en menor proporción, en cloruros. Este patrón sugiere la presencia de procesos de intercambio iónico, donde el calcio y magnesio de la matriz rocosa son reemplazados por sodio. Por otra parte, los piezómetros Pz09 y Pz15 presentan también predominio de sodio y potasio, aunque con concentraciones inferiores a las reportadas en el piezómetro Pz02; y respecto a los aniones, el enriquecimiento en estos piezómetros se presenta en los carbonatos y bicarbonatos. Esto refuerza la idea de aguas de baja mineralización, con una ligera tendencia hacia procesos de intercambio catiónico.

Las concentraciones totales de iones son muy bajas menores 0,5 meq/L, lo cual refleja que estas aguas son jóvenes, de rápida recarga y con limitada interacción agua–roca, destacándose el piezómetro Pz02 al presentar las concentraciones más altas.

En conclusión, a partir de los diagramas de Stiff realizados para los puntos hidrogeológicos que captan la unidad hidrogeológica A3 (manantiales, piezómetros, pozos y aljibes) se puede observar un predominio de facies cálcico-bicarbonatadas, donde el calcio (Ca) y los bicarbonatos (HCO_3 + CO_3) constituyen los iones mayoritarios con concentraciones más altas, lo que sugiere aguas de recarga meteórica reciente, con baja mineralización y limitada interacción agua-roca. En general, los diagramas son angostos, reflejando aguas jóvenes y de circulación rápida; sin embargo, en algunos puntos específicos, como el piezómetro Pz02 y ciertos pozos, se observa una mayor amplitud y ligeros enriquecimientos en sodio y potasio ($Na^+ + K^+$), lo cual indica procesos locales de intercambio iónico y una mayor evolución hidroquímica. En conjunto, los resultados permiten concluir que el sistema subterráneo presenta una composición química homogénea y de baja salinidad, con variaciones puntuales que reflejan algún aporte proveniente de actividades antrópicas que se desarrollan alrededor de determinados puntos de agua subterránea.

- **Diagramas de Piper**

Para la construcción de los diagramas de Piper, al igual que en los Diagramas de Stiff, se agruparon los puntos monitoreados según el tipo de punto hidrogeológico al que pertenecen (Pozos, aljibes, manantiales y/o piezómetros) y las concentraciones iónicas que reportaron ser inferiores al límite mínimo de detección del laboratorio fueron sustituidos por la mitad del valor de dicho límite, tal como lo sugiere Farnham et al. (2002).

✓ Aljibes

En la Figura 3-99 se presenta el diagrama de Piper con las concentraciones iónicas registradas en los catorce (14) aljibes monitoreados que captan la unidad hidrogeológica A3.

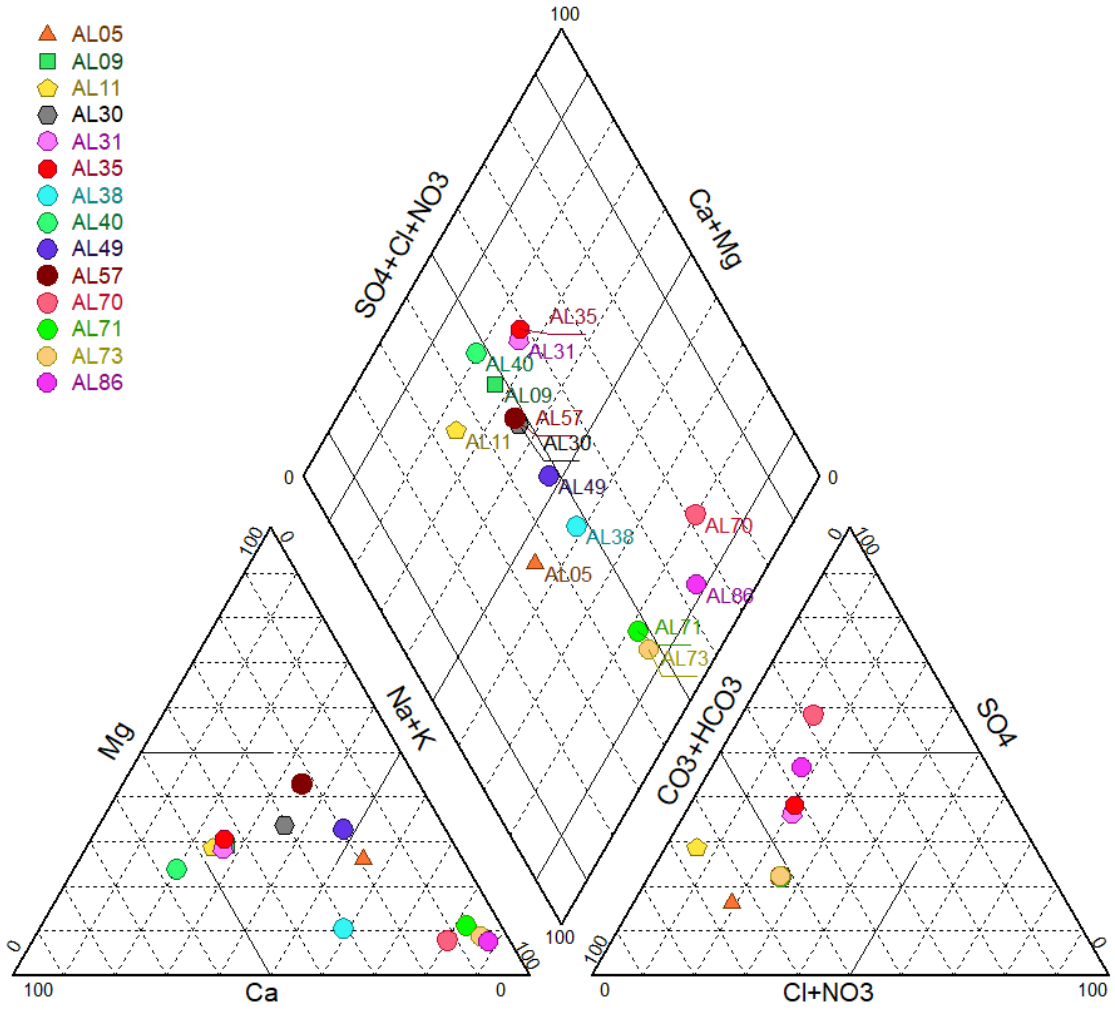


Figura 3-99 Diagramas de Piper de aljibes – Unidad hidrogeológica A3
Fuente: SGI S.A.S, 2025

La representación de los iones mayoritarios reportados para los aljibes monitoreados en el Diagrama de Piper permite evidenciar que las aguas subterráneas asociadas a la unidad hidrogeológica A3 presenta variaciones iónicas entre sí, las cuales están principalmente controladas por el aporte antrópico y actividades que se lleven a cabo en cercanías a estos aljibes. Sin embargo, en términos generales, se evidencian aguas con bajo contenido iónico que indican aguas de muy baja mineralización, (**Figura 3-99**) permitió diferenciar tres grupos hidroquímicos:

El aljibe AL11 es un agua bicarbonatada cálcica, mientras que el aljibe AL05 presenta aguas bicarbonatada potásica, mientras que los aljibes AL38, AL71 y AL73 ligero enriquecimiento sódico. Los aljibes AL70 y AL86, clasificados como sulfatados sódicos, con enriquecimiento relativo en sulfatos y sodio.

El otro grupo, compuesto por los aljibes AL05, AL38, AL71 y AL73, correspondientes a aguas bicarbonatadas sódico-potásicas. Mientras que el grupo 3, conformado por la mayoría de los aljibes muestreados, caracterizados como bicarbonatados cálcico-magnésicos, lo que sugiere una influencia dominante de procesos de disolución de carbonatos y aporte de materiales terrígenos.

En términos generales, la facies hidroquímica predominante en el área de estudio corresponde a aguas bicarbonatadas cálcico-magnésicas, mientras que las facies sulfatadas sódicas y bicarbonatadas sódico-potásicas se presentan de manera localizada, posiblemente asociadas a condiciones litológicas particulares o a procesos de recarga y circulación diferenciados.

✓ Manantiales

En la **Figura 3-100** se presenta el diagrama de Piper con los resultados obtenidos en los cinco (5) manantiales seleccionados para realizar el monitoreo hidrogeoquímico del agua subterránea almacenada en la unidad hidrogeológica A3 dentro del marco del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare.

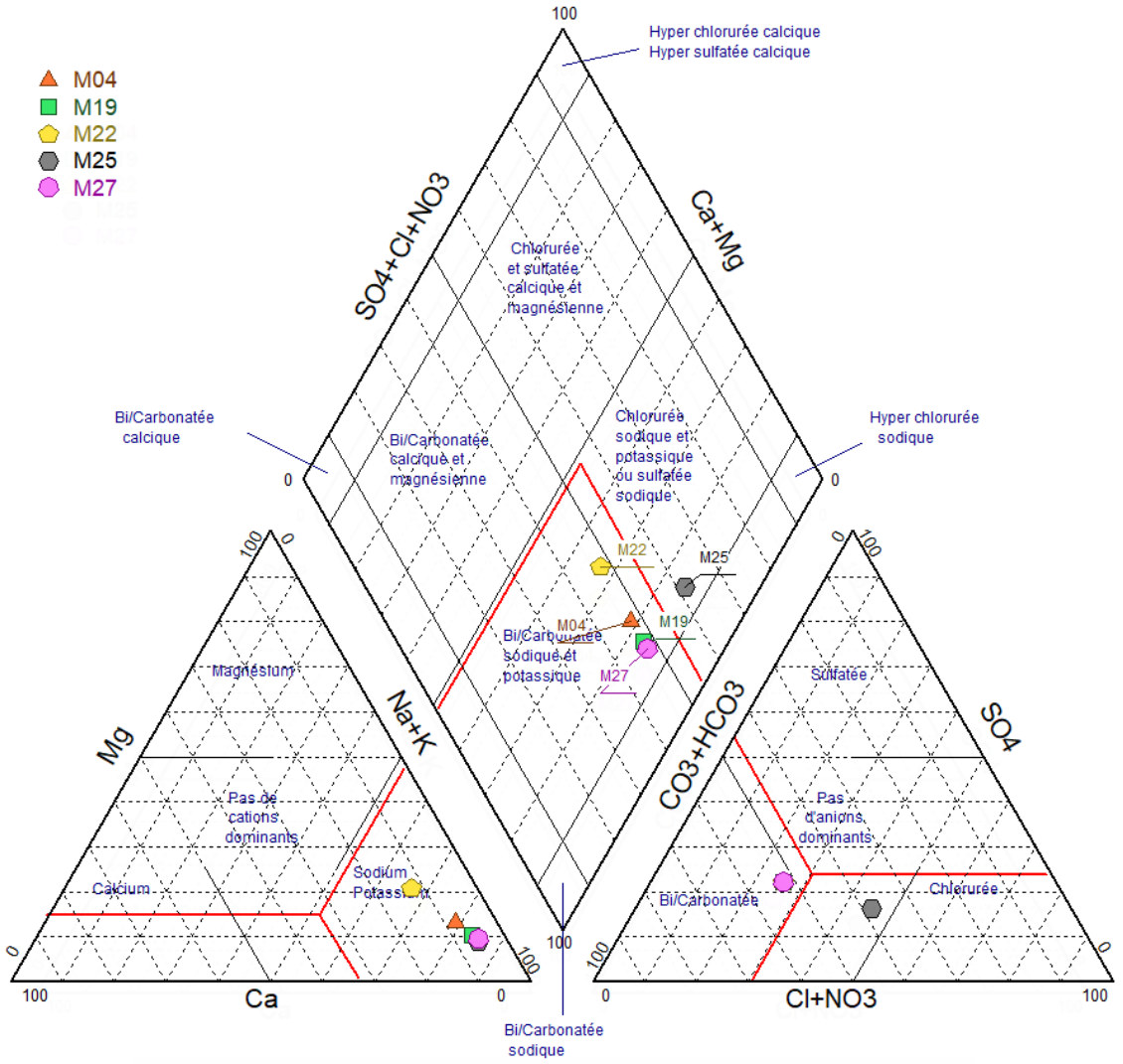


Figura 3-100 Diagramas de Piper – Manantiales que captan la unidad A3
Fuente: SGI S.A.S, 2025

Tras graficar en el Diagrama de Piper los resultados obtenidos en los manantiales (**Figura 3-100**), se puede observar que todos los manantiales analizados que captan la unidad hidrogeológica A3 presentan aguas de tipo bicarbonatadas sódico-potásicas, caracterizadas por un leve enriquecimiento en bicarbonatos, sodio y potasio.

✓ Pozos

En el diagrama de Piper se graficaron los resultados obtenidos en los cinco (5) pozos tanto profundos como someros distribuidos en el área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental para el área de Desarrollo Bucare (**Figura 3-101**).

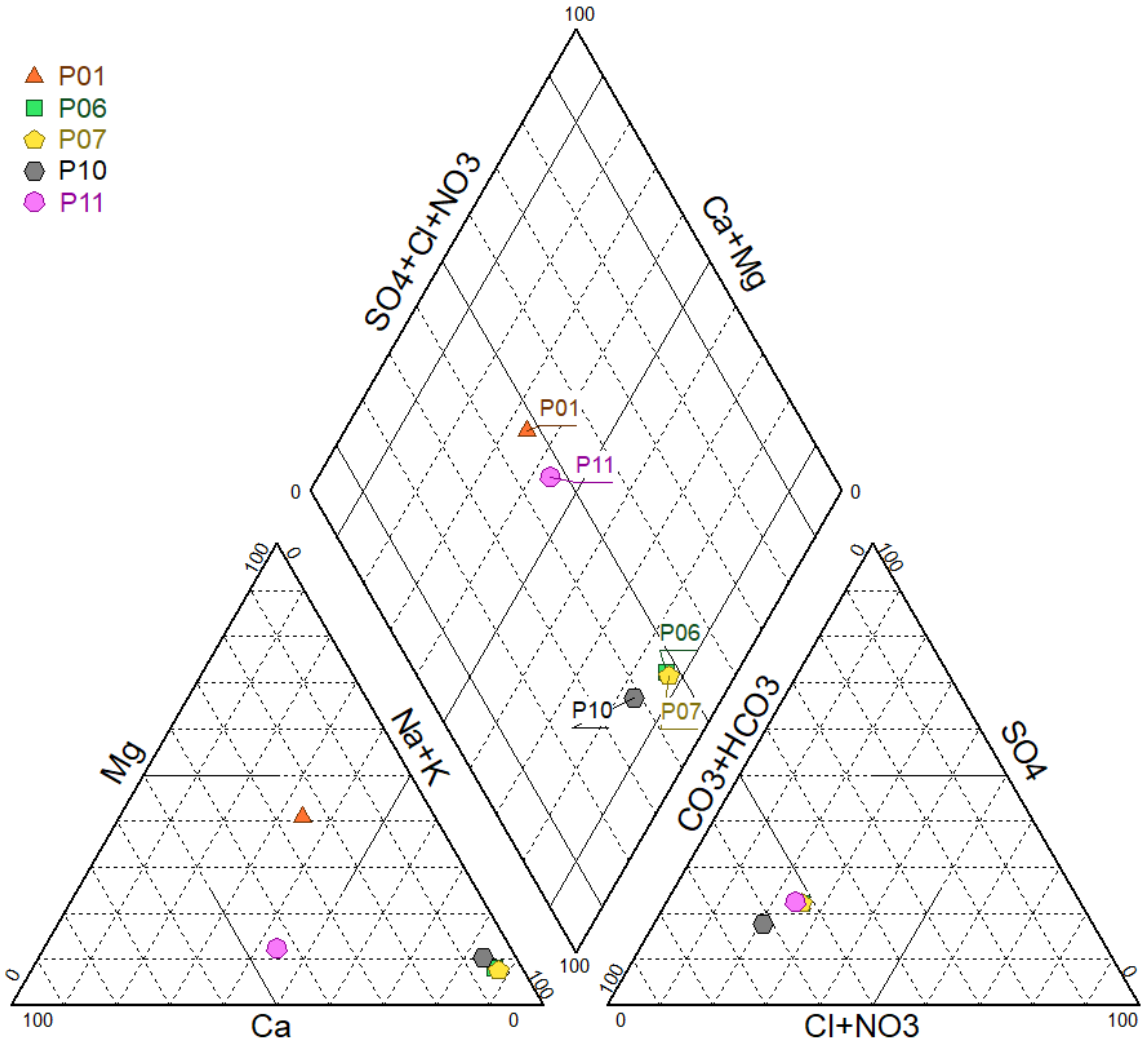


Figura 3-101 Diagramas de Piper – Pozos que captan la unidad A3
Fuente: SGI S.A.S, 2025

En la **Figura 3-101** se pueden observar los resultados obtenidos en el Diagrama Piper para los cinco (5) pozos monitoreados, se evidencia que existen dos grupos: En el primer grupo se encuentran el pozo P01 y P11, los cuales presentan aguas Bicarbonatadas cálcico-magnésicas. Por otra parte, el segundo grupo presenta aguas que se caracterizan como aguas de tipo bicarbonatadas sódico-potásicas, lo que refleja un mayor intercambio iónico entre el calcio/magnesio y el sodio/potasio en el medio acuífero, probablemente vinculado a procesos de evolución hidroquímica más avanzada o a interacción con minerales arcillosos y feldespáticos.

En términos generales, los pozos presentan una predominancia de facies bicarbonatadas, con una diferenciación entre dominios cálcico-magnésicos y sódico-potásicos, lo que sugiere variaciones en

las condiciones de recarga, litología y grado de evolución de las aguas subterráneas dentro del área de estudio.

✓ Piezómetros

En la **Figura 3-102** se presenta el diagrama de Piper construido a partir de las concentraciones iónicas registradas en los tres (3) piezómetros seleccionados para llevar a cabo la caracterización hidrogeoquímica del agua subterránea en el área de influencia.

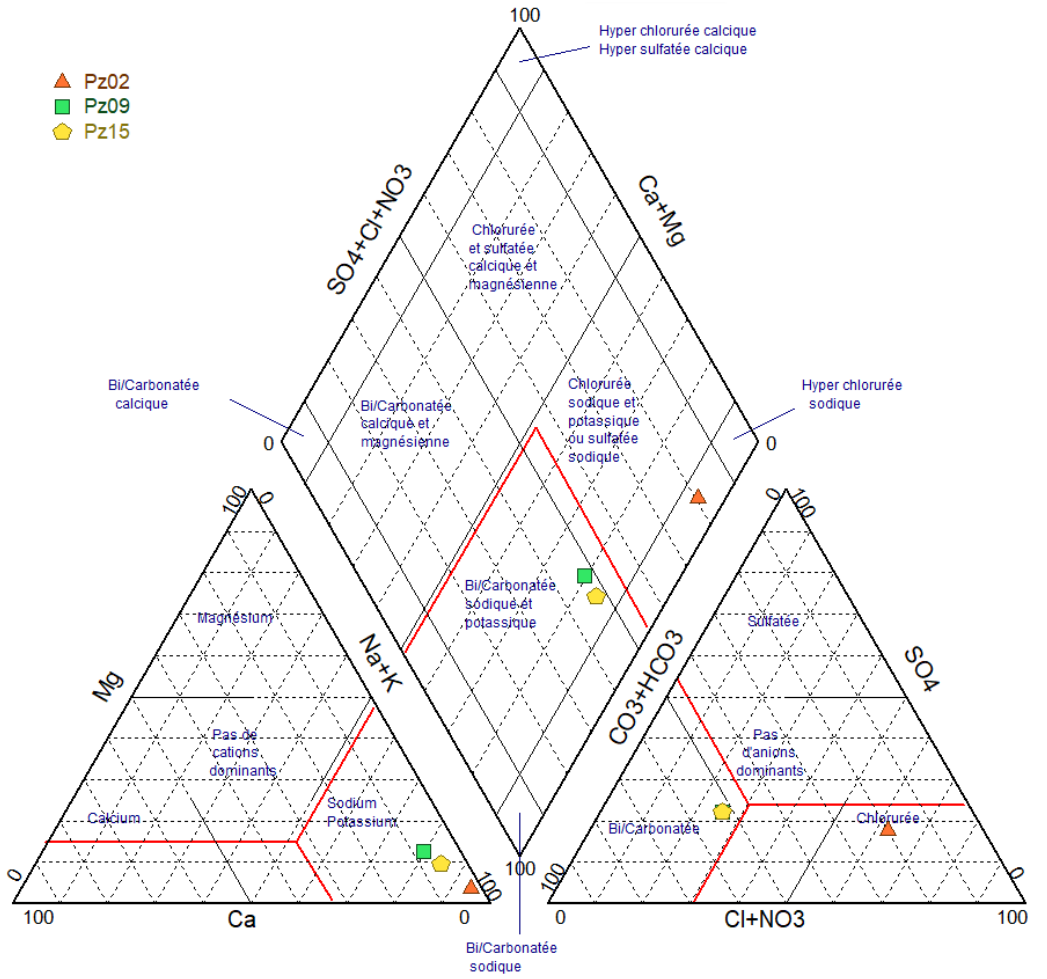


Figura 3-102 Diagramas de Piper – Piezómetros que captan la unidad A3
Fuente: SGI S.A.S, 2025

En la **Figura 3-102** se presentan los resultados del Diagrama de Piper para los tres (3) piezómetros analizados. En todos los casos, las aguas se clasifican como bicarbonatadas sódico-potásicas, caracterizadas por un ligero enriquecimiento en sodio y potasio. Esta tendencia hidroquímica sugiere procesos de intercambio iónico entre cationes alcalinos (Na^+/K^+) y cationes alcalinotérreos (Ca^{2+}/Mg^{2+}), probablemente asociados a la interacción del agua con materiales arcillosos o feldespáticos en el acuífero.

En conclusión, en conjunto los Diagramas de Piper para aljibes, manantiales, pozos y piezómetros muestra que la facies hidroquímica predominante en el área corresponde a aguas bicarbonatadas, con dos tendencias principales: bicarbonatadas cálcico-magnésicas, asociadas a aljibes y algunos pozos, representativas de aguas de recarga reciente y menor evolución hidroquímica; y

bicarbonatadas sódico-potásicas, identificadas en manantiales, piezómetros y parte de los pozos, lo que indica un mayor grado de evolución e intercambio iónico con materiales arcillosos y feldespáticos. De manera puntual, se reconocen facies sulfatadas sódicas en algunos aljibes y cloruradas cálcicas en un manantial, evidenciando condiciones locales particulares de interacción agua-roca. En conjunto, los resultados reflejan una dominancia de procesos de disolución de carbonatos y evolución hacia facies sódico-potásicas, controlados por la litología y las condiciones de circulación subterránea en el área de estudio.

- **Diagramas de Mifflin**

Al igual que para la construcción de los diagramas anteriores, los valores de concentración que son inferiores al límite de detección del laboratorio fueron sustituidos por la mitad del valor del límite de detección, tal como lo sugiere Farnham et al. (2002). Así mismo, la suma de cationes ($Na^+ + K^+$) y aniones ($Cl^- + SO_4$) se presenta en unidades de meq/L, en escala logarítmica.

- ✓ Aljibes

En la **Figura 3-103** se presenta en el diagrama de Mifflin los resultados obtenidos en los quince (15) aljibes seleccionados para realizar el monitoreo hidrogeoquímico del agua subterránea en el marco del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare.

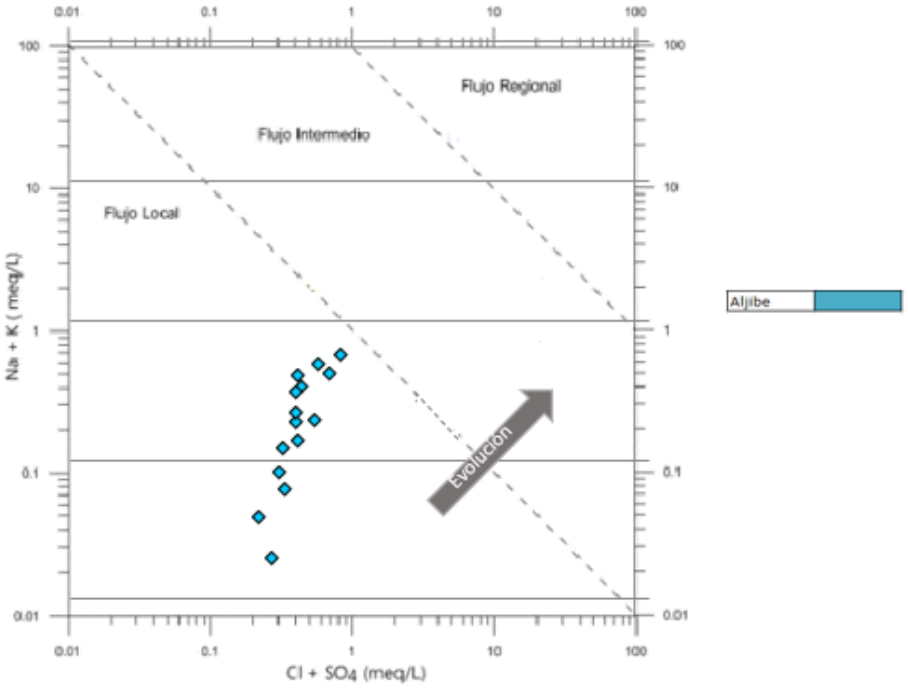


Figura 3-103 Diagrama de Mifflin – Aljibes que captan la unidad A3
Fuente: SGI S.A.S, 2025

En la **Figura 3-103** se presentan los resultados del Diagrama de Mifflin para las muestras de agua subterránea recolectadas en los 15 aljibes monitoreados. Todas las muestras se ubican dentro del dominio de flujo local, aunque con una tendencia hacia el límite con el flujo intermedio, lo que indica la presencia de un ligero proceso de mineralización. Esta condición sugiere que las aguas han experimentado un tiempo de tránsito subterráneo relativamente mayor en comparación con aguas estrictamente locales, sin que ello implique que correspondan a aguas antiguas. Teniendo en cuenta lo anterior, si bien presentan un grado de mineralización más elevado, este no resulta lo

suficientemente significativo para asociarlo a tiempos de residencia prolongados, sino más bien a procesos de interacción agua-roca en trayectorias cortas a medias dentro del sistema acuífero.

✓ Manantiales

En la **Figura 3-104** se presenta el diagrama de Mifflin con los resultados obtenidos en los siete (7) manantiales seleccionados para realizar el monitoreo hidrogeoquímico del agua subterránea en el marco del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare.

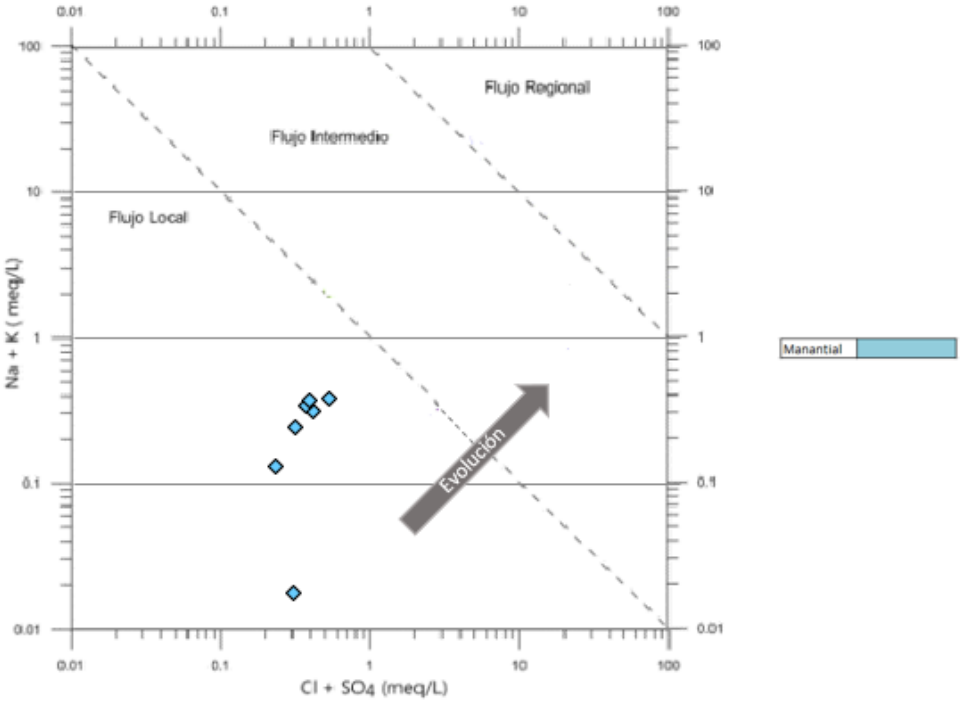


Figura 3-104 Diagrama de Mifflin – Manantiales que captan la unidad A3
Fuente: SGI S.A.S, 2025

En la **Figura 3-104** se observa que todas las muestras de agua subterránea recolectadas en los manantiales se ubican en el dominio de flujo local, con ligera tendencia hacia el límite con el flujo intermedio. Esta distribución indica que se trata de aguas poco evolucionadas, asociadas a procesos de recarga reciente y tiempos de tránsito cortos en el subsuelo. A partir de lo anterior, se afirma que los manantiales muestreados presentan una constante renovación del recurso, producto de la interacción directa con aportes de agua lluvia y de escorrentía superficial. A diferencia de aljibes y pozos, los manantiales carecen de tapa, sello sanitario u otras barreras de protección, lo que facilita el ingreso directo de aguas superficiales. En consecuencia, estas muestras exhiben una menor mineralización y corresponden a aguas almacenadas en los niveles más someros del acuífero, lo cual explica su corta trayectoria y limitado grado de evolución hidrogeoquímica.

✓ Pozos

En la **Figura 3-105** se presenta las concentraciones registradas para los iones ($Cl + SO_4$ y $Na + K$) en los cinco (5) pozos hidrogeológicos seleccionados para llevar a cabo la caracterización hidrogeoquímica del agua subterránea presente en el área de influencia.

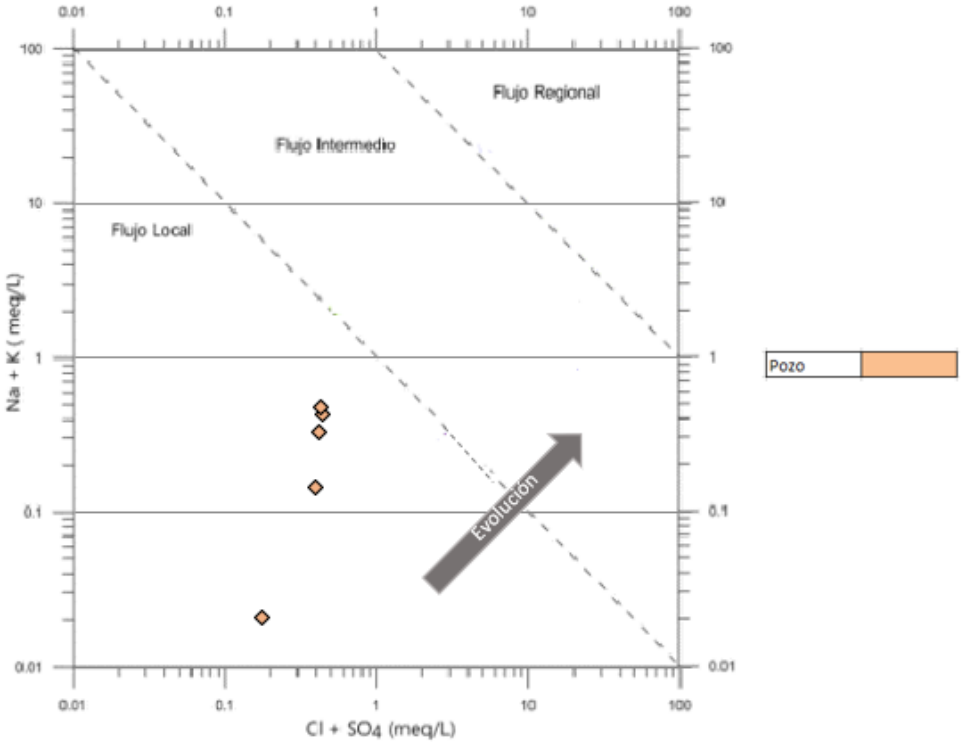


Figura 3-105 Diagrama de Mifflin – Pozos que captan la unidad A3
Fuente: SGI S.A.S, 2025

Como se puede observar en la **Figura 3-105**, las muestras de agua recolectadas en los cinco (5) pozos se ubican dentro del dominio de flujo local, aunque con indicios de un ligero proceso de mineralización. Esta condición refleja que se trata de aguas con un mayor tiempo de tránsito subterráneo en comparación con aquellas de recarga inmediata, lo que implica una interacción más prolongada con el medio acuífero sin que ello signifique necesariamente tiempos de residencia antiguos o una evolución hidrogeoquímica avanzada.

- ✓ Piezómetros

En la Figura 3-106 se presenta el diagrama de Mifflin con los resultados obtenidos en los tres (3) piezómetros seleccionados para llevar a cabo la caracterización hidrogeoquímica del agua subterránea presente en el área de influencia.

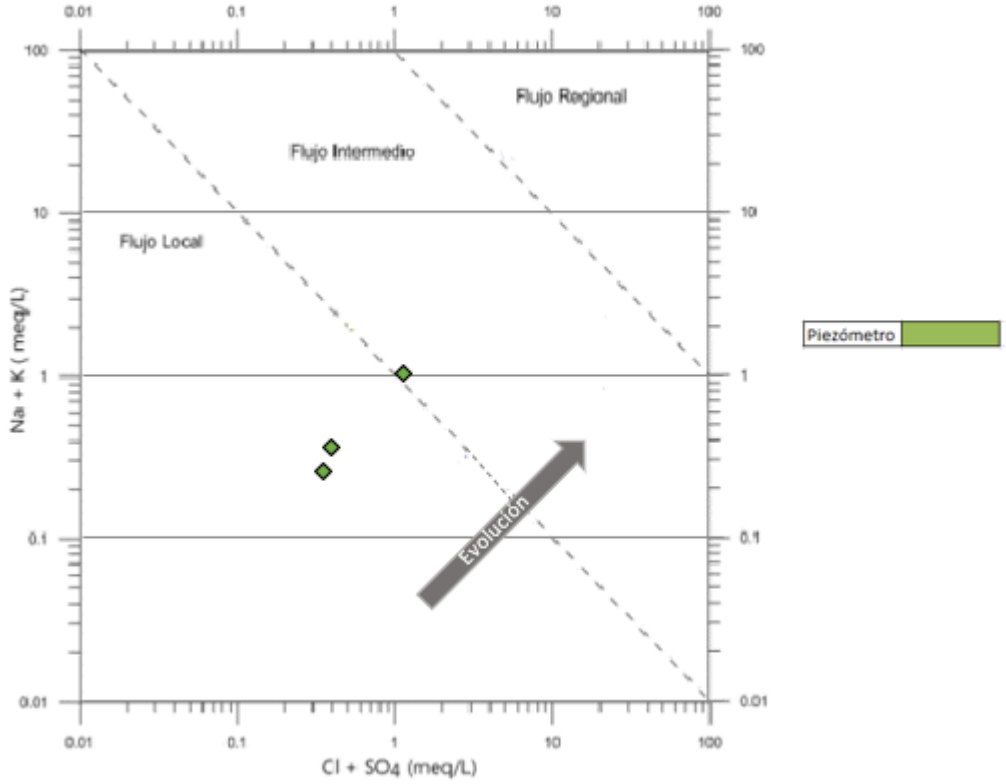


Figura 3-106 Diagrama de Mifflin – Piezómetros que captan la unidad A3
Fuente: SGI S.A.S, 2025.

En la **Figura 3-106** se observa que dos (2) de las muestras de agua subterránea analizadas se ubican en el dominio de flujo local, lo que indica que corresponden a aguas jóvenes, de reciente infiltración, asociadas a tiempos de tránsito cortos y a una constante renovación del acuífero. En contraste, la muestra correspondiente al piezómetro Pz02 se localiza en el dominio de flujo intermedio, lo cual sugiere un mayor tiempo de residencia subterránea y una composición química más evolucionada, producto de una interacción más prolongada con el medio geológico.

3.2.7.13.1.2.2.2 Unidad hidrogeológica A4

Para la construcción de los diagramas hidroquímicos, las concentraciones iónicas que reportaron ser inferiores al límite mínimo de detección de los métodos analíticos empleados por el laboratorio fueron sustituidos por la mitad del valor de dicho límite, tal como lo sugiere Farnham et al. (2002).

- **Diagramas de Stiff**

A continuación, se presentan los diagramas de Stiff de las muestras de agua subterránea recolectadas en la unidad hidrogeológica A4.

Dentro de los 30 puntos de agua subterránea monitoreados para llevar a cabo la caracterización hidrogeoquímica del agua subterránea en el área de influencia, se seleccionaron tres (3) aljibes, los cuales permiten caracterizar los niveles acuíferos someros de la unidad hidrogeológica A4, los cuales captan desde la superficie hasta los 8 metros de profundidad. En la **Figura 3-95** se presentan los diagramas de Stiff realizados a partir de las concentraciones iónicas registradas en los 3 aljibes monitoreados en el presente proyecto.

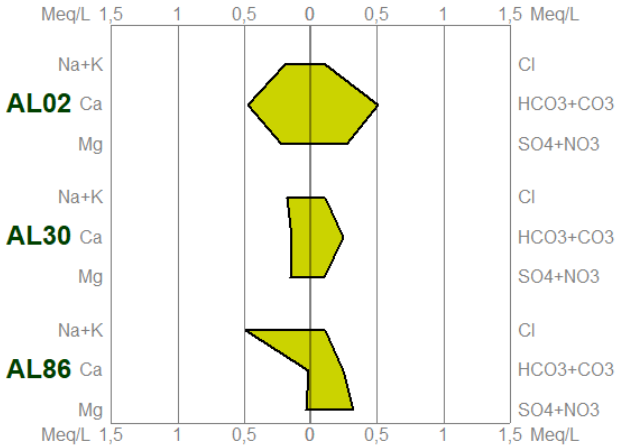


Figura 3-107 Diagramas de Stiff - Aljibes que captan la unidad A4
Fuente: SGI S.A.S, 2025

Se observa que la mayoría de las muestras de agua subterránea recolectadas en los aljibes que captan la unidad hidrogeológica A4 permite identificar distintos patrones químicos. Estos patrones se diferencian por el enriquecimiento relativo en determinados iones, aunque en casi todos los casos las concentraciones iónicas totales son bajas, con valores que no superan los 0,5 meq/L, lo que refleja un bajo grado de mineralización del agua subterránea en la zona de estudio.

- **Diagramas de Piper**

En la Figura 3-108 se presenta el diagrama de Piper con las concentraciones iónicas registradas en los tres (3) aljibes monitoreados que captan la unidad hidrogeológica A4.

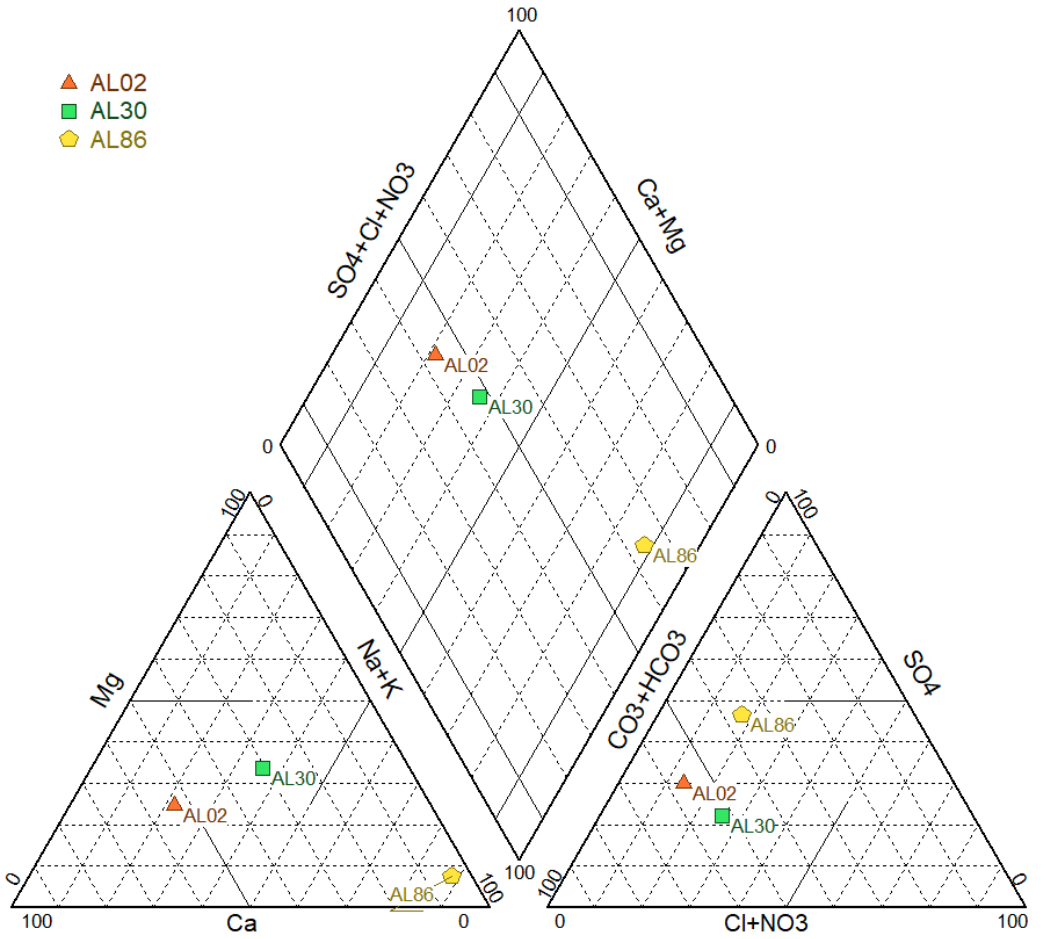


Figura 3-108 Diagramas de Piper – Aljibes que captan la unidad A4
Fuente: SGI S.A.S, 2025

Como se evidencia en la Figura 3-108, los aljibes monitoreados que captan la unidad hidrogeológica A4 presentan aguas bicarbonatadas cálcicas para los aljibes AL02 y AL30 mientras que el aljibe AL86 presenta aguas sulfatadas sódicas. Sin embargo, es importante mencionar que todas las aguas de los aljibes analizados son aguas consideradas jóvenes, de reciente infiltración al subsuelo y, por ende, con muy bajo contenido iónico.

- **Diagramas de Mifflin**

Al igual que para la construcción de los diagramas anteriores, los valores de concentración que son inferiores al límite de detección del laboratorio fueron sustituidos por la mitad del valor del límite de detección, tal como lo sugiere Farnham et al. (2002). Así mismo, la suma de cationes (Na^++ K^+) y aniones (Cl^- + SO_4) se presenta en unidades de meq/L, en escala logarítmica.

En la Figura 3-109 se presenta el diagrama de Mifflin con las concentraciones iónicas registradas en los tres aljibes monitoreados que captan la unidad hidrogeológica A4.

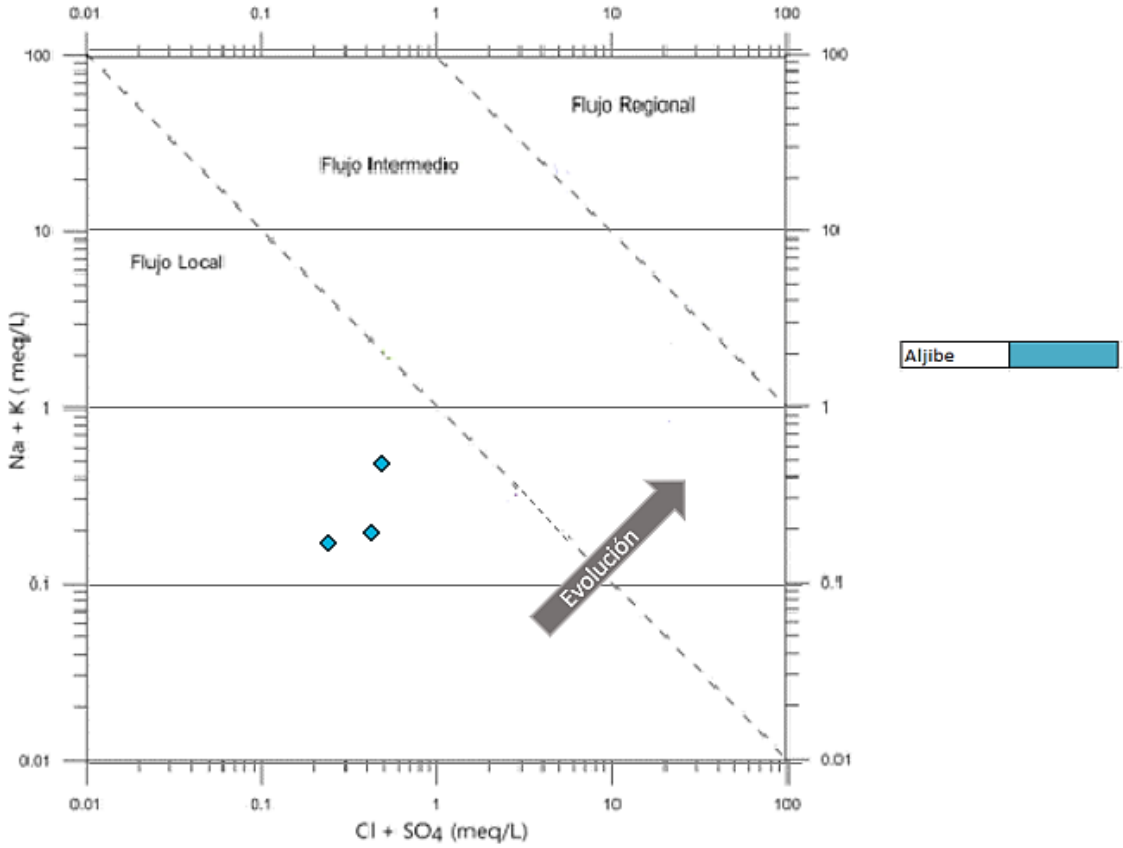


Figura 3-109 Diagrama de Mifflin – Aljibes unidad hidrogeológica A4
Fuente: SGI S.A.S, 2025

Como se evidencia en la Figura 3-109, los tres (3) aljibes monitoreados que captan la unidad hidrogeológica A4 se ubican dentro del dominio correspondiente al flujo local, lo cual indica que el agua subterránea almacenada en esta unidad corresponde a aguas jóvenes, asociadas a procesos de recarga reciente a partir de la infiltración directa desde superficie. Esta condición explica la baja mineralización observada en las muestras analizadas, característica típica de aguas con tiempos de residencia cortos y escasa interacción agua–roca.

Dentro de esta unidad hidrogeológica, el aljibe AL86 se localiza ligeramente más próximo a la línea de flujo intermedio, lo que sugiere una mayor evolución hidrogeoquímica en comparación con las demás muestras. No obstante, este comportamiento no necesariamente implica un mayor tiempo de tránsito subterráneo, sino que parece estar asociado a un leve enriquecimiento en los iones sodio (Na^+) y sulfato (SO_4^{2-}) respecto a los otros aljibes evaluados. Dicho enriquecimiento podría relacionarse con aportes externos de origen antrópico presentes en el entorno, tales como actividades agrícolas, uso de insumos químicos o modificaciones en el uso del suelo, más que a procesos naturales de evolución hidrogeoquímica en profundidad.

3.2.7.13.2 Información secundaria

Con el fin de establecer una línea base respecto a la caracterización hidrogeoquímica del agua subterránea, se toma como información secundaria el monitoreo realizado en cuatro (4) pozos profundos para captación de agua subterránea, los cuales fueron muestreados durante los meses

de febrero y marzo de 2024. Los pozos monitoreados corresponden a Pozo Subestación Acacias, Pozo Subestación Castilla I, Pozo Subestación Castilla II y Pozo Subestación Chichimene.

En la **Tabla 3-67** se presentan los cuatro (4) pozos de agua subterránea muestreados que constituyen la información secundaria y línea base para la caracterización hidrogeoquímica del presente proyecto. De igual forma, se presentan las coordenadas de los puntos y el ID asignado a las muestras de agua recolectadas en estos pozos en los diferentes meses de monitoreo (febrero y marzo de 2024).

Tabla 3-67 Pozos monitoreados información secundaria

ID	NOMBRE DEL PUNTO	LAB	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		FECHA DE MONITOREO	ID MUESTRA 2024
			ESTE (m)	NORTE (m)		
PozAsubEstCastillaI	Pozo Subestación Castilla I	Chemilab S.A.S	4926166,48	1982006,24	22/03/2024	MN434886
PozAsubEstCastillaII	Pozo Subestación Castilla II	Chemilab S.A.S	4927784,12	1983487,07	23/03/2024	MN435085
PozASubEstAcacias	Pozo Subestación Acacias	Chemilab S.A.S	4929763,83	1986816,01	7/03/2024	MN431457
POZO_SUB_ECH	Pozo Subestación Chichimene	Chemilab S.A.S	4923823,00	1992642,00	5/02/2024	MN424358

Fuente: Ecopetrol S.A., 2024

Por otra parte, en la Figura 3-110 se puede observar la ubicación y distribución espacial de los cuatro (4) pozos de agua subterránea monitoreados y que conforman la información secundaria del año 2024 para la caracterización hidrogeoquímica del agua subterránea en el área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare.

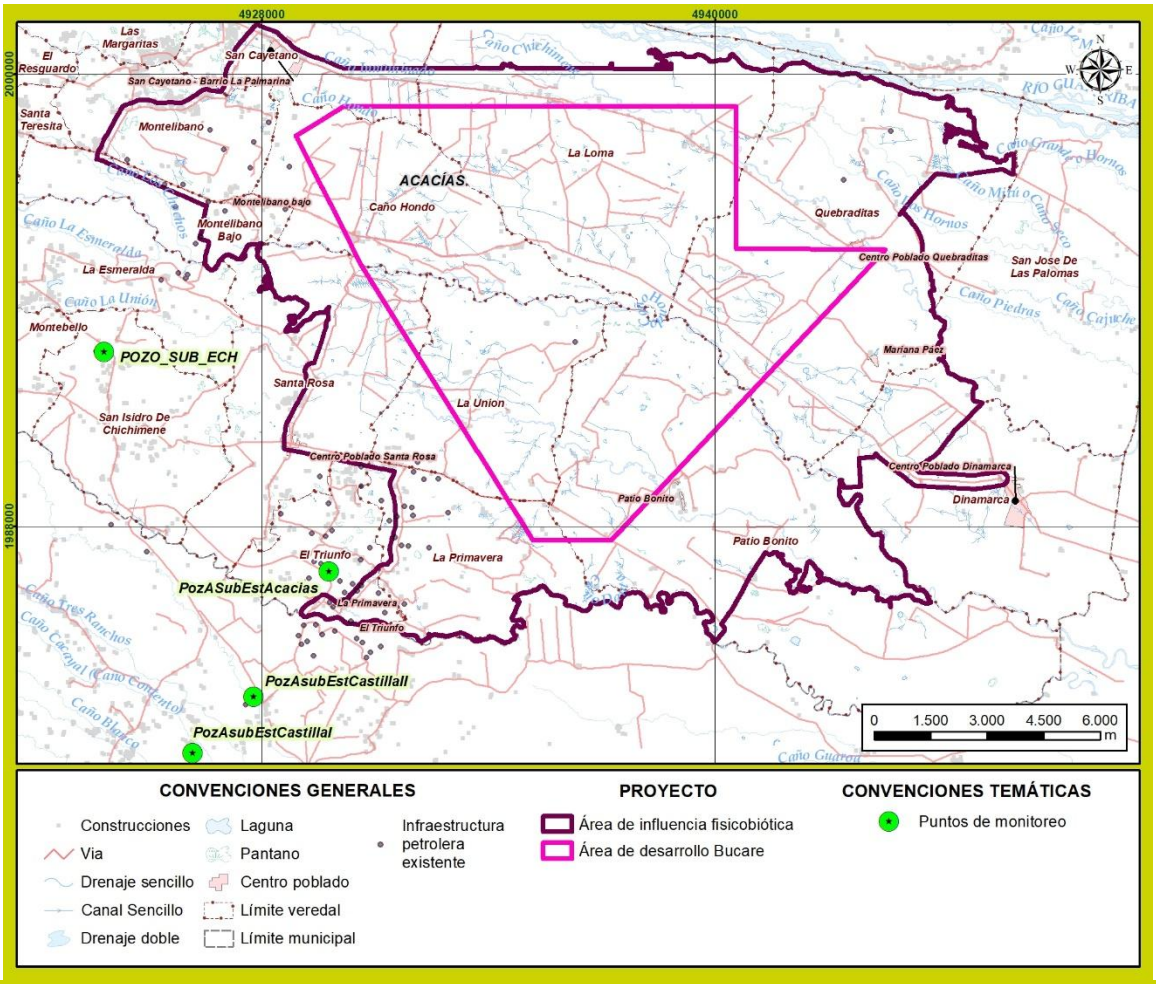


Figura 3-110 Ubicación pozos monitoreados – Información secundaria
Fuente: SGI S.A.S, 2025

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en los monitoreos realizados en los cuatro (4) pozos para captación de agua subterránea mencionados, los cuales son empleados como información secundaria en el presente proyecto.

Es importante aclarar que para realizar los diagramas de análisis hidrogeoquímico, los resultados que reportaron concentraciones inferiores al límite de detección del laboratorio fueron sustituidos por la mitad del valor del límite de detección, tal como lo sugiere Farnham et al. (2002).

- **Diagrama de Stiff – Información secundaria**

A partir del monitoreo llevado a cabo durante el año 2024 por parte de Ecopetrol S.A., se tuvieron en cuenta los resultados obtenidos en los cuatro (4) pozos profundos monitoreados para establecer la línea base en cuanto a la caracterización hidrogeoquímica del agua subterránea.

En la Figura 3-111 se presenta el comportamiento hidrogeoquímico de los cuatro (4) pozos profundos para captación de agua subterránea de Ecopetrol S.A. los cuales fueron muestreados durante el mes febrero y marzo del 2024.

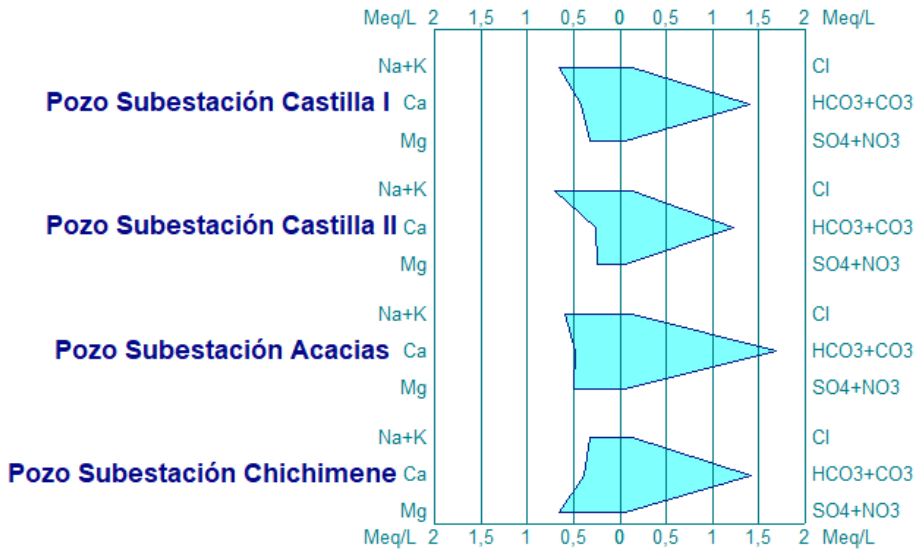


Figura 3-111 Diagrama de Stiff pozos profundos – Información secundaria
Fuente: SGI S.A.S, 2025

De acuerdo con los resultados presentados en la Figura 3-111, se evidencia que los cuatro (4) pozos profundos para captación de agua subterránea adjudicados a Ecopetrol S.A. que fueron analizados presentan un patrón “tipo flecha” donde predomina la concentración de bicarbonatos (HCO_3 + CO_3) y sodio-potasio (Na + K), a excepción del pozo Subestación Chichimene en el que en lugar de prevalecer la relación sodio-potasio (Na + K) presenta mayores mineralizaciones en los iones de magnesio. El comportamiento anterior es característico de aguas jóvenes almacenadas en el Miembro Inferior de la Formación Guayabo.

- **Diagrama de Piper – Información secundaria**

En la Figura 3-112 se presenta el comportamiento hidrogeoquímico de las muestras de agua subterránea recolectadas en los cuatro (4) pozos profundos de Ecopetrol S.A., las cuales fueron monitoreadas en los meses de febrero y marzo de 2024.

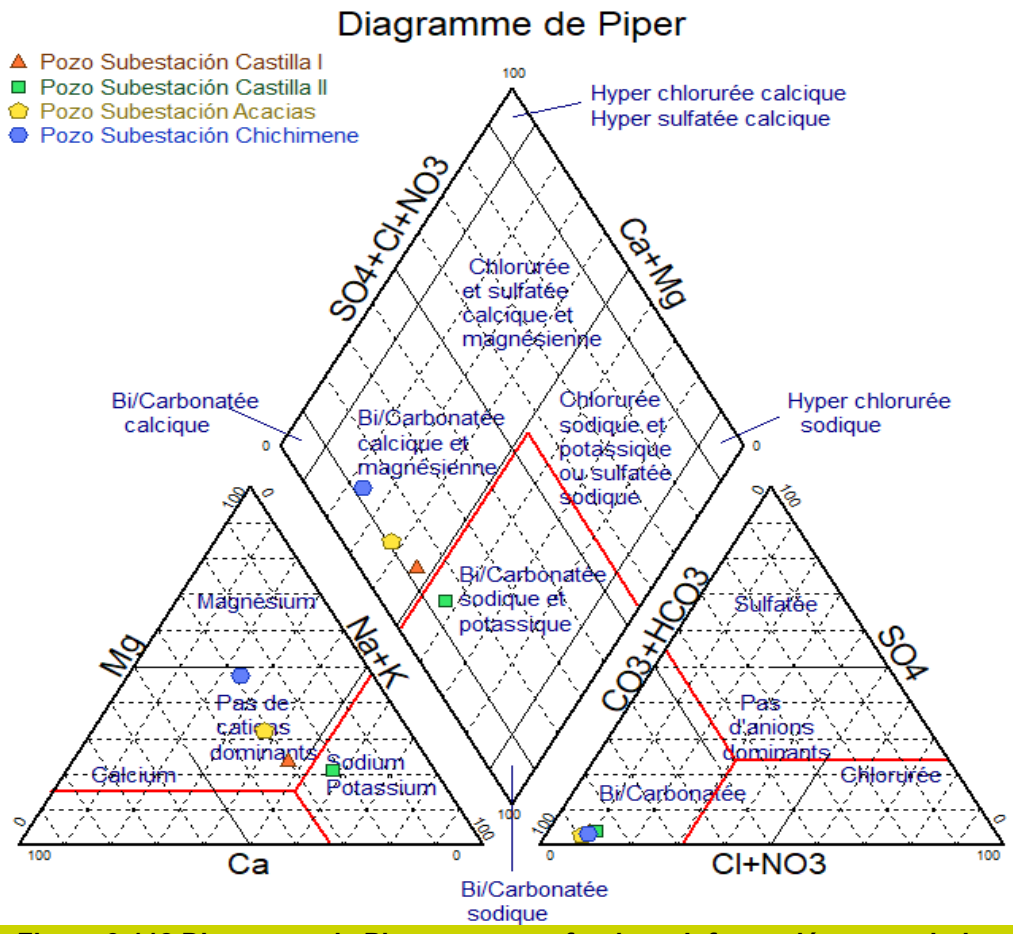


Figura 3-112 Diagramas de Piper pozos profundos – Información secundaria
Fuente: SGI S.A.S, 2025

En la Figura 3-112 se evidencia que la muestra de agua tomada en el pozo de la subestación Chichimene presenta aguas bicarbonatadas sódico-potásicas, mientras que las demás muestras presentan aguas bicarbonatadas cálcico-magnésicas, características de aguas jóvenes.

- **Diagrama de Mifflin – Información secundaria**

Al igual que para la construcción de los diagramas anteriores, los valores de concentración que son inferiores al límite de detección del laboratorio fueron sustituidos por la mitad del valor del límite de detección, tal como lo sugiere Farnham et al. (2002). Asimismo, la suma de cationes (Na^++ K^+) y aniones (Cl^- + SO_4) se presenta en unidades de meq/L, en escala logarítmica.

En la **Figura 3-113** se representa el diagrama de Mifflin resultado del monitoreo realizado en los meses de febrero y marzo de 2024 a cuatro (4) pozos profundos.

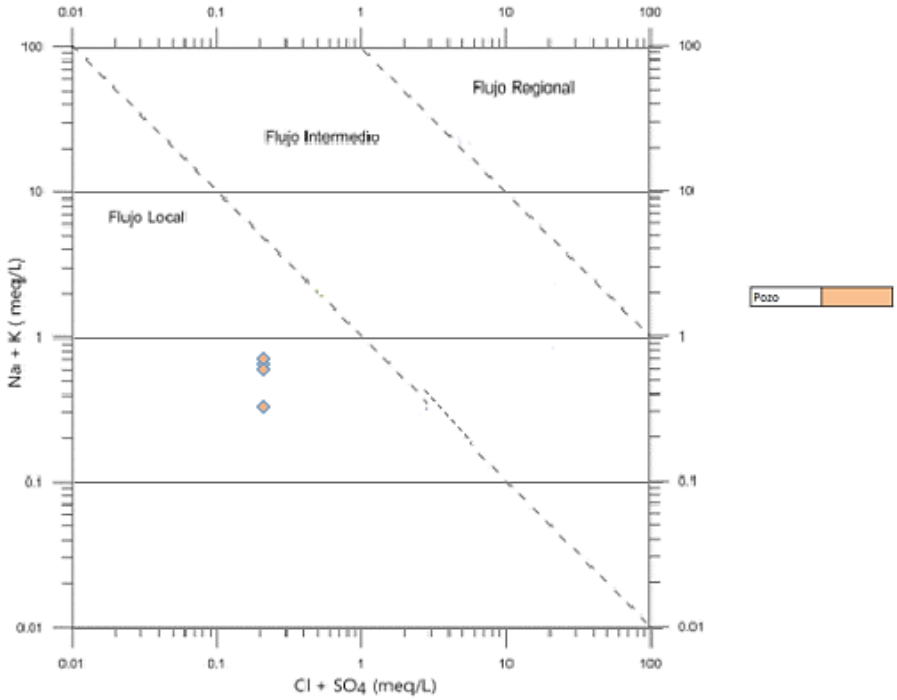


Figura 3-113. Diagrama de Mifflin pozos profundos – Información secundaria
Fuente: SGI S.A.S, 2025

Tal como se puede observar en la **Figura 3-113**, las cuatro (4) muestras de agua subterránea analizadas se sitúan en flujo local, es decir, que son aguas subterráneas jóvenes y de reciente infiltración al subsuelo, lo cual sugiere que el acuífero de la Formación Guayabo presenta una constante renovación de agua.

3.2.7.14 Calidad del agua subterránea

La calidad del agua subterránea hace referencia a las condiciones necesarias para que el agua almacenada en los acuíferos o en las diferentes unidades hidrogeológicas donde sea posible, mantenga un ecosistema equilibrado y cumpla con los objetivos específicos de calidad. Esta se define por las características físicas, químicas, biológicas y microbiológicas del agua subterránea.

Los factores clave que determinan la calidad del agua subterránea incluyen:

- **Características físicas**: Implican aspectos como la temperatura, el color, la turbidez y la cantidad de sólidos suspendidos.
- **Características químicas**: Se refiere a la concentración de diversos elementos o compuestos disueltos en el agua, como sales, metales pesados (por ejemplo, arsénico, plomo), nitratos, pH, dureza y compuestos orgánicos.
- **Características biológicas**: La presencia de microorganismos como bacterias, virus o protozoos. El agua subterránea generalmente tiene menos microorganismos patógenos que el agua superficial debido a su filtración natural, pero aún puede estar contaminada, especialmente si hay fallas en los sistemas de protección.

El agua subterránea puede verse afectada por actividades humanas (como la contaminación agrícola, industrial o urbana) o por procesos naturales, como la disolución de iones por el contacto

con las rocas por donde el agua subterránea fluye en su recorrido por el subsuelo. Por lo tanto, mantener su calidad es crucial para garantizar la sostenibilidad del agua subterránea como recurso hídrico.

3.2.7.14.1 Marco legal

Para asegurar que el agua subterránea sea adecuada para diferentes usos, debe cumplir con ciertos estándares de calidad, los cuales para Colombia se establecen en el Decreto Único Reglamentario 1076 de 2015, propuesto por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible (MADS). En varios artículos de este Decreto, se describen los diferentes usos del agua y los criterios de calidad para cada uno de ellos. Los usos que se contemplan en esta normativa son: Consumo humano y doméstico, preservación de flora y fauna, pecuario, agrícola, recreativo, estético y/o industrial.

Sin embargo, si bien el agua subterránea puede ser destinada para la variedad de usos mencionados anteriormente, en el presente capítulo solo se analizará la calidad del agua subterránea para tres (3) de estos usos, los cuales son consumo humano y doméstico, agrícola y pecuario. Estos usos fueron seleccionados teniendo en cuenta los usos que se le da al agua subterránea en el área de influencia, tanto por parte de las comunidades como por las industrias allí presentes. A continuación, se definen y se describe el contenido y el alcance de los usos del agua subterránea que serán tenidos en cuenta para el presente proyecto.

- ✓ ARTICULO 2.2.3.3.2.2. Uso para consumo humano y doméstico. Se entiende por uso del agua para consumo humano y doméstico su utilización en actividades tales como:

- Bebida directa y preparación de alimentos para consumo inmediato
- Satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios.
- Preparación de alimentos en general y en especial los comercialización o distribución, que no requieran elaboración.

- ✓ ARTÍCULO 2.2.3.3.2.5. Uso agrícola. Se entiende por uso agrícola del agua, su utilización para irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias.
- ✓ ARTICULO 2.2.3.3.2.6. Uso pecuario. Se entiende por uso pecuario del agua, su utilización para el consumo del ganado en sus diferentes especies y demás animales, así como para otras actividades conexas y complementarias.

Definidos los usos del agua que serán considerados para el análisis de la calidad del agua subterránea, a continuación, se presenta una breve descripción de los artículos contenidos en el Decreto 1076 de 2015 que serán tenidos en cuenta para este análisis, en los cuales se especifica los límites normativos del agua según sus usos:

- ✓ Artículo 2.2.3.3.9.3. Tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo humano y doméstico. Los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico e indican que para su potabilización se requiere solamente tratamiento convencional.
- ✓ Artículo 2.2.3.3.9.4. Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico. Los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico que para su potabilización se requiere sólo desinfección.
- ✓ Artículo 2.2.3.3.9.5. Criterios de calidad para uso agrícola. Los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para uso agrícola.
- ✓ Artículo 2.2.3.3.9.6. Criterios de calidad para uso pecuario. Los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para uso pecuario.

En la **Tabla 3-68** se presentan los parámetros propuestos en el Decreto 1076 de 2015 para establecer la calidad del agua subterránea, así como los limites admisibles en cada uno de estos parámetros según los diferentes usos del agua.

Tabla 3-68 Limites permisibles establecidos en la normatividad para los usos del agua

PARAMETRO	UNIDADES	DECRETO 1076 DE 2015			
		Artículo 2.2.3.3.9.3.	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5	Artículo 2.2.3.3.9.6
Arsénico	mg/L	0,05	0,05	0,1	0,2
Bario	mg/L	1	1	N.E	N.E
Cadmio	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,05
Cloruros	mg Cl -/L	250	250	N.E	N.E
Cobre	mg/L	1	1	0,2	0,5
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	2000	N.E	1000	N.E
Coliformes Totales	NMP/100 mL	20000	1000	5000	N.E
Cromo	mg/L	0,05	0,05	0,1	1
Hierro	mg/L	N.E	N.E	5	N.E
Mercurio	mg/L	0,002	0,002	N.E	0,01
Nitratos	mg N-NO3/L	10	10	N.E	N.E
Nitritos	mg N- NO2/L	1	1	N.E	10
pH	Unidades de pH	5,0 - 9,0	6,5 - 8,5	4,5 - 9,0	N.E
Plata	mg/L	0,05	0,05	N.E	N.E
Plomo	mg/L	0,05	0,05	5	0,1
Selenio	mg/L	0,01	0,01	0,02	N.E
Sulfatos	mg/L	400	400	N.E	N.E
Turbiedad	JTU	N.E	10	N.E	N.E
Zinc	mg/L	15	15	2	25

N.E.: No Especifica

Fuente: SGI S.A.S., 2024

3.2.7.14.2 Resultados información primaria

La recolección de las muestras de agua subterránea se llevó a cabo entre los meses de abril y mayo del 2025, período que corresponde a temporada de altas precipitaciones. Estas muestras de agua subterránea fueron recolectadas y analizadas por el laboratorio de la compañía SGI SAS, acreditado por la Resolución 0780 del 13 de junio de 2023, aplicando todos los protocolos requeridos por las normativas y siguiendo los lineamientos generales para el desarrollo del monitoreo antes, durante y después de su ejecución.

Para establecer la calidad del agua subterránea en el área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare, se seleccionaron los mismos treinta (30) puntos de agua subterránea en los cuales se realizó la caracterización hidrogeoquímica (Ver: **Tabla 3-65**). De estos puntos, quince (15) son aljibes, siete (7) corresponden a manantiales, cinco (5) son pozos y tres (3) son piezómetros.

A continuación, se presentan las concentraciones registradas en los parámetros monitoreados en las 30 muestras de agua subterránea recolectadas, comparando dichos resultados con los límites permisibles presentados en los diferentes artículos del Decreto 1076 de 2015. Al igual que en la caracterización hidrogeoquímica, estos resultados se agruparon y analizaron teniendo en cuenta el tipo de punto.

Dicho lo anterior, en la **Tabla 3-69** se presentan los resultados de las muestras de agua subterránea recolectadas en los quince (15) aljibes seleccionados para llevar a cabo la caracterización de la calidad del agua subterránea en el área de influencia. Por otra parte, en la **Tabla 3-71** se presenta

la calidad de las muestras de agua recolectadas en los siete (7) manantiales; mientras que la **Tabla 3-72** expone los resultados de los cinco (5) pozos monitoreados y la **Tabla 3-73** presenta la calidad de agua de las muestras recolectadas en los tres (3) piezómetros analizados.

Tabla 3-69 Calidad de agua de los aljibes monitoreados

PARÁMETRO	UNIDAD	ALJIBES MONITOREADOS (ID Y CÓDIGO ASIGNADO PARA CADA MUESTRA DE AGUA)								LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN EL DECRETO 1076 DE 2015			
		AL02	AL05	AL09	AL11	AL30	AL31	AL35	AL38				
		M37223	M37253	M37224	M37225	M37343	M37344	M37254	M37673	Artículo 2.2.3.3.9.3	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5	Artículo 2.2.3.3.9.6
Aceites y grasas	mg /L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Acidez	mg CaCO3/L	15,19	25,34	22,75	25,44	26,89	27,2	16,58	26,58	N.E	N.E	N.E	N.E
Alcalinidad	mg CaCO3/L	20,7	15,18	<10,00	69,97	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Aluminio en agua	mg /L	0,418	0,61	0,503	0,524	0,825	0,607	0,704	0,201	N.E	N.E	5	5
Amonio	mgN-NH4+/L	1,61	1,72	<1,06	1,07	<1,06	1,19	1,66	2,26	N.E	N.E	N.E	N.E
Arsénico en agua	mg /L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,05	0,05	0,1	0,2
Bario en agua	mg /L	0,074	0,07	0,117	0,152	0,158	0,079	0,059	<0,050	1,0	1,0	N.E	N.E
Berilio en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Bicarbonatos	mg CaCO3/L	20,7	15,18	<10,00	69,97	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Boro en agua	mg /L	0,108	0,065	0,057	0,11	0,105	0,103	0,064	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Cadmio en agua	mg /L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,01	0,01	0,01	0,05
Calcio en agua	mg /L	9,652	2,349	4,554	21,836	3,032	2,905	1,191	2,355	N.E	N.E	N.E	N.E
Carbonatos	mg CaCO3/L	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Cloruros	mg Cl -/L	<8,00	<8,00	<8,00	<8,00	<8,00	<8,00	<8,00	<8,00	250	250	N.E	N.E
Cobalto en agua	mg /L	0,051	0,064	0,052	0,055	<0,050	<0,050	0,063	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Coliformes Termotolerantes (Fecales)	NMP/100 mL	164,3	313	110	287,8	95,8	105,3	396,8	65,7	2000	N.E	1000	N.E
Coliformes Totales (NMP)	NMP/100 mL	250	436	360,9	410,6	287,8	319,9	456,9	206,4	20000	1000	5000	N.E
Conductividad	µS/cm	106	67	56	241	78	50	28	57	N.E	N.E	N.E	N.E
Cromo en agua	mg /L	0,055	0,066	0,054	0,057	0,056	0,056	0,073	<0,050	0,05	0,05	0,1	1

PARÁMETRO	UNIDAD	ALJIBES MONITOREADOS (ID Y CÓDIGO ASIGNADO PARA CADA MUESTRA DE AGUA)								LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN EL DECRETO 1076 DE 2015			
		AL02	AL05	AL09	AL11	AL30	AL31	AL35	AL38	Artículo 2.2.3.3.9.3	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5	Artículo 2.2.3.3.9.6
		M37223	M37253	M37224	M37225	M37343	M37344	M37254	M37673				
Demanda Bioquimica de Oxígeno (DBO)	mg /L	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Demanda Quimica de Oxigeno (DQO)	mg O2/L	<36,00	<36,00	<36,00	<36,00	<36,00	<36,00	<36,00	<36,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Dureza Total	mg CaCO3 /L	35,26	13,65	18,88	87,76	15,75	11,81	<7,00	9,11	N.E	N.E	N.E	N.E
Escherichia Coli (NMP)	NMP/100mL	12,2	25	66,3	122,2	<1,00	<1,00	32	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Fenoles	mg/L	0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	N.E	N.E	N.E	N.E
Fósforo Ácido Hidrolizable Total	mg P-PO4/L	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Hidrocarburos	mg /L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Hierro en agua	mg /L	0,176	0,248	0,212	0,152	0,169	0,256	0,287	0,121	N.E	N.E	5,0	N.E
Huevos de Helmintos	N° org/L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Litio en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Magnesio en agua	mg /L	2,71	1,891	1,824	8,072	1,986	1,106	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Manganeso en agua	mg /L	0,306	0,273	0,313	0,463	<0,050	<0,050	0,185	0,151	N.E	N.E	0,2	N.E
Material flotante	Presente/Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Presente	Ausente	Ausente	N.E	N.E	N.E	N.E
Molibdeno en agua	mg /L	<0,010	<0,010	0,017	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	N.E	N.E	N.E	N.E
Niquel en agua	mg /L	0,072	0,085	0,076	0,074	0,068	0,067	0,086	0,041	N.E	N.E	N.E	N.E
Nitrato	mg N-NO3/L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	10	10	N.E	N.E
Nitritos	mg N-NO2/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1,0	1,0	N.E	10
Nitrógeno Amoniacal	mg N-NH3/L	1,52	1,63	<1,00	1,01	<1,00	1,12	1,57	2,13	N.E	N.E	N.E	N.E

PARÁMETRO	UNIDAD	ALJIBES MONITOREADOS (ID Y CÓDIGO ASIGNADO PARA CADA MUESTRA DE AGUA)								LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN EL DECRETO 1076 DE 2015			
		AL02	AL05	AL09	AL11	AL30	AL31	AL35	AL38				
		M37223	M37253	M37224	M37225	M37343	M37344	M37254	M37673	Artículo 2.2.3.3.9.3	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5	Artículo 2.2.3.3.9.6
Oxígeno Disuelto	mg/L - O2	1,13	1,24	2,46	1,8	3,65	2,64	2,13	3,49	N.E	N.E	N.E	N.E
pH	Unidades de pH	5,71	5,66	5,92	6,15	5,1	5,75	5,52	5,04	5,0 – 9,0	6,5 – 8,5	4,5 – 9,0	N.E
Plomo en agua	mg /L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,05	0,05	5	0,1
Porcentaje de sodio intercambiable	%	0,32	0,65	0,35	0,71	0,31	0,19	0,03	0,92	N.E	N.E	N.E	N.E
Potasio en agua	mg /L	2,694	6,496	1,403	4,498	3,607	1,592	<1,00	1,313	N.E	N.E	N.E	N.E
RAS	-	0,22	0,42	0,27	0,4	0,25	0,17	0,27	0,16	N.E	N.E	N.E	N.E
Selenio en agua	mg /L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,01	0,01	0,02	N.E
Sodio en agua	mg /L	2,925	3,738	2,351	10,368	1,914	1,035	<1,00	4,378	N.E	N.E	N.E	N.E
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	68	40	33	147	44	30	16	34	N.E	N.E	N.E	N.E
Sólidos Suspendidos Totales	mg /L	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	11	10,00	<10,00	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Sólidos Totales	mg /L	73	46	40	153	55	40	24	36	N.E	N.E	N.E	N.E
Sulfato	mg/L	12,77	<10,00	<10,00	27,43	<10,00	10,02	10,93	<10,00	400	400	N.E	N.E
Temperatura	°C	26,78	28,03	28,4	26,98	26,66	26,12	28,27	26,22	N.E	N.E	N.E	N.E
Turbidez	NTU	<2,00	2,8	3,1	<2,00	3,2	2,5	<2,00	<2,00	N.E	N.E	N.E	N.E

PARÁMETRO	UNIDAD	ALJIBES MONITOREADOS (ID Y CÓDIGO ASIGNADO PARA CADA MUESTRA DE AGUA)								LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN EL DECRETO 1076 DE 2015			
		AL02	AL05	AL09	AL11	AL30	AL31	AL35	AL38				
		M37223	M37253	M37224	M37225	M37343	M37344	M37254	M37673	Artículo 2.2.3.3.9.3	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5	Artículo 2.2.3.3.9.6
Turbidez	JTU	<0,105	0,15	0,16	<0,105	0,17	0,13	<0,105	<0,105	N.E	10	N.E	N.E
Vanadio en agua	mg /L	0,059	0,065	<0,050	0,054	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Zinc en agua	mg /L	0,074	0,048	0,064	0,061	0,063	0,048	0,062	0,034	15,0	15,0	2,0	25

Fuente: SGI S.A.S., 2025.

Tabla 3-70 Calidad de agua de los aljibes monitoreados

PARÁMETRO	UNIDAD	ALJIBES MONITOREADOS (ID Y CÓDIGO ASIGNADO PARA CADA MUESTRA DE AGUA)							LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN EL DECRETO 1076 DE 2015			
		AL40	AL49	AL57	AL70	AL71	AL73	AL86				
		M37345	M37340	M37341	M37632	M37630	M37617	M37615	Artículo 2.2.3.3.9.3	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5	Artículo 2.2.3.3.9.6
Aceites y grasas	mg /L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Acidez	mg CaCO3/L	23,52	26,83	30,27	26,17	12,33	18,65	29,69	N.E	N.E	N.E	N.E
Alcalinidad	mg CaCO3/L	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Aluminio en agua	mg /L	0,64	0,654	0,792	0,163	0,176	0,179	0,261	N.E	N.E	5	5
Amonio	mgN-NH4+/L	<1,06	6,93	1,1	2,97	<1,06	2,17	1,19	N.E	N.E	N.E	N.E
Arsénico en agua	mg /L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,05	0,05	0,1	0,2
Bario en agua	mg /L	<0,050	0,053	0,083	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	1,0	1,0	N.E	N.E
Berilio en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Bicarbonatos	mg CaCO3/L	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Boro en agua	mg /L	0,076	0,074	0,096	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Cadmio en agua	mg /L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,01	0,01	0,01	0,05
Calcio en agua	mg /L	1,957	<1,00	1,033	1,275	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Carbonatos	mg CaCO3/L	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Cloruros	mg Cl -/L	<8,00	<8,00	<8,00	<8,00	<8,00	<8,00	<8,00	250	250	N.E	N.E
Cobalto en agua	mg /L	0,051	0,06	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Coliformes Termotolerantes (Fecales)	NMP/100 mL	75,9	190,3	91,2	61,7	75,9	46,9	91,2	2000	N.E	1000	N.E
Coliformes Totales (NMP)	NMP/100 mL	258,9	529,8	235,2	436,6	225,4	210,5	313	20000	1000	5000	N.E
Conductividad	µS/cm	31	69	45,7	74	64	65	71	N.E	N.E	N.E	N.E
Cromo en agua	mg /L	0,057	0,073	0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,05	0,05	0,1	1

PARÁMETRO	UNIDAD	ALJIBES MONITOREADOS (ID Y CÓDIGO ASIGNADO PARA CADA MUESTRA DE AGUA)							LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN EL DECRETO 1076 DE 2015			
		AL40	AL49	AL57	AL70	AL71	AL73	AL86	Artículo 2.2.3.3.9.3	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5	Artículo 2.2.3.3.9.6
		M37345	M37340	M37341	M37632	M37630	M37617	M37615				
Demanda Bioquimica de Oxígeno (DBO)	mg /L	<10,00	<10,00	<10,00	49	<10,00	<10,00	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Demanda Quimica de Oxigeno (DQO)	mg O2/L	<36,00	<36,00	<36,00	78,55	<36,00	<36,00	<36,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Dureza Total	mg CaCO3 /L	8,02	<7,00	7,46	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Escherichia Coli (NMP)	NMP/100mL	23,8	<1,00	<1,00	18,7	4,1	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Fenoles	mg/L	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	N.E	N.E	N.E	N.E
Fósforo Ácido Hidrolizable Total	mg P-PO4/L	<0,050	1,92	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,72	N.E	N.E	N.E	N.E
Hidrocarburos	mg /L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Hierro en agua	mg /L	0,311	0,272	0,172	0,13	0,142	0,089	0,251	N.E	N.E	5,0	N.E
Huevos de Helmintos	N° org/L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Litio en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Magnesio en agua	mg /L	<1,00	<1,00	1,185	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Manganeso en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	0,086	0,097	0,123	0,127	N.E	N.E	0,2	N.E
Material flotante	Presente/Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Presente	Ausente	Presente	N.E	N.E	N.E	N.E
Molibdeno en agua	mg /L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	N.E	N.E	N.E	N.E
Niquel en agua	mg /L	0,07	0,085	0,06	0,032	0,032	0,036	0,032	N.E	N.E	N.E	N.E
Nitrato	mg N-NO3/L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	10	10	N.E	N.E
Nitritos	mg N-NO2/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1,0	1,0	N.E	10
Nitrógeno Amoniacal	mg N-NH3/L	<1,00	6,54	1,04	2,81	<1,00	2,05	1,12	N.E	N.E	N.E	N.E

PARÁMETRO	UNIDAD	ALJIBES MONITOREADOS (ID Y CÓDIGO ASIGNADO PARA CADA MUESTRA DE AGUA)							LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN EL DECRETO 1076 DE 2015			
		AL40	AL49	AL57	AL70	AL71	AL73	AL86	Artículo 2.2.3.3.9.3	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5	Artículo 2.2.3.3.9.6
		M37345	M37340	M37341	M37632	M37630	M37617	M37615				
Oxígeno Disuelto	mg/L - O2	3,07	3,04	4,34	2,09	3,82	3,03	1,96	N.E	N.E	N.E	N.E
pH	Unidades de pH	5,43	5,91	5,31	5,38	4,86	5,67	4,97	5,0 – 9,0	6,5 – 8,5	4,5 – 9,0	N.E
Plomo en agua	mg /L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,05	0,05	5	0,1
Porcentaje de sodio intercambiable	%	0,1	0,31	0,14	1,76	1,89	2,75	2,78	N.E	N.E	N.E	N.E
Potasio en agua	mg /L	<1,00	<1,00	2,221	4,214	1,487	1,307	2,951	N.E	N.E	N.E	N.E
RAS	-	0,3	0,2	0,17	0,46	0,28	0,33	0,4	N.E	N.E	N.E	N.E
Selenio en agua	mg /L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,01	0,01	0,02	N.E
Sodio en agua	mg /L	<1,00	1,075	<1,00	7,182	6,141	8,64	9,543	N.E	N.E	N.E	N.E
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	21	43	27	44	39	41	43	N.E	N.E	N.E	N.E
Sólidos Suspendidos Totales	mg /L	11	<10,00	<10,00	<10,00	17	<10,00	10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Sólidos Totales	mg /L	32	46	33	46	56	43	53	N.E	N.E	N.E	N.E
Sulfato	mg/L	<10,00	<10,00	<10,00	24,58	<10,00	<10,00	15,41	400	400	N.E	N.E
Temperatura	°C	27,12	26,18	26,65	26,94	28,14	27,63	26,24	N.E	N.E	N.E	N.E
Turbidez	NTU	3,4	3,4	4,5	6	3,3	<2,00	27	N.E	N.E	N.E	N.E

PARÁMETRO	UNIDAD	ALJIBES MONITOREADOS (ID Y CÓDIGO ASIGNADO PARA CADA MUESTRA DE AGUA)							LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN EL DECRETO 1076 DE 2015			
		AL40	AL49	AL57	AL70	AL71	AL73	AL86	Artículo 2.2.3.3.9.3	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5	Artículo 2.2.3.3.9.6
		M37345	M37340	M37341	M37632	M37630	M37617	M37615				
Turbidez	JTU	3,4	0,18	0,24	0,32	0,17	<0,105	1,44	N.E	10	N.E	N.E
Vanadio en agua	mg /L	<0,050	<0,050	0,367	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Zinc en agua	mg /L	0,048	0,047	0,046	0,03	0,031	0,041	0,031	15,0	15,0	2,0	25

Fuente: SGI S.A.S., 2025.

Tabla 3-71 Calidad de agua de los manantiales monitoreados

PARÁMETRO	UNIDAD	ALJIBES MONITOREADOS (ID Y CÓDIGO ASIGNADO PARA CADA MUESTRA DE AGUA)							LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN EL DECRETO 1076 DE 2015			
		M03	M04	M07	M19	M22	M25	M27	Artículo 2.2.3.3.9.3	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5	Artículo 2.2.3.3.9.6
		M37629	M37671	M37342	M37378	M37379	M37621	M37618				
Aceites y grasas	mg /L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Acidez	mg CaCO3/L	14,5	7,77	17,98	22,44	143,18	34,4	33,63	N.E	N.E	N.E	N.E
Alcalinidad	mg CaCO3/L	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Aluminio en agua	mg /L	0,173	0,297	0,741	0,177	0,204	0,221	0,198	N.E	N.E	5	5
Amonio	mgN-NH4+/L	2,08	2,44	2,2	1,25	1,52	3,78	1,99	N.E	N.E	N.E	N.E
Arsénico en agua	mg /L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,05	0,05	0,1	0,2
Bario en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	1,0	1,0	N.E	N.E
Berilio en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Bicarbonatos	mg CaCO3/L	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Boro en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Cadmio en agua	mg /L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,01	0,01	0,01	0,05
Calcio en agua	mg /L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Carbonatos	mg CaCO3/L	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Cloruros	mg Cl -/L	<8,00	<8,00	<8,00	<8,00	<8,00	10,07	<8,00	250	250	N.E	N.E
Cobalto en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Coliformes Termotolerantes (Fecales)	NMP/100 mL	343,6	80,1	40,8	31,5	45,2	98,1	225,4	2000	N.E	1000	N.E
Coliformes Totales (NMP)	NMP/100 mL	387,7	270	152,9	372,5	316,9	233,3	422,5	20000	1000	5000	N.E
Conductividad	µS/cm	60	58	31	66	51	77	73	N.E	N.E	N.E	N.E
Cromo en agua	mg /L	<0,050	<0,050	0,054	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,05	0,05	0,1	1

PARÁMETRO	UNIDAD	ALJIBES MONITOREADOS (ID Y CÓDIGO ASIGNADO PARA CADA MUESTRA DE AGUA)							LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN EL DECRETO 1076 DE 2015			
		M03	M04	M07	M19	M22	M25	M27	Artículo 2.2.3.3.9.3	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5	Artículo 2.2.3.3.9.6
		M37629	M37671	M37342	M37378	M37379	M37621	M37618				
Demanda Bioquimica de Oxígeno (DBO)	mg /L	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Demanda Quimica de Oxigeno (DQO)	mg O2/L	<36,00	<36,00	<36,00	<36,00	<36,00	<36,00	<36,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Dureza Total	mg CaCO3 /L	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Escherichia Coli (NMP)	NMP/100 mL	28,7	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	6,3	26,2	N.E	N.E	N.E	N.E
Fenoles	mg/L	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	N.E	N.E	N.E	N.E
Fósforo Ácido Hidrolizable Total	mg P-PO4/L	<0,050	<0,050	<0,050	1,87	1,35	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Hidrocarburos	mg /L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Hierro en agua	mg /L	0,088	0,106	0,316	0,127	0,736	0,256	0,096	N.E	N.E	5,0	N.E
Huevos de Helmintos	N° org/L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Litio en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Magnesio en agua	mg /L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Manganeso en agua	mg /L	0,12	0,143	<0,050	0,113	0,137	0,098	0,133	N.E	N.E	0,2	N.E
Material flotante	Presente/ Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	N.E	N.E	N.E	N.E
Molibdeno en agua	mg /L	<0,010	<0,010	<0,010	0,011	<0,010	<0,010	<0,010	N.E	N.E	N.E	N.E
Niquel en agua	mg /L	0,037	0,042	0,064	0,032	0,038	0,034	0,041	N.E	N.E	N.E	N.E
Nitrato	mg N-NO3/L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	10	10	N.E	N.E
Nitritos	mg N-NO2/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1,0	1,0	N.E	10
Nitrógeno Amoniacal	mg N-NH3/L	1,96	2,3	2,08	1,18	1,43	3,56	1,88	N.E	N.E	N.E	N.E

PARÁMETRO	UNIDAD	ALJIBES MONITOREADOS (ID Y CÓDIGO ASIGNADO PARA CADA MUESTRA DE AGUA)							LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN EL DECRETO 1076 DE 2015			
		M03	M04	M07	M19	M22	M25	M27	Artículo 2.2.3.3.9.3	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5	Artículo 2.2.3.3.9.6
		M37629	M37671	M37342	M37378	M37379	M37621	M37618				
Oxígeno Disuelto	mg/L - O2	2,19	3,57	3,63	4,05	1,06	2,13	2,73	N.E	N.E	N.E	N.E
pH	Unidades de pH	5,84	5,27	5,76	5,73	4,89	4,69	4,58	5,0 – 9,0	6,5 – 8,5	4,5 – 9,0	N.E
Plomo en agua	mg /L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,05	0,05	5	0,1
Porcentaje de sodio intercambiable	%	2,21	1,75	0,08	2,17	0,68	2,5	2,29	N.E	N.E	N.E	N.E
Potasio en agua	mg /L	1,294	1,361	<1,00	<1,00	1,401	1,693	1,461	N.E	N.E	N.E	N.E
RAS	-	0,25	0,26	0,26	0,32	0,29	0,53	0,32	N.E	N.E	N.E	N.E
Selenio en agua	mg /L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,01	0,01	0,02	N.E
Sodio en agua	mg /L	6,545	4,903	<1,00	7,291	2,232	7,952	7,732	N.E	N.E	N.E	N.E
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	38	36	19	40	32	46	44	N.E	N.E	N.E	N.E
Sólidos Suspendidos Totales	mg /L	<10,00	<10,00	155	<10,00	13	<10,00	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Sólidos Totales	mg /L	40	40	174	46	45	48	46	N.E	N.E	N.E	N.E
Sulfato	mg/L	<10,00	<10,00	13,48	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	400	400	N.E	N.E
Temperatura	°C	25,69	25,62	27,03	26,34	26,41	25,64	28,05	N.E	N.E	N.E	N.E
Turbidez	NTU	<2,00	<2,00	120	<2,00	6,5	14	<2,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Turbidez	JTU	<0,105	<0,105	6,1	<0,105	0,34	0,75	<0,105	N.E	10	N.E	N.E
Vanadio en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Zinc en agua	mg /L	0,033	0,038	0,04	0,031	0,04	0,036	0,038	15,0	15,0	2,0	25

Fuente: SGI S.A.S., 2025.

Tabla 3-72 Calidad de agua de los pozos monitoreados

PARÁMETRO	UNIDAD	POZOS MONITOREADOS (ID Y CÓDIGO ASIGNADO PARA CADA MUESTRA DE AGUA)					LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN EL DECRETO 1076 DE 2015			
		P01	P06	P07	P10	P11	Artículo 2.2.3.3.9.3	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5	Artículo 2.2.3.3.9.6
		M37255	M37616	M37614	M37631	M37796				
Aceites y grasas	mg /L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Acidez	mg CaCO3/L	24,51	23,78	29,01	21,92	46,06	N.E	N.E	N.E	N.E
Alcalinidad	mg CaCO3/L	<10,00	<10,00	<10,00	11,83	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Aluminio en agua	mg /L	0,621	0,147	0,224	0,19	<0,010	N.E	N.E	5	5
Amonio	mgN-NH4+/L	<1,06	1,58	1,9	2,08	3,57	N.E	N.E	N.E	N.E
Arsénico en agua	mg /L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,05	0,05	0,1	0,2
Bario en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,135	1,0	1,0	N.E	N.E
Berilio en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Bicarbonatos	mg CaCO3/L	<10,00	<10,00	<10,00	11,83	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Boro en agua	mg /L	0,066	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Cadmio en agua	mg /L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,01	0,01	0,01	0,05
Calcio en agua	mg /L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	2,933	N.E	N.E	N.E	N.E
Carbonatos	mg CaCO3/L	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Cloruros	mg Cl -/L	<8,00	<8,00	<8,00	<8,00	<8,00	250	250	N.E	N.E
Cobalto en agua	mg /L	0,071	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Coliformes Termotolerantes (Fecales)	NMP/100 mL	11	9	4,1	8	4	2000	N.E	1000	N.E
Coliformes Totales (NMP)	NMP/100 mL	25,9	21,3	11	31,5	18,7	20000	1000	5000	N.E
Conductividad	µS/cm	19	72	86	76	65	N.E	N.E	N.E	N.E
Cromo en agua	mg /L	0,072	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,05	0,05	0,1	1
Demanda Bioquimica de Oxígeno (DBO)	mg /L	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E

PARÁMETRO	UNIDAD	POZOS MONITOREADOS (ID Y CÓDIGO ASIGNADO PARA CADA MUESTRA DE AGUA)					LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN EL DECRETO 1076 DE 2015			
		P01	P06	P07	P10	P11	Artículo 2.2.3.3.9.3	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5	Artículo 2.2.3.3.9.6
		M37255	M37616	M37614	M37631	M37796				
Demanda Quimica de Oxigeno (DQO)	mg O2/L	<36,00	<36,00	<36,00	<36,00	<36,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Dureza Total	mg CaCO3 /L	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00	9,78	N.E	N.E	N.E	N.E
Escherichia Coli (NMP)	NMP/100mL	3	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Fenoles	mg/L	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,04	N.E	N.E	N.E	N.E
Fósforo Ácido Hidrolizable Total	mg P-PO4/L	<0,050	<0,050	0,96	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Hidrocarburos	mg /L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Hierro en agua	mg /L	0,57	0,174	0,105	0,093	0,499	N.E	N.E	5,0	N.E
Huevos de Helmintos	N° org/L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Litio en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Magnesio en agua	mg /L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Manganeso en agua	mg /L	0,147	0,083	0,127	0,079	0,071	N.E	N.E	0,2	N.E
Material flotante	Presente/Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	N.E	N.E	N.E	N.E
Molibdeno en agua	mg /L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,022	N.E	N.E	N.E	N.E
Niquel en agua	mg /L	<0,010	0,036	0,035	0,032	<0,010	N.E	N.E	N.E	N.E
Nitrato	mg N-NO3/L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	10	10	N.E	N.E
Nitritos	mg N- NO2/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1,0	1,0	N.E	10
Nitrógeno Amoniacal	mg N-NH3/L	<1,00	1,49	1,8	1,96	3,37	N.E	N.E	N.E	N.E
Oxígeno Disuelto	mg/L - O2	2,12	3,83	4,06	3,33	5,7	N.E	N.E	N.E	N.E
pH	Unidades de pH	5,77	5,22	5,16	5,36	5,23	5,0 – 9,0	6,5 – 8,5	4,5 – 9,0	N.E
Plomo en agua	mg /L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,05	0,05	5	0,1

PARÁMETRO	UNIDAD	POZOS MONITOREADOS (ID Y CÓDIGO ASIGNADO PARA CADA MUESTRA DE AGUA)					LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN EL DECRETO 1076 DE 2015			
		P01	P06	P07	P10	P11	Artículo 2.2.3.3.9.3	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5	Artículo 2.2.3.3.9.6
		M37255	M37616	M37614	M37631	M37796				
Porcentaje de sodio intercambiable	%	0,07	2,35	3,17	1,41	0,24	N.E	N.E	N.E	N.E
Potasio en agua	mg /L	<1,00	1,872	1,639	4,595	3,678	N.E	N.E	N.E	N.E
RAS	-	0,14	0,23	0,43	0,23	0	N.E	N.E	N.E	N.E
Selenio en agua	mg /L	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,01	0,01	0,02	N.E
Sodio en agua	mg /L	<1,00	8,712	9,931	4,843	1,177	N.E	N.E	N.E	N.E
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	12	45	52	46	41	N.E	N.E	N.E	N.E
Sólidos Suspendidos Totales	mg /L	<10,00	<10,00	12	42	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Sólidos Totales	mg /L	15	46	64	88	46	N.E	N.E	N.E	N.E
Sulfato	mg/L	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	400	400	N.E	N.E
Temperatura	°C	26,14	25,96	26,56	26,69	27,66	N.E	N.E	N.E	N.E
Turbidez	NTU	2,3	<2,00	5,4	80	<2,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Turbidez	JTU	0,12	<0,105	0,28	4,27	<0,105	N.E	10	N.E	N.E
Vanadio en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Zinc en agua	mg /L	0,085	0,043	0,037	0,033	<0,010	15,0	15,0	2,0	25

Fuente: SGI S.A.S., 2025.

Tabla 3-73 Calidad de agua de los piezómetros monitoreados

PARÁMETRO	UNIDAD	PIEZÓMETROS MONITOREADOS (ID Y CÓDIGO ASIGNADO PARA CADA MUESTRA DE AGUA)			LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN EL DECRETO 1076 DE 2015			
		Pz02	Pz09	Pz15				
		M37620	M37672	M37619	Artículo 2.2.3.3.9.3	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5	Artículo 2.2.3.3.9.6
Aceites y grasas	mg /L	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Acidez	mg CaCO3/L	23,89	33,32	24,72	N.E	N.E	N.E	N.E
Alcalinidad	mg CaCO3/L	<10,00	<10,00	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Aluminio en agua	mg /L	0,326	0,275	0,231	N.E	N.E	5	5
Amonio	mgN-NH4+/L	1,61	2,32	1,66	N.E	N.E	N.E	N.E
Arsénico en agua	mg /L	<0,010	<0,010	<0,010	0,05	0,05	0,1	0,2
Bario en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	1,0	1,0	N.E	N.E
Berilio en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Bicarbonatos	mg CaCO3/L	<10,00	<10,00	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Boro en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Cadmio en agua	mg /L	<0,003	<0,003	<0,003	0,01	0,01	0,01	0,05
Calcio en agua	mg /L	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Carbonatos	mg CaCO3/L	<10,00	<10,00	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Cloruros	mg Cl -/L	27,69	<8,00	<8,00	250	250	N.E	N.E
Cobalto en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Coliformes Termotolerantes (Fecales)	NMP/100 mL	9,8	31,2	18,7	2000	N.E	1000	N.E
Coliformes Totales (NMP)	NMP/100 mL	28	52	31,2	20000	1000	5000	N.E
Conductividad	µS/cm	121	55	67	N.E	N.E	N.E	N.E
Cromo en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	0,05	0,05	0,1	1
Demanda Bioquimica de Oxígeno (DBO)	mg /L	<10,00	<10,00	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E

PARÁMETRO	UNIDAD	PIEZÓMETROS MONITOREADOS (ID Y CÓDIGO ASIGNADO PARA CADA MUESTRA DE AGUA)			LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN EL DECRETO 1076 DE 2015			
		Pz02	Pz09	Pz15	Artículo 2.2.3.3.9.3	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5	Artículo 2.2.3.3.9.6
		M37620	M37672	M37619				
Demanda Quimica de Oxigeno (DQO)	mg O2/L	<36,00	<36,00	<36,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Dureza Total	mg CaCO3 /L	<7,00	<7,00	<7,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Escherichia Coli (NMP)	NMP/100mL	4	11	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Fenoles	mg/L	<0,03	<0,03	<0,03	N.E	N.E	N.E	N.E
Fósforo Ácido Hidrolizable Total	mg P-PO4/L	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Hidrocarburos	mg /L	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Hierro en agua	mg /L	0,632	0,553	0,118	N.E	N.E	5,0	N.E
Huevos de Helmintos	N° org/L	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Litio en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Magnesio en agua	mg /L	<1,00	<1,00	<1,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Manganeso en agua	mg /L	0,115	0,165	0,135	N.E	N.E	0,2	N.E
Material flotante	Presente/Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	N.E	N.E	N.E	N.E
Molibdeno en agua	mg /L	<0,010	<0,010	<0,010	N.E	N.E	N.E	N.E
Niquel en agua	mg /L	0,034	0,041	0,041	N.E	N.E	N.E	N.E
Nitrato	mg N-NO3/L	<1,00	<1,00	<1,00	10	10	N.E	N.E
Nitritos	mg N- NO2/L	<0,01	<0,01	<0,01	1,0	1,0	N.E	10
Nitrógeno Amoniacal	mg N-NH3/L	1,52	2,19	1,57	N.E	N.E	N.E	N.E
Oxígeno Disuelto	mg/L - O2	2,51	3,16	3,22	N.E	N.E	N.E	N.E
pH	Unidades de pH	5,23	5,87	5,37	5,0 – 9,0	6,5 – 8,5	4,5 – 9,0	N.E
Plomo en agua	mg /L	<0,010	<0,010	<0,010	0,05	0,05	5	0,1

PARÁMETRO	UNIDAD	PIEZÓMETROS MONITOREADOS (ID Y CÓDIGO ASIGNADO PARA CADA MUESTRA DE AGUA)			LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN EL DECRETO 1076 DE 2015			
		Pz02	Pz09	Pz15	Artículo 2.2.3.3.9.3	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5	Artículo 2.2.3.3.9.6
		M37620	M37672	M37619				
Porcentaje de sodio intercambiable	%	6,6	1,64	2,26	N.E	N.E	N.E	N.E
Potasio en agua	mg /L	1,408	1,221	1,411	N.E	N.E	N.E	N.E
RAS	-	3,98	0,45	0,41	N.E	N.E	N.E	N.E
Selenio en agua	mg /L	<0,010	<0,010	<0,010	0,01	0,01	0,02	N.E
Sodio en agua	mg /L	22,958	5,273	7,591	N.E	N.E	N.E	N.E
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	84	33	40	N.E	N.E	N.E	N.E
Sólidos Suspendidos Totales	mg /L	107	39	<10,00	N.E	N.E	N.E	N.E
Sólidos Totales	mg /L	191	72	44	N.E	N.E	N.E	N.E
Sulfato	mg/L	10,73	<10,00	<10,00	400	400	N.E	N.E
Temperatura	°C	27,08	26,09	27,07	N.E	N.E	N.E	N.E
Turbidez	NTU	140	31	2,3	N.E	N.E	N.E	N.E
Turbidez	JTU	7,2	1,65	0,12	N.E	10	N.E	N.E
Vanadio en agua	mg /L	<0,050	<0,050	<0,050	N.E	N.E	N.E	N.E
Zinc en agua	mg /L	0,033	<0,010	0,046	15,0	15,0	2,0	25

Fuente: SGI S.A.S., 2025.

A continuación, se presenta el análisis de los resultados obtenidos y la calidad del agua subterránea en los diferentes tipos de puntos hidrogeológicos donde fueron recolectadas las muestras de agua subterránea analizadas en el marco del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare.

3.2.7.14.2.1 Aljibes

En el marco del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare se recolectaron quince (15) muestras de agua subterránea en aljibes ubicados en el área de influencia. En la **Tabla 3-74** se presenta el ID de los aljibes, coordenadas, registro fotográfico y unas observaciones relevantes respecto a la condición de estos puntos, las cuales son clave para analizar los resultados del laboratorio y definir la calidad de agua de estos aljibes.

Tabla 3-74 Aljibes seleccionados para definir la calidad del agua subterránea

N°	ID	TIPO DE PUNTO	CÓDIGO DE LAB	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDROGEOLÓGICA CAPTADA
				ESTE (m)	NORTE (m)	
1	AL02	Aljibe	M37223	4943866,48	1999548,99	A3
2	AL05	Aljibe	M37253	4944037,43	1997429,56	A3
3	AL09	Aljibe	M37224	4946607,88	1997371,04	A3
4	AL11	Aljibe	M37225	4945695,67	1994486,27	A3
5	AL30	Aljibe	M37343	4932095,56	1999960,71	A3
6	AL31	Aljibe	M37344	4935766,41	1999419,67	A3
7	AL35	Aljibe	M37254	4939445,20	1998163,07	A3
8	AL38	Aljibe	M37673	4934411,76	1997976,63	A3
9	AL40	Aljibe	M37345	4928322,52	2000638,29	A3
10	AL49	Aljibe	M37340	4937797,83	1995089,95	A3
11	AL57	Aljibe	M37341	4933901,53	1995260,92	A3
12	AL70	Aljibe	M37632	4942687,83	1988483,86	A3
13	AL71	Aljibe	M37630	4940825,22	1986662,57	A3
14	AL73	Aljibe	M37617	4933551,01	1989158,19	A3
15	AL86	Aljibe	M37615	4932386,84	1985171,14	A3

Fuente: SGI S.A.S., 2025.

Los resultados obtenidos en los quince (15) aljibes monitoreados se compararon respecto a los límites según el uso del agua establecidos en los Artículos 2.2.3.3.9.3 (Consumo humano y doméstico – tratamiento convencional), Articulo 2.2.3.3.9.4 (Consumo humano y doméstico – desinfección), Artículo 2.2.3.3.9.5 (Uso Agrícola) y 2.2.3.3.9.6 (Uso Pecuario) del Decreto Único Reglamentario (DUR) 1076 de 2015, que especifica los límites normativos del agua según sus usos.

De acuerdo con lo anterior, se realizó un análisis para cada uno de los parámetros monitoreados, con el fin de establecer la calidad del agua de los aljibes y establecer su potencial destinación para los diferentes usos:

- **pH**

En los aljibes monitoreados, el comportamiento del pH osciló entre 4,86 unidades de pH (valor mínimo reportado en el aljibe AL71, asociado probablemente a la poca renovación del agua en este aljibe, ya que no bombea porque no está en funcionamiento) y 6,15 unidades de pH (valor máximo reportado en el aljibe AL11), por lo cual se consideran aguas ligeramente ácidas (Ver: **Figura 3-114**).

En este tipo de punto hidrogeológico, los valores de pH reportados evidencian que ninguno de los aljibes monitoreados presenta un pH inferior al límite mínimo permisible establecido en el Artículo 2.2.3.3.9.5 del Dec. 1076 de 2015, que corresponde a 4,5 unidades de pH; por lo que las otras 15 muestras de agua subterránea recolectadas en los aljibes si son aptas para uso agrícola, pues los valores de pH reportados están dentro del valor mínimo y el máximo permisible para este uso.

Respecto al Artículo 2.2.3.3.9.3 del Dec. 1076 de 2015, el cual establece los límites para que el agua pueda ser apta para consumo humano y doméstico siempre y cuando se realice un tratamiento convencional a las aguas y cuyos límites varían entre 5 a 9 unidades de pH, se define que únicamente dos (2) aljibes (AL71 y AL86) presentan valores de pH inferiores al límite mínimo establecido en este artículo, mientras que el resto de los aljibes registran valores comprendidos dentro del rango normativo. Por lo tanto, se concluye que las aguas de los aljibes, con excepción de AL71 y AL86, pueden destinarse al consumo humano y doméstico siempre que se sometan a un tratamiento convencional.

Adicionalmente, en lo que concierne al Artículo 2.2.3.3.9.4 del Dec. 1076 de 2015, el cual establece los límites para que el agua pueda ser apta para consumo humano y doméstico con previa desinfección y cuyos límites varían de 6,5 a 8,5 unidades de pH, se evidencia que todas las muestras de agua subterránea recolectadas en los aljibes presentan valores de pH inferiores al límite mínimo permisible, por lo que no se recomienda que estas aguas sean empleadas para consumo humano y doméstico si para su potabilización únicamente se realiza una desinfección básica.

Finalmente, en el Artículo 2.2.3.3.9.6 del Dec. 1076 de 2015 no se establecen límites en cuanto al valor de pH, ya que es más flexible al tratarse del uso del agua para actividades pecuarias.

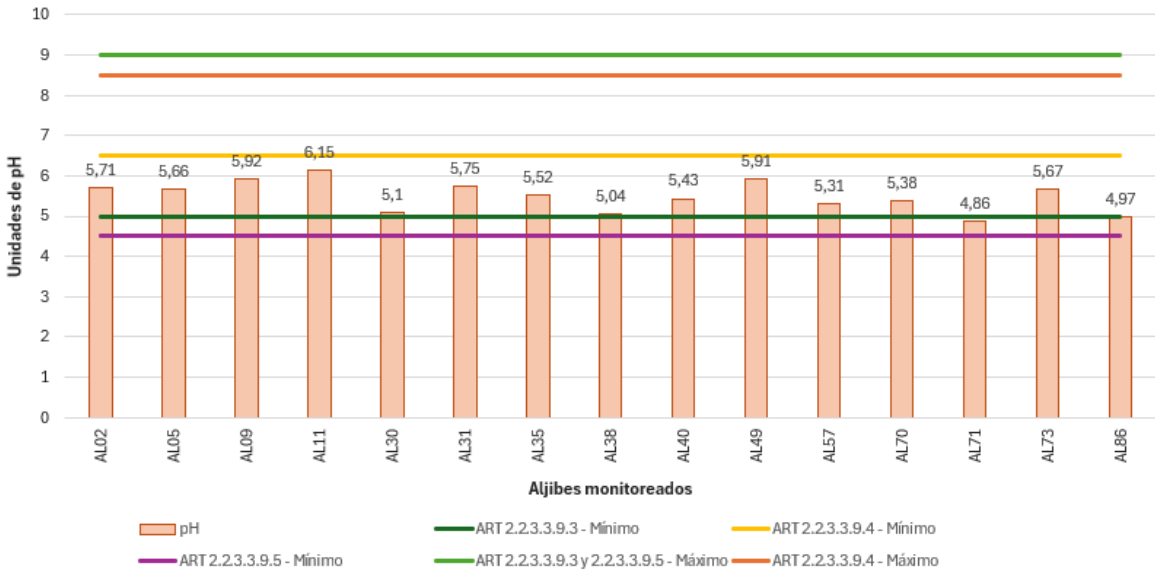


Figura 3-114 Valor de pH registrado en los puntos hidrogeológicos - aljibes
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Temperatura**

Los valores de temperatura reportados en los 15 aljibes monitoreados evidencian que el aljibe AL31 presentó la temperatura más baja con 26,12 °C, mientras que la temperatura más alta fue registrada en el aljibe AL09 con un valor de 28,4 °C (Ver: **Figura 3-115**). Estos valores de temperatura están

entre los rangos esperados, teniendo en cuenta las condiciones naturales del área de estudio; además, se evidencia que la variación de temperatura es mínima entre los diferentes aljibes y puede estar asociada a la ubicación del punto, hora y condiciones climáticas en las que fueron recolectadas las muestras de agua.

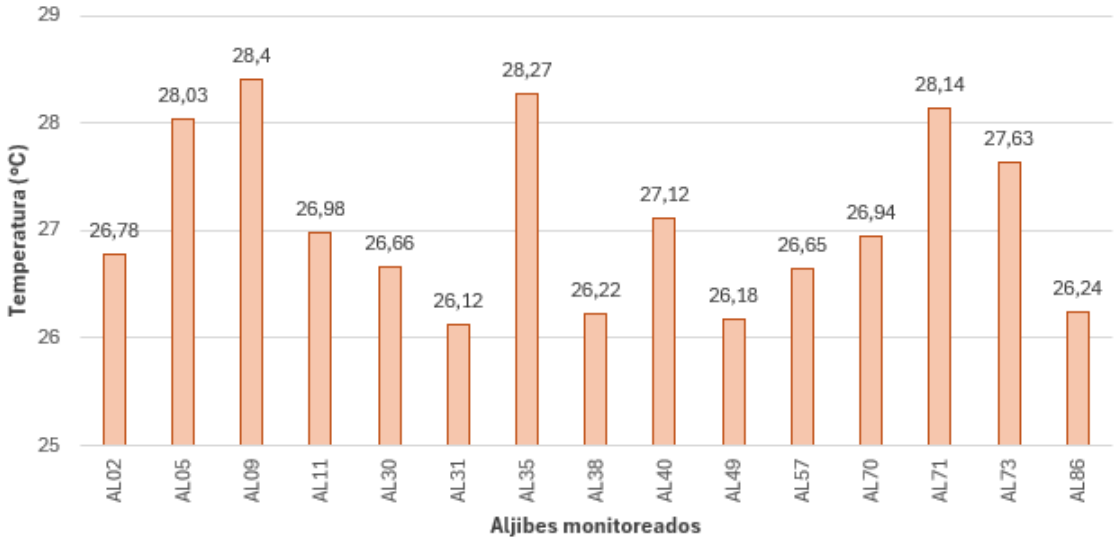


Figura 3-115 Comportamiento de la temperatura en los aljibes
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Oxígeno disuelto**

Los quince (15) aljibes monitoreados presentan concentraciones de oxígeno disuelto que oscilan entre 1,13 mg/L-O2, valor menor registrado en el aljibe AL02 y 4,34 mg/L-O2 concentración más alta reportada en el aljibe AL57 (Ver: **Figura 3-116**), por lo que se puede afirmar que los aljibes monitoreados presentan aguas con bajo contenido de oxígeno disuelto consideradas aguas "hipóxicas" según la clasificación presentada por (MAPSA, 2007).

El comportamiento de este parámetro en los aljibes está influenciado por diversos factores como:

- La exposición de la lámina de agua a la radiación solar.
- La profundidad de la columna de agua.
- El sistema de extracción empleado (manual o con bombeo).
- La frecuencia de uso del aljibe y, por ende, la renovación del agua.
- Las condiciones propias del sitio.

En este sentido, el aljibe AL02, que presentó la menor concentración de oxígeno disuelto (1,13 mg/L-O2), se caracteriza por un uso limitado, ya que la extracción se realiza de manera esporádica, lo que reduce la renovación y aireación del agua almacenada. En contraste, el aljibe AL57, con la mayor concentración de oxígeno disuelto (4,34 mg/L-O2), es utilizado de manera continua con sistemas de bombeo diario, lo que favorece la oxigenación del agua debido a la agitación y constante recambio.

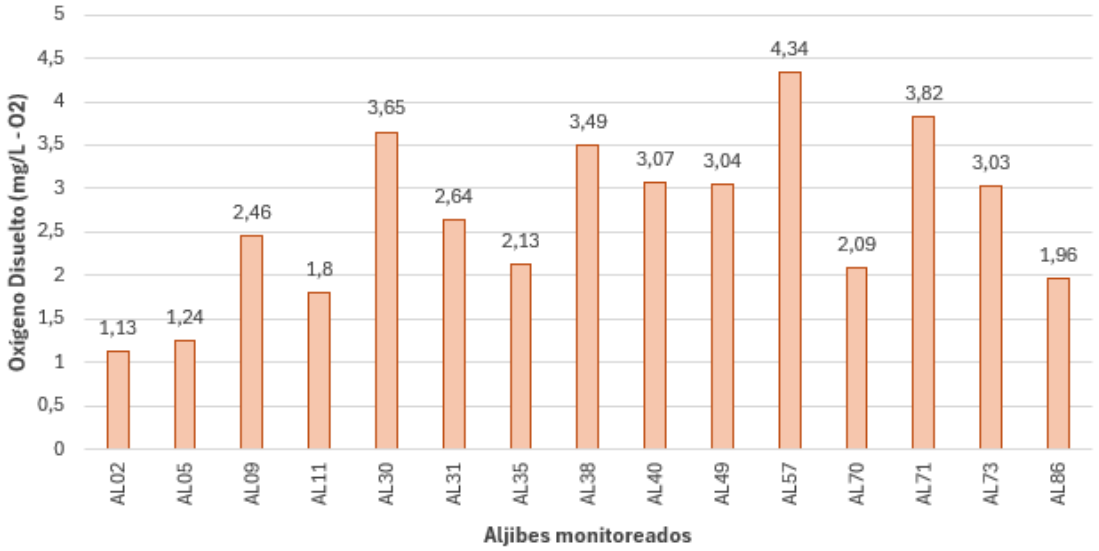


Figura 3-116 Comportamiento del oxígeno en los aljibes
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Conductividad eléctrica**

Los valores de conductividad eléctrica registrados en los quince (15) aljibes monitoreados oscilan entre 28 µS/cm (AL35) y 241 µS/cm (AL11). En general, las concentraciones se mantienen en rangos bajos a moderados, lo cual indica que el agua presenta baja mineralización disuelta.

El aljibe AL11 presenta el valor más alto (241 µS/cm), lo que sugiere una mayor concentración de sales disueltas en comparación con los demás aljibes. Sin embargo, incluso este valor se encuentra muy por debajo de los límites de referencia establecidos por organismos internacionales como la OMS (2011), que recomienda un máximo de 1.500 µS/cm para aguas de consumo humano.

Estos resultados reflejan que el agua subterránea en la mayoría de los aljibes tiene una buena calidad en términos de conductividad, sin indicios significativos de salinización. La ligera variabilidad observada entre aljibes puede estar asociada a diferencias locales en la composición litológica de los acuíferos, la interacción agua-roca, así como a posibles aportes de origen antrópico (por ejemplo, lixiviación de fertilizantes o aguas residuales domésticas).

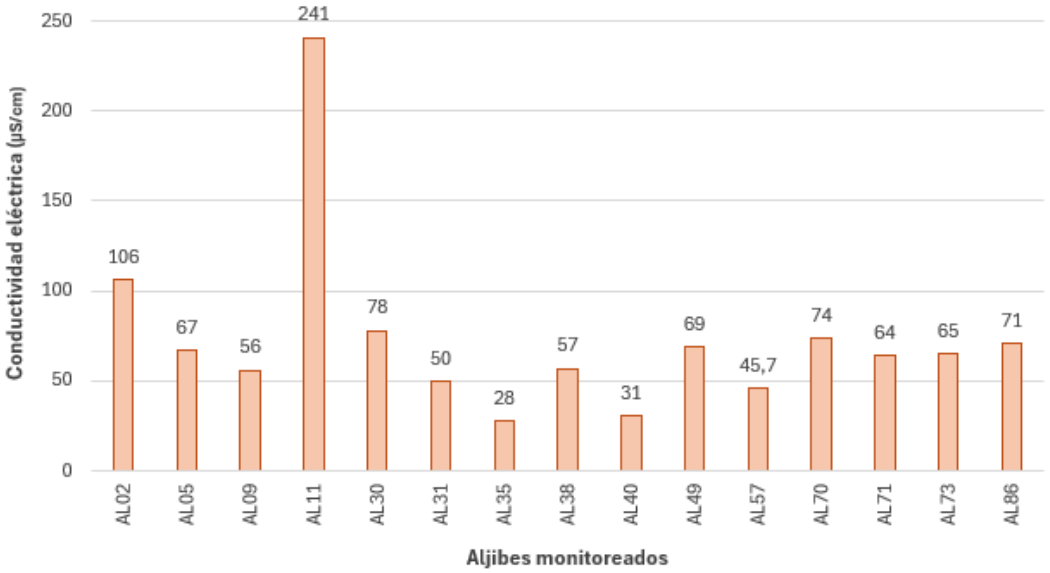


Figura 3-117 Comportamiento de la conductividad en los aljibes
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Acidez**

Las concentraciones de acidez registradas en los aljibes, con valores entre 12,33 y 30,27 mg CaCO3/L como se observa en la **Figura 3-118**, indican que el agua subterránea presenta un grado bajo a moderado de acidez. Aunque todas las muestras superan el límite mínimo de cuantificación del laboratorio (<5 mg CaCO3/L), los valores obtenidos se encuentran en un rango que no representa un riesgo crítico para la calidad del agua subterránea ni compromete directamente sus posibles usos.

Sin embargo, la presencia de acidez en este rango puede estar asociada a procesos de interacción agua–suelo, particularmente a la disolución de minerales y, en algunos casos, a la influencia de insumos agrícolas (fertilizantes y correctores de suelos ácidos). Esto explica que los aljibes con mayor acidez (por ejemplo, aquellos cercanos a zonas de actividad agrícola más intensa) presenten, además, valores de pH bajos y conductividad eléctrica relativamente alta.



Figura 3-118 Comportamiento de acidez en los aljibes
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Alcalinidad y bicarbonatos**

Las concentraciones de alcalinidad determinadas en las quince (15) muestras de agua subterránea recolectadas en aljibes se ubicaron por debajo del límite mínimo de cuantificación del laboratorio (<10 mg $CaCO_3$/L), con excepción de los aljibes AL02, AL05 y AL11, que registraron valores de 20,7 mg $CaCO_3$/L, 15,18 mg $CaCO_3$/L y 69,97 mg $CaCO_3$/L, respectivamente.

En términos hidroquímicos, la alcalinidad refleja la capacidad del agua para neutralizar ácidos, la cual está directamente asociada con la presencia de iones como el bicarbonato (HCO_3^-), carbonato (CO_3^{2-}) y, en menor proporción, el hidróxido (OH^-). Los bajos valores reportados en la mayoría de los aljibes indican una reducida capacidad amortiguadora, lo que hace que el agua sea más susceptible a variaciones de pH frente a procesos naturales o influencias antrópicas.

Por su parte, los aljibes AL02, AL05 y especialmente AL11, al presentar concentraciones superiores al límite de cuantificación, evidencian un mayor contenido de iones bicarbonato en solución. Esta condición contribuye a una mejor estabilidad química del agua, otorgándole mayor resistencia frente a la acidificación. En particular, el aljibe AL11 destaca por su elevada alcalinidad (69,97 mg $CaCO_3$/L), lo que sugiere una interacción más intensa entre el agua subterránea y los materiales geológicos carbonatados del entorno.

- **Calcio**

Las concentraciones de calcio en las muestras de agua subterránea recolectadas en los aljibes muestran una variabilidad marcada, con valores comprendidos entre 0,5 mg/L y 21,836 mg/L. En general, la mayoría de los aljibes presentan concentraciones bajas (<5 mg/L), lo que sugiere una limitada disolución de minerales carbonatados en el acuífero. (Ver: **Figura 3-119**)

Los valores más relevantes se registraron en los aljibes AL11 (21,84 mg/L) y AL02 (9,65 mg/L), seguidos por AL09 (4,55 mg/L), mientras que el resto de los puntos de monitoreo presentan concentraciones inferiores. En particular, el aljibe AL11 evidencia la concentración más elevada, lo que podría asociarse a una mayor interacción del agua con materiales geológicos ricos en carbonatos o yesos, o bien a condiciones hidroquímicas locales que favorecen la disolución de calcio.

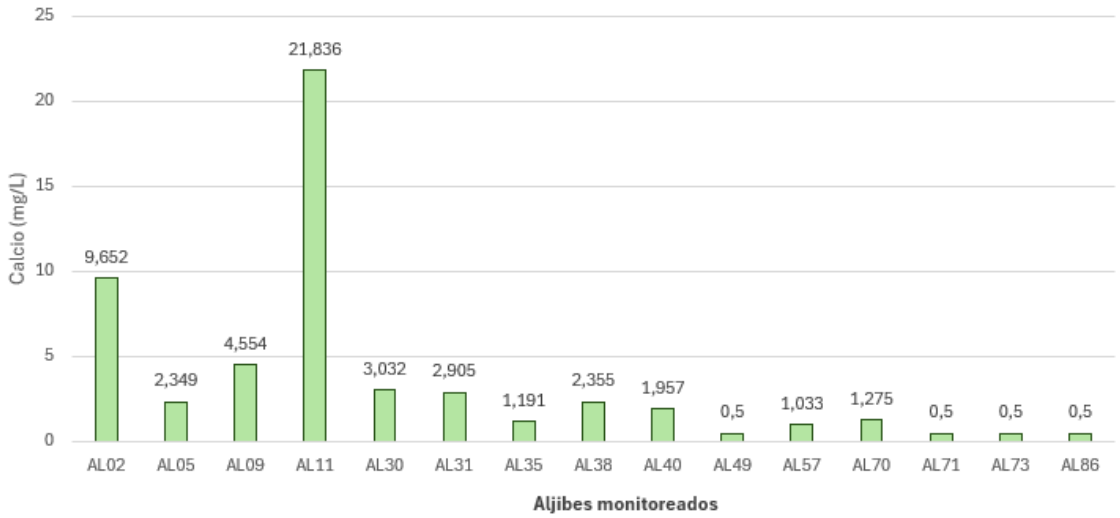


Figura 3-119 Comportamiento del calcio en agua en los aljibes
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Cloruros**

La totalidad de las muestras de agua subterráneas recolectadas en los aljibes presentan concentraciones de cloruros inferiores al límite mínimo de cuantificación del laboratorio (<8 mg/L) y, por ende, están muy por debajo del límite máximo admisible en los Artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4, que corresponde a 250 mg/L. Por su parte, para los Artículos 2.2.3.3.9.5 y 2.2.3.3.9.6 las concentraciones de cloruros no son un parámetro determinante para establecer la calidad del agua y su destinación para estos usos. Por lo anterior, respecto a las concentraciones de cloruros, las aguas de los aljibes monitoreados son aptas para consumo humano y doméstico, así como para el desarrollo de actividades agrícolas y pecuarias.

- **Coliformes termotolerantes y totales**

Las concentraciones de coliformes totales reportadas en los quince (15) aljibes monitoreados oscilan entre 206,4 NMP/100mL (valor registrado en el aljibe AL38) y 529,8 NMP/100mL (concentración reportada en el aljibe AL49). (Ver: **Figura 3-120**).

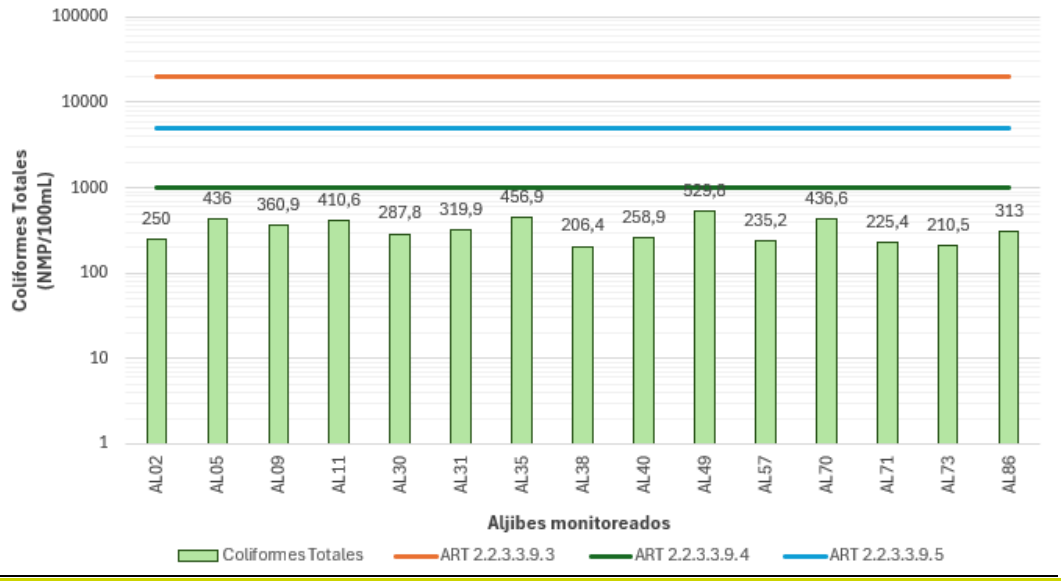


Figura 3-120 Concentraciones de coliformes totales en los aljibes
Fuente: SGI S.A.S., 2025

Si bien las muestras de agua recolectadas en los aljibes presentan altas concentraciones de coliformes totales y no es lo ideal (especialmente para el consumo humano), estas concentraciones no superan los límites admisibles propuestos en los Artículos 2.2.3.3.9.3, 2.2.3.3.9.4 y 2.2.3.3.9.5 del Dec. 1076 de 2015, que corresponden a 20000, 1000 y 5000 NMP/100mL, respectivamente.

Ahora bien, es importante conocer cuánto de la concentración de coliformes totales corresponde a coliformes termotolerantes. Los quince (15) aljibes monitoreados registran concentraciones de coliformes termotolerantes que oscilan entre 46,9 NMP/100mL (valor más pequeño registrado en el aljibe AL73) y 396,8 NMP/100mL (concentración mayor reportada en el aljibe AL35). Es importante hacer especial énfasis en los aljibes AL05, AL11 y AL35, los cuales presentan las mayores concentraciones de coliformes termotolerantes reportadas en los aljibes, esto asociado principalmente a las actividades ganaderas que se desarrollan en inmediaciones de algunos aljibes y/o a la mala disposición de las aguas negras que, junto con la falta de sello sanitario, recubrimiento y tapa que presentan estos aljibes, contribuyen a la contaminación de estas aguas. Sin embargo, si bien las muestras de agua recolectadas en los aljibes presentan concentraciones de bacterias fecales y no es lo ideal (especialmente para el consumo humano), estas concentraciones no superan los límites admisibles propuestos en los Artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.5 del Dec. 1076 de 2015, que corresponden a 2000 y 1000 NMP/100mL, respectivamente.

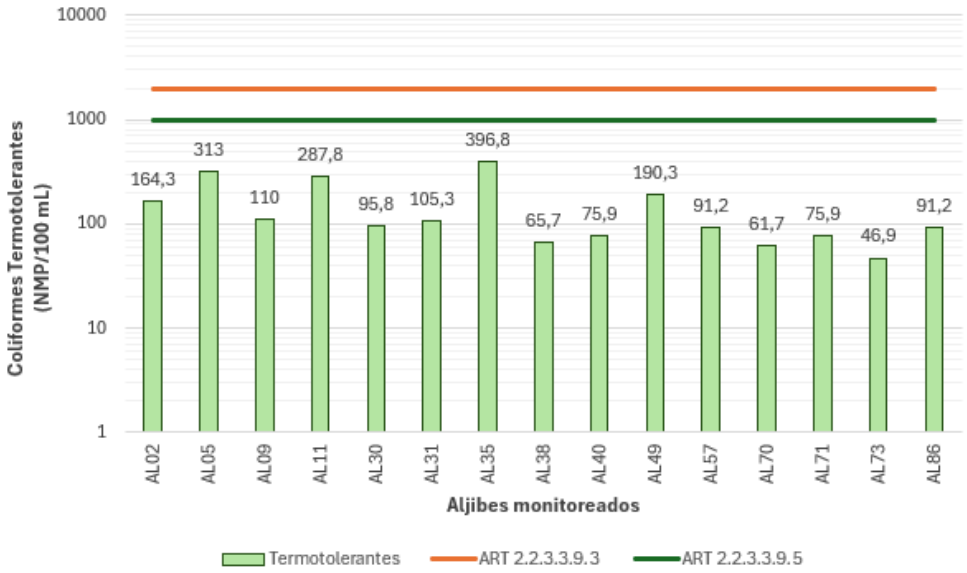


Figura 3-121 Concentraciones de coliformes termotolerantes en los aljibes
Fuente: SGI S.A.S., 2025

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede afirmar que las aguas captadas por los cinco (5) aljibes monitoreados son aptas para consumo humano y para el desarrollo de actividades domésticas, agrícolas y pecuarias; pues, aunque presentan concentraciones de coliformes termotolerantes y no es lo más conveniente, estas están por debajo del límite máximo permisible presentado en los artículos mencionados anteriormente.

Sin embargo, es importante concientizar y capacitar a las comunidades locales para que lleven a cabo de forma correcta la disposición de aguas negras, implementen adecuadamente los pozos sépticos y mejoren las condiciones bajo las cuales se desarrollan las actividades ganaderas en el área, ya que esto contribuiría a mejorar la calidad del agua subterránea que ellos mismos están consumiendo.

Al comparar las concentraciones de coliformes totales y coliformes termotolerantes, se observa que en la mayoría de los aljibes analizados la diferencia entre ambos parámetros es significativa, con rangos que varían entre 80 y 200 NMP/100 mL, siendo siempre mayores los valores de coliformes totales. Este comportamiento es consistente con la naturaleza de cada indicador, ya que los coliformes totales engloban tanto microorganismos de origen ambiental como aquellos asociados a contaminación fecal, mientras que los termotolerantes corresponden a un subgrupo más específico de contaminación de origen fecal.

La mayor presencia de coliformes totales sugiere que, además de la posible influencia de aportes antrópicos, existe un aporte adicional de materia orgánica natural proveniente del entorno (suelo, vegetación o aguas superficiales). En consecuencia, el agua de los aljibes refleja una carga microbiológica relevante, lo que implica la necesidad de implementar medidas de desinfección y control para minimizar riesgos sanitarios asociados a su consumo sin tratamiento.

- **Dureza**

Los resultados muestran que la dureza del agua en los aljibes evaluados presenta valores bajos en la mayoría de los puntos, con un rango entre 3,5 mg/L y 87,76 mg/L. De acuerdo con la clasificación de la dureza del agua la mayoría de los aljibes presentan valores de agua blanda (<60 mg/L), lo que corresponde a bajas concentraciones de calcio y magnesio disueltos. (Ver: **Figura 3-122**)

Únicamente el aljibe AL11 (87,76 mg/L) se clasifica como agua moderadamente dura, y el aljibe AL02 (35,26 mg/L) junto con AL09 (18,88 mg/L) muestran valores algo superiores, pero aún dentro del rango de agua blanda.

En términos generales, la baja dureza encontrada indica que el agua de los aljibes no presenta limitaciones significativas para el consumo humano en este aspecto, pues no genera incrustaciones en tuberías ni utensilios. Sin embargo, una dureza demasiado baja también puede asociarse a un menor aporte de minerales esenciales como calcio y magnesio.

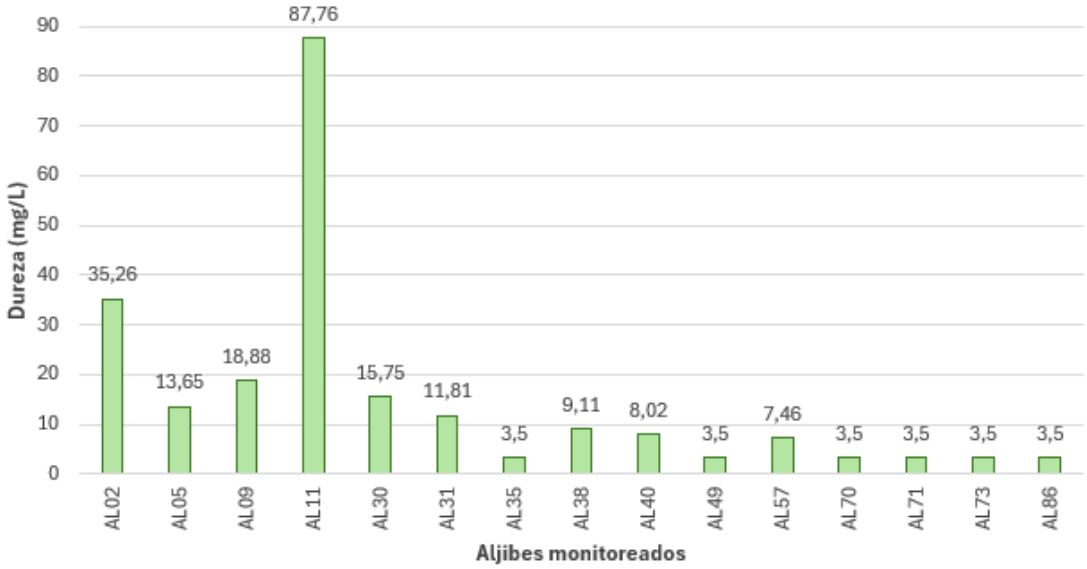


Figura 3-122 Comportamiento de la dureza en los aljibes
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Huevos de Helmintos**

Los protozoarios y helmintos están entre las causas más comunes de infecciones y enfermedades que afectan al ser humano y otros animales, y el agua desempeña una función importante en la transmisión de algunos de estos agentes patógenos (Mamani, 2012).

Para este parámetro, todos los aljibes reportaron resultados indetectables por el método de análisis empleado por el laboratorio (<1 N° org/L), es decir, las muestras de agua no presentan huevos de Helmintos o su concentración es inferior a 1 N°org/L.

- **Magnesio**

Los valores de magnesio obtenidos en los aljibes presentan una distribución heterogénea, con concentraciones que varían entre <1 mg/L y 8,072 mg/L como se observa en la **Figura 3-123**. De acuerdo con el límite de cuantificación del laboratorio (1 mg/L), se observa que la mitad de los aljibes superan el límite de laboratorio (1 mg/L), mientras que la otra mitad presentan valores por debajo del límite (<1 mg/L).

En general, la mayoría de los aljibes con concentraciones detectables muestran valores bajos de magnesio, salvo el aljibe AL11, que presenta un nivel considerablemente mayor (8,072 mg/L), siendo un punto atípico dentro del conjunto de datos.

Los valores reportados se consideran bajos y no representan riesgo sanitario, dado que el magnesio es un elemento esencial y normalmente se evalúa como parte de la dureza total. Sin embargo, la

marcada variabilidad entre aljibes indica la necesidad de un seguimiento puntual en aquellos con valores más elevados, en especial AL11, para identificar si corresponden a condiciones naturales o a posibles procesos locales de enriquecimiento.

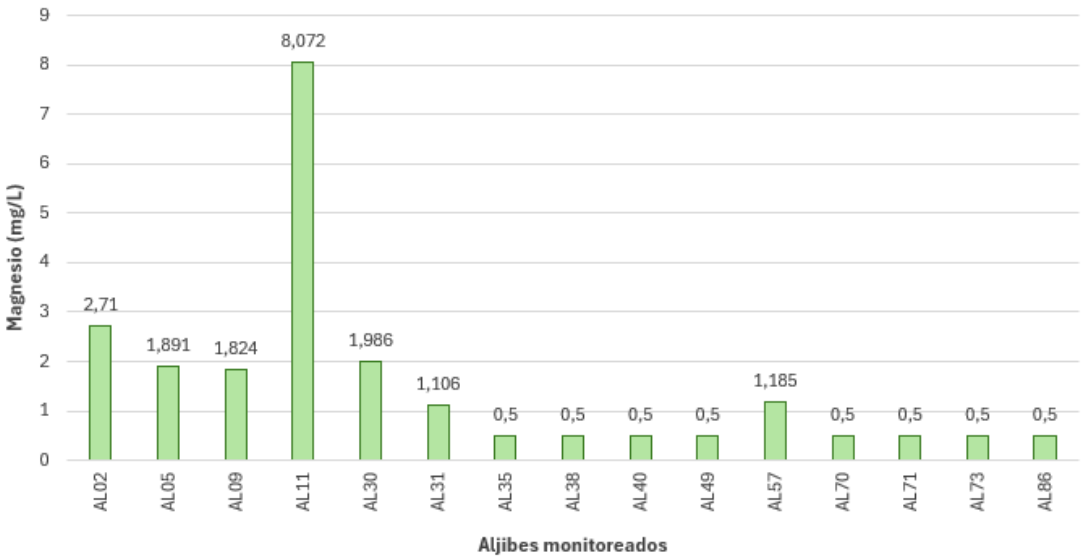


Figura 3-123 Concentración de magnesio en los aljibes
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Compuestos nitrogenados**

La presencia de compuestos nitrogenados en el agua subterránea es un indicador de procesos de descomposición de materia orgánica y de las condiciones de oxigenación del medio. En particular, los nitritos suelen asociarse a contaminación fecal reciente (Catalán, Oliver & Alonso, 1971), ya que se forman en condiciones de baja oxigenación a partir de la degradación de compuestos orgánicos nitrogenados. En concentraciones elevadas, los nitritos representan un riesgo sanitario importante, al reaccionar en el organismo humano con aminas y amidas secundarias y terciarias, formando nitrosaminas con alto poder cancerígeno y tóxico (OMS, 2002).

Dentro de las formas de nitrógeno, el nitrógeno amoniacal es de especial interés, pues corresponde a un producto natural de la descomposición de compuestos nitrogenados y constituye una forma transitoria dentro del ciclo del nitrógeno, estrechamente relacionada con la actividad biológica.

En el monitoreo realizado sobre los quince (15) aljibes evaluados, los resultados muestran que lo nitratos y nitritos presentaron concentraciones por debajo de los límites de detección, lo cual indica ausencia o niveles muy bajos de estos compuestos, condición favorable para la calidad del agua ya que estas aguas cumplen con los límites admisibles presentados en los Artículos 2.2.3.3.9.3, 2.2.3.3.9.4 y 2.2.3.3.9.6 del Dec. 1076 de 2015, por lo que son aptas para consumo humano y para el desarrollo de actividades domésticas, agrícolas y pecuarias pues no presentan contaminación por compuestos nitrogenados.

Por el contrario, el nitrógeno amoniacal registró valores superiores al límite de referencia (1 mg N-NH_3/L) en la mayoría de los aljibes, alcanzando concentraciones entre 1,01 y 6,54 mg N-NH_3/L. El valor más alto se presentó en el aljibe AL49 (6,54 mg/L), seguido de AL70 (2,81 mg/L), AL73 (2,05 mg/L) y AL38 (2,13 mg/L). (Ver: **Figura 3-124**)

En conclusión, aunque no se evidencia contaminación por nitratos y nitritos, la presencia de nitrógeno amoniacal por encima del límite sugiere condiciones reductoras y aportes de materia orgánica en descomposición dentro del agua subterránea. Esta situación puede comprometer la calidad del agua para consumo humano directo, ya que el amoníaco en exceso afecta características organolépticas (olor y sabor) y puede indicar procesos de contaminación en evolución. Si bien los aljibes cumplen con los límites normativos en cuanto a nitratos y nitritos, la elevada presencia de nitrógeno amoniacal requiere atención, manejo y seguimiento, a fin de garantizar la seguridad del recurso hídrico para sus diferentes usos.

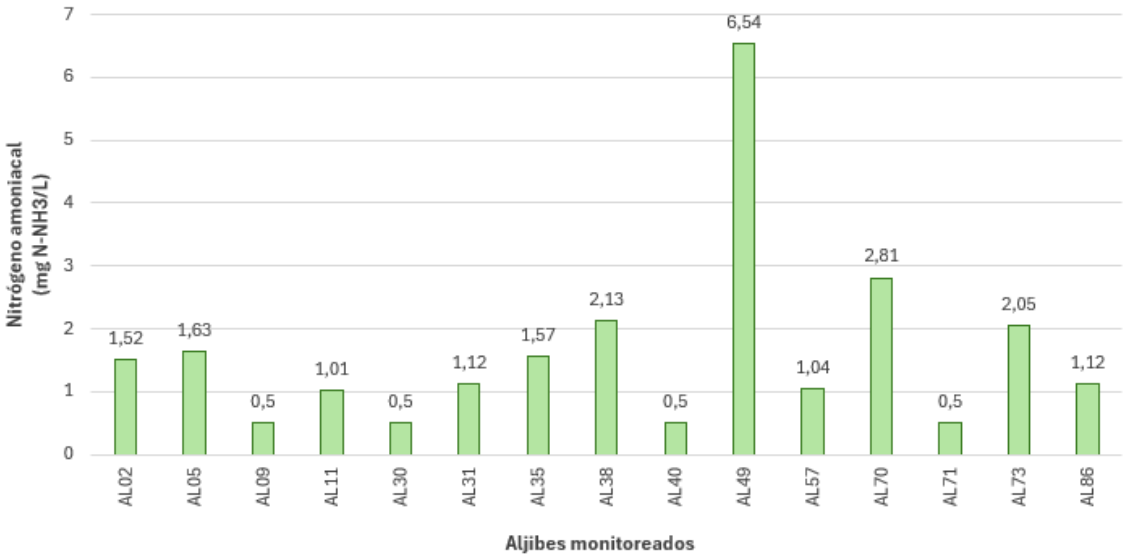


Figura 3-124 Concentración de nitrógeno amoniacal en los aljibes
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Potasio**

La mayoría de los aljibes evaluados presentan concentraciones de potasio superiores al límite mínimo de detección del laboratorio (<1 mg/L). Los valores registrados oscilan entre <1,00 mg/L y 6,496 mg/L, siendo este último el valor máximo reportado en el aljibe AL05.

Las concentraciones encontradas no representan un riesgo para la salud humana, dado que el potasio es un elemento esencial. Sin embargo, sus valores constituyen un indicador de la influencia de las actividades agrícolas sobre la composición química del agua subterránea, lo cual resalta la necesidad de fortalecer las medidas de protección y manejo de las fuentes para evitar procesos de contaminación a mayor escala.

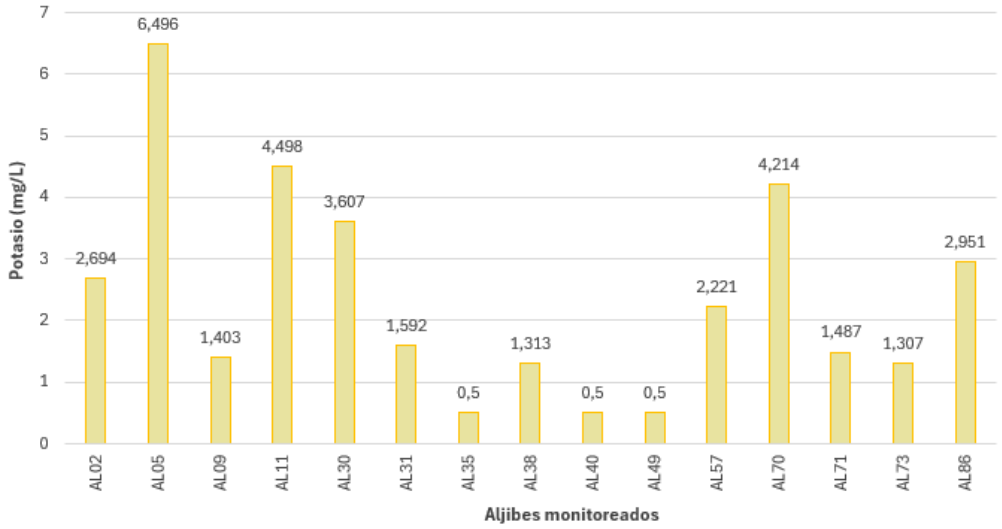


Figura 3-125 Concentración de potasio en los aljibes
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Sodio**

Las concentraciones de sodio registradas en la mayoría de las muestras de agua subterránea de los aljibes se encuentran por encima del límite mínimo de cuantificación del laboratorio (<1 mg/L), con valores que varían entre <1,00 mg/L y 10,368 mg/L (Ver: **Figura 3-126**).

La presencia de sodio en estas aguas puede explicarse por dos mecanismos principales: la disolución de minerales sódicos contenidos en los sedimentos que conforman los acuíferos locales, y el aporte del lixiviado de fertilizantes agrícolas que incorporan sodio en su formulación. En general, los valores obtenidos son bajos y no representan riesgo para la salud ni restricciones para el uso del agua en actividades domésticas, agrícolas o pecuarias.

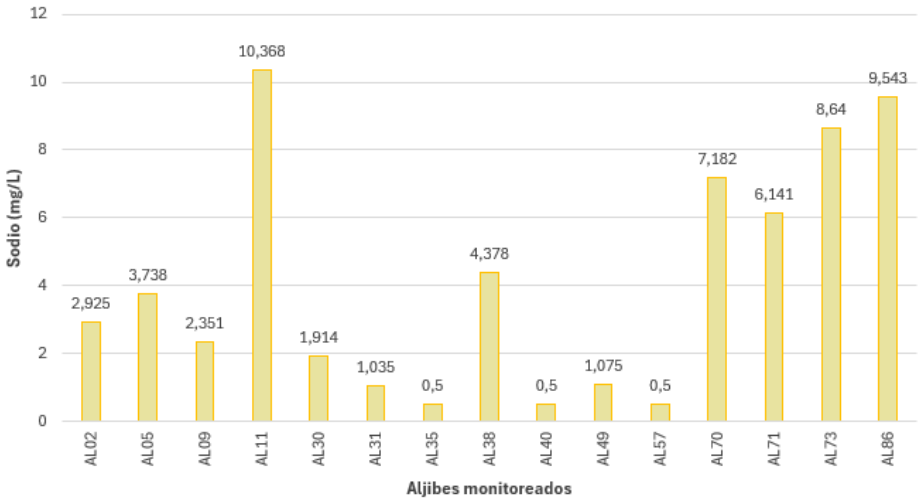


Figura 3-126 Concentración de sodio en los aljibes
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Sólidos Disueltos Totales (TDS)**

En el análisis de sólidos disueltos totales (TDS) se evidenció que todos los aljibes monitoreados presentan concentraciones por encima del límite mínimo de detección del laboratorio (<10 mg/L), con valores que oscilan entre 16 mg/L en el aljibe AL35 y 147 mg/L en el aljibe AL11, este último siendo el de mayor concentración. (Ver: **Figura 3-127**)

Teniendo en cuenta que para este parámetro no se establecen límites en los artículos mencionados anteriormente, los valores registrados se consideran bajos en comparación con los rangos de clasificación de aguas según su contenido de TDS. En general, concentraciones inferiores a 500 mg/L se catalogan como aguas de buena calidad para consumo humano, ya que no afectan de manera significativa las características organolépticas (olor, sabor y color).

En conclusión, aunque se presentan diferencias en las concentraciones entre los aljibes, los valores de TDS encontrados en el área de estudio se mantienen dentro de un rango aceptable y no representan limitaciones para el uso del agua en actividades domésticas, agrícolas o pecuarias.

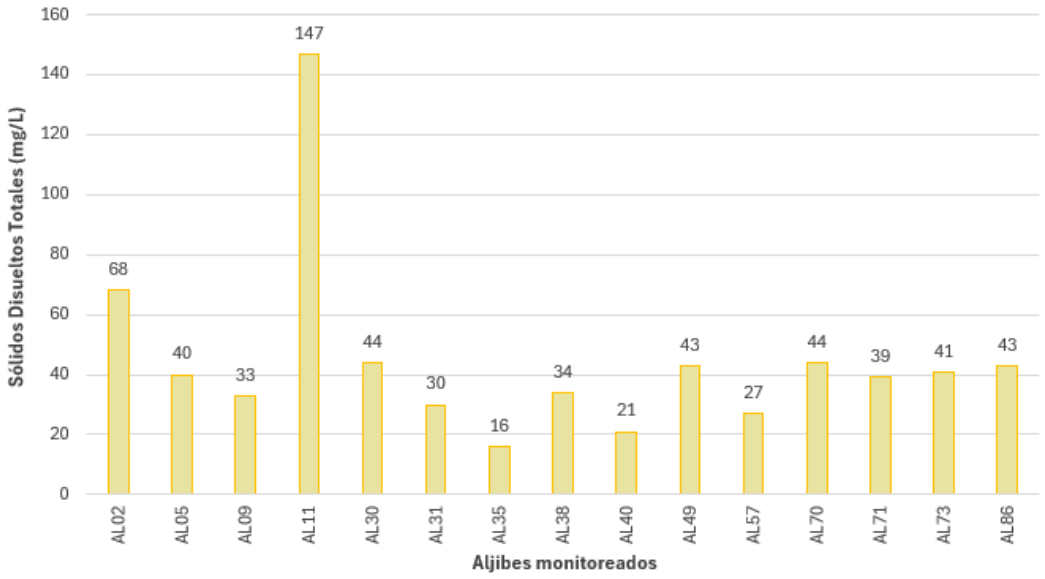


Figura 3-127 Comportamiento de los sólidos disueltos totales en los aljibes
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Sólidos totales**

En el caso de los sólidos totales, los quince (15) aljibes monitoreados presentan concentraciones superiores al límite mínimo de detección del laboratorio, con valores que varían entre 24 mg/L en el aljibe AL35 y 153 mg/L en el aljibe AL11, este último siendo el de mayor concentración registrada.

Los valores obtenidos reflejan que la mayoría de los sólidos presentes corresponden principalmente a sólidos en suspensión, es decir, las partículas sólidas que no están disueltas en el agua y que permanecen suspendidas en ella, cuyo origen puede ser orgánico (como restos de plantas, materia orgánica) o inorgánico (como arena, arcilla, polvo, etc.). Estos niveles de sólidos totales son relativamente bajos y se encuentran muy por debajo de los umbrales que podrían generar afectaciones en la potabilidad o en los usos domésticos y agropecuarios del agua.

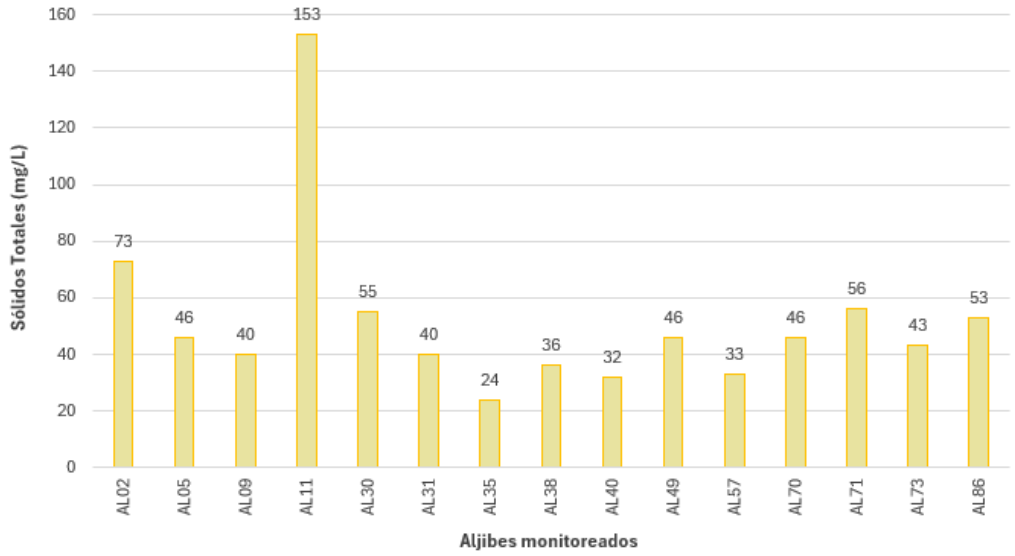


Figura 3-128 Comportamiento de los sólidos disueltos totales en los aljibes
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Sulfatos**

La mayoría de los aljibes monitoreados presentan concentraciones de sulfatos inferiores al límite mínimo de detección del laboratorio (<10 mg/L). Sin embargo, en los aljibes AL02 (12,77 mg/L), AL11 (27,43 mg/L), AL31 (10,02 mg/L), AL35 (10,93 mg/L), AL70 (24,58 mg/L) y AL86 (15,41 mg/L) se detectaron valores superiores a este límite.

A pesar de estas diferencias, todos los aljibes cumplen ampliamente con el límite máximo admisible de 400 mg/L, establecido en los Artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 del Decreto 1076 de 2015. En este sentido, las concentraciones de sulfatos registradas son bajas y no representan restricciones para el consumo humano ni para el uso doméstico, agrícola o pecuario. Los valores observados se asocian principalmente a la disolución natural de minerales sulfatados presentes en los sedimentos acuíferos, sin evidencia de aportes contaminantes significativos.

- **Turbidez**

Los valores de turbidez en los aljibes monitoreados se encuentran entre 0,105 JTU (valor mínimo reportado) y 1,44 JTU (registrado en el aljibe AL86 como la concentración más alta). Todas las concentraciones medidas son inferiores al límite máximo admisible de 10 JTU, establecido en el Artículo 2.2.3.3.9.4 del Decreto 1076 de 2015.

Esto indica que las aguas subterráneas de los aljibes presentan una baja presencia de partículas en suspensión, manteniendo una adecuada transparencia y sin afectar sus características organolépticas. En conclusión, las aguas de los aljibes monitoreados se consideran aptas para consumo humano, así como para el desarrollo de actividades domésticas, agrícolas y pecuarias.

- **Metales**

Para los metales Arsénico, Bario, Cadmio, Hierro, Plomo, Selenio y Zinc, todas las muestras de agua recolectadas en los aljibes presentaron concentraciones inferiores al límite máximo permisible establecido en el Decreto 1076 de 2015 en los Artículos 2.2.3.3.9.3, 2.2.3.3.9.4, 2.2.3.3.9.5 y

2.2.3.3.9.6 para el Arsénico, Cadmio, Plomo y Zinc; Artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 para el Bario; Artículo 2.2.3.3.9.5 para el Hierro, y Artículos 2.2.3.3.9.3, 2.2.3.3.9.4 y 2.2.3.3.9.5 para el Selenio.

Los resultados reportados para los otros metales analizados en las muestras de agua subterránea recolectadas en los aljibes se presentan a continuación:

- ✓ Cromo

Las concentraciones de cromo registradas en los aljibes varían entre <0,050 mg/L (valor mínimo reportado) y 0,073 mg/L (identificado en los aljibes AL35 y AL49). De acuerdo con el límite establecido en los Artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 del Decreto 1076 de 2015, correspondiente a 0,05 mg/L, se observa que la mayoría de los aljibes presentan valores superiores a este umbral, aunque en un rango relativamente estrecho (0,05–0,073 mg/L). El resto de los aljibes mantienen concentraciones inferiores a dicho límite. (Ver: **Figura 3-129**)

Por otra parte, según los Artículos 2.2.3.3.9.5 y 2.2.3.3.9.6, los límites admisibles de cromo son de 0,1 mg/L y 1,0 mg/L, respectivamente. Ninguno de los aljibes monitoreados supera estos valores. En este sentido, aunque algunos aljibes muestran concentraciones de cromo ligeramente por encima del límite más restrictivo, en general los resultados no representan un riesgo significativo para la salud ni limitaciones para los usos domésticos, agrícolas o pecuarios. Sin embargo, la presencia de cromo en niveles próximos al umbral normativo sugiere la conveniencia de implementar un seguimiento periódico, con el fin de prevenir incrementos futuros y garantizar la protección de la calidad del agua.

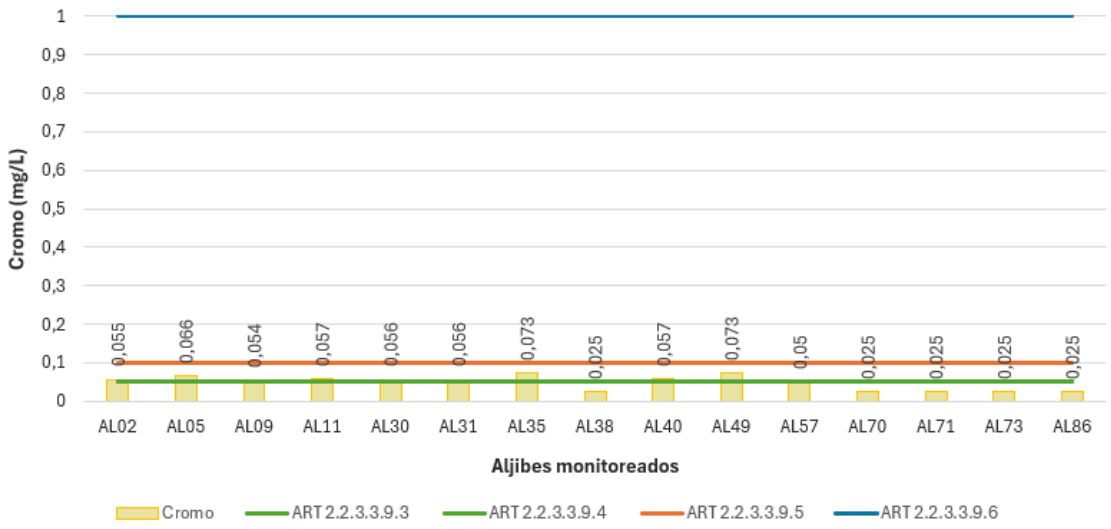


Figura 3-129 Comportamiento del Cromo en los aljibes
Fuente: SGI S.A.S., 2025

Además de los parámetros regulados por el Decreto 1076 de 2015, en las muestras de agua subterránea se evaluaron otros metales sin límite normativo específico en dicho decreto: cobalto, litio, manganeso, molibdeno y níquel.

En cuanto al litio, todas las muestras se encuentran por debajo del límite de cuantificación del laboratorio (0,05 mg/L). Un comportamiento similar se observa para el molibdeno, cuyo límite de cuantificación corresponde a 0,01 mg/L; en este caso, la mayoría de los aljibes están por debajo de este valor, a excepción del AL09, que reportó una concentración de 0,017 mg/L.

Por otra parte, el cobalto, manganeso y níquel presentan concentraciones por encima del límite de cuantificación del laboratorio, lo que indica su presencia en el agua subterránea de la zona de estudio. Estos resultados sugieren que la composición hidroquímica de los aljibes está influenciada por procesos de disolución natural de minerales presentes en los sedimentos acuíferos, aunque no puede descartarse algún aporte difuso asociado a actividades antrópicas.

3.2.7.14.2.2 Manantiales

Como parte del Estudio de Impacto Ambiental del Área de Desarrollo Bucare se realizó la toma de siete (7) muestras de agua provenientes de manantiales dentro de la zona de influencia. En la **Tabla 3-75** se consignan el código de identificación de cada punto, su localización geográfica, registro fotográfico y comentarios sobre su estado actual, información que resulta fundamental para la interpretación de los análisis de laboratorio y la evaluación de la calidad del recurso hídrico en estos sitios.

Tabla 3-75 Manantiales seleccionados para definir la calidad del agua subterránea

N°	ID	TIPO DE PUNTO	CÓDIGO DE LAB	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDROGEOLÓGICA CAPTADA
				ESTE (m)	NORTE (m)	
1	M03	Manantial	M37629	4940007,62	1989627,37	A3
2	M04	Manantial	M37671	4935507,81	1993456,67	A3
3	M07	Manantial	M37342	4938651,01	1993940,37	A3
4	M19	Manantial	M37378	4927595,67	1996019,66	A3
5	M22	Manantial	M37379	4928197,08	1998978,31	A3
6	M25	Manantial	M37621	4931501,28	1990155,32	A3
7	M27	Manantial	M37618	4930941,51	1985624,11	A3

Fuente: SGI S.A.S., 2025.

Los resultados obtenidos en los siete (7) manantiales monitoreados se compararon con los límites según el uso del agua establecidos en los Artículos 2.2.3.3.9.3 (Consumo humano y doméstico – tratamiento convencional), Articulo 2.2.3.3.9.4 (Consumo humano y doméstico – desinfección), Artículo 2.2.3.3.9.5 (Uso Agrícola) y 2.2.3.3.9.6 (Uso Pecuario) del Decreto Único Reglamentario (DUR) 1076 de 2015, que especifica los límites normativos del agua según sus usos.

De acuerdo con lo anterior, se realizó un análisis para cada uno de los parámetros monitoreados, con el fin de establecer la calidad del agua de los manantiales y establecer su potencial destinación para los diferentes usos:

- **pH**

En la **Figura 3-130** se puede observar el comportamiento de los manantiales monitoreados con relación a los límites mínimos y máximos establecidos en el Decreto 1076 de 2015. Allí se puede identificar que los puntos de agua analizados presentan tendencias hacia condiciones ligeramente ácidas dentro de un rango de 4,58 und pH en el punto M27 y 5,83 und pH en el manantial M03. Todos los puntos monitoreados cumplen con el límite mínimo establecido en el Artículo 2.2.3.3.9.5 (4,5 und pH), siendo aptas para el uso agrícola, pues los valores de pH reportados están dentro del valor mínimo y el máximo permisible para este uso.

Con relación al límite mínimo del Artículo 2.2.3.3.9.3 (5 und pH), los puntos M03 (5,84 und pH), M04 (5,47 und pH), M07 (5,76 und pH) y M19 (5,73 und pH) se encuentran dentro del rango establecido, lo que indica que el agua proveniente de estos manantiales puede ser usada para el consumo humano y doméstico siempre y cuando se le realice un tratamiento convencional previo.

Adicionalmente, en lo que concierne al Artículo 2.2.3.3.9.4 del Decreto 1076 de 2015, el cual establece los límites para que el agua pueda ser apta para consumo humano y doméstico con previa desinfección y cuyos límites varían de 6,5 a 8,5 unidades de pH, se evidencia que todas las muestras de agua subterránea recolectadas en los manantiales presentan valores de pH inferiores al límite

mínimo permisible, por lo que no se recomienda que estas aguas sean empleadas para consumo humano y doméstico si para su potabilización únicamente se realiza una desinfección básica.

Finalmente, en el Artículo 2.2.3.3.9.6 del Decreto 1076 de 2015 no se establecen límites en cuanto al valor de pH, ya que es más flexible al tratarse del uso del agua para actividades pecuarias.

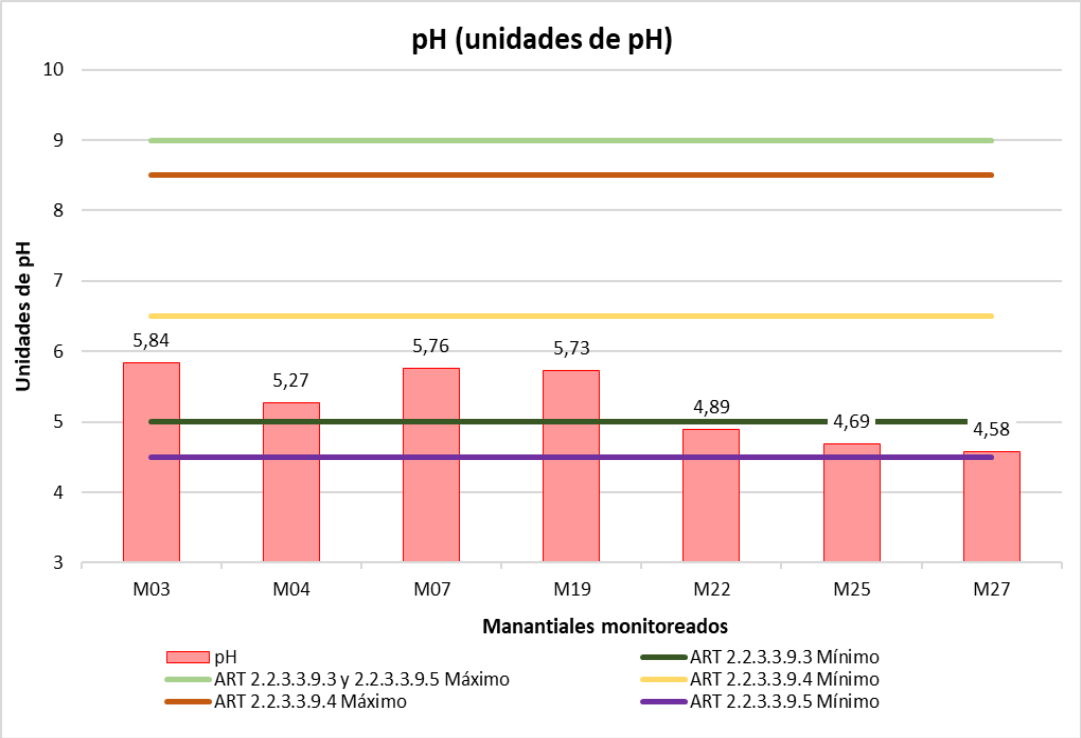


Figura 3-130 Comportamiento del pH en los manantiales
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Temperatura**

Los valores de temperatura reportados en los siete (7) manantiales monitoreados evidencian que el manantial M04 presentó la temperatura más baja con 25,62 °C, mientras que la temperatura más alta fue registrada en el punto M27 con un valor de 28,5 °C (Ver: **Figura 3-131**). Los valores de temperatura se encuentran dentro de los rangos esperados según las condiciones naturales del área de estudio. Asimismo, se observa que la variación entre los distintos manantiales es mínima, lo cual podría estar relacionado con la ubicación de cada punto de muestreo, la hora de recolección y las condiciones climáticas presentes al momento de tomar las muestras de agua.

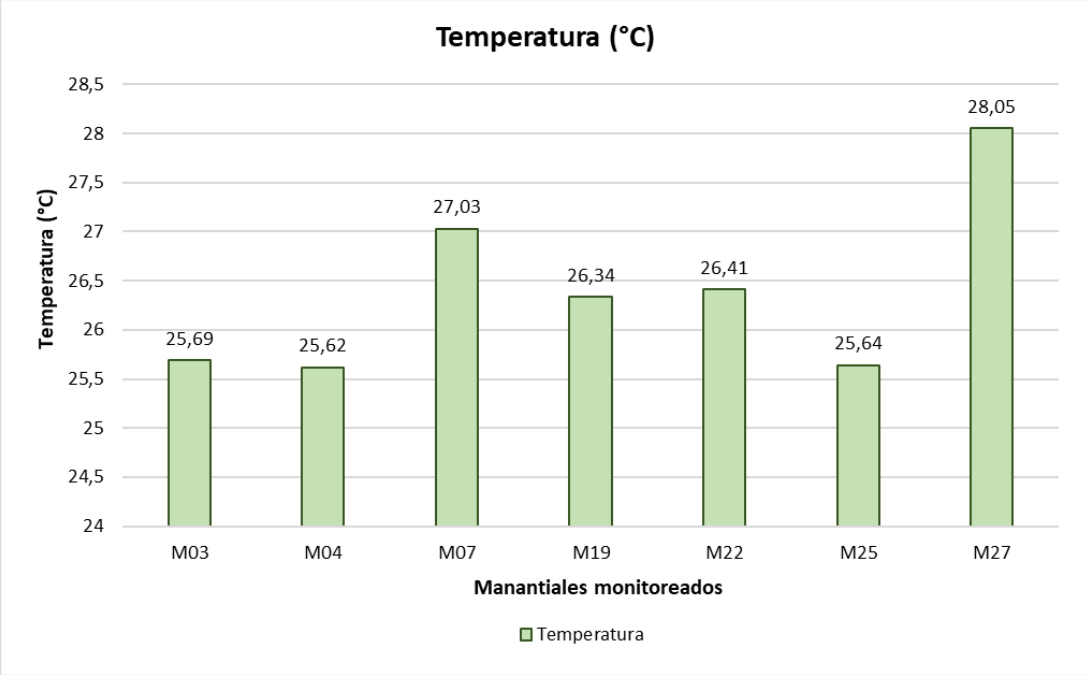


Figura 3-131 Comportamiento de la temperatura en los manantiales
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Oxígeno disuelto**

Los siete (7) manantiales monitoreados presentan concentraciones de oxígeno disuelto que oscilan entre 1,06 mg/L, valor menor registrado en el manantial M22 y 4,05 mg/L concentración más alta reportada en el manantial M19 (Ver: **Figura 3-132**), por lo que se puede afirmar que los manantiales monitoreados presentan aguas con bajo contenido de oxígeno disuelto consideradas aguas "hipóxicas" según la clasificación mostrada por (MAPSA, 2007).

En los manantiales, el contenido de oxígeno disuelto presente en las aguas depende de la exposición de la lámina de agua a la radiación solar, la profundidad de la columna de agua y las condiciones del punto. Teniendo en cuenta lo anterior, el manantial M22 presenta concentraciones de oxígeno disuelto bajas (1,06 mg/L), esto podría deberse a que el agua al emerger lentamente contiene poca aireación limitando la disolución de oxígeno atmosférico, como también puede presentarse debido a la presencia de materia orgánica natural que, al descomponerse, consume oxígeno disuelto, propiciando la disminución de su concentración en el agua. Por el contrario, el manantial M22 presenta concentraciones mayores de oxígeno disuelto (4,05 mg/L) que, aun siendo hipóxicas, pueden estar relacionadas a un menor aporte de nutrientes o materia orgánica presente y/o baja aireación natural.

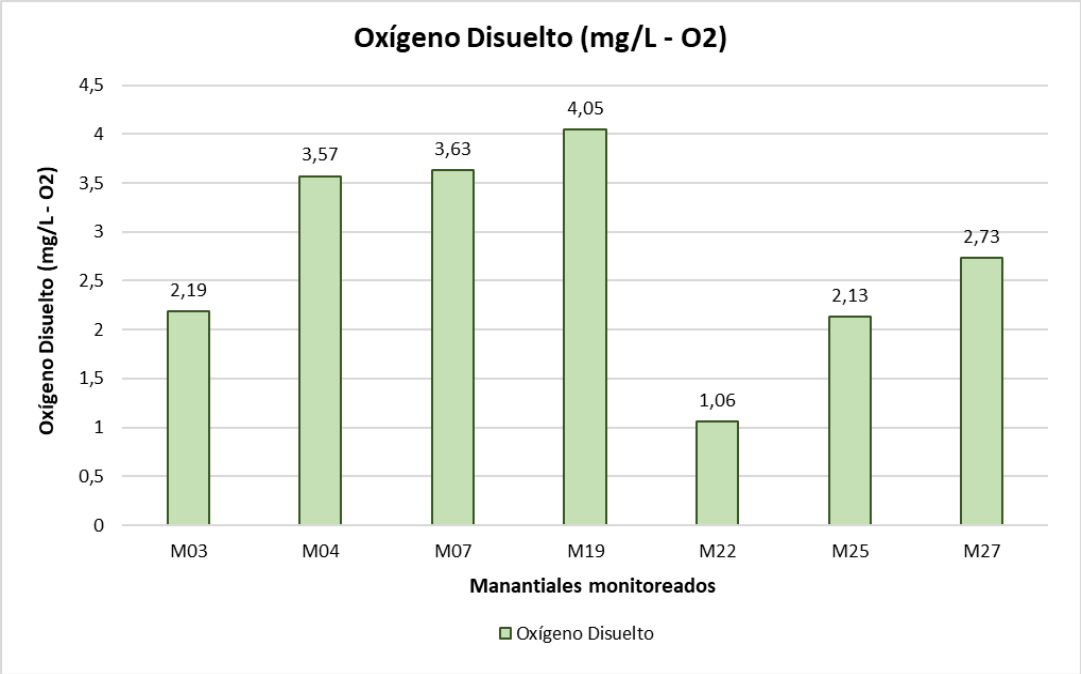


Figura 3-132 Comportamiento del oxígeno disuelto en los manantiales
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Conductividad eléctrica**

Los valores de conductividad eléctrica reportados en los manantiales monitoreados oscilan entre 31 µS/cm (M07) y 77 µS/cm (M25), esto indica una baja mineralización de las aguas, es decir, contienen pocas sales disueltas y puede asociarse a manantiales de recarga reciente (poco tiempo en interacción con rocas), así como mínima influencia antrópica (Ver: **Figura 3-133**). De manera general, los manantiales presentan concentraciones constantes sin mayores cambios atípicos o sobresalientes con relación a los demás puntos monitoreados.

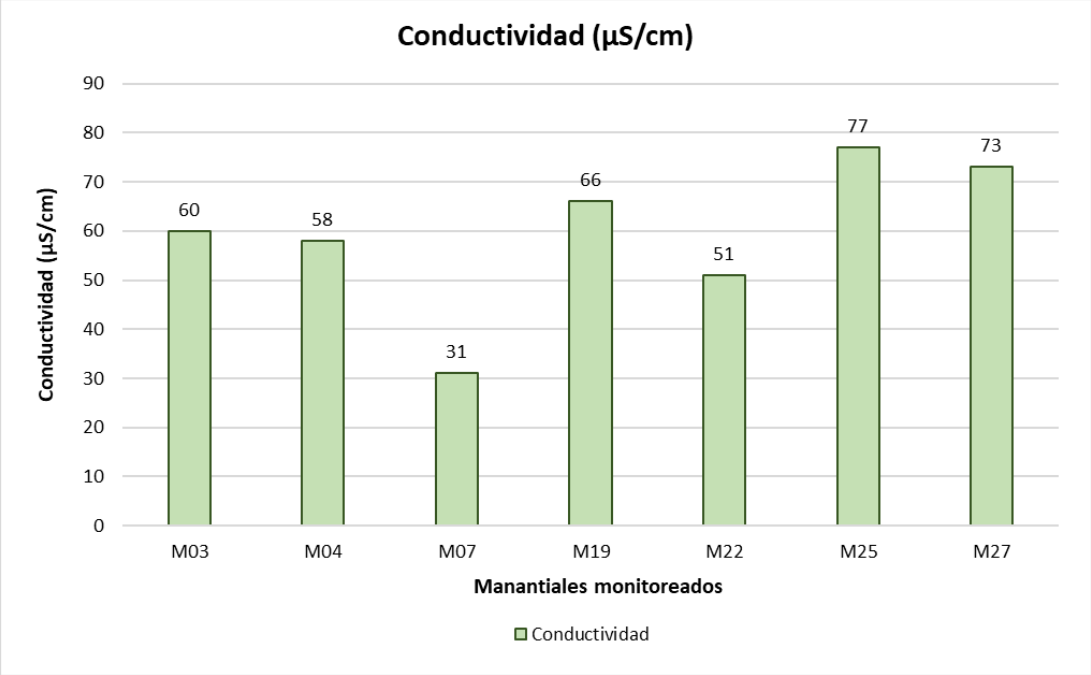


Figura 3-133 Comportamiento de la conductividad en los manantiales
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Acidez**

Las concentraciones de acidez registradas en los manantiales, con valores entre 7,77 mg/L (M04) y 143,18 mg/L (M22) se observan en la **Figura 3-134.** A excepción del punto M22, los demás manantiales monitoreados indican que el agua subterránea presenta un grado bajo a moderado de acidez, es decir, los valores obtenidos se sitúan en un rango que no implica un riesgo significativo para la calidad del agua subterránea ni limita de manera directa sus posibles usos. Asimismo, la acidez registrada podría estar relacionada con procesos de interacción entre el agua y el suelo, especialmente la disolución de minerales.

Sin embargo, se presenta una concentración mayor de acidez en el punto M22 (143,18 mg/L) lo que podría estar relacionado con una actividad agrícola más intensa donde el aporte de insumos agrícolas como fertilizantes o enmiendas utilizadas para suelos es más frecuente.

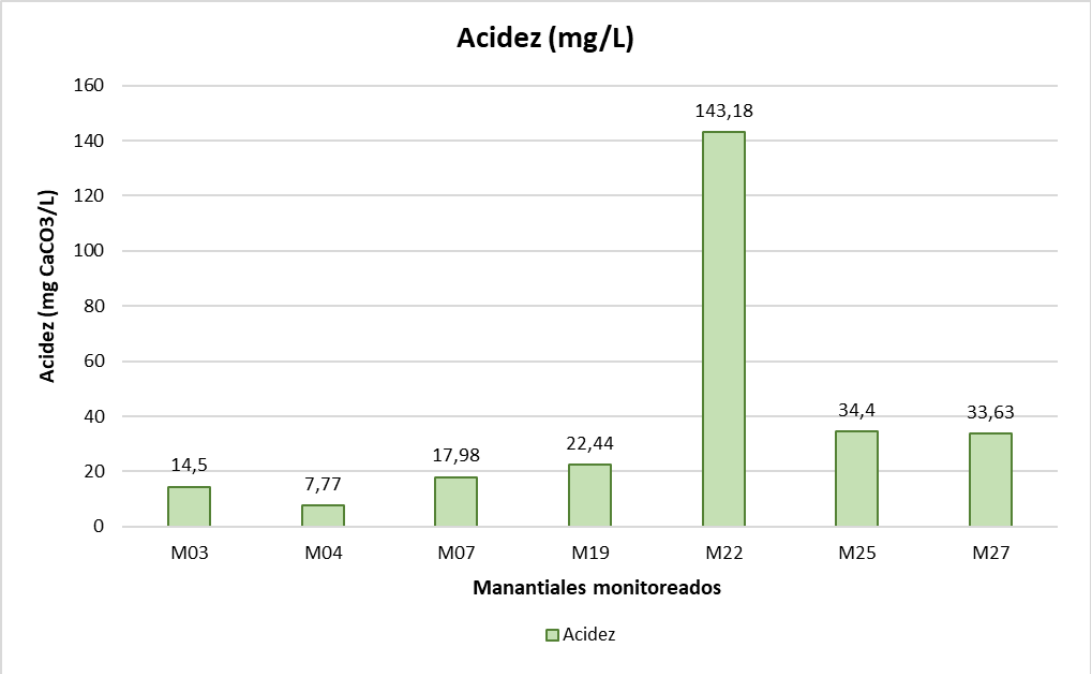


Figura 3-134 Comportamiento de la acidez en los manantiales
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Alcalinidad y bicarbonatos**

Las concentraciones de alcalinidad y bicarbonatos determinadas en las siete (7) muestras de agua subterránea recolectadas en los manantiales se ubicaron por debajo del límite mínimo de cuantificación del laboratorio (<10 mg/L) para cada uno de estos parámetros.

Desde el punto de vista hidroquímico, la alcalinidad expresa la capacidad del agua para contrarrestar la acidez, la cual depende principalmente de la presencia de iones bicarbonato (HCO_3^-) y carbonato (CO_3^{2-}), y en menor medida de hidróxido (OH^-). Los valores bajos observados en todos los manantiales evidencian una reducida capacidad amortiguadora, lo que hace que estas aguas sean más vulnerables a cambios en el pH ocasionados por procesos naturales o actividades antrópicas.

- **Calcio**

Las concentraciones de calcio en las muestras de agua subterránea recolectadas en los manantiales reportaron concentraciones por debajo del límite de cuantificación del laboratorio (<1,00 mg/L) en todos los puntos monitoreados, lo que sugiere una limitada disolución de minerales carbonatados en el acuífero por corto tiempo de interacción con rocas.

- **Cloruros**

La mayoría de las muestras de agua subterráneas recolectadas en los aljibes presentan concentraciones de cloruros inferiores al límite mínimo de cuantificación del laboratorio (<8 mg/L), a excepción del punto M25 que reporta una concentración de 10,07 mg/L, sin embargo, todos los manantiales monitoreados se encuentran muy por debajo del límite máximo admisible en los Artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4, que corresponde a 250 mg/L. Por su parte, para los Artículos 2.2.3.3.9.5 y 2.2.3.3.9.6 las concentraciones de cloruros no son un parámetro determinante para establecer la calidad del agua y su destinación para estos usos. Por lo anterior, las aguas de los

puntos monitoreados son aptas para consumo humano y doméstico, así como para el desarrollo de actividades agrícolas y pecuarias.

- **Coliformes termotolerantes (fecales) y coliformes totales**

Las concentraciones de coliformes totales reportadas en los siete (7) manantiales monitoreados oscilan entre 152,9 NMP/100mL (M07) y 422,5 NMP/100mL (M27) (Figura 3-135).

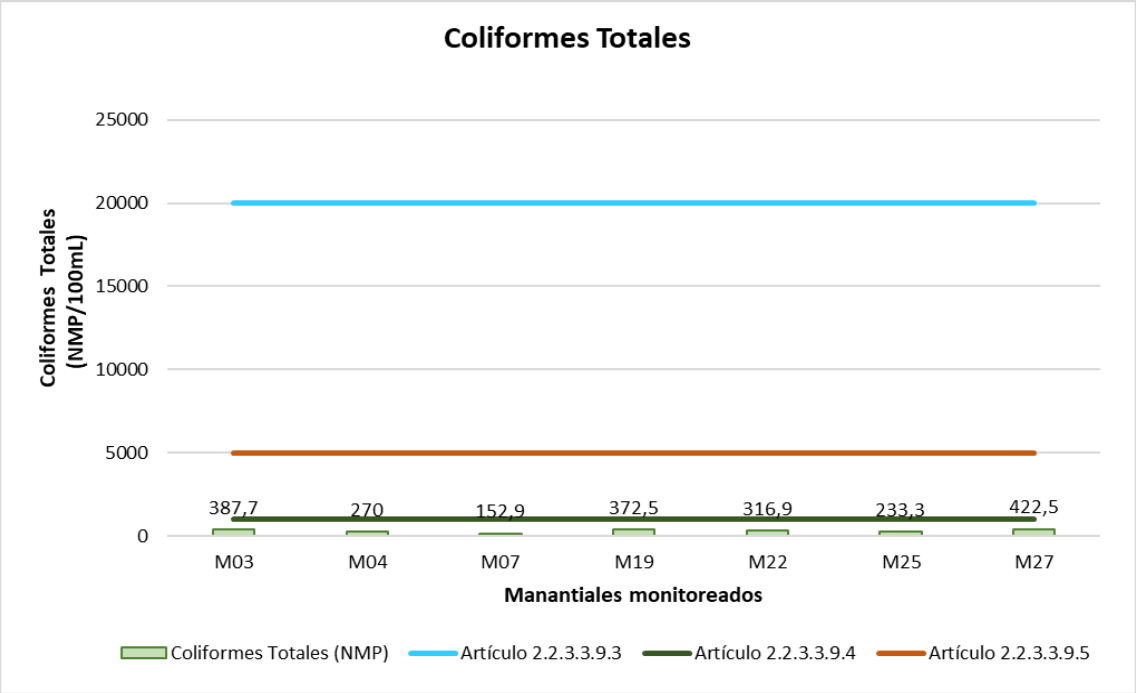


Figura 3-135 Concentraciones de coliformes totales en los manantiales
Fuente: SGI S.A.S., 2025

Si bien las muestras de agua recolectadas en los manantiales presentan concentraciones superiores al límite de cuantificación del laboratorio, estas concentraciones no superan los límites admisibles propuestos en los Artículos 2.2.3.3.9.3, 2.2.3.3.9.4 y 2.2.3.3.9.5 del Decreto 1076 de 2015, que corresponden a 20000, 1000 y 5000 NMP/100mL, respectivamente.

Por otra parte, es importante conocer cuánto de la concentración de coliformes totales corresponde a coliformes termotolerantes (fecales), para esto se realizó el análisis en los siete (7) manantiales los cuales registran concentraciones que oscilan entre 31,5 NMP/100mL (M19) y 343,6 NMP/100mL (M03). Es importante mencionar que estas concentraciones, especialmente las de los manantiales M03 y M27 (225,4 NMP/100mL) pueden estar asociadas a actividades ganaderas desarrolladas en inmediaciones de estos puntos, lo que contribuye al aporte de desechos orgánicos como materia fecal que promueve el aumento en la concentración de este parámetro. Sin embargo, todos los valores reportados cumplen con los límites admisibles propuestos en los Artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.5 del Decreto. 1076 de 2015, que corresponden a 2000 y 1000 NMP/100mL, respectivamente (**Figura 3-136**)

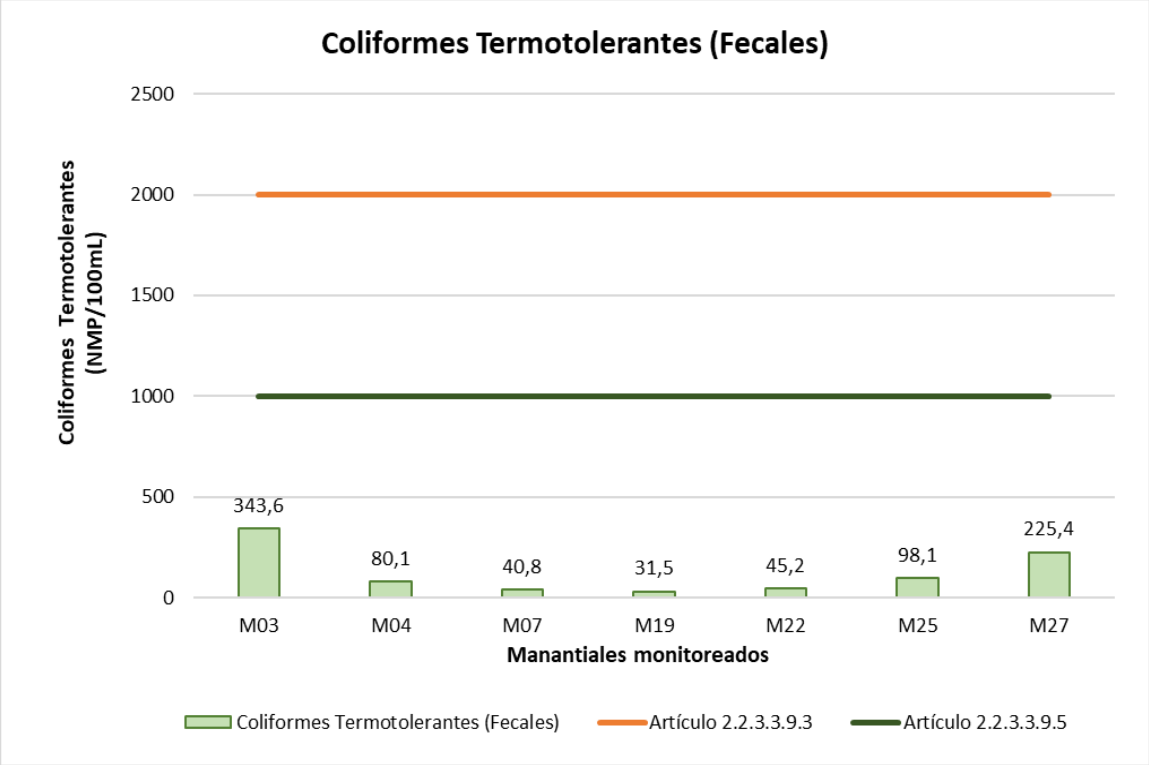


Figura 3-136 Concentraciones de coliformes termotolerantes en los manantiales
Fuente: SGI S.A.S., 2025

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede afirmar que las aguas captadas presentes en los siete (7) manantiales monitoreados son aptas para consumo humano y para el desarrollo de actividades domésticas, agrícolas y pecuarias; pues, aunque presentan concentraciones de coliformes termotolerantes y no es lo más conveniente, estas están por debajo del límite máximo permisible presentado en los artículos mencionados anteriormente.

- **Dureza**

Los resultados muestran que la dureza del agua presenta valores por debajo del límite de cuantificación del laboratorio (<7 mg $CaCO_3$/L) en todos los manantiales evaluados, esto significa que, con relación a este parámetro, el agua es apta para consumo, ya que no ocasiona problemas de incrustaciones en sistemas de conducción ni en equipos domésticos. No obstante, niveles tan reducidos de dureza implican también una menor disponibilidad de minerales como calcio y magnesio, importantes para la salud.

- **Huevos de Helmintos**

Los protozoarios y helmintos están entre las causas más comunes de infecciones y enfermedades que afectan al ser humano y otros animales, y el agua desempeña una función importante en la transmisión de algunos de estos agentes patógenos (Mamani, 2012).

En este parámetro, los resultados obtenidos en todos los manantiales fueron no detectables con la técnica analítica utilizada por el laboratorio (<1 N° org/L). Esto significa que no se identificaron huevos de helmintos en las muestras de agua, o que su concentración es menor a 1 N° org/L. Esta condición representa una característica positiva para los posibles usos del recurso hídrico.

- **Compuestos nitrogenados**

La presencia de compuestos nitrogenados en el agua subterránea es un indicador de procesos de descomposición de materia orgánica y de las condiciones de oxigenación del medio. En particular, los nitritos suelen asociarse a contaminación fecal reciente (Catalán, Oliver & Alonso, 1971), ya que se forman en condiciones de baja oxigenación a partir de la degradación de compuestos orgánicos nitrogenados. En concentraciones elevadas, los nitritos representan un riesgo sanitario importante, al reaccionar en el organismo humano con aminas y amidas secundarias y terciarias, formando nitrosaminas con alto poder cancerígeno y tóxico (OMS, 2002).

En el monitoreo realizado sobre los siete (7) manantiales evaluados, los resultados muestran que lo nitratos y nitritos presentaron concentraciones por debajo de los límites de detección usados en el laboratorio (1 mg $N\text{-}NO_3$/L para Nitratos y 0,01 mg $N\text{-}NO_2$/L para Nitritos), lo cual indica ausencia o niveles muy bajos de estos compuestos, condición favorable para la calidad del agua ya que cumplen con los límites admisibles presentados en los Artículos 2.2.3.3.9.3, 2.2.3.3.9.4 y 2.2.3.3.9.6 del Decreto 1076 de 2015, por lo que son aptas para consumo humano y para el desarrollo de actividades domésticas, agrícolas y pecuarias pues no presentan contaminación por compuestos nitrogenados.

Por el contrario, el nitrógeno amoniacal registró valores superiores al límite de referencia (1 mg $N\text{-}NH_3$/L) en todos los manantiales evaluados, alcanzando concentraciones entre 1,18 mg $N\text{-}NH_3$/L (M19) y 3,56 mg $N\text{-}NH_3$/L (M25). (Ver: **Figura 3-137**)

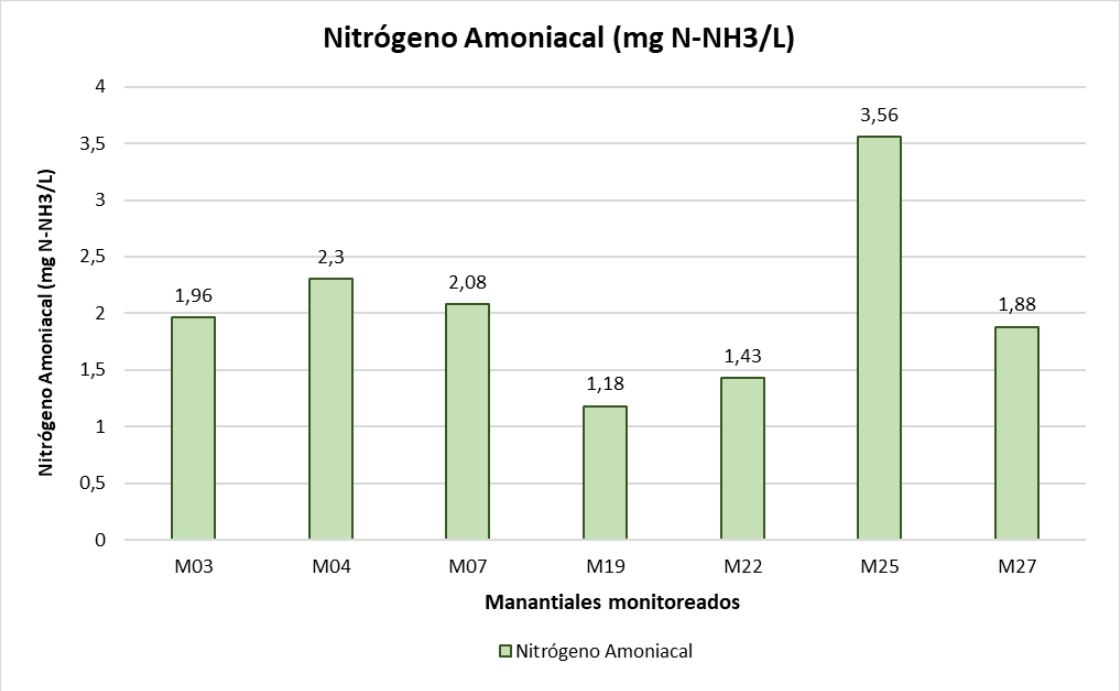


Figura 3-137 Concentraciones de nitrógeno amoniacal en los manantiales
Fuente: SGI S.A.S., 2025

En conclusión, aunque no se evidencia contaminación por nitratos y nitritos, la presencia de nitrógeno amoniacal por encima del límite sugiere condiciones reductoras y aportes de materia orgánica en descomposición dentro del agua subterránea, lo que es importante tenerlo controlado ya que esta situación puede comprometer la calidad del agua para consumo humano directo, debido a que el amoníaco en exceso afecta las características organolépticas (olor y sabor) y puede indicar procesos de contaminación en evolución.

- **Potasio**

A excepción de los manantiales M07 y M19 que presentaron concentraciones inferiores al límite de cuantificación del laboratorio (<1 mg/L). Los puntos restantes reportaron valores que oscilan entre 1,401 mg/L (M22) y 1,693 mg/L (M25) (Ver: **Figura 3-138**).

Los niveles de potasio detectados en las muestras no generan preocupación desde el punto de vista sanitario, ya que se trata de un nutriente indispensable para el organismo. No obstante, la presencia de este ion refleja la incidencia de prácticas agrícolas en la química del agua subterránea, lo que evidencia la importancia de implementar acciones de manejo y control que prevengan un incremento de la contaminación en el futuro.

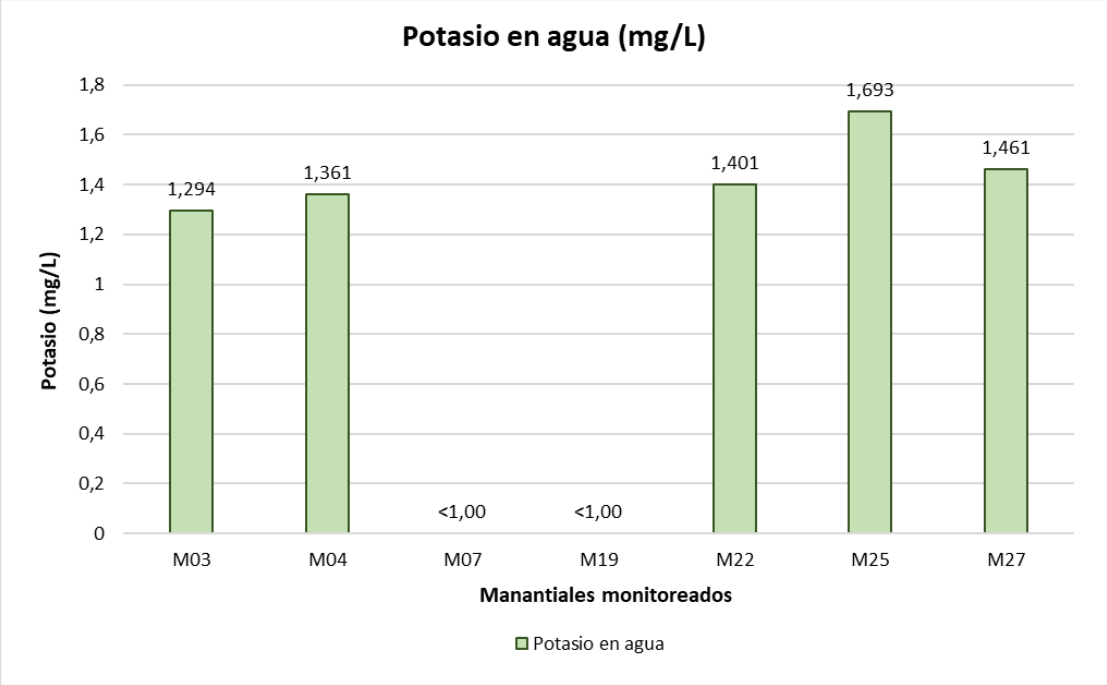


Figura 3-138 Concentraciones de potasio en agua en los manantiales
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Sólidos Disueltos Totales (TDS), Sólidos Suspendidos Totales y Sólidos Totales**

El análisis de sólidos disueltos totales (TDS) mostró que en todos los manantiales evaluados las concentraciones superan el límite mínimo de detección del laboratorio (<10 mg/L), registrándose valores entre 19 mg/L en el punto M07 y 46 mg/L en el punto M25 (Ver: **Figura 3-139**)

En síntesis, pese a las variaciones observadas en las concentraciones de TDS entre los manantiales, los niveles registrados en la zona se consideran adecuados y no generan restricciones para el aprovechamiento del agua en labores domésticas, de riego o en actividades pecuarias.

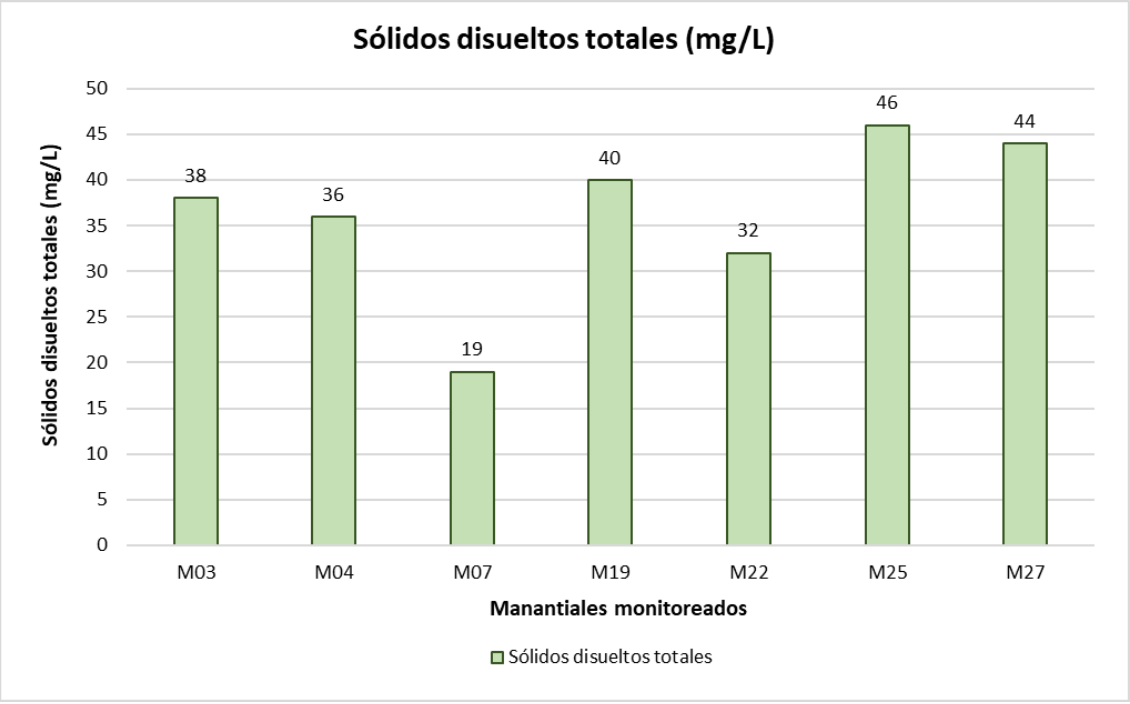


Figura 3-139 Comportamiento de los sólidos disueltos totales en los manantiales
Fuente: SGI S.A.S., 2025

Por su parte, los sólidos suspendidos totales presentaron concentraciones por debajo del límite de cuantificación del laboratorio (10 mg/L) en la mayoría de los manantiales evaluados, a excepción de los puntos M07 y M22 que reportaron concentraciones de 155 mg/L y 13 mg/L respectivamente. Lo anterior indica que las aguas presentes en los manantiales monitoreados presentan pocas partículas en suspensión, es decir, su turbidez es igualmente baja, favoreciendo su destino para uso doméstico. Sin embargo, es importante resaltar la concentración de 155 mg/L en el punto M07 dado que puede estar relacionada con arrastre de sedimentos, materia orgánica en suspensión o contaminación por escorrentía superficial.

En el caso de los sólidos totales, los siete (7) manantiales monitoreados presentan concentraciones superiores al límite mínimo de detección del laboratorio, con valores entre 40 mg/L en los puntos M03 y M04, y 174 mg/L en el punto M07 (Ver: **Figura 3-140**)

Los valores obtenidos reflejan que la mayoría de los sólidos presentes corresponden principalmente a sólidos disueltos, es decir, las partículas sólidas que no se están a simple vista como tampoco se pueden separar por filtración corriente, su origen puede estar relacionado con la disolución de minerales y rocas, descomposición de materia orgánica natural y/o actividades agrícolas o ganaderas.

Estos niveles de sólidos totales son relativamente bajos y se encuentran muy por debajo de los umbrales que podrían generar afectaciones en la potabilidad o en los usos domésticos y agropecuarios del agua.

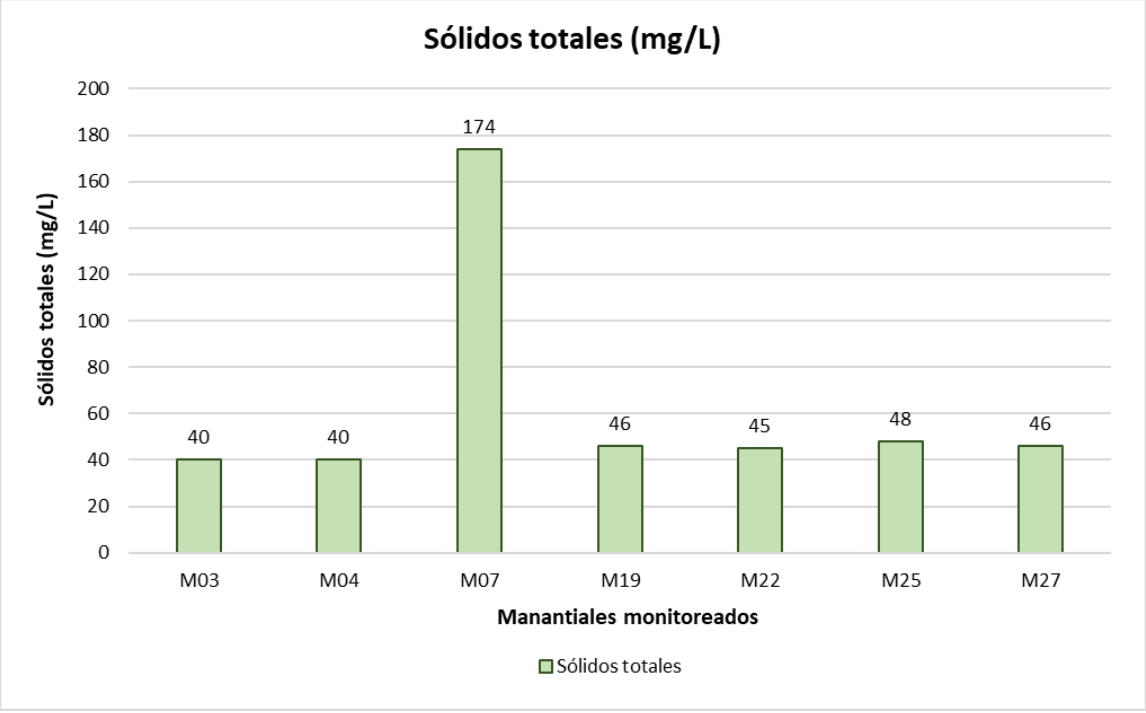


Figura 3-140 Comportamiento de los sólidos totales en los manantiales
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Sodio**

Las concentraciones de sodio registradas presentan valores entre 2,232 mg/L en el punto M22 y 7,952 mg/L en el manantial M25, a excepción del punto M07 que reportó una concentración por debajo del límite de cuantificación del laboratorio (<1,00 mg/L) (Ver: **Figura 3-141**).

Los niveles de sodio detectados en el agua se relacionan tanto con procesos naturales de interacción entre el recurso hídrico y las rocas que conforman el acuífero, como con posibles aportes derivados del uso de insumos agrícolas que contienen este elemento. No obstante, las concentraciones registradas se mantienen en rangos reducidos, lo que asegura la inocuidad del agua y su idoneidad para el consumo humano, así como para fines domésticos, de riego o abastecimiento pecuario.

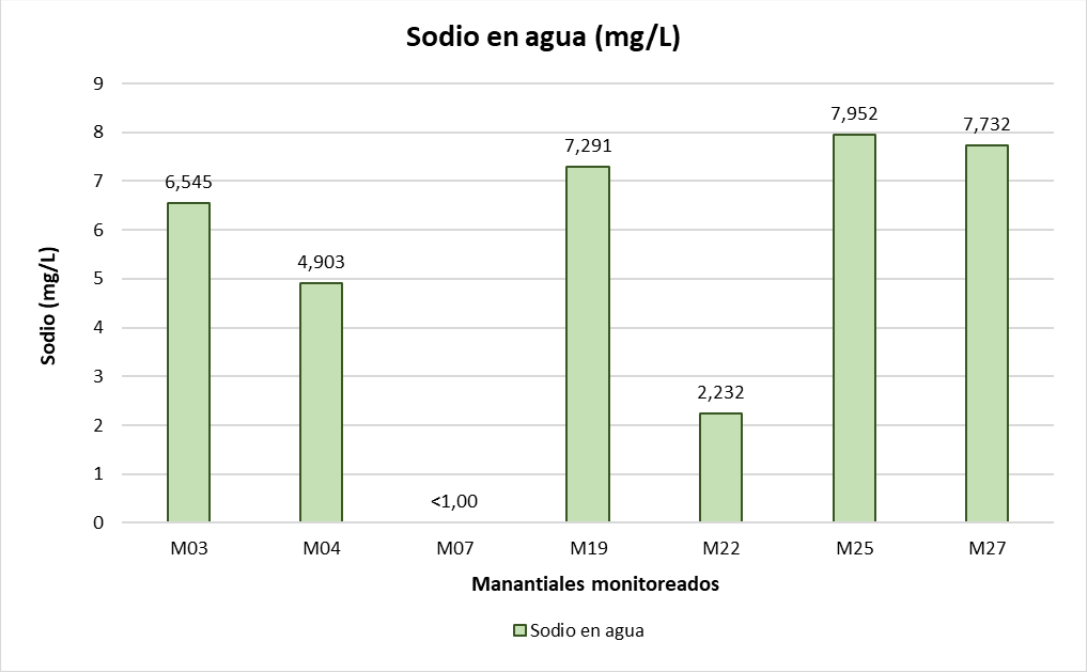


Figura 3-141 Comportamiento del sodio en agua en los manantiales
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Sulfatos**

La mayoría de los manantiales monitoreados presentan concentraciones de sulfatos inferiores al límite mínimo de detección del laboratorio (<10 mg/L), a excepción del punto M07 que reporta una concentración de 13,48 mg/L, sin embargo, todos cumplen con el límite máximo permisible de 400 mg/L establecido en los Artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 del Decreto 1076 de 2015. Los resultados muestran que el contenido de sulfatos en el agua es reducido y no genera limitaciones para su aprovechamiento en actividades de consumo humano, uso doméstico, riego o ganadería. Estas concentraciones responden, en gran medida, a procesos naturales de disolución de minerales con azufre presentes en el subsuelo, sin que se identifiquen indicios relevantes de contaminación externa.

- **Turbidez**

Los valores de turbidez en los manantiales monitoreados se encuentran por debajo del límite de cuantificación del laboratorio (<0,105 JTU) en la mayoría de los manantiales muestreados, los puntos M07, M22 y M25 presentaron concentraciones de 6,1, 0,34 y 0,75 JTU respectivamente, a partir de lo anterior, se puede analizar que todas las concentraciones medidas son inferiores al límite máximo admisible de 10 JTU establecido en el Artículo 2.2.3.3.9.4 del Decreto 1076 de 2015.

Esto indica que las aguas subterráneas de los manantiales presentan una baja presencia de partículas en suspensión, manteniendo una adecuada transparencia y sin afectar sus características organolépticas, de modo que, con relación a la turbidez, estas aguas se consideran aptas para consumo humano, así como para el desarrollo de actividades domésticas, agrícolas y pecuarias.

- **Metales**

Para los metales Arsénico, Bario, Berilio, Cadmio, Cobalto, Litio, Magnesio, Plomo, Selenio y Vanadio, todas las muestras de agua recolectadas en los manantiales presentaron concentraciones inferiores al límite mínimo de cuantificación del laboratorio. De este modo, dan cumplimiento con los

límites máximos permisibles establecidos en los Artículos 2.2.3.3.9.3, 2.2.3.3.9.4, 2.2.3.3.9.5 y 2.2.3.3.9.6 del Decreto 1076 de 2015, es decir que con relación a estos metales el agua es apta para consumo humano y uso doméstico y agropecuario.

Por otra parte, seis (6) de los siete (7) manantiales evaluados presentan concentraciones de Molibdeno por debajo del límite cuantificación del laboratorio (<0,010 mg/L), el punto restante corresponde al manantial denominado M19 y su concentración reportada es de 0,011 mg/L. Adicionalmente, el Zinc presenta concentraciones por encima del límite de cuantificación del laboratorio, con valores que oscilan entre 0,031 mg/L (M19) y 0,04 mg/L (M07 y M22) lo que indica su presencia en el agua subterránea de la zona de estudio.

Los resultados presentados en el párrafo anterior sugieren que la composición hidroquímica de los aljibes está influenciada por procesos de disolución natural de minerales presentes en los sedimentos acuíferos, aunque no puede descartarse algún aporte difuso asociado a actividades antrópicas.

Los resultados reportados para los otros metales analizados en las muestras de agua subterránea recolectadas en los manantiales se presentan a continuación:

- ✓ Aluminio

Los valores reportados de Aluminio presentan concentraciones entre 0,173 mg/L en el punto M03 y 0,741 mg/L en el manantial M07, lo que indica que las muestras de agua subterránea cumplen con el límite máximo permisible de 5 mg/L establecido en los Artículos 2.2.3.3.9.5 y 2.2.3.3.9.6 del Decreto 1076 de 2015. La presencia de aluminio en el agua subterránea puede estar asociada a orígenes naturales como la disolución de minerales de aluminio, a su vez, un pH bajo (agua ácida) permite que el aluminio se solubilice con facilidad.

- ✓ Cromo

Las concentraciones de Cromo reportadas en la mayoría de los manantiales monitoreados son inferiores al límite de cuantificación del laboratorio (<0,050 mg/L), lo cual indica la ausencia o bien, concentraciones inferiores de este metal en los puntos muestreados, exceptuando el manantial M07 que reporta una concentración de 0,054 mg/L, sin embargo, sigue siendo un valor muy cercano al límite de cuantificación del laboratorio. Por lo anterior, se concluye que, excluyendo el punto M07, las muestras de agua restantes cumplen con el límite máximo establecido en los Artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 (0,05 mg/L). Mientras que los puntos en su totalidad se encuentran por debajo de los límites del Artículo 2.2.3.3.9.5 (0,1 mg/L) y Artículo 2.2.3.3.9.6 (1 mg/L). Por lo anterior, se puede afirmar que las aguas de los manantiales, respecto a las concentraciones de cromo, son aptas para actividades agrícolas y pecuarias, sin embargo, no se recomienda su destino para consumo humano y doméstico.

- ✓ Hierro

Las concentraciones de hierro registradas en los manantiales oscilan entre 0,088 mg/L en el punto M03 y 0,736 mg/L en el manantial M22, las cuales son inferiores al valor límite establecido en el Artículo 2.2.3.3.9.5 del Decreto 1076 de 2015 que corresponde a 5 mg/L (Ver: Figura 3-142). Lo anterior permite concluir que con relación al metal hierro, las aguas muestreadas pueden ser usadas en actividades domésticas, para consumo humano y agropecuarias.

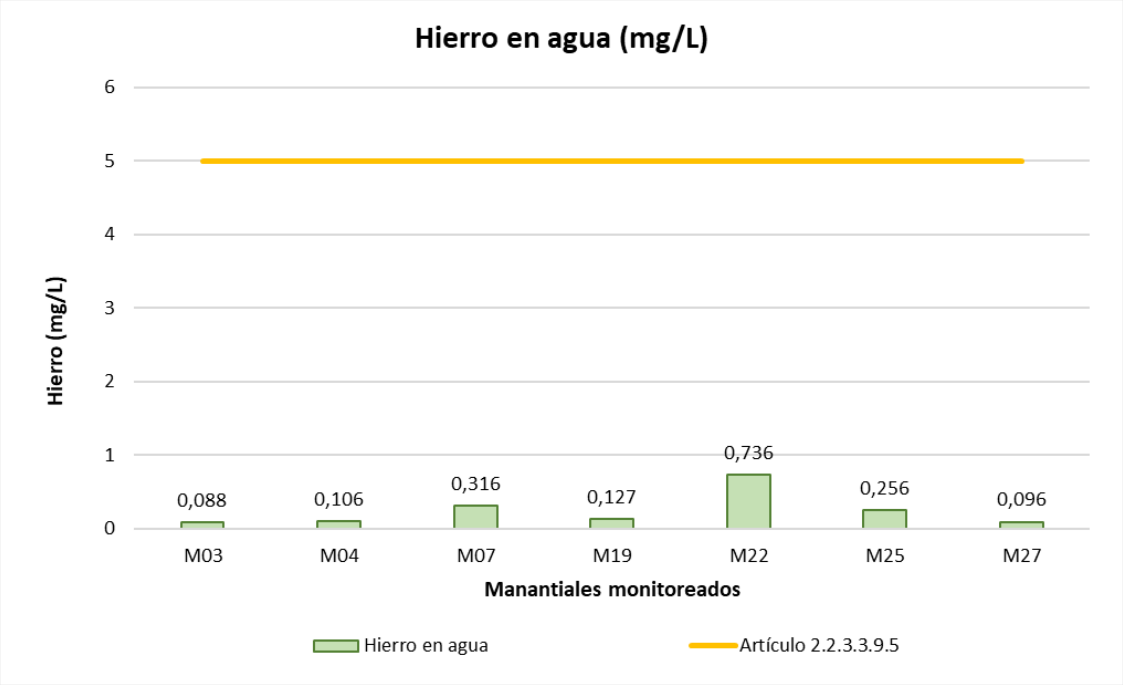


Figura 3-142 Comportamiento del hierro en agua en los manantiales
Fuente: SGI S.A.S., 2025

✓ Manganeso

Los valores reportados de manganeso se encuentran entre 0,098 mg/L (M25) y 0,143 mg/L (M04), con excepción del manantial M07 que registró una concentración por debajo del límite de cuantificación del laboratorio (<0,050 mg/L). Lo anterior indica que todos los manantiales evaluados cumplen con el límite máximo establecido en el Artículo 2.2.3.3.9.5 del Decreto 1076 de 2015 (0,2 mg/L) (Ver: **Figura 3-143**). Su presencia en las aguas subterráneas puede deberse a la disolución de minerales y rocas que contengan manganeso.

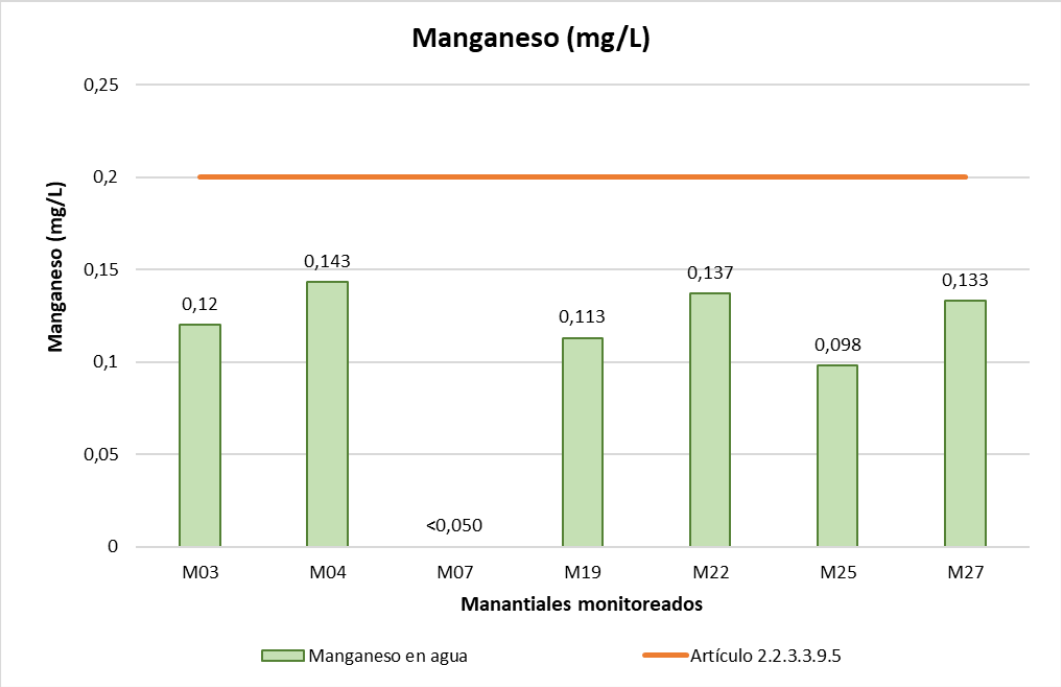


Figura 3-143 Comportamiento del manganeso en los manantiales
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- ✓ Níquel

En la Figura 3-144 se puede observar el comportamiento del metal Níquel en cada uno de los manantiales evaluados donde las concentraciones reportadas se encuentran entre 0,032 mg/L (M19) y 0,064 mg/L (M07). A partir de lo anterior se puede concluir que todos los puntos muestreados cumplen con el límite máximo permisible establecido en el Artículo 2.3.3.9.5 del Decreto 1076 de 2015 (0,2 mg/L) y su agua puede ser usada para actividades agrícolas.

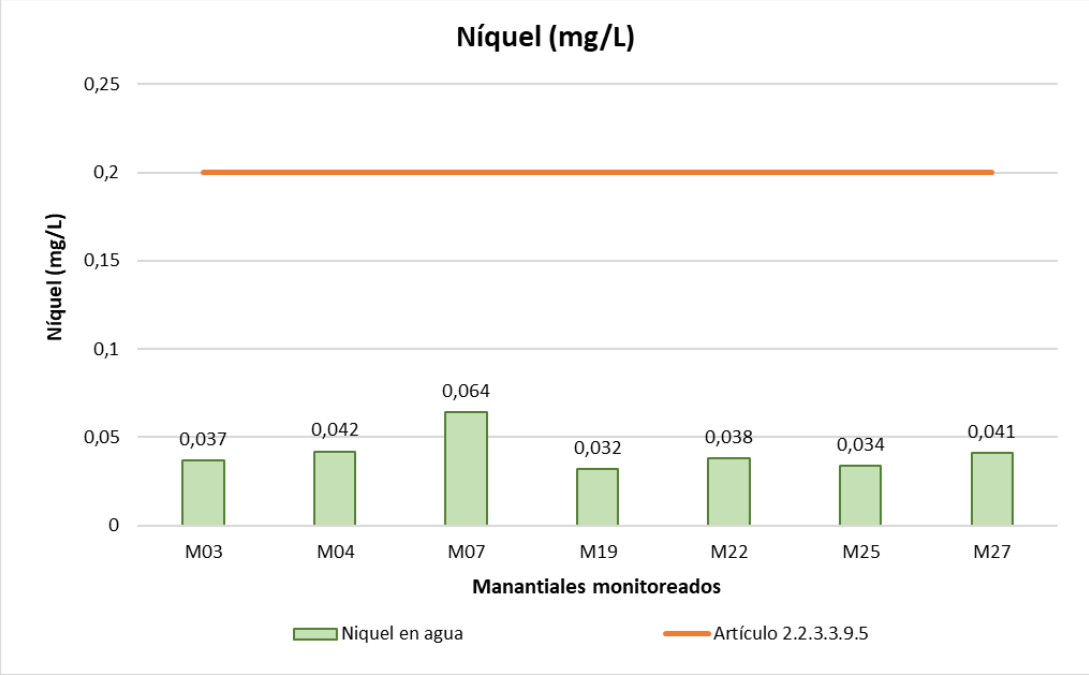


Figura 3-144 Comportamiento del níquel en los manantiales
Fuente: SGI S.A.S., 2025

3.2.7.14.2.3 Pozos

En el marco del presente proyecto, se seleccionaron cinco (5) pozos para establecer la calidad de agua subterránea de los diferentes niveles acuíferos presentes en el área de influencia. (Ver. **Tabla 3-76**).

Tabla 3-76 Pozos seleccionados para definir la calidad del agua subterránea

N°	ID	TIPO DE PUNTO	CÓDIGO DE LABORATORIO	OORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDROGEOLÓGICA CAPTADA
				ESTE (m)	NORTE (m)	
1	P01	Pozo	M37255	4943610,50	1995538,77	A3
2	P06	Pozo	M37616	4932081,68	1991778,97	A3
3	P07	Pozo	M37614	4938886,90	1989391,33	A3
4	P10	Pozo	M37631	4937133,39	1987835,45	A3
5	P11	Pozo	M37796	4925776,96	1997639,10	A3

Fuente: SGI S.A.S., 2025.

Los resultados obtenidos en los cinco (5) pozos monitoreados se compararon respecto a los límites establecidos en los Artículos 2.2.3.3.9.3 (Consumo humano y doméstico – Tratamiento convencional), 2.2.3.3.9.4 (Consumo humano y doméstico - Desinfección), 2.2.3.3.9.5 (Uso Agrícola) y 2.2.3.3.9.6 (Uso Pecuario) del Decreto Único Reglamentario 1076 de 2015, los cuales especifican los límites normativos que debe presentar el agua según el uso al que sea destinada. De acuerdo con lo anterior, se realizó un análisis para cada uno de los parámetros monitoreados, esto con el fin de establecer la calidad del agua subterránea en el área de estudio y definir su potencial destinación para los diferentes usos:

- **pH**

Las muestras de agua recolectadas en los pozos presentaron valores de pH entre 5,16 y 5,77, correspondientes a 5,77 en el P01, 5,22 en el P06, 5,16 en el P07, 5,36 en el P10 y 5,23 en el P11 (Ver: **Figura 3-145**). Estos resultados permiten clasificar el agua como ligeramente ácida, destacándose el pozo P01 con el valor más alto (5,77 unidades de pH), aunque aún dentro del rango que indica acidez moderada en el recurso hídrico subterráneo.

En cuanto a la normativa aplicable, según el Artículo 2.2.3.3.9.5 del Decreto 1076 de 2015, que establece que el agua para uso agrícola debe presentar un rango de pH entre 4,5 y 9 unidades, los cinco pozos cumplen con este criterio, por lo que las aguas se consideran aptas para el riego y actividades agrícolas.

Conforme al Artículo 2.2.3.3.9.3 del mismo decreto, que fija un rango de 5 a 9 unidades de pH para agua destinada a consumo humano y doméstico previo tratamiento convencional, los cinco pozos también cumplen con este requisito, siendo potencialmente aptos para este uso, siempre que se sometan a tratamiento adecuado.

En contraste, frente al Artículo 2.2.3.3.9.4, que establece un rango de 6,5 a 8,5 unidades de pH como límite para aguas aptas para consumo humano sin tratamiento avanzado, ninguno de los pozos cumple, ya que todos los valores reportados se encuentran por debajo de 6,5.

Finalmente, respecto al Artículo 2.2.3.3.9.6, que regula el agua destinada a usos pecuarios, no se establecen límites específicos para el pH, lo que otorga mayor flexibilidad en este tipo de actividades.

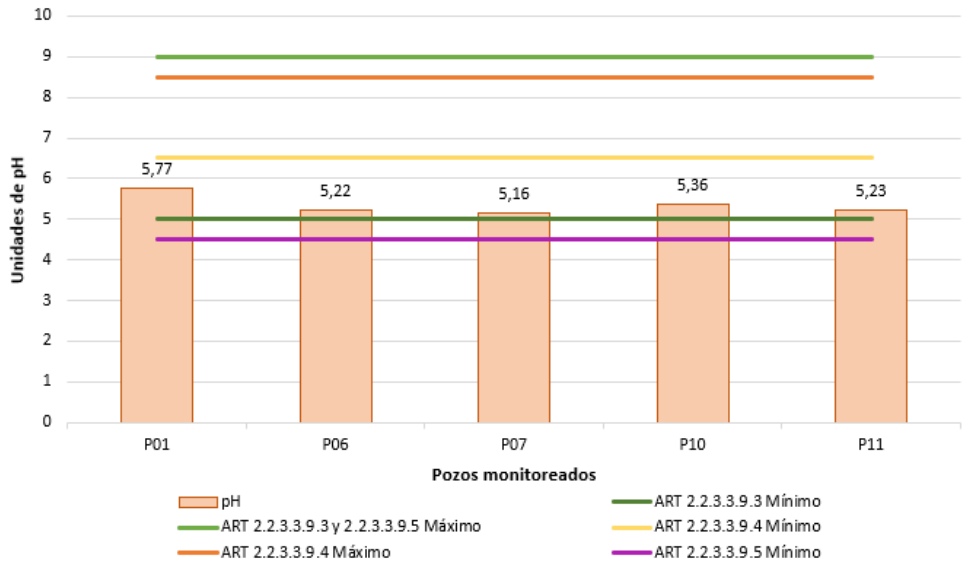


Figura 3-145 Comportamiento del pH los pozos
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Temperatura**

Los valores de temperatura registrados en los cinco (5) pozos monitoreados oscilaron entre 25,96 °C en el P06 y 27,66 °C en el P11 (Ver: Figura 3-146). Estas mediciones son consistentes con las condiciones naturales del área de estudio y muestran una variación mínima entre pozos, la cual

podría estar relacionada con factores como la ubicación de cada punto de muestreo, la hora de recolección y las condiciones climáticas presentes al momento del muestreo.

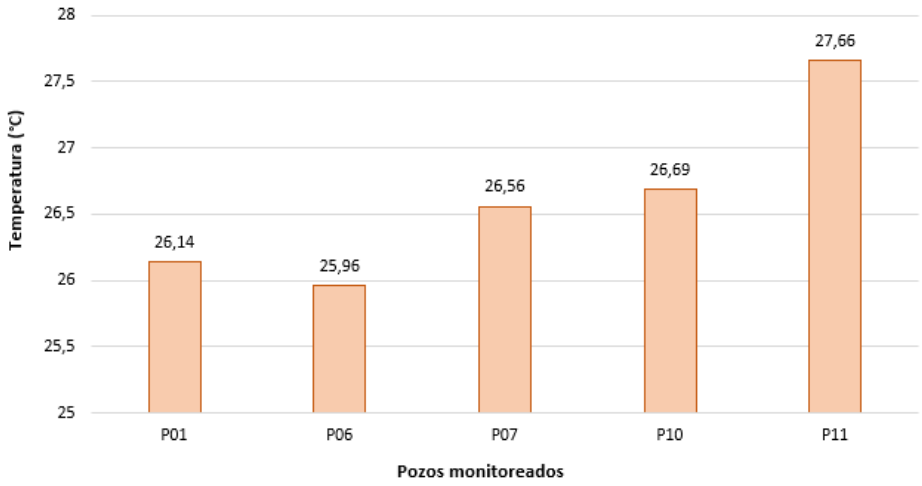


Figura 3-146 Comportamiento de la temperatura en los pozos
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Oxígeno disuelto**

Los cinco (5) pozos monitoreados registraron concentraciones de oxígeno disuelto entre 2,12 mg/L-O2 en el P01 (valor mínimo) y 5,7 mg/L-O2 en el P11 (valor máximo) (Ver: **Figura 3-147**). De acuerdo con la clasificación propuesta por MAPSA (2007), estos valores corresponden a aguas con bajo contenido de oxígeno disuelto, las cuales se clasifican como “hipóxicas”.

Este comportamiento es característico de aguas subterráneas con escasa interacción con la atmósfera, lo que limita los procesos de oxigenación natural. Como consecuencia, se generan condiciones que pueden influir en la calidad hidroquímica y biológica del recurso, favoreciendo la ocurrencia de procesos reductores y la proliferación de microorganismos anaerobios.

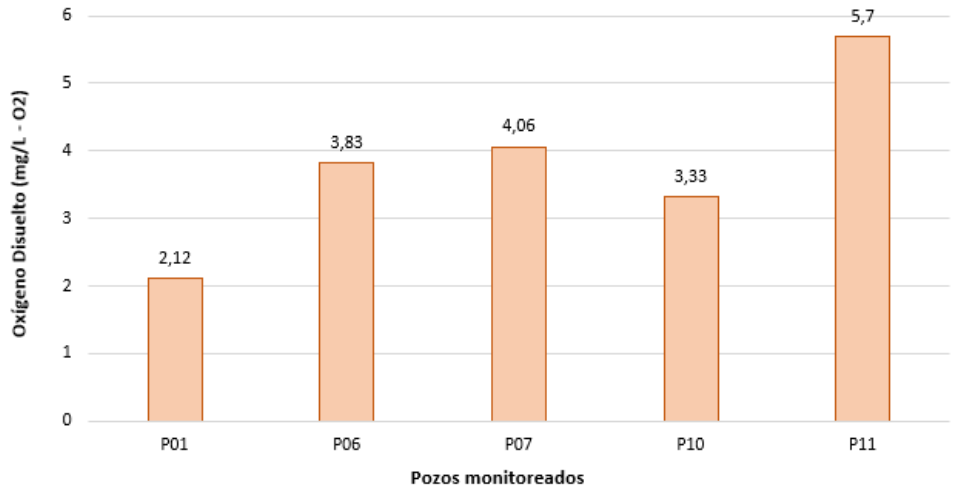


Figura 3-147 Comportamiento del oxígeno disuelto en los pozos
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Conductividad eléctrica**

Los valores de conductividad eléctrica registrados en los pozos oscilaron entre 19 µS/cm en el P01 y 86 µS/cm en el P07 (Ver: **Figura 3-148**). Estos resultados reflejan que las aguas subterráneas presentan un grado de mineralización muy bajo, lo cual indica una escasa presencia de sales disueltas. Este comportamiento es característico de acuíferos con baja interacción con materiales geológicos solubles y sugiere que el agua se encuentra en un estado de alta calidad química, apta para diversos usos sin restricciones por salinidad.

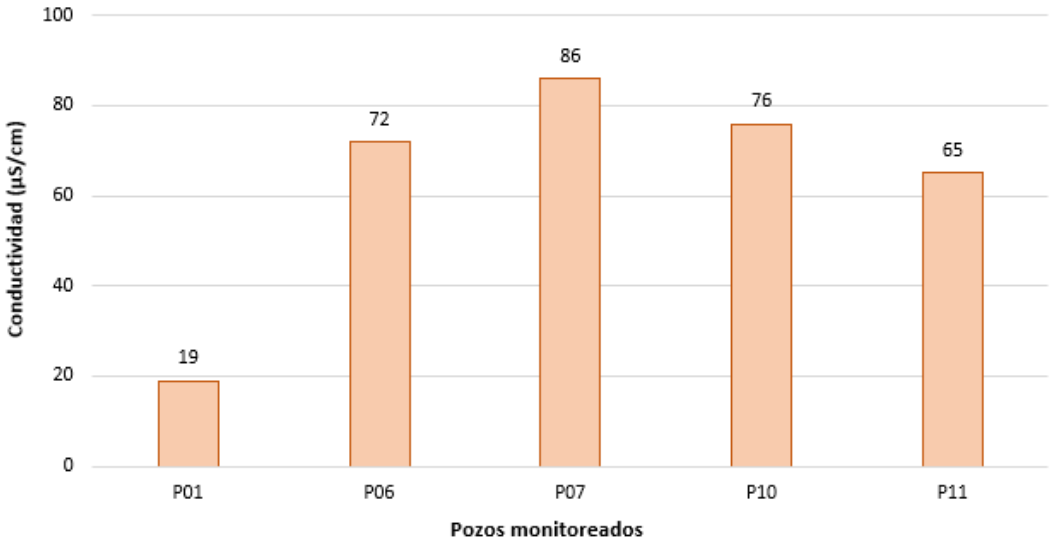


Figura 3-148 Comportamiento de la conductividad en los pozos
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Acidez**

Las concentraciones de acidez registradas en los cinco pozos monitoreados fueron superiores al límite mínimo de cuantificación del laboratorio (5 mg $CaCO_3$/L), con valores que oscilan entre 21,92 mg $CaCO_3$/L en el P10 y 46,06 mg $CaCO_3$/L en el P11 (Ver: **Figura 3-149**). Estos resultados indican que el agua subterránea presenta una acidez moderada, coherente con los valores de pH ligeramente ácidos reportados en los mismos pozos.

La presencia de esta acidez puede estar asociada a procesos naturales de disolución de dióxido de carbono, así como a la interacción del agua con materiales geológicos ricos en compuestos ácidos o materia orgánica. Desde el punto de vista hidroquímico, estas condiciones pueden influir en la movilidad de ciertos metales traza y en la corrosividad del agua, aspectos relevantes para su aprovechamiento en actividades domésticas, agrícolas o pecuarias.

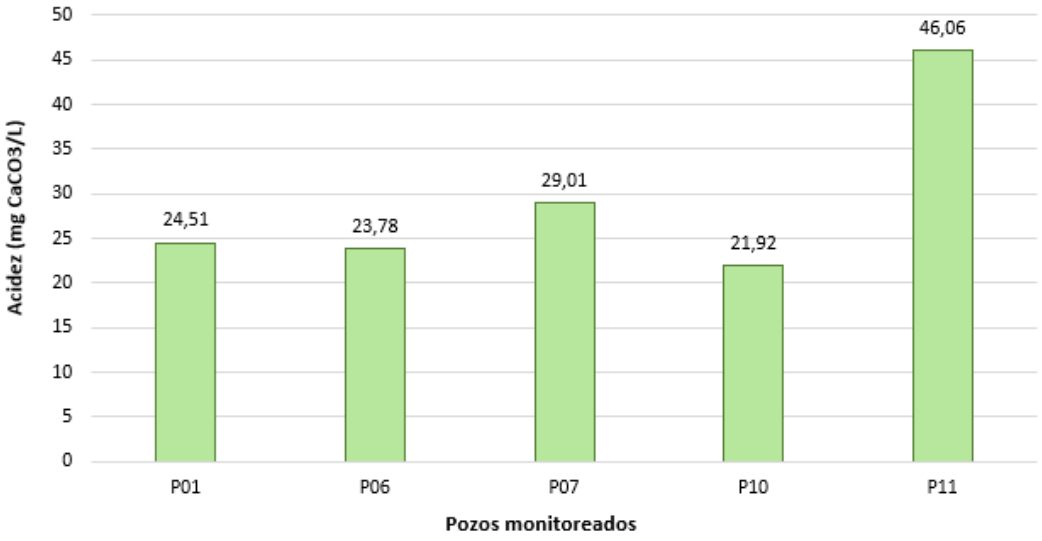


Figura 3-149 Comportamiento de la acidez en los pozos
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Alcalinidad y bicarbonatos**

La mayoría de las concentraciones de alcalinidad y bicarbonatos reportadas en las muestras de agua subterránea de los pozos fueron inferiores al límite mínimo de cuantificación del laboratorio (<10 mg $CaCO_3$/L), con excepción del pozo P10, que presentó un valor de 11,83 mg $CaCO_3$/L. Estos resultados indican que, en general, la alcalinidad y el contenido de bicarbonatos en las aguas subterráneas son nulos o tan bajos que no alcanzan a ser detectados por la técnica analítica utilizada.

Este comportamiento refleja la presencia de aguas con escasa capacidad para neutralizar ácidos, lo cual concuerda con los valores de pH ligeramente ácidos y las concentraciones moderadas de acidez registradas en los mismos pozos. Desde el punto de vista hidroquímico, estas condiciones pueden favorecer la movilidad de metales y aumentar la corrosividad del agua, aspectos que deben considerarse en su aprovechamiento y manejo.

- **Calcio**

La mayoría de las concentraciones de calcio registradas en los pozos monitoreados se encuentran por debajo del límite mínimo de cuantificación del laboratorio (<1 mg/L), con excepción del pozo P11, que reportó un valor de 2.933 mg/L. Estos resultados indican que, en general, el calcio está ausente o presente en concentraciones muy bajas, inferiores a 1 mg/L, en las aguas subterráneas evaluadas.

- **Cloruros**

Todas las muestras de agua subterránea recolectadas en los pozos presentaron concentraciones de cloruros por debajo del límite mínimo de cuantificación del laboratorio (<8 mg/L). Estos valores se encuentran muy por debajo del límite máximo admisible de 250 mg/L, establecido en los Artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 del Decreto 1076 de 2015 para aguas destinadas a consumo humano y doméstico.

Asimismo, de acuerdo con los Artículos 2.2.3.3.9.5 y 2.2.3.3.9.6, las concentraciones de cloruros no constituyen un parámetro restrictivo para el uso del agua en actividades agrícolas o pecuarias, por lo que este no representa un factor de riesgo para los usos identificados en el área de estudio.

- **Coliformes termotolerantes y totales**

Las concentraciones de coliformes totales registradas en los cinco pozos fueron de 25,9 NMP/100 mL en el P01, 21,3 NMP/100 mL en el P06, 11 NMP/100 mL en el P07, 31,5 NMP/100 mL en el P10 y 18,7 NMP/100 mL en el P11 (Ver: **Figura 3-150**). Si bien estos valores superan el límite de cuantificación del laboratorio, se encuentran muy por debajo de los valores máximos permitidos por el Decreto 1076 de 2015, los cuales corresponden a 20.000 NMP/100 mL (Artículo 2.2.3.3.9.3), 1.000 NMP/100 mL (Artículo 2.2.3.3.9.4) y 5.000 NMP/100 mL (Artículo 2.2.3.3.9.5).

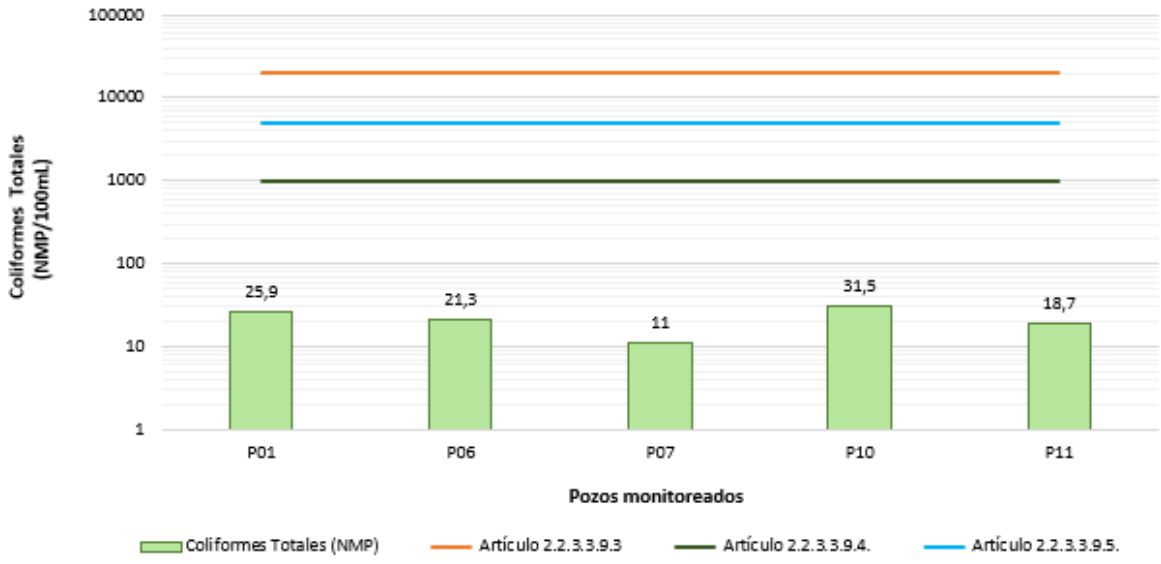


Figura 3-150 Concentraciones de coliformes totales en los pozos
Fuente: SGI S.A.S., 2025

En cuanto a los coliformes termotolerantes, se registraron valores entre 4 NMP/100 mL en el P11 (valor mínimo) y 11 NMP/100 mL en el P01 (valor máximo) (Ver: **Figura 3-151**). La presencia de este grupo bacteriano es un indicador de contaminación de origen fecal y representa un riesgo mayor para la salud humana; sin embargo, los valores obtenidos se encuentran muy por debajo de los límites normativos establecidos en el Decreto 1076 de 2015, que corresponden a 2.000 NMP/100 mL (Artículo 2.2.3.3.9.3) y 1.000 NMP/100 mL (Artículo 2.2.3.3.9.5) según el uso del recurso.

Por otra parte, aunque el Artículo 2.2.3.3.9.4 no define un límite específico para coliformes termotolerantes, sí establece un valor máximo de 1.000 NMP/100 mL para coliformes totales, parámetro que también cumplen todos los pozos evaluados.

Si bien en los pozos se reportaron concentraciones detectables de coliformes totales, el aporte relativo de coliformes termotolerantes fue bajo en comparación, lo que atenúa el impacto sanitario sobre la calidad del agua.

En este contexto, se concluye que las aguas subterráneas captadas por los pozos monitoreados pueden considerarse aptas para consumo humano y para actividades domésticas, agrícolas y pecuarias, ya que las concentraciones bacterianas registradas se mantienen muy por debajo de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa vigente.

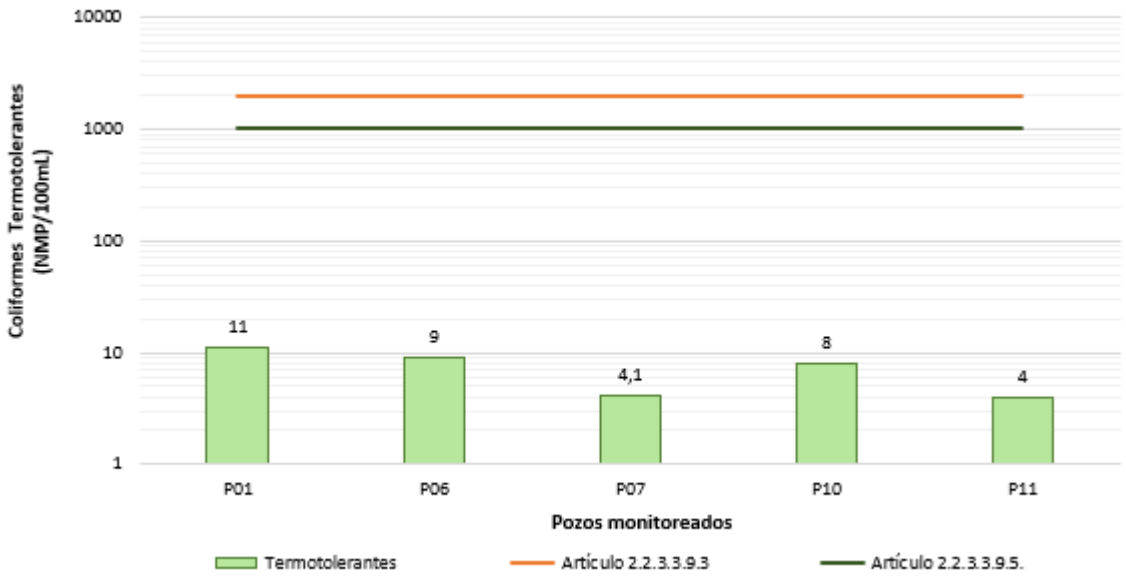


Figura 3-151 Concentraciones de coliformes termotolerantes en los pozos
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Dureza**

La mayoría de las concentraciones de dureza total registradas en los pozos monitoreados fueron inferiores al límite mínimo de cuantificación del laboratorio (<7 mg/L), con excepción del pozo P11, que presentó un valor de 9,78 mg/L. Estos resultados indican que, en general, las aguas subterráneas evaluadas presentan ausencia o niveles muy bajos de dureza, condición considerada óptima para la calidad del recurso hídrico y favorable para su destinación a usos domésticos, agrícolas y pecuarios, al no generar incrustaciones ni restricciones relacionadas con la dureza.

- **Huevos de Helmintos**

Para este parámetro, todos los pozos reportaron concentraciones indetectables por el método de análisis empleado por el laboratorio (<1 N° org/L), es decir, las muestras de agua no presentan huevos de Helmintos o su concentración es inferior a 1 N°org/L.

- **Magnesio**

Todos los piezómetros monitoreados reportaron concentraciones de magnesio inferiores al límite mínimo de cuantificación del laboratorio (<1 mg/L).

- **Compuestos nitrogenados**

La presencia de nitritos en el agua es un indicador de contaminación fecal reciente (Catalán, Oliver, & Alonso, 1971). Este compuesto es producto de la descomposición de materia orgánica en condiciones de baja oxigenación y en concentraciones elevadas representan un grave riesgo para la salud humana, ya que reaccionan dentro del organismo del ser humano con aminas y amidas secundarias y terciarias formando nitrosaminas de alto poder cancerígeno y tóxico (OMS, 2002). Entre las formas de nitrógeno, una de las de mayor interés en las aguas es el amoniacal, ya que es producto natural de la descomposición de los compuestos orgánicos nitrogenados. El amoniaco es uno de los componentes transitorios en el agua, ya que es parte del ciclo del nitrógeno y se ve influido por la actividad biológica.

De acuerdo con los resultados del monitoreo realizado en el marco del presente proyecto, los cinco (5) pozos evaluados reportaron concentraciones de nitratos y nitritos por debajo del límite mínimo de detección del laboratorio, lo que indica que el nitrógeno en estas formas está ausente o presente en concentraciones tan bajas que no son detectables con el método analítico empleado. Este resultado es favorable para la calidad del agua, ya que la ausencia de estos compuestos refleja que no existe un aporte significativo de contaminación por fuentes de origen agrícola, doméstico o industrial.

En este sentido, las aguas de los piezómetros cumplen con los límites admisibles establecidos en los Artículos 2.2.3.3.9.3, 2.2.3.3.9.4 y 2.2.3.3.9.6 del Decreto 1076 de 2015, por lo que pueden considerarse aptas para consumo humano y para el desarrollo de actividades domésticas, agrícolas y pecuarias respecto a estos parámetros.

Sin embargo, se resalta la presencia de nitrógeno amoniacal, cuyos valores se reportaron por encima del límite de cuantificación del laboratorio, tal como se presenta en la **Figura 3-152**. Este hallazgo sugiere la existencia de procesos naturales de degradación de materia orgánica o posibles aportes antrópicos, que deben ser analizados con detalle para evaluar su origen y potencial efecto sobre la calidad del agua subterránea.

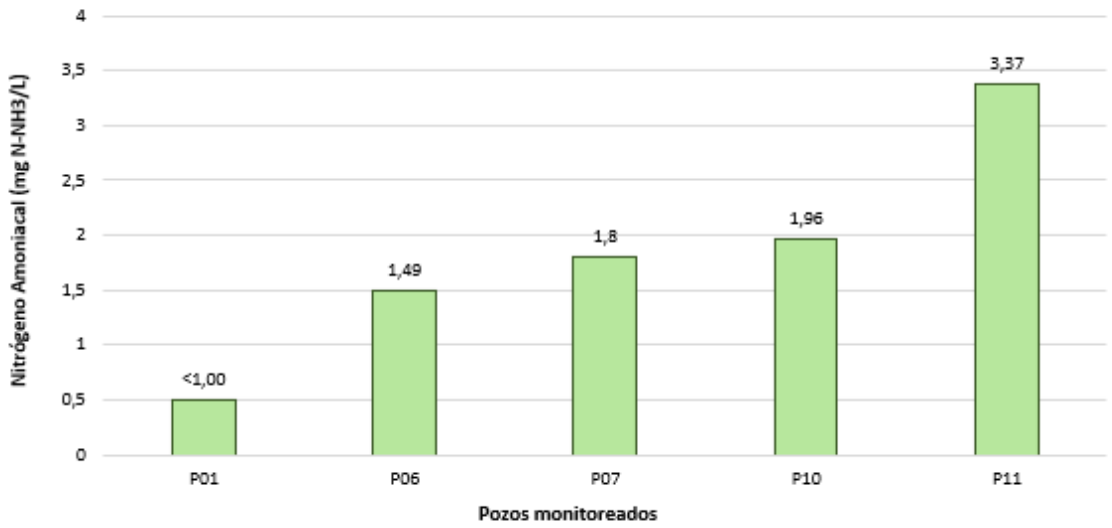


Figura 3-152 Concentración de nitrógeno amoniacal en los pozos
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Potasio**

Los pozos monitoreados presentaron concentraciones de potasio superiores al límite mínimo de detección del laboratorio (<1 mg/L), con valores que oscilaron entre <1,00 mg/L en el P01 (valor mínimo) y 4,595 mg/L en el P10 (valor máximo) (Ver: **Figura 3-153**).

La presencia de potasio en las aguas subterráneas puede asociarse tanto a procesos naturales de disolución de minerales potásicos como al aporte antrópico derivado del uso de fertilizantes agrícolas en las áreas donde se ubican los pozos. El hecho de que se registren concentraciones más elevadas en algunos pozos sugiere una posible influencia de las prácticas agropecuarias locales sobre la calidad del agua subterránea, reflejando una interacción entre la dinámica natural del acuífero y las actividades productivas desarrolladas en la zona.

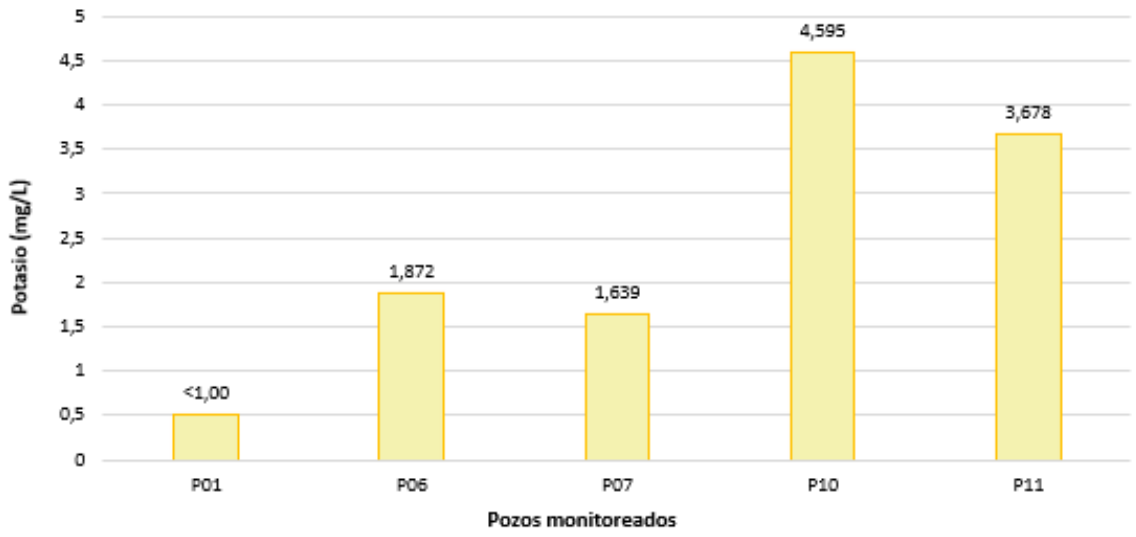


Figura 3-153 Comportamiento del potasio en los pozos
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Sodio**

Las muestras de agua subterránea recolectadas en los piezómetros presentaron concentraciones de sodio superiores al límite mínimo de cuantificación del laboratorio (<1 mg/L). Los valores oscilaron entre <1,00 mg/L en el P01 (menor concentración) y 9,931 mg/L en el P07 (mayor concentración) (Ver: **Figura 3-154**).

La presencia de sodio en estas aguas puede atribuirse a dos fuentes principales: por un lado, a la disolución natural de minerales sódicos presentes en los sedimentos que conforman el acuífero, y por otro, a la influencia antrópica derivada del lixiviado de fertilizantes agrícolas con contenido de sodio aplicados en la zona. Las concentraciones registradas se mantienen en rangos bajos, lo que indica que, aunque existe aporte de sodio, este no representa un riesgo significativo para la calidad del recurso hídrico y permite inferir que el acuífero mantiene condiciones de mineralización débil con una ligera influencia de las actividades agropecuarias locales.

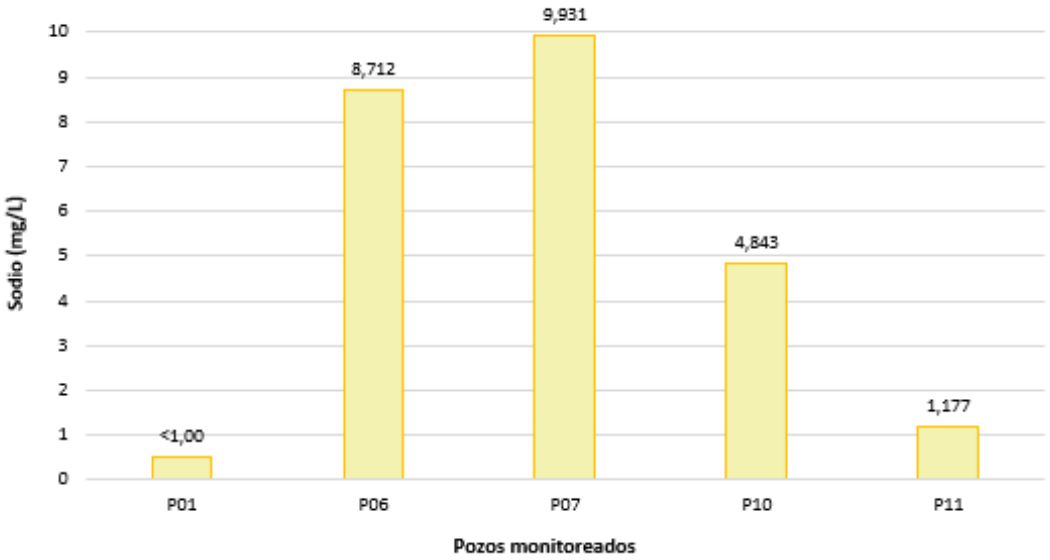


Figura 3-154 Comportamiento del sodio en los pozos
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Sólidos Disueltos Totales (TDS)**

En el caso de los Sólidos Disueltos Totales (TDS), en los cinco pozos monitoreados se registraron concentraciones superiores al límite mínimo de detección del laboratorio (10 mg/L). Los valores oscilaron entre 12 mg/L en el pozo P01 y 52 mg/L en el pozo P07 (Ver: **Figura 3-155**). Es importante resaltar que la normativa consultada no establece valores guía específicos para este parámetro; sin embargo, las concentraciones reportadas pueden clasificarse como bajas, lo que indica una mineralización reducida del agua subterránea y sugiere que los procesos de disolución de sales son limitados en el área de estudio.

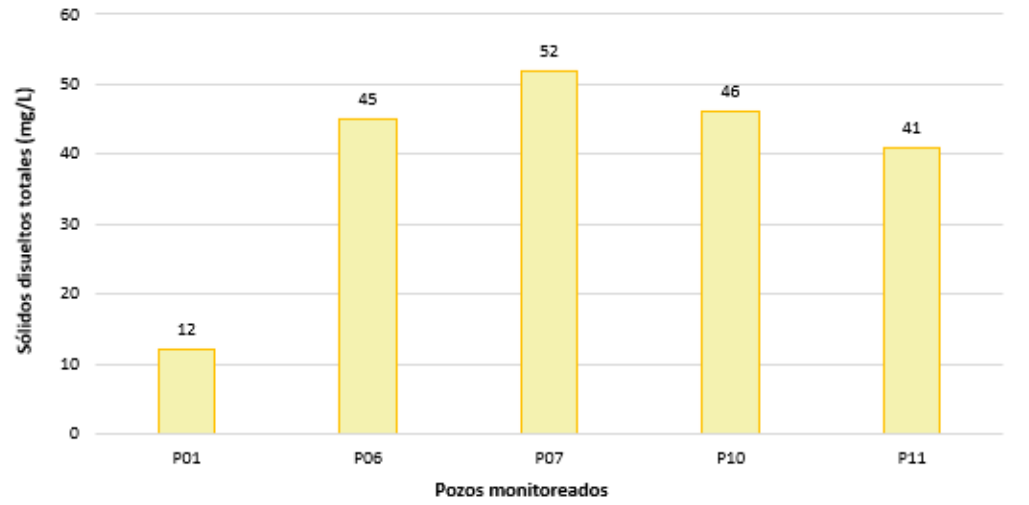


Figura 3-155 Comportamiento de los sólidos disueltos totales en los pozos
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Sólidos totales**

Respecto a los sólidos totales, los cinco (5) pozos monitoreados presentaron concentraciones superiores al límite mínimo de detección del laboratorio (<10 mg/L), con valores que varían entre 15 mg/L en el pozo P01 y 88 mg/L en el P10 (Ver: **Figura 3-156**).

Los resultados indican que la fracción predominante corresponde a sólidos disueltos, lo que refleja una mineralización baja a moderada del agua subterránea. En contraste, la presencia de sólidos suspendidos es reducida; es decir, la cantidad de partículas que permanecen en suspensión sin disolverse en el agua es mínima.

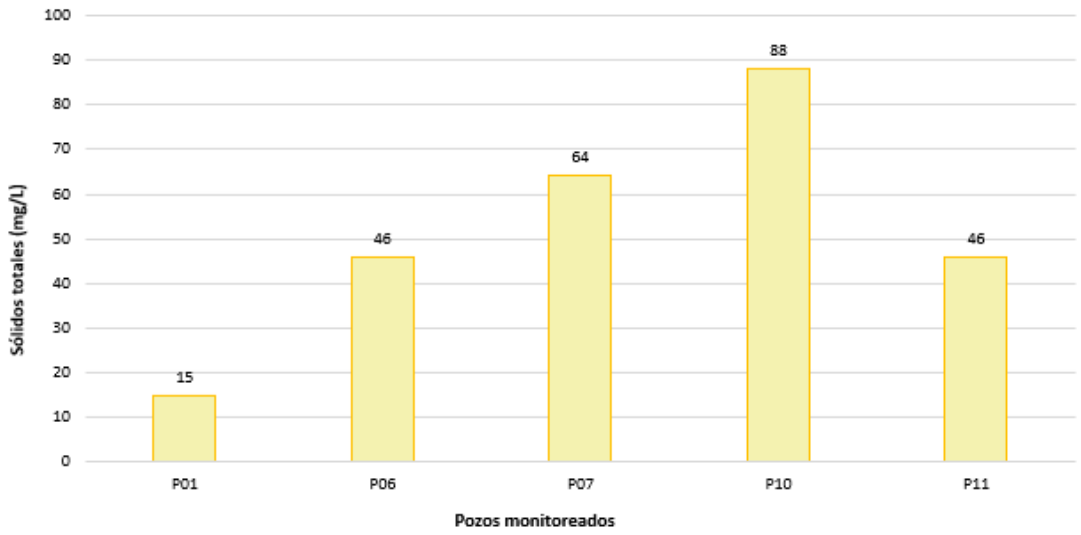


Figura 3-156 Comportamiento de los sólidos totales en los pozos
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Sulfatos**

Todos los pozos monitoreados presentan concentraciones de sulfatos inferiores al límite mínimo de detección del laboratorio (10 mg/L). De igual forma, todos los pozos cumplen con el límite admisible presentado en los Artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 del Dec 1076 de 2015, que corresponde a 400 mg/L para ambos artículos. Teniendo en cuenta lo anterior, se puede afirmar que las aguas subterráneas recolectadas en los pozos son aptas para consumo humano y para el desarrollo de actividades domésticas, agrícolas y pecuarias en relación con los sulfatos presentes en estas aguas.

- **Turbidez**

Los valores de turbidez en los pozos monitoreados varían entre <0,105 JTU en los pozos P06 y P11 (valor mínimo) y 4,27 JTU en el P10 (valor máximo). Todas estas concentraciones se encuentran por debajo del límite máximo admisible de 10 JTU, establecido en el Artículo 2.2.3.3.9.4. En este sentido, la calidad del agua subterránea evaluada en términos de turbidez puede considerarse adecuada para el consumo humano y para actividades domésticas, agrícolas y pecuarias, al no representar restricciones significativas para dichos usos.

- **Metales**

Para los metales Arsénico, Bario, Cadmio, Hierro, Plomo, Selenio y Zinc, todas las muestras de agua recolectadas en los pozos presentaron concentraciones inferiores al límite máximo permisible establecido en el Decreto 1076 de 2015 en los Artículos 2.2.3.3.9.3, 2.2.3.3.9.4, 2.2.3.3.9.5 y 2.2.3.3.9.6 para el Arsénico, Cadmio, Plomo y Zinc; Artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 para el Bario; Artículo 2.2.3.3.9.5 para el Hierro, y Artículos 2.2.3.3.9.3, 2.2.3.3.9.4 y 2.2.3.3.9.5 para el Selenio.

Los resultados reportados para los otros metales analizados en las muestras de agua subterránea recolectadas en los pozos se presentan a continuación:

- ✓ Cromo

En el caso del cromo, la mayoría de las concentraciones registradas en los pozos se encuentran por debajo del límite de cuantificación del laboratorio (0,05 mg/L), y cumplen con los valores establecidos en los Artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 de la normativa vigente (0,05 mg/L). Asimismo, se encuentran muy por debajo de los límites permisibles definidos en los Artículos 2.2.3.3.9.5 (0,1 mg/L) y 2.2.3.3.9.6 (1,0 mg/L) (Ver: **Figura 3-157**).

La excepción corresponde al pozo P01, que presentó una concentración de 0,072 mg/L, valor que supera el límite de los Artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4, aunque aún se mantiene por debajo de los límites más amplios (0,1 mg/L y 1,0 mg/L).

Estos resultados sugieren que, en general, el riesgo por presencia de cromo en el agua subterránea es bajo, aunque el hallazgo en el pozo P01 evidencia una condición puntual que merece seguimiento y monitoreo, con el fin de descartar posibles fuentes locales de contaminación o variaciones hidroquímicas asociadas al entorno geológico.

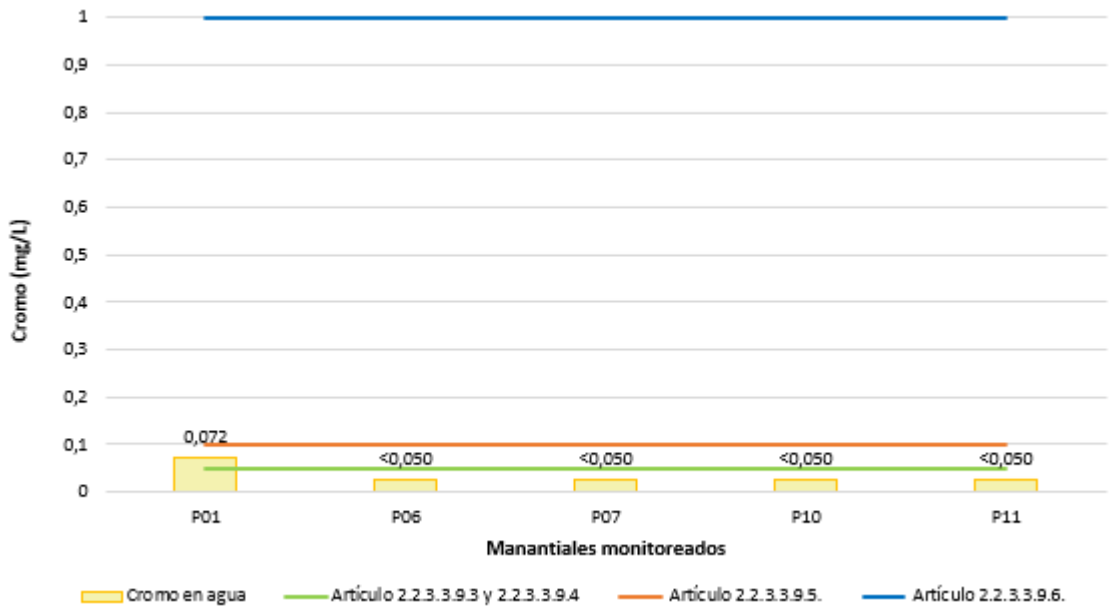


Figura 3-157 Comportamiento del Cromo en los pozos
Fuente: SGI S.A.S., 2025

Además de los parámetros establecidos en el Decreto 1076 de 2015, en las muestras de agua subterránea se evaluaron otros metales sin un límite normativo específico en dicha reglamentación, entre ellos: cobalto, litio, manganeso, molibdeno y níquel.

En relación con el litio, todas las concentraciones registradas se encuentran por debajo del límite de cuantificación del laboratorio (0,05 mg/L). Un comportamiento similar se observó para el cobalto y el molibdeno, con un límite de cuantificación de 0,01 mg/L. En estos casos, la mayoría de los pozos presentan concentraciones inferiores a dicho valor, salvo el pozo P01, donde el cobalto alcanzó 0,071 mg/L, y el pozo P11, que reportó 0,022 mg/L de molibdeno.

Por otro lado, el manganeso y el níquel mostraron concentraciones por encima del límite de cuantificación, lo que evidencia su presencia en el agua subterránea de la zona de estudio. Este comportamiento sugiere que la composición hidroquímica de los pozos podría estar asociada principalmente a procesos de disolución natural de minerales presentes en los sedimentos acuíferos; sin embargo, no se descarta la posibilidad de aportes difusos relacionados con actividades antrópicas.

3.2.7.14.2.4 Piezómetros

En el marco del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare se seleccionaron tres (3) piezómetros para definir la calidad del agua subterránea (**Tabla 3-77**).

Tabla 3-77 Piezómetros seleccionados para definir la calidad del agua subterránea

N°	ID	TIPO DE PUNTO	CÓDIGO DE LABORATORIO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		UNIDAD HIDROGEOLÓGICA CAPTADA
				ESTE (m)	NORTE (m)	
1	Pz02	Piezómetro	M37620	4934762,32	1986498,47	A3
2	Pz09	Piezómetro	M37672	4935018,10	1988065,10	A3
3	Pz15	Piezómetro	M37619	4937251,95	1991706,99	A3

Fuente: SGI S.A.S., 2025.

Los resultados obtenidos en los tres (3) piezómetros monitoreados se compararon respecto a los límites establecidos en los Artículos 2.2.3.3.9.3 (Consumo humano y doméstico – Tratamiento convencional), 2.2.3.3.9.4 (Consumo humano y doméstico - Desinfección), 2.2.3.3.9.5 (Uso Agrícola) y 2.2.3.3.9.6 (Uso Pecuario) del Decreto Único Reglamentario 1076 de 2015, los cuales especifican los límites normativos que debe presentar el agua según el uso al que sea destinada. De acuerdo con lo anterior, se realizó un análisis para cada uno de los parámetros monitoreados, esto con el fin de establecer la calidad del agua subterránea en el área de estudio y definir su potencial destinación para los diferentes usos:

- **pH**

Las muestras de agua recolectadas en los piezómetros reportaron valores de pH de 5,23 para el Pz02, 5,87 para el Pz09 y 5,37 para el Pz15 (Ver: **Figura 3-158**). Estos resultados permiten clasificar las aguas como ligeramente ácidas, siendo el piezómetro Pz09 el que presentó el valor más alto (5,87 unidades de pH), aunque aún dentro de la condición de acidez moderada.

En cuanto a la normativa aplicable, según el Artículo 2.2.3.3.9.5 del Decreto 1076 de 2015, que establece que el agua para uso agrícola debe presentar un rango de pH entre 4,5 y 9 unidades, los tres piezómetros cumplen con este criterio, por lo que las aguas se consideran aptas para el riego y actividades agrícolas.

Conforme al Artículo 2.2.3.3.9.3 del mismo decreto, que fija un rango de 5 a 9 unidades de pH para agua destinada a consumo humano y doméstico previo tratamiento convencional, los tres

piezómetros también cumplen con este requisito, siendo potencialmente aptos para este uso, siempre que se sometan a tratamiento adecuado.

En contraste, frente al Artículo 2.2.3.3.9.4, que establece un rango de 6,5 a 8,5 unidades de pH como límite para aguas aptas para consumo humano sin tratamiento avanzado, ninguno de los piezómetros cumple, ya que todos los valores reportados se encuentran por debajo de 6,5.

Finalmente, respecto al Artículo 2.2.3.3.9.6, que regula el agua destinada a usos pecuarios, no se establecen límites específicos para el pH, lo que otorga mayor flexibilidad en este tipo de actividades.

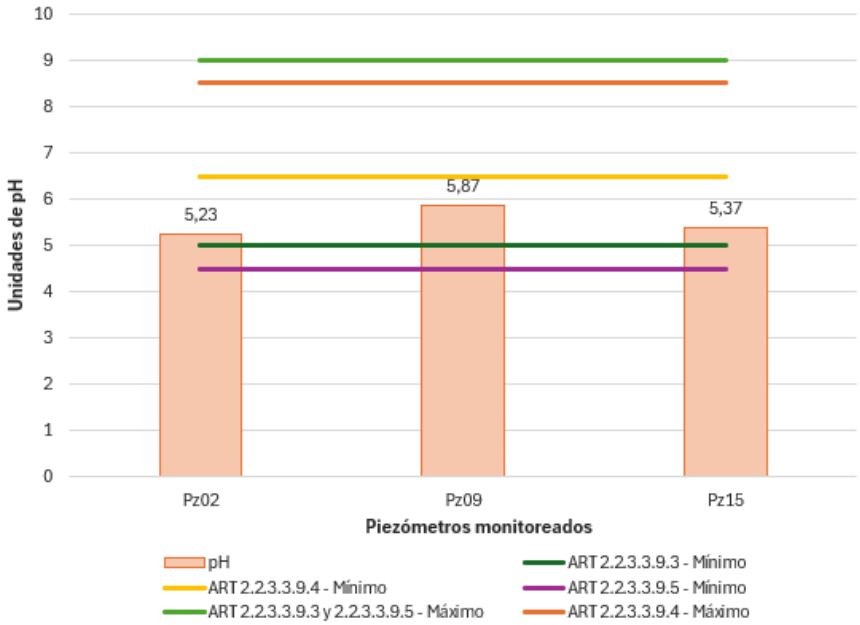


Figura 3-158 Comportamiento el pH los piezómetros
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Temperatura**

Los valores de temperatura reportados en los 3 piezómetros monitoreados evidencian que los piezómetros Pz02, Pz09 y Pz15 reportaron temperaturas de 27,08, 26,09 y 27,07°C respectivamente. (Ver: **Figura 3-159**). Estas temperaturas concuerdan con las condiciones naturales del área de estudio; además, se evidencia que la variación de temperatura es mínima entre los diferentes piezómetros y puede estar asociada a la ubicación del punto, hora y condiciones climáticas en las que fueron recolectadas las muestras de agua.

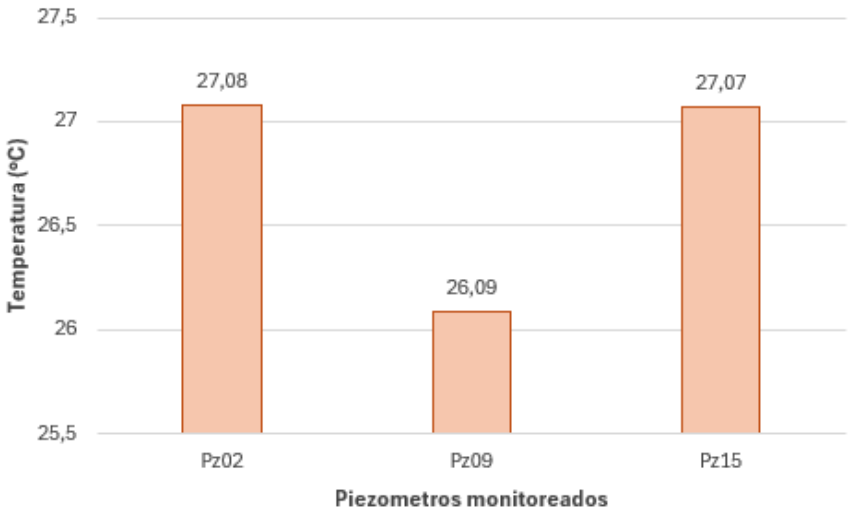


Figura 3-159 Comportamiento de la temperatura en los piezómetros
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Oxígeno disuelto**

Los tres piezómetros evaluados presentaron concentraciones de oxígeno disuelto entre 2,51 mg/L-O2 (valor mínimo en el piezómetro Pz02) y 3,22 mg/L-O2 (valor máximo en el piezómetro Pz15), mientras que el Pz09 reportó un valor intermedio de 3,16 mg/L-O2 (Ver: **Figura 3-160**).

De acuerdo con la clasificación de MAPSA (2007), estos valores permiten considerar que las aguas subterráneas de los piezómetros presentan bajo contenido de oxígeno disuelto, siendo clasificadas como “hipóxicas”. Este comportamiento refleja condiciones de limitada oxigenación natural, propias de aguas subterráneas con poca interacción con la atmósfera, y puede tener implicaciones en la calidad química y biológica del recurso hídrico, ya que niveles bajos de oxígeno favorecen procesos de reducción y la proliferación de microorganismos anaerobios.

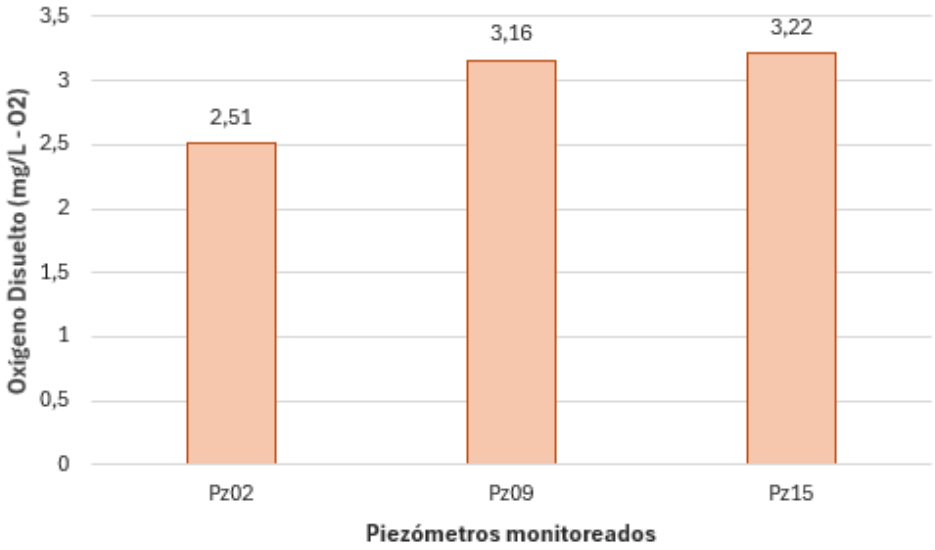


Figura 3-160 Comportamiento del oxígeno disuelto en los piezómetros
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Conductividad eléctrica**

Los valores de conductividad eléctrica registrados en los piezómetros oscilan entre 55 µS/cm (Pz09) y 121 µS/cm (Pz02), mientras que el piezómetro Pz15 reportó un valor intermedio de 67 µS/cm (Ver: **Figura 3-161**). Teniendo en cuenta lo anterior, se considera que las aguas almacenadas en los piezómetros presentan un grado de mineralización muy débil; a excepción del piezómetro Pz02 que reporta una conductividad alta, indicando que estas aguas presentan un grado de mineralización débil, levemente mayor que las aguas de los demás piezómetros monitoreados.

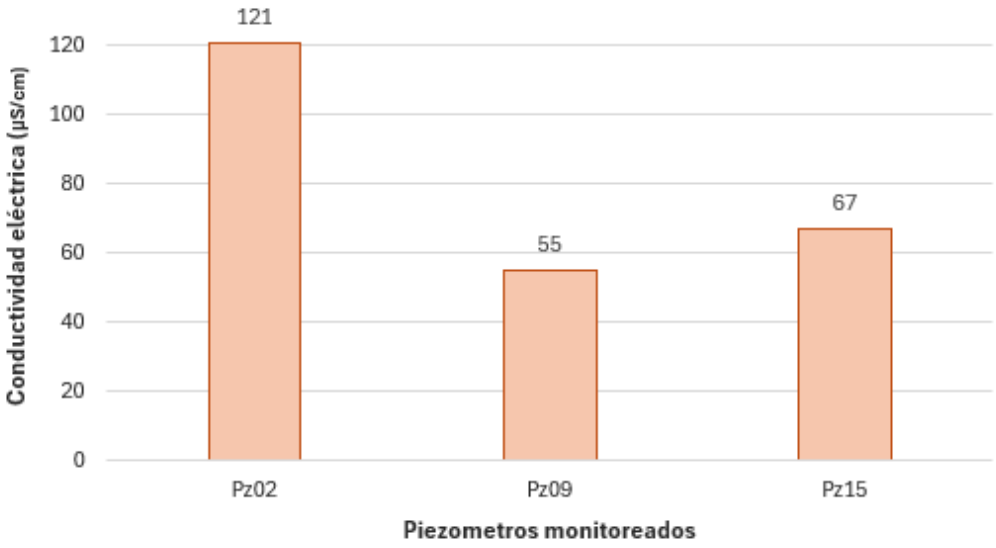


Figura 3-161 Comportamiento de la conductividad en los piezómetros
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Acidez**

Las concentraciones de acidez registradas en los tres piezómetros resultaron superiores al límite mínimo de cuantificación del laboratorio (5 mg CaCO3/L). Los valores obtenidos fueron de 23,89 mg CaCO3/L para el Pz02, 33,32 mg CaCO3/L para el Pz09 y 24,72 mg CaCO3/L para el Pz15 (Ver: **Figura 3-162**).

Estos resultados reflejan que las aguas subterráneas de los piezómetros presentan una acidez moderada, lo cual es consistente con los valores de pH ligeramente ácidos previamente reportados (entre 5,23 y 5,87 unidades de pH). La presencia de acidez en este rango puede estar asociada a la disolución de minerales ácidos en el subsuelo o a procesos naturales de oxidación de compuestos presentes en el acuífero.

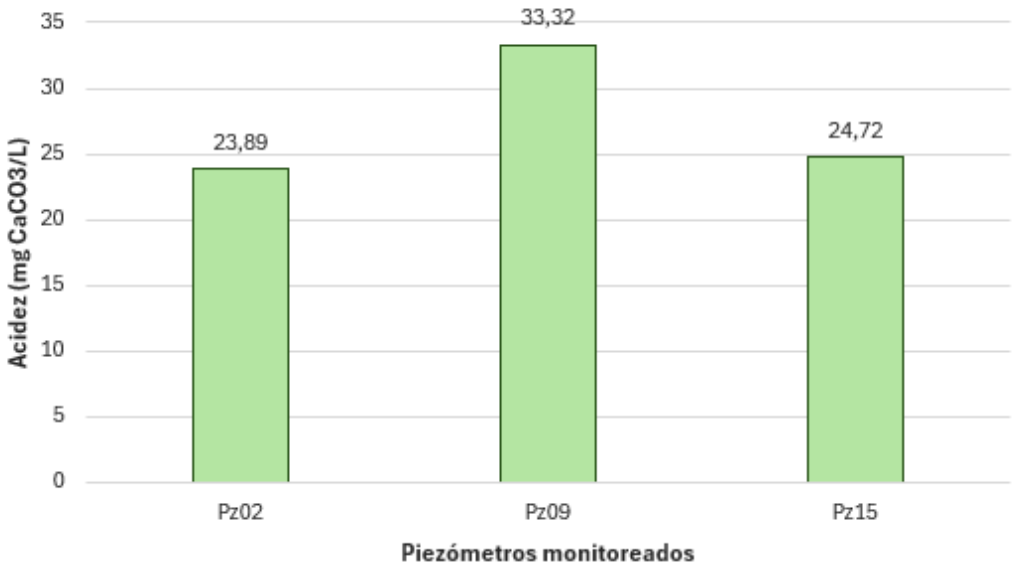


Figura 3-162 Comportamiento de la acidez en los piezómetros
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Alcalinidad y bicarbonatos**

Las concentraciones de alcalinidad y bicarbonatos reportadas son iguales en todas las muestras de agua subterránea recolectadas en

(Pz02, Pz09 y Pz11) se encuentran por debajo del límite mínimo de cuantificación piezómetros. En los tres piezómetros las concentraciones son inferiores al límite mínimo de cuantificación del laboratorio (<10 $CaCO_3$/L), lo cual indica que la alcalinidad y la concentración de bicarbonatos presentes en estas aguas es nula o tan pequeña que sus concentraciones no son detectables por la técnica de análisis empleada.

- **Calcio**

Las concentraciones de calcio registradas en los tres piezómetros del laboratorio (<1 mg/L). Esto indica que el calcio está ausente o presente en concentraciones muy bajas, inferiores a 1 mg/L, en las aguas subterráneas evaluadas.

- **Cloruros**

Las muestras de agua subterránea recolectadas en los piezómetros Pz09 y Pz15 presentaron concentraciones de cloruros por debajo del límite mínimo de cuantificación del laboratorio (<8 mg/L), mientras que el piezómetro Pz02 reportó un valor de 27,69 mg/L.

Aunque este último resultado es mayor, todas las concentraciones se encuentran muy por debajo del límite máximo admisible de 250 mg/L, establecido en los Artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 del Decreto 1076 de 2015 para aguas destinadas a consumo humano y doméstico.

En relación con los Artículos 2.2.3.3.9.5 y 2.2.3.3.9.6, las concentraciones de cloruros no constituyen un parámetro determinante para la destinación del agua a usos agrícolas o pecuarios.

- **Coliformes termotolerantes y totales**

Las concentraciones de coliformes totales recolectadas en los tres piezómetros fueron de 28 NMP/100 mL en el Pz02, 52 NMP/100 mL en el Pz09 y 31,2 NMP/100 mL en el Pz15 (Ver: **Figura 3-163**). Aunque estos valores superan ampliamente el límite de cuantificación del laboratorio, se encuentran muy por debajo de los límites normativos establecidos en el Decreto 1076 de 2015, que corresponden a 20.000 NMP/100 mL (Artículo 2.2.3.3.9.3), 1.000 NMP/100 mL (Artículo 2.2.3.3.9.4) y 5.000 NMP/100 mL (Artículo 2.2.3.3.9.5).

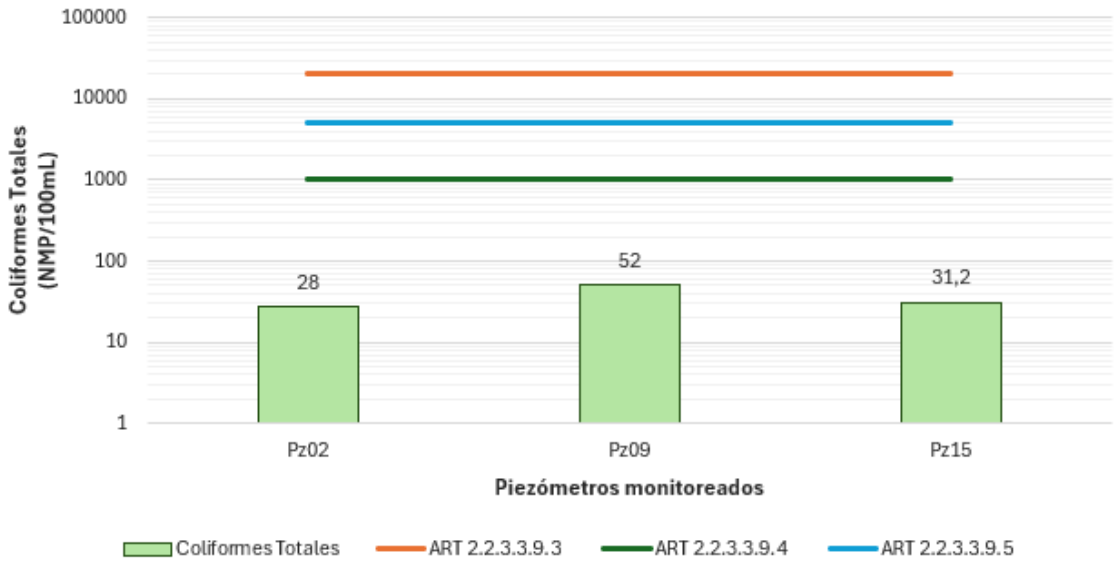


Figura 3-163 Concentraciones de coliformes totales en los piezómetros
Fuente: SGI S.A.S., 2025

En cuanto a los coliformes termotolerantes, las concentraciones fueron de 9,8 NMP/100 mL en el Pz02, 31,2 NMP/100 mL en el Pz09 (mayor valor registrado) y 18,7 NMP/100 mL en el Pz15 (Ver: **Figura 3-164**). Aunque la presencia de este grupo bacteriano indica contaminación de origen fecal y representa un riesgo mayor para la salud humana, los valores reportados se mantienen por debajo de los límites normativos: 2.000 NMP/100 mL (Artículo 2.2.3.3.9.3) y 1.000 NMP/100 mL (Artículo 2.2.3.3.9.5).Por otra parte, el Artículo 2.2.3.3.9.4 no especifica límites en cuánto a coliformes termotolerantes, pero si menciona un límite de 1000 NMP/100mL para los coliformes totales; por lo tanto, se asume que el contenido de coliformes termotolerantes también debería ser inferior a este valor, condición que cumplen todos los piezómetros monitoreados. Si bien, los piezómetros

presentan altas concentraciones de coliformes totales, el aporte de coliformes termotolerantes resulta relativamente bajo en proporción, lo que disminuye el impacto sobre la calidad del agua.

Aunque el Artículo 2.2.3.3.9.4 no establece un límite específico para coliformes termotolerantes, aunque fija un valor máximo de 1.000 NMP/100 mL para coliformes totales, condición que también cumplen todos los piezómetros.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede afirmar que las aguas captadas por los piezómetros monitoreados son aptas para consumo humano y para el desarrollo de actividades domésticas, agrícolas y pecuarias; pues, aunque presentan concentraciones de coliformes termotolerantes y no es lo más conveniente, estas están por debajo del límite máximo permisible presentado en los artículos mencionados anteriormente.

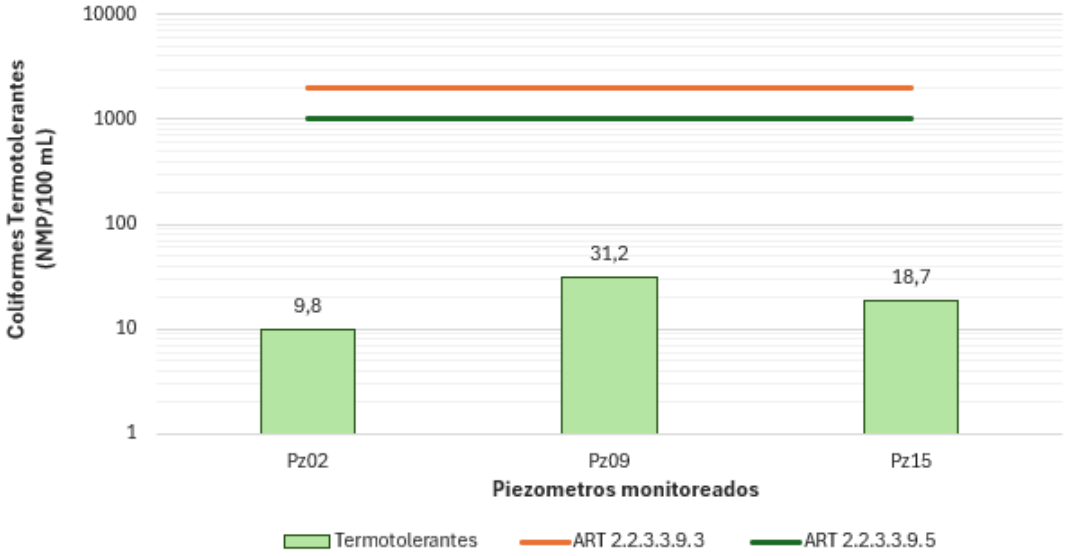


Figura 3-164 Concentraciones de coliformes termotolerantes en los piezómetros
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Dureza**

Las concentraciones de dureza total reportadas en los tres (3) piezómetros monitoreados (Pz02, Pz09 y Pz15) son inferiores al límite mínimo de cuantificación del laboratorio (<7 mg/L), lo cual indica la ausencia o bien, concentraciones inferiores a 7 mg/L de dureza en estas aguas, siendo esto óptimo para la calidad del agua y su destinación a los diferentes usos.

- **Huevos de Helmintos**

Para este parámetro, todos los piezómetros reportaron concentraciones indetectables por el método de análisis empleado por el laboratorio (<1 N° org/L), es decir, las muestras de agua no presentan huevos de Helmintos o su concentración es inferior a 1 N°org/L.

- **Magnesio**

Todos los piezómetros monitoreados reportaron concentraciones de magnesio inferiores al límite mínimo de cuantificación del laboratorio (<1 mg/L).

- **Compuestos nitrogenados**

La presencia de nitritos en el agua es un indicador de contaminación fecal reciente (Catalán, Oliver, & Alonso, 1971). Este compuesto es producto de la descomposición de materia orgánica en condiciones de baja oxigenación y en concentraciones elevadas representan un grave riesgo para la salud humana, ya que reaccionan dentro del organismo del ser humano con aminas y amidas secundarias y terciarias formando nitrosaminas de alto poder cancerígeno y tóxico (OMS, 2002). Entre las formas de nitrógeno, una de las de mayor interés en las aguas es el amoniacal, ya que es producto natural de la descomposición de los compuestos orgánicos nitrogenados. El amoniaco es uno de los componentes transitorios en el agua, ya que es parte del ciclo del nitrógeno y se ve influido por la actividad biológica.

De acuerdo con los resultados del monitoreo realizado en el marco del presente proyecto, los tres (3) piezómetros evaluados reportaron concentraciones de nitratos y nitritos por debajo del límite mínimo de detección del laboratorio, lo que indica que el nitrógeno en estas formas está ausente o presente en concentraciones tan bajas que no son detectables con el método analítico empleado. Este resultado es favorable para la calidad del agua, ya que la ausencia de estos compuestos refleja que no existe un aporte significativo de contaminación por fuentes de origen agrícola, doméstico o industrial.

En este sentido, las aguas de los piezómetros cumplen con los límites admisibles establecidos en los Artículos 2.2.3.3.9.3, 2.2.3.3.9.4 y 2.2.3.3.9.6 del Decreto 1076 de 2015, por lo que pueden considerarse aptas para consumo humano y para el desarrollo de actividades domésticas, agrícolas y pecuarias respecto a estos parámetros.

Sin embargo, se resalta la presencia de nitrógeno amoniacal, cuyos valores se reportaron por encima del límite de cuantificación del laboratorio, tal como se presenta en la **Figura 3-165**. Este hallazgo sugiere la existencia de procesos naturales de degradación de materia orgánica o posibles aportes antrópicos, que deben ser analizados con detalle para evaluar su origen y potencial efecto sobre la calidad del agua subterránea.

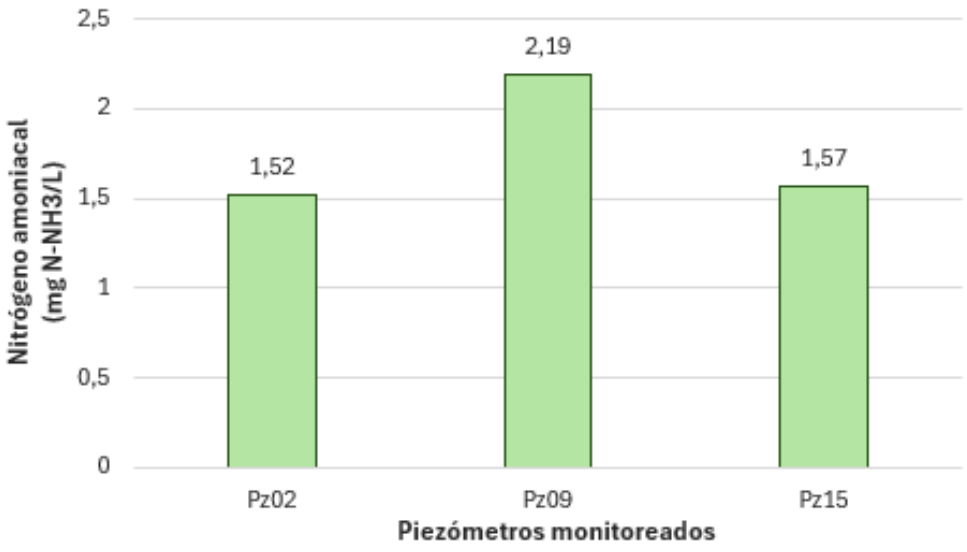


Figura 3-165 Concentración de nitrógeno amoniacal en los piezómetros
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Potasio**

Los piezómetros monitoreados presentaron concentraciones de potasio superiores al límite mínimo de detección del laboratorio (<1 mg/L), registrándose valores de 1,408 mg/L en el Pz02, 1,221 mg/L en el Pz09 y 1,411 mg/L en el Pz11 (Ver: **Figura 3-166**). La presencia de potasio en estas aguas subterráneas puede estar relacionada con el lixiviado de fertilizantes agrícolas aplicados en las zonas donde se localizan los piezómetros, lo cual sugiere una influencia antrópica asociada a las prácticas agropecuarias de la zona.

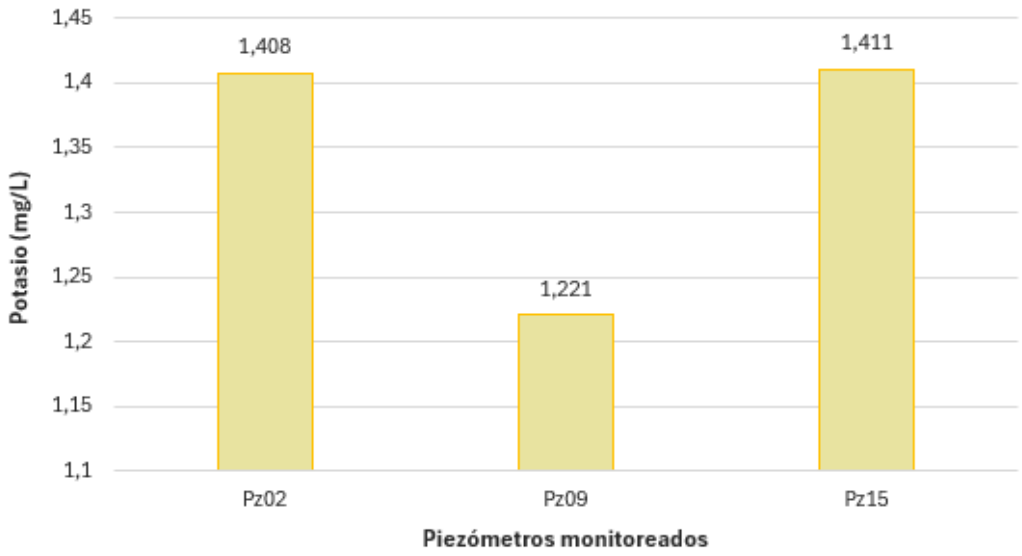


Figura 3-166 Comportamiento del potasio en los piezómetros
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Sodio**

Las muestras de agua subterránea recolectadas en los piezómetros presentaron concentraciones de sodio superiores al límite mínimo de cuantificación del laboratorio (<1 mg/L). Los valores obtenidos corresponden a 22,958 mg/L en el Pz02, 5,273 mg/L en el Pz09 y 7,591 mg/L en el Pz15 (Ver: **Figura 3-167**). El aporte de Sodio en estos piezómetros puede estar relacionado a la disolución de minerales sódicos presentes en los sedimentos que almacenan estas aguas o bien al lixiviado de fertilizantes agrícolas que contienen sodio en su composición.

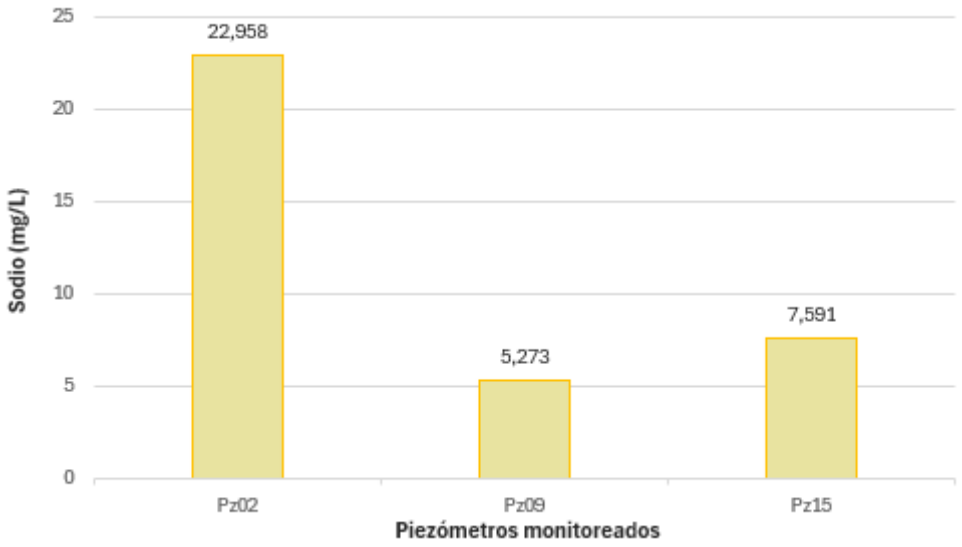


Figura 3-167 Comportamiento del sodio en los piezómetros
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Sólidos Disueltos Totales (TDS)**

En el caso de los Sólidos Disueltos Totales (TDS), los tres (3) piezómetros evaluados registran concentraciones por encima del límite mínimo de detección del laboratorio (10 mg/L). Los valores obtenidos corresponden a 84 mg/L en el Pz02, 33 mg/L en el Pz09 y 40 mg/L en el Pz15 (Ver: **Figura 3-168**). Cabe señalar que, para este parámetro, la normativa consultada no establece valores de límites específicos. Sin embargo, las concentraciones reportadas pueden considerarse bajas, lo que indica una baja mineralización del agua subterránea en los puntos evaluados y, por tanto, una condición favorable en términos de calidad del recurso hídrico.

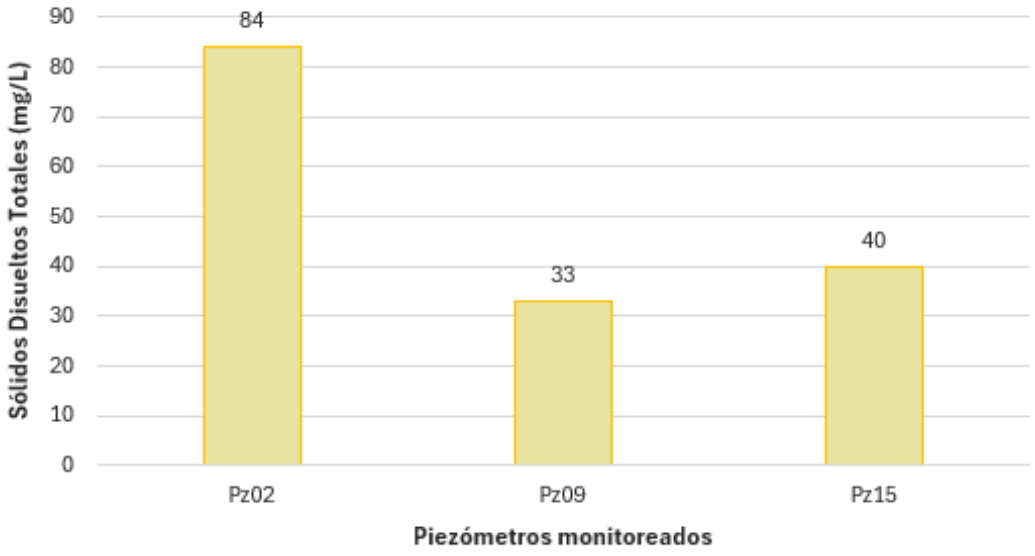


Figura 3-168 Comportamiento de los sólidos disueltos totales en los piezómetros
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Sólidos totales**

Respecto a los sólidos totales, los tres (3) piezómetros monitoreados presentan concentraciones superiores al límite mínimo de detección del laboratorio (<10 mg/L), con valores de 191 mg/L para el Pz02, 72 mg/L para el Pz09 y 44 mg/L para el Pz15 (Ver: **Figura 3-169**). Estos resultados permiten afirmar que la mayoría de los sólidos presentes en las muestras de agua corresponden a sólidos suspendidos, es decir, partículas que no se encuentran disueltas en el agua y permanecen en suspensión. Su origen puede estar asociado tanto a componentes orgánicos (como restos de vegetación o materia orgánica en descomposición) como a materiales inorgánicos (arena, arcilla o polvo).

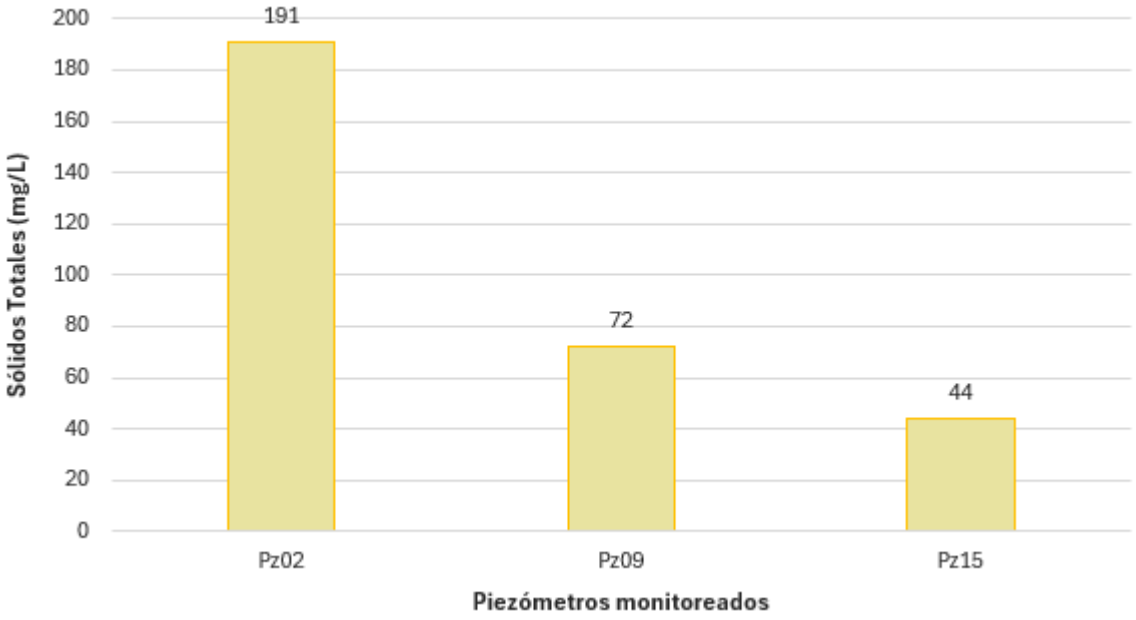


Figura 3-169 Comportamiento de los sólidos totales en los piezómetros
Fuente: SGI S.A.S., 2025

- **Sulfatos**

La mayoría de los piezómetros monitoreados presentan concentraciones de sulfatos inferiores al límite mínimo de detección del laboratorio (10 mg/L), a excepción del piezómetro Pz02 que reporto una concentración de 10,73 mg/L. De igual forma, todos los piezómetros cumplen con el límite admisible presentado en los Artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 del Dec 1076 de 2015, que corresponde a 400 mg/L para ambos artículos. Teniendo en cuenta lo anterior, se puede afirmar que las aguas subterráneas recolectadas en los piezómetros son aptas para consumo humano y para el desarrollo de actividades domésticas, agrícolas y pecuarias en relación con los sulfatos presentes en estas aguas.

- **Turbidez**

Los valores de turbidez en los piezómetros monitoreados varían entre 0,12 JTU en el Pz15 (valor mínimo) y 7,2 JTU en el Pz02 (valor máximo), mientras que en el Pz09 se registró un valor intermedio de 1,65 JTU. Todas estas concentraciones se encuentran por debajo del límite máximo admisible de

10 JTU, establecido en el Artículo 2.2.3.3.9.4. En este sentido, la calidad del agua subterránea evaluada en términos de turbidez puede considerarse adecuada para el consumo humano y para actividades domésticas, agrícolas y pecuarias, al no representar restricciones significativas para dichos usos.

- **Metales**

En relación con los metales analizados, Arsénico, Bario, Cadmio, Cromo, Hierro, Plomo, Selenio y Zinc, todas las muestras de agua recolectadas en los piezómetros presentaron concentraciones inferiores a los límites máximos permisibles establecidos en el Decreto 1076 de 2015. En particular, los valores obtenidos cumplen con lo dispuesto en los Artículos: 2.2.3.3.9.3, 2.2.3.3.9.4, 2.2.3.3.9.5 y 2.2.3.3.9.6 para Arsénico, Cadmio, Cromo, Plomo y Zinc; Artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 para Bario; Artículo 2.2.3.3.9.5 para Hierro; y Artículos 2.2.3.3.9.3, 2.2.3.3.9.4 y 2.2.3.3.9.5 para Selenio.

Estos resultados indican que el agua de los piezómetros no presenta riesgos asociados a la presencia de metales pesados, lo que refleja una adecuada calidad química y descarta posibles afectaciones por procesos de contaminación antrópica, por lo que son aptas para consumo humano y doméstico, así como para actividades agrícolas y pecuarias.

Adicionalmente, se evaluaron otros metales no regulados explícitamente en el Decreto 1076 de 2015, tales como Cobalto, Litio, Manganeso, Molibdeno y Níquel. En el caso de Cobalto y Litio, todas las muestras presentaron concentraciones por debajo del límite de cuantificación del laboratorio (0,05 mg/L). Un comportamiento similar se observó para el Molibdeno, cuyo límite de cuantificación corresponde a 0,01 mg/L.

Por otra parte, tanto el Manganeso como el Níquel mostraron concentraciones por encima del límite de cuantificación, evidenciando su presencia en el agua subterránea de la zona de estudio. Estos resultados sugieren que la composición hidroquímica de los piezómetros está influenciada por la geología local y los procesos de disolución natural de minerales, lo que explica la incorporación de estos elementos al sistema acuífero, sin que ello implique necesariamente un riesgo para los usos identificados.

3.2.7.14.3 Parámetros In Situ

En el marco del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) para el Área de Desarrollo Bucare, se llevó a cabo la recolección de muestras de agua subterránea in situ en los diferentes puntos visitados dentro del área de influencia. Durante esta actividad, se midieron parámetros fisicoquímicos directamente en campo, tales como pH, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales (TDS) y potencial de óxido-reducción (ORP).

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los parámetros medidos en los distintos puntos de muestreo. En la Tabla 3-78 se detalla la información correspondiente a los aljibes (ID, coordenadas, registro fotográfico y observaciones relevantes sobre su condición). La Tabla 3.23 incluye los datos de los manantiales, la Tabla 3.24 los de los pozos, y la Tabla 3.25 los de los piezómetros.

3.2.7.14.3.1 Aljibes

En el marco del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare se recolectaron muestras de agua subterránea en los aljibes ubicados en el área de influencia. En la Tabla 3-78 se presenta el ID de los aljibes, coordenadas, registro fotográfico y unas observaciones relevantes respecto a la condición de estos puntos, las cuales son clave para analizar los resultados del laboratorio y definir la calidad de agua de estos aljibes.

Tabla 3-78 Parámetros in situ en aljibes

ID	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		PARÁMETROS IN SITU					
	ESTE (m)	NORTE (m)	pH	T°	OD	CE	ORP	TDS
AL01	4944304,47	1997001,75	-	-	-	-	-	-
AL02	4943866,48	1999548,99	-	-	-	-	-	-
AL03	4943951,42	1998504,32	5,26	27,85	3,45	63	222,8	32
AL04	4944020,21	1997946,96	5,2	27,59	2,59	49	97,1	25
AL05	4944037,42	1997429,55	6,38	28,38	5,89	35	195,8	18
AL06	4945568,64	1997300,67	5,06	27,28	4,35	74	292,5	37
AL07	4928251,43	1996252,24	5,04	26,67	2,85	22	304,2	11
AL08	4926601,39	1996925,84	4,9	29,43	4,18	23	318,5	12
AL09	4946607,88	1997371,03	4,83	28,64	4,23	56	325,1	28
AL10	4946496,93	1997347,32	4,56	29,36	2,79	59	353,1	30
AL11	4945695,67	1994486,26	5,23	29,49	2,3	188	281,3	94
AL12	4944393,37	1995665,60	5,3	29	2,06	45	255,4	23
AL13	4943722,01	1995457,27	4,67	28,83	3,81	29	350,1	15
AL14	4943929,80	1995556,33	5,14	27,97	2,68	29	276,1	15
AL15	4943636,45	1995485,36	4,67	27,55	4,76	25	322,6	12
AL16	4943741,30	1995562,41	5,64	28,49	1,43	42	105,2	21
AL17	4943905,29	1995593,24	-	-	-	-	-	-
AL18	4926959,72	1996613,88	-	-	-	-	-	-
AL19	4942744,58	1995938,07	4,7	26,22	4,63	20	357	10
AL20	4942880,51	1996073,89	4,75	26,82	4,65	14	336,9	7
AL21	4942163,52	1996553,05	4,53	26,82	4,42	15	390	7

ID	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		PARÁMETROS IN SITU					
	ESTE (m)	NORTE (m)	pH	T°	OD	CE	ORP	TDS
AL22	4942290,13	1997029,23	-	-	-	-	-	-
AL23	4939657,76	1998169,06	4,72	29,54	3,63	14	349,6	7
AL24	4939243,69	1998432,34	5,24	29,13	2,2	16	213,5	8
AL25	4939866,59	1998067,44	4,84	27,97	3,18	27	309,1	14
AL26	4938904,29	1998570,25	4,74	27,36	3,54	18	343,7	9
AL27	4935793,81	1999715,04	5,87	27,39	2,77	200	220,5	100
AL28	4936008,06	1999314,83	4,61	30,02	3,97	50	220,5	25
AL29	4935179,20	1999517,46	5,23	27,87	2,42	24	191,2	12
AL30	4932095,55	1999960,71	4,26	25,95	4,36	74	397,9	37
AL31	4935766,40	1999419,67	-	-	-	-	-	-
AL32	4935457,14	1999452,35	-	-	-	-	-	-
AL33	4934978,70	1999255,84	5,35	24,41	3,57	19	306,9	10
AL34	4945028,46	1996358,51	4,98	27,11	4,1	31	319,9	15
AL35	4939445,20	1998163,07	4,51	29,1	5,03	19	356,9	10
AL36	4934762,34	1999264,19	4,91	28,3	5,29	24	291,9	12
AL37	4934572,77	1998390,96	4,85	28,28	5,58	15	368,1	7
AL38	4934411,75	1997976,63	4,6	28,09	7,84	19	391,9	9
AL39	4934718,09	1998941,77	4,61	27,43	4,19	17	376,8	9
AL40	4928322,52	2000638,28	4,73	27,34	5,05	19	347,4	9
AL41	4939234,30	1988356,00	4,55	30,11	4,13	18	349	9
AL42	4939112,75	1988707,59	4,48	29,76	4,01	17	362,8	8
AL43	4936553,59	1990763,25	-	-	-	-	-	-
AL44	4938888,23	1989401,22	5,51	28,78	2,14	44	18,9	22
AL45	4940163,24	1989541,14	4,59	27,32	2,8	17	353,6	9
AL46	4939024,91	1989251,88	4,41	29,39	3,69	22	378,7	11
AL47	4943950,05	1995477,04	5,14	28,61	3,24	53	268,5	26
AL48	4937128,90	1987839,89	5,57	27,36	2,62	40	130,6	20
AL49	4937797,82	1995089,95	4,42	26,84	2,42	23	362,2	11
AL50	4934919,10	1995540,33	4,49	27,49	1,8	27	358,8	14
AL51	4934813,32	1995516,97	4,26	27,45	1,62	37	384,8	18
AL52	4934838,42	1995517,48	4,28	27,25	1,3	33	395,8	16
AL53	4935695,66	1995189,66	4,56	26,4	1,81	19	390,5	9
AL54	4934685,94	1995474,15	4,29	26,55	1,94	36	411,4	18
AL55	4934312,76	1995435,30	4,28	27,39	2,9	43	340,9	22
AL56	4934358,26	1995823,47	-	-	-	-	-	-
AL57	4933901,52	1995260,92	4,23	26,58	3,58	40	378,9	20
AL58	4934033,88	1995099,88	5,59	25,9	0,59	128	63,9	64

ID	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		PARÁMETROS IN SITU					
	ESTE (m)	NORTE (m)	pH	T°	OD	CE	ORP	TDS
AL59	4934260,98	1995402,88	4,22	27,19	3,03	41	401,8	21
AL60	4925366,97	1997584,05	4,65	25,94	2,88	26	404	13
AL61	4924398,76	1997961,35	4,88	25,19	1,93	23	399,6	11
AL62	4935789,26	1988456,61	4,48	27,1	3,77	26	438,6	13
AL63	4936101,36	1995026,06	4,56	26,47	1,85	19	443,6	10
AL64	4927323,76	2000208,61	6,2	28,15	1,08	162	132,3	81
AL65	4927290,35	2000160,74	5,02	26,57	0,39	15	326,2	8
AL66	4926160,22	1999143,59	-	-	-	-	-	-
AL67	4926114,50	1999113,08	4,66	26,61	2,95	18	431	9
AL68	4925937,18	1999066,41	4,72	26,59	2,34	16	407,4	8
AL69	4925856,64	1999038,25	4,89	25,83	2,3	22	425,2	11
AL70	4942687,82	1988483,86	4,85	27,64	2,02	39	387,9	20
AL71	4940825,21	1986662,57	4,67	27,57	2,97	22	333,6	11
AL72	4935710,08	1988518,35	4,77	27,58	2,96	34	392,4	17
AL73	4933551,00	1989158,18	4,55	28	3,19	22	431,4	11
AL74	4933284,69	1989212,81	-	-	-	-	-	-
AL75	4942804,77	1996193,84	4,66	26,06	2,26	16	404,3	8
AL76	4941208,02	1996638,37	5,44	27,29	0,58	37	298,1	18
AL77	4941872,92	1996217,46	-	-	-	-	-	-
AL78	4937355,73	1999071,99	4,64	26,7	2,03	21	401,1	10
AL79	4933436,32	1991061,01	5,1	27,55	2,42	14	319,9	7
AL80	4931694,18	1985617,83	5,47	27,03	0,92	68	266,6	34
AL81	4931674,15	1985622,87	5,1	27,18	0,81	40	310,6	20
AL82	4931676,36	1985657,70	5,25	27,2	1,45	23	308,9	11
AL83	4931661,71	1985702,35	-	-	-	-	-	-
AL84	4931663,34	1985731,80	-	-	-	-	-	-
AL85	4931647,09	1985726,30	5	27,47	0,97	23	374	12
AL86	4932386,83	1985171,14	4,68	26,48	2,72	27	333,5	14
AL87	4938410,90	1986864,25	4,42	28,53	2,97	21	404,7	11
AL88	4939011,66	1988838,49	-	-	-	-	-	-
AL89	4940555,37	1996903,66	5,4	26,9	1,45	47	282,6	24
AL90	4939181,33	1988460,61	-	-	-	-	-	-
AL91	4939148,59	1988547,73	-	-	-	-	-	-
AL92	4939179,17	1988590,24	-	-	-	-	-	-
AL93	4939205,16	1988605,72	4,77	26,89	3,7	23	367,7	11
AL94	4939129,90	1988604,85	4,4	27,42	4,03	26	418,3	13
AL95	4939113,29	1988777,18	4,42	27,16	3,78	24	430,7	12

ID	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		PARÁMETROS IN SITU					
	ESTE (m)	NORTE (m)	pH	T°	OD	CE	ORP	TDS
AL96	4939090,47	1988795,93	-	-	-	-	-	-
AL97	4939077,13	1988832,62	4,46	27,92	3,09	20	425,4	10

- No se pudo medir.

Fuente: SGI S.A.S., 2025.

Los resultados obtenidos en los noventa y siete (97) aljibes monitoreados se compararon respecto a los límites según el uso del agua establecidos en los Artículos 2.2.3.3.9.3 (Consumo humano y doméstico – tratamiento convencional), Articulo 2.2.3.3.9.4 (Consumo humano y doméstico – desinfección), Artículo 2.2.3.3.9.5 (Uso Agrícola) y 2.2.3.3.9.6 (Uso Pecuario) del Decreto Único Reglamentario (DUR) 1076 de 2015, que especifica los límites normativos del agua según sus usos.

De acuerdo con lo anterior, se realizó un análisis para cada uno de los parámetros monitoreados, con el fin de establecer la calidad del agua de los aljibes y establecer su potencial destinación para los diferentes usos:

- **pH**

En los aljibes, las concentraciones de pH presentaron una variabilidad que osciló entre 4,22 unidades de pH y 6,38 unidades de pH. El valor mínimo fue registrado en el aljibe AL59, lo cual indica condiciones ácidas que podrían estar asociadas a procesos naturales como la descomposición de materia orgánica o la presencia de suelos con alta acidez. Por otro lado, el valor máximo se reportó en el aljibe AL05, mostrando un agua ligeramente ácida, aunque más cercana a la neutralidad.

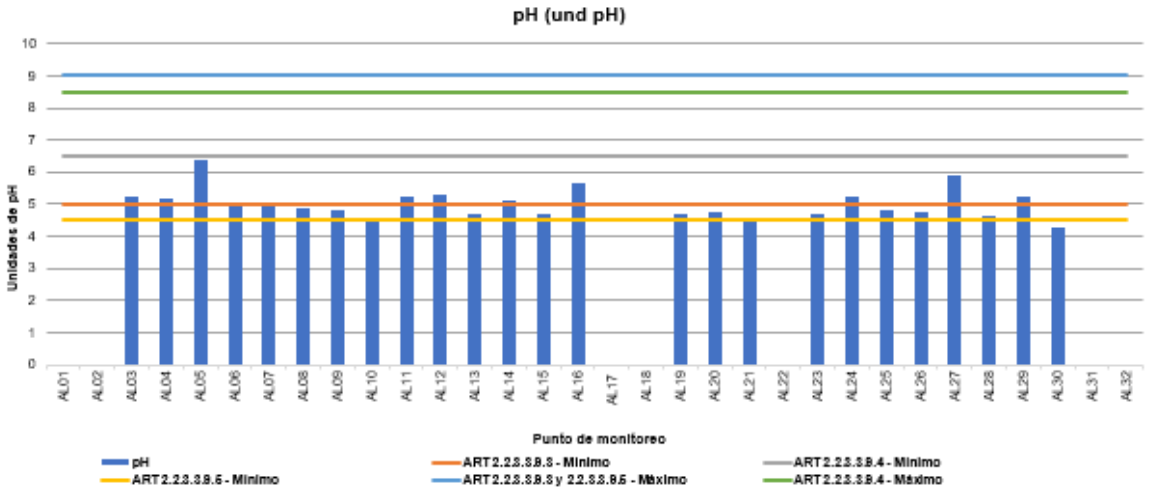
En este tipo de punto hidrogeológico, los valores de pH reportados evidencian que dieciséis (16) de los aljibes presentan un pH inferior al límite mínimo permisible establecido en el Artículo 2.2.3.3.9.5 del Dec. 1076 de 2015, que corresponde a 4,5 unidades de pH Este resultado indica que una proporción significativa de los aljibes evaluados contiene aguas con características marcadamente ácidas, lo cual puede tener efectos negativos tanto en la calidad del recurso como en su idoneidad para ciertos usos, especialmente el consumo humano o el uso agrícola, sin tratamiento previo. La acidez observada podría estar relacionada con condiciones naturales del entorno o con procesos antrópicos que influyen en la composición química del agua subterránea. Es importante considerar que niveles de pH por debajo del umbral normativo pueden favorecer la disolución de metales pesados y otros compuestos, aumentando el riesgo de contaminación y afectando la potabilidad del agua.

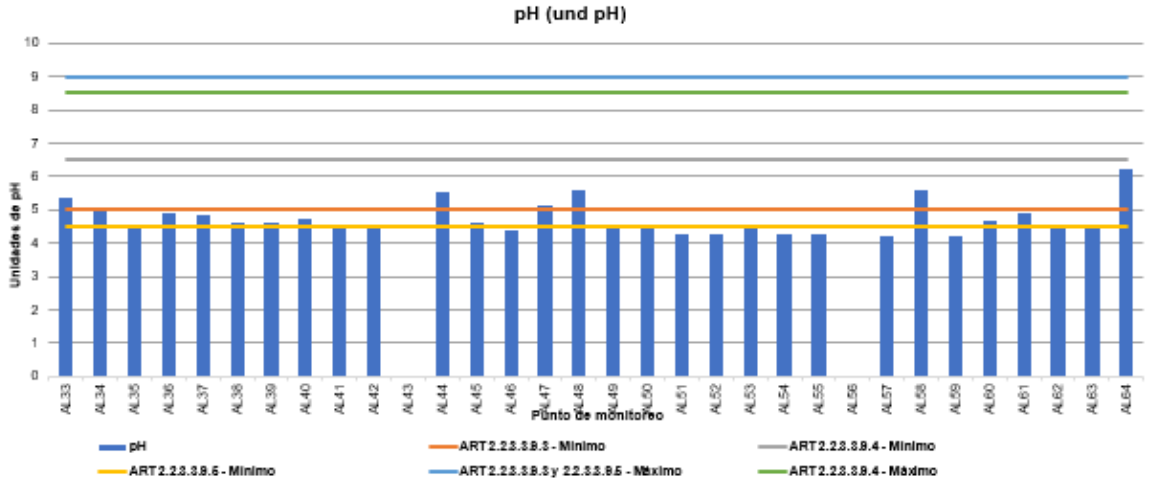
Con respecto a lo establecido en el Artículo 2.2.3.3.9.3 del Decreto 1076 de 2015, el cual define que el agua puede ser apta para consumo humano y doméstico si se somete a tratamiento convencional y si presenta valores de pH dentro del rango de 5,0 a 9,0 unidades, se identificó que veintiséis (26) de los aljibes cumplen con este criterio. Este resultado indica que, aunque las aguas extraídas de estos aljibes no se encuentran dentro del rango ideal de potabilidad sin tratamiento, sí podrían ser utilizadas para consumo humano siempre que se les apliquen procesos de tratamiento convencionales (como coagulación, filtración y desinfección), lo cual resulta viable desde un punto de vista técnico y normativo.

Adicionalmente, en lo que concierne al Artículo 2.2.3.3.9.4 del Dec. 1076 de 2015, el cual establece los límites para que el agua pueda ser apta para consumo humano y doméstico con previa desinfección y cuyos límites varían de 6,5 a 8,5 unidades de pH, se evidencia que todas las muestras de agua subterránea recolectadas en los aljibes presentan valores de pH inferiores al límite mínimo permisible, por lo que no se recomienda que estas aguas sean empleadas para consumo humano y doméstico si para su potabilización únicamente se realiza una desinfección básica.

Finalmente, en el Artículo 2.2.3.3.9.6 del Dec. 1076 de 2015 no se establecen límites en cuanto al valor de pH, ya que es más flexible al tratarse del uso del agua para actividades pecuarias.

Es importante señalar que en algunos aljibes no fue posible realizar la medición de pH debido a restricciones de acceso. En ciertos casos, los aljibes se encontraban sellados, mientras que en otros no fue posible remover las tapas de acceso, impidiendo así la recolección de muestras o la inserción de equipos de medición. Estas limitaciones deben tenerse en cuenta en la interpretación general de los resultados, ya que podrían representar una fuente adicional de incertidumbre en el análisis global de la calidad del agua subterránea en el área de estudio.





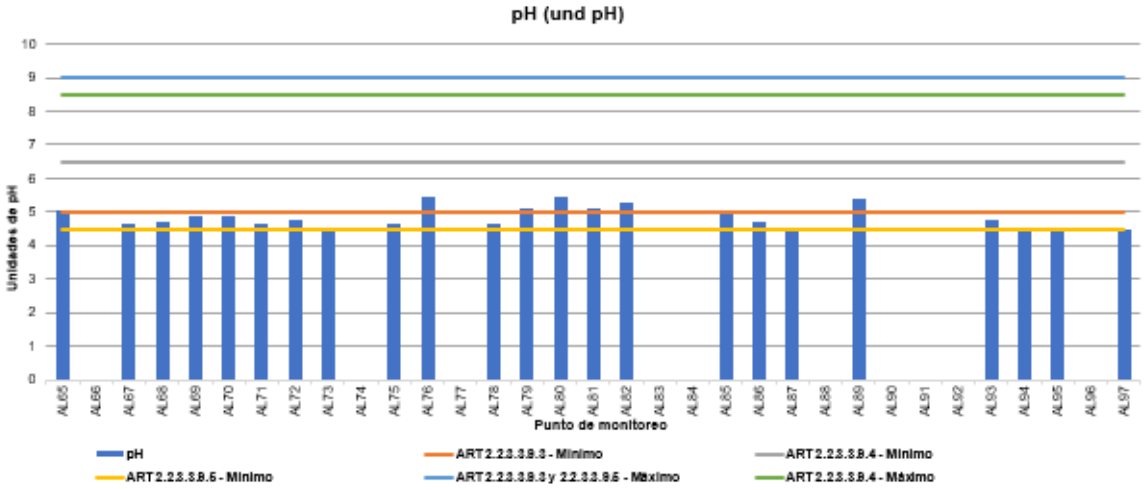
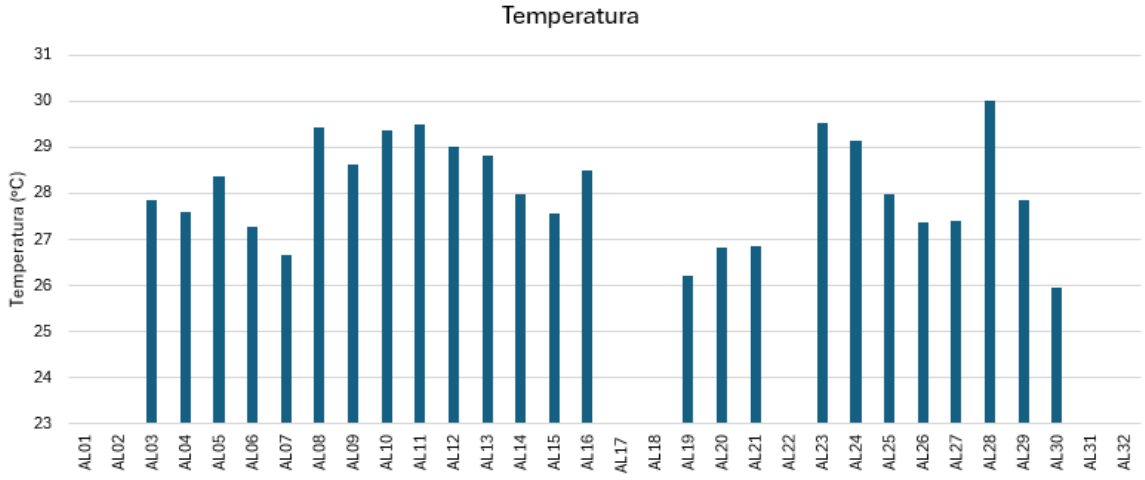


Figura 3-170 Comportamiento de pH en los aljibes
Fuente: SGI S.A.S, 2025

- **Temperatura**

Los valores de temperatura reportados en los 97 aljibes evidencian que el aljibe AL33 presentó la temperatura más baja con 24,41 °C, mientras que la temperatura más alta fue registrada en el aljibe AL41 con un valor de 30,22 °C (Ver: **Figura 3-171**). Estos valores de temperatura están entre los rangos esperados, teniendo en cuenta las condiciones naturales del área de estudio; además, se evidencia que la variación de temperatura es mínima entre los diferentes aljibes y puede estar asociada a la ubicación del punto, hora y condiciones climáticas en las que fueron recolectadas las muestras de agua.



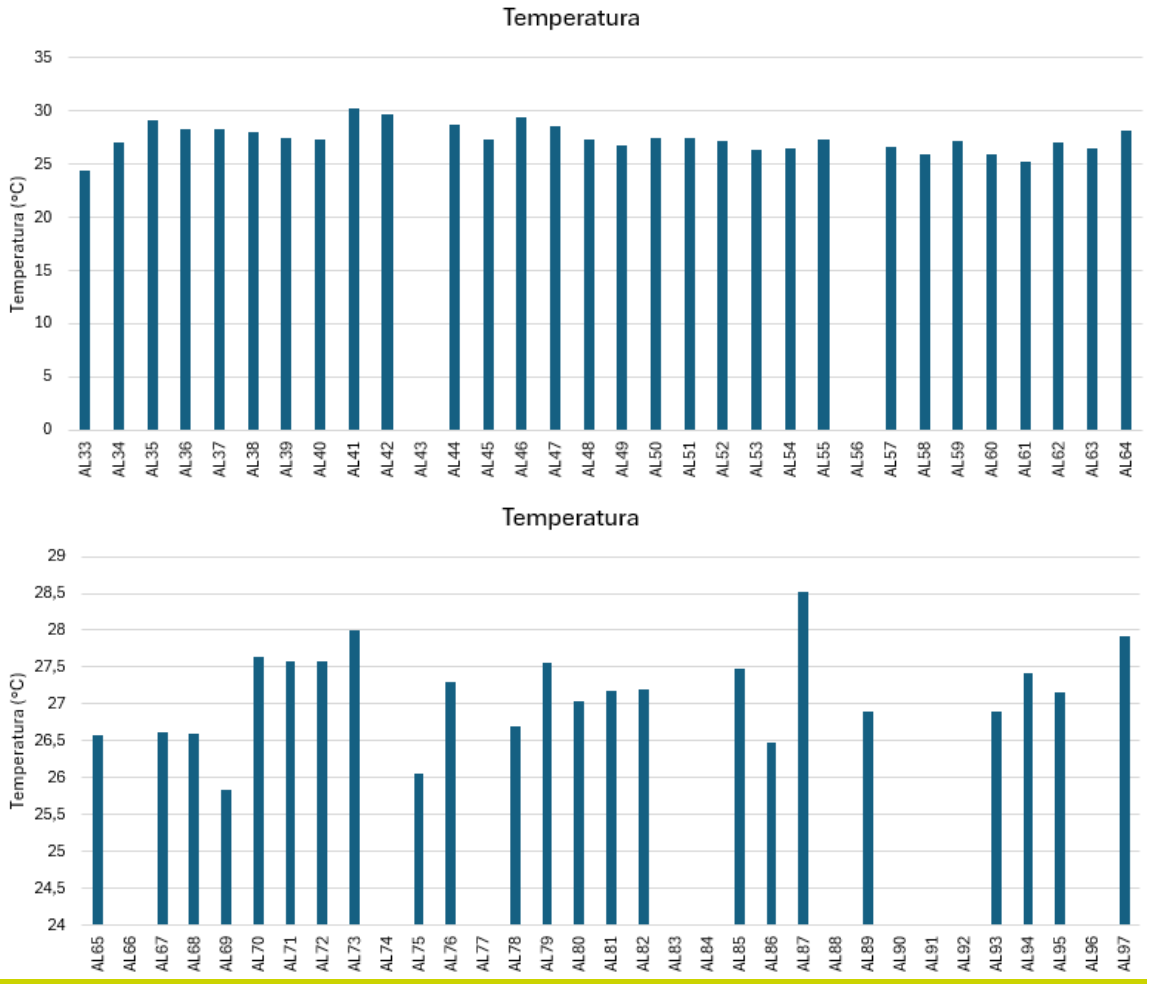
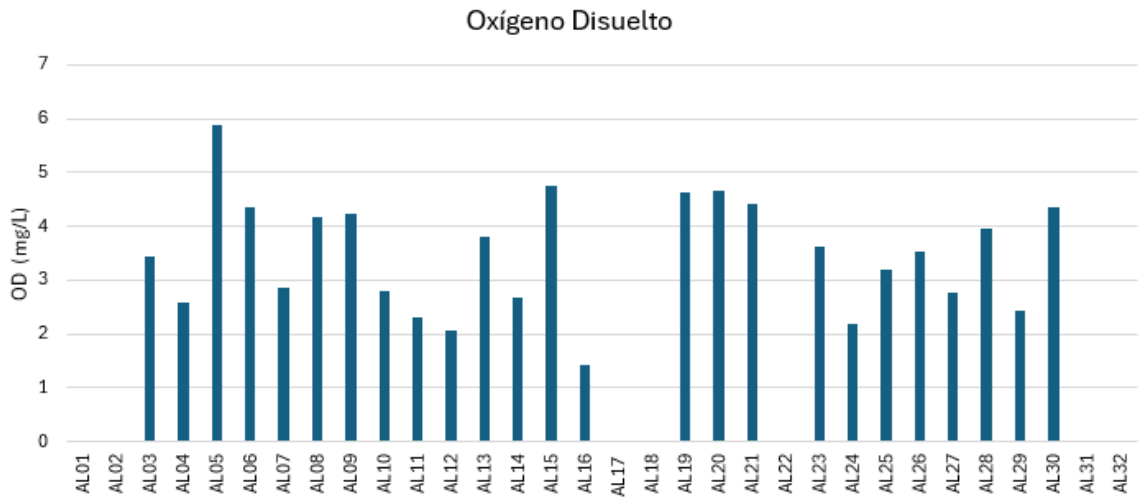


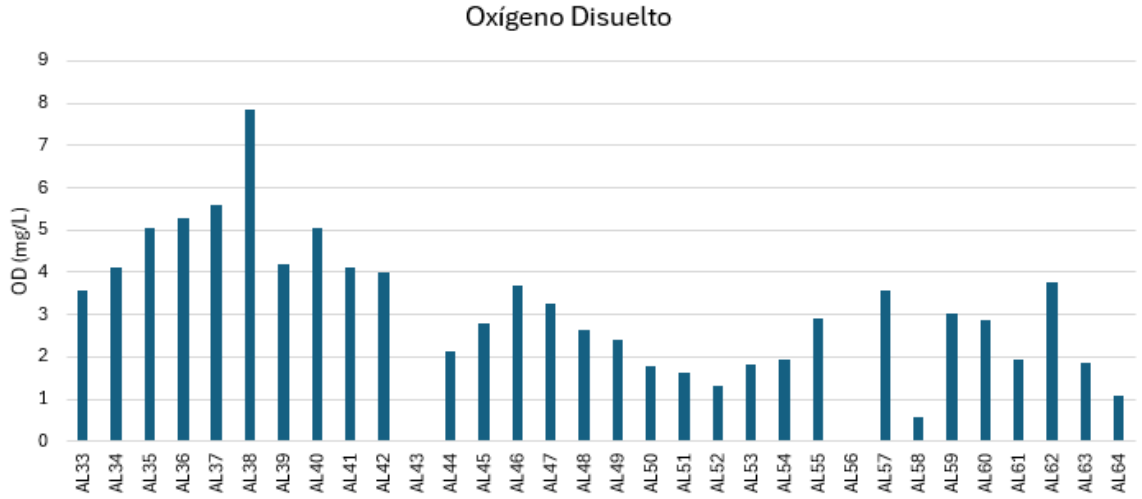
Figura 3-171 Comportamiento de la temperatura en los aljibes
Fuente: SGI S.A.S, 2025

- **Oxígeno Disuelto**

Los noventa y siete (97) aljibes presentan concentraciones de oxígeno disuelto que oscilan entre 0,39 mg/L, valor menor registrado en el aljibe AL65 y 7,84 mg/L concentración más alta reportada en el aljibe AL38 (Ver: **Figura 3-172**).

Este rango de variabilidad refleja diferencias significativas en la oxigenación del agua subterránea, lo cual puede estar influenciado por factores como la profundidad del aljibe, el tiempo de renovación del agua, el grado de confinamiento del acuífero, la presencia de materia orgánica y las condiciones redox locales. Valores bajos de OD, como los observados en algunos aljibes, pueden estar asociados a ambientes reductores donde ocurre una descomposición activa de materia orgánica o a una escasa recarga del acuífero. Por el contrario, los valores altos pueden indicar una mayor interacción con el oxígeno atmosférico, especialmente en aljibes someros o de uso frecuente, donde el agua es renovada con mayor regularidad.


Oxígeno Disuelto
OD (mg/L)
0
1
2
3
4
5
6
7
AL01 AL02 AL03 AL04 AL05 AL06 AL07 AL08 AL09 AL10 AL11 AL12 AL13 AL14 AL15 AL16 AL17 AL18 AL19 AL20 AL21 AL22 AL23 AL24 AL25 AL26 AL27 AL28 AL29 AL30 AL31 AL32


Oxígeno Disuelto
OD (mg/L)
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
AL33 AL34 AL35 AL36 AL37 AL38 AL39 AL40 AL41 AL42 AL43 AL44 AL45 AL46 AL47 AL48 AL49 AL50 AL51 AL52 AL53 AL54 AL55 AL56 AL57 AL58 AL59 AL60 AL61 AL62 AL63 AL64

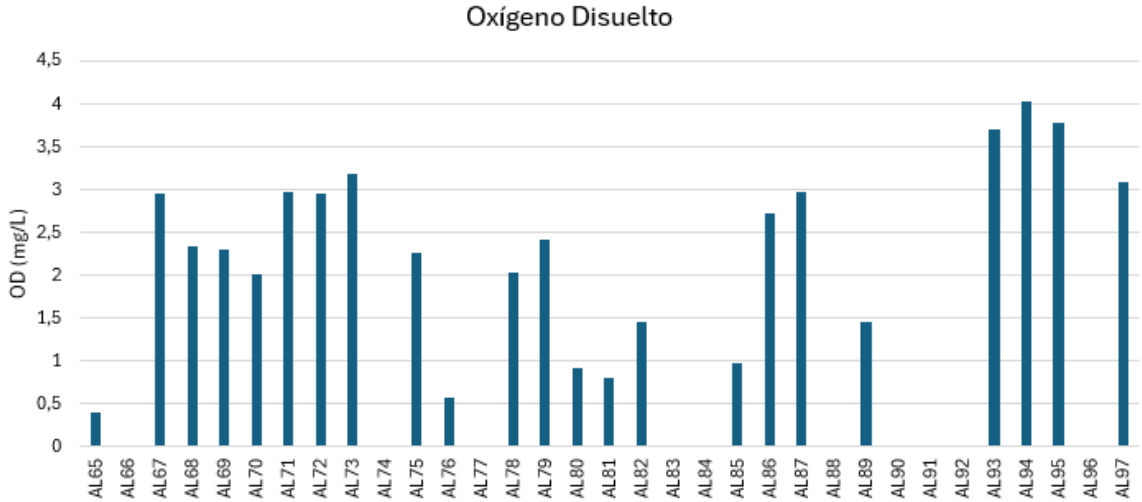

Oxígeno Disuelto
OD (mg/L)
0
0,5
1
1,5
2
2,5
3
3,5
4
4,5
AL65 AL66 AL67 AL68 AL69 AL70 AL71 AL72 AL73 AL74 AL75 AL76 AL77 AL78 AL79 AL80 AL81 AL82 AL83 AL84 AL85 AL86 AL87 AL88 AL89 AL90 AL91 AL92 AL93 AL94 AL95 AL96 AL97

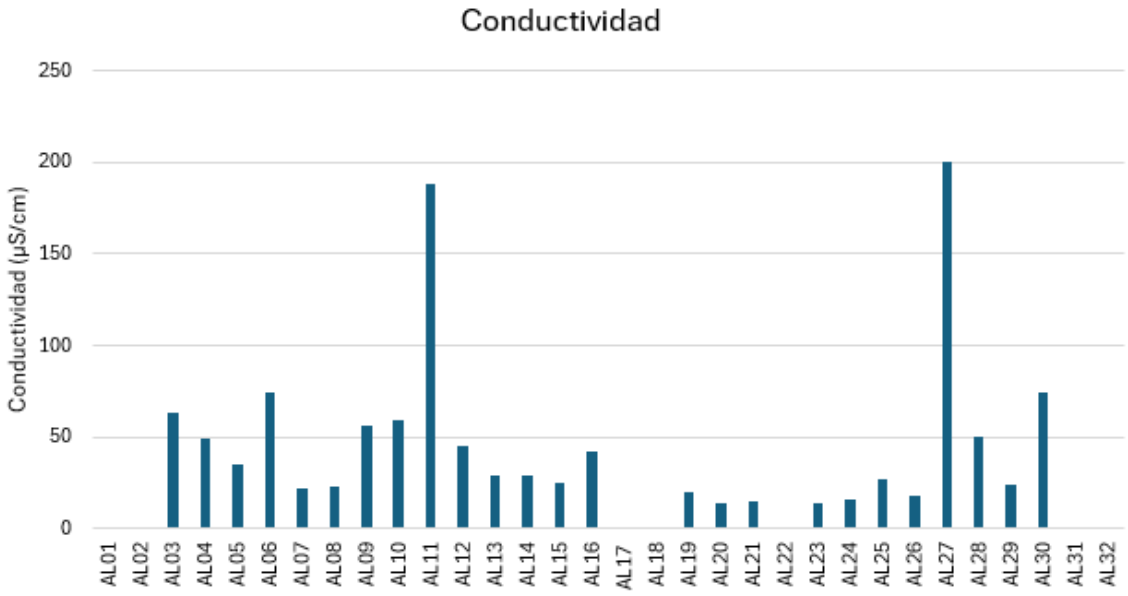
Figura 3-172 Comportamiento del oxígeno disuelto en aljibes
Fuente: SGI S.A.S, 2025

- **Conductividad eléctrica**

La mayoría de los valores de conductividad eléctrica (CE) reportados en los aljibes monitoreados oscila entre 14 y 200 µS/cm, reflejando un rango relativamente amplio de variabilidad en la mineralización del agua subterránea.

La conductividad eléctrica es un parámetro que indica la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, y está directamente relacionada con la concentración de sales disueltas, tales como cloruros, sulfatos, bicarbonatos, sodio, calcio y magnesio. Valores bajos de CE, como los cercanos a 14 µS/cm, sugieren aguas con muy baja mineralización, posiblemente asociadas a procesos de recarga reciente, baja interacción con el medio geológico o presencia de acuíferos poco consolidados. Por otro lado, valores cercanos a 200 µS/cm, aunque aún considerados bajos dentro de estándares de calidad para agua subterránea, indican una mayor presencia de solutos y una interacción más prolongada con las rocas del acuífero.

Este amplio rango observado sugiere heterogeneidad en las características hidroquímicas del sistema acuífero, influenciado posiblemente por factores locales como la litología, el tiempo de residencia del agua, la profundidad de los aljibes y la influencia de procesos antrópicos o naturales que afectan la calidad del recurso. En general, los valores encontrados son característicos de aguas dulces, y en su mayoría se mantienen dentro de los límites aceptables para distintos usos, incluyendo el consumo humano, riego y uso doméstico.



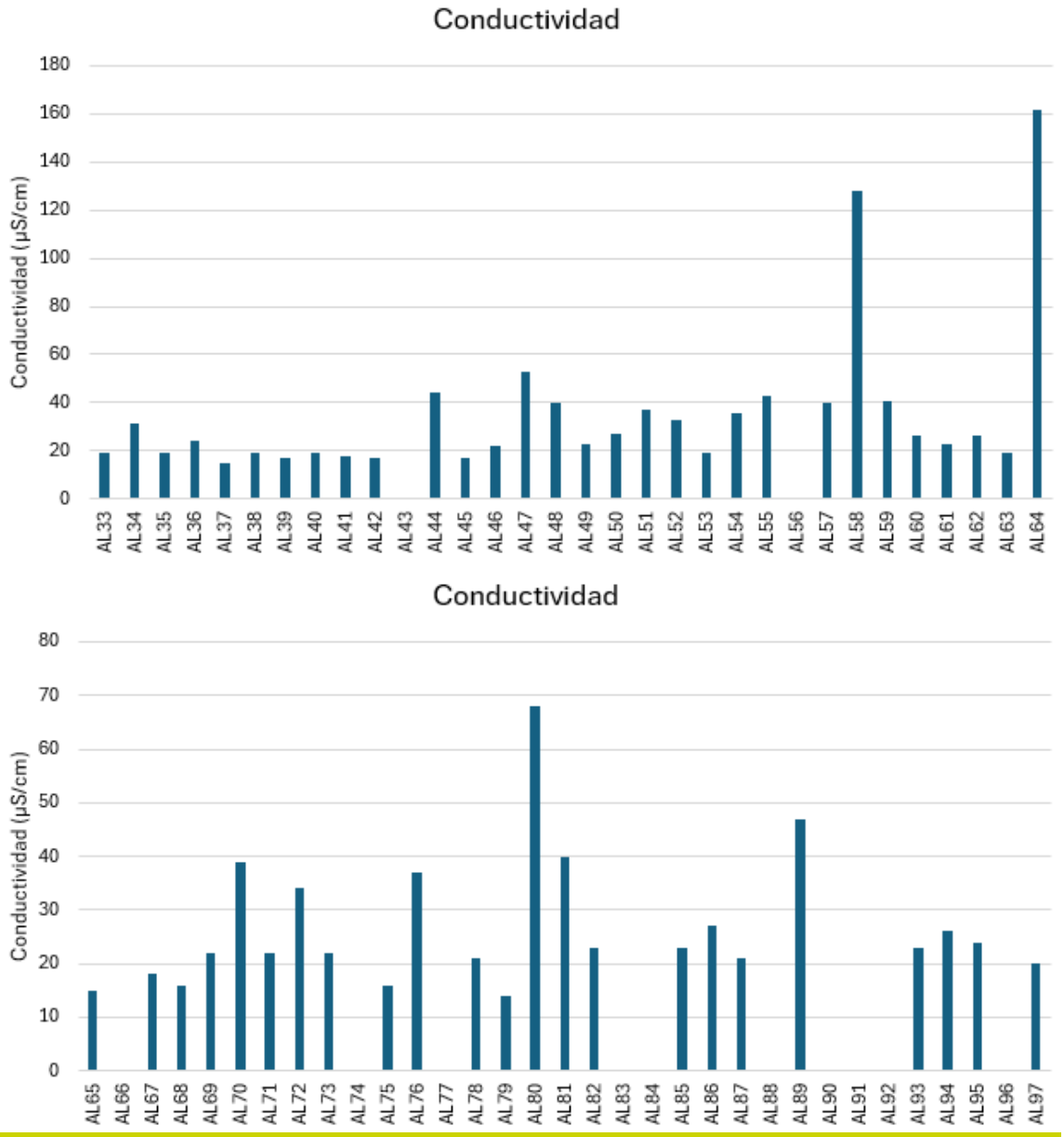


Figura 3-173 Comportamiento de la conductividad en aljibes
Fuente: SGI S.A.S, 2025

- **Potencial Oxido-Reducción**

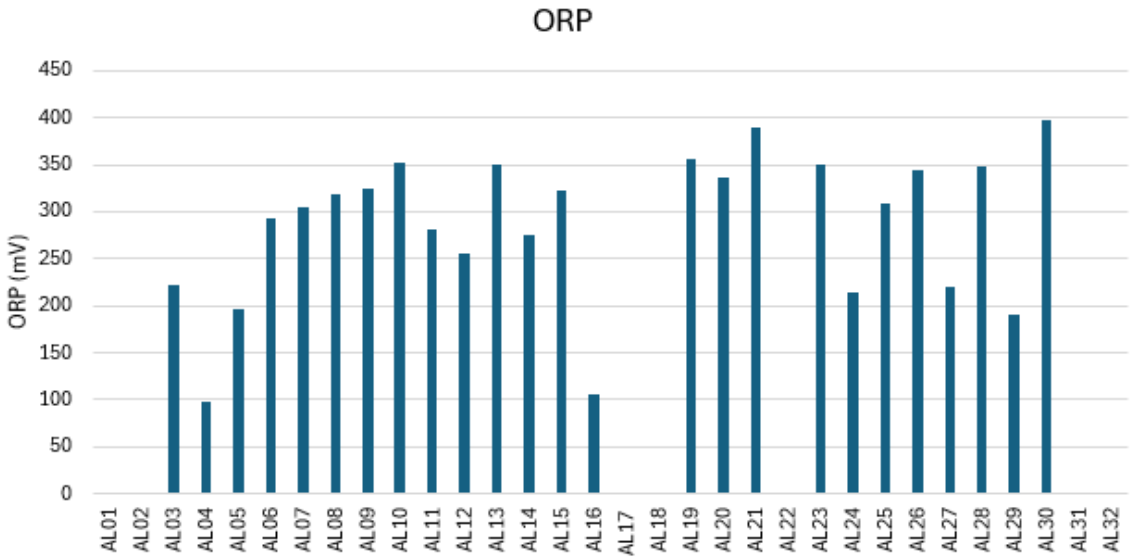
Los valores del potencial de óxido-reducción (ORP) reportados en los aljibes monitoreados se encuentran en un rango que va desde 18,9 mV hasta 443,6 mV, lo que refleja una variabilidad significativa en las condiciones redox del agua subterránea.

El ORP es un parámetro que indica la capacidad del agua para actuar como agente oxidante o reductor, y se relaciona directamente con la presencia de especies químicas en diferentes estados de oxidación. Valores bajos, como los cercanos a 18,9 mV, indican condiciones reductoras en el

medio subterráneo, donde es probable la presencia de compuestos en estados reducidos (por ejemplo, hierro ferroso, manganeso disuelto o compuestos de azufre), típicos de ambientes con bajo contenido de oxígeno disuelto. Por el contrario, valores altos, como los que superan los 400 mV, reflejan condiciones oxidantes, asociadas a la presencia de oxígeno libre o nitratos, lo cual puede ser indicativo de una recarga reciente o de una mayor conexión con la atmósfera.

Esta variabilidad sugiere que los aljibes evaluados presentan diferencias importantes en cuanto a los procesos geoquímicos dominantes, lo cual puede influir en la movilidad y transformación de ciertos contaminantes o elementos traza. Las condiciones redox también son relevantes para evaluar la calidad del agua subterránea, ya que bajo ambientes reductores pueden liberarse elementos como hierro, manganeso, arsénico o compuestos orgánicos persistentes.

Es importante destacar que la interpretación del ORP debe realizarse en conjunto con otros parámetros como el oxígeno disuelto, el pH, y la conductividad eléctrica, ya que estos proporcionan un panorama más completo sobre el estado hidrogeoquímico del acuífero y su evolución.



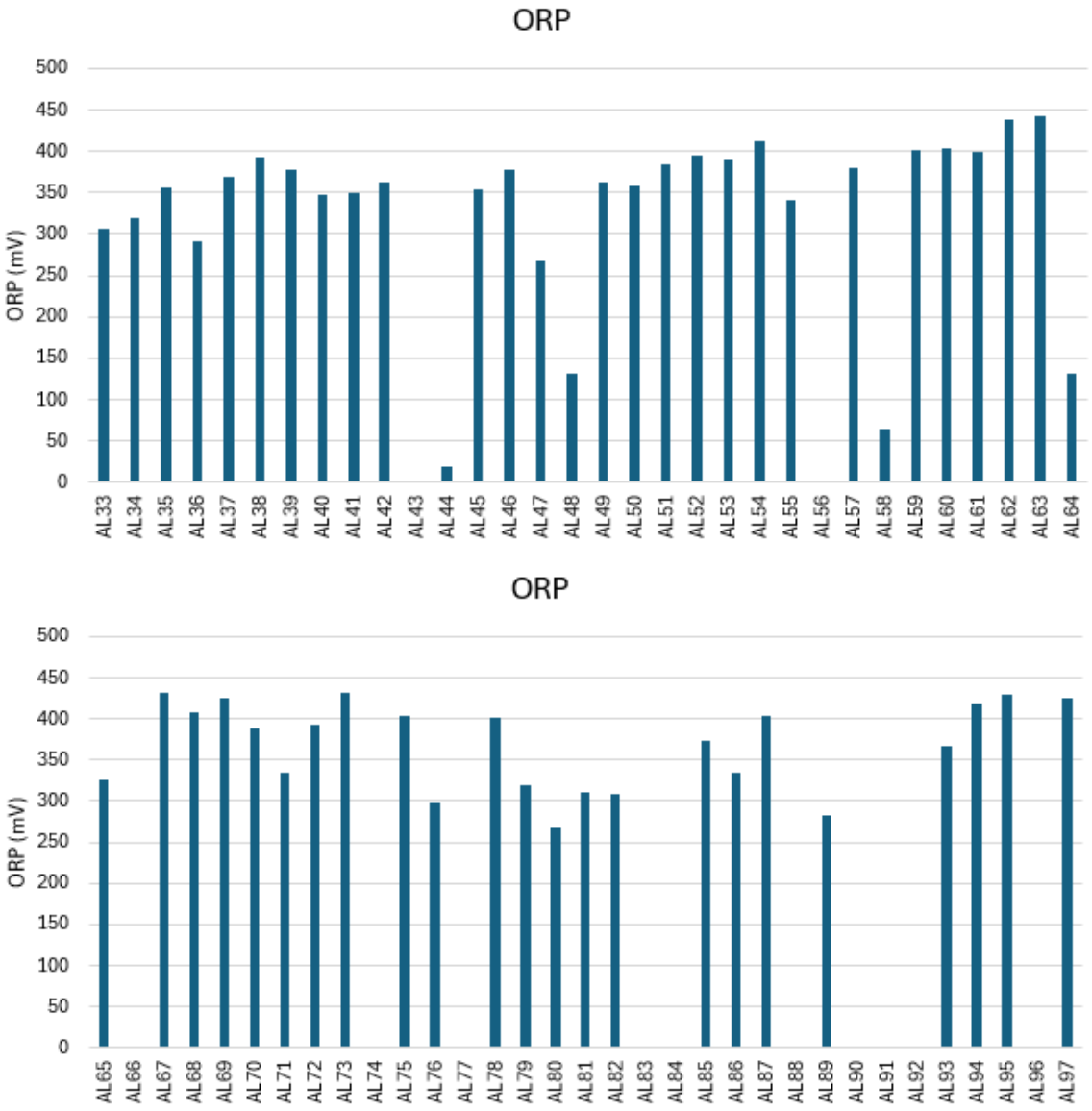
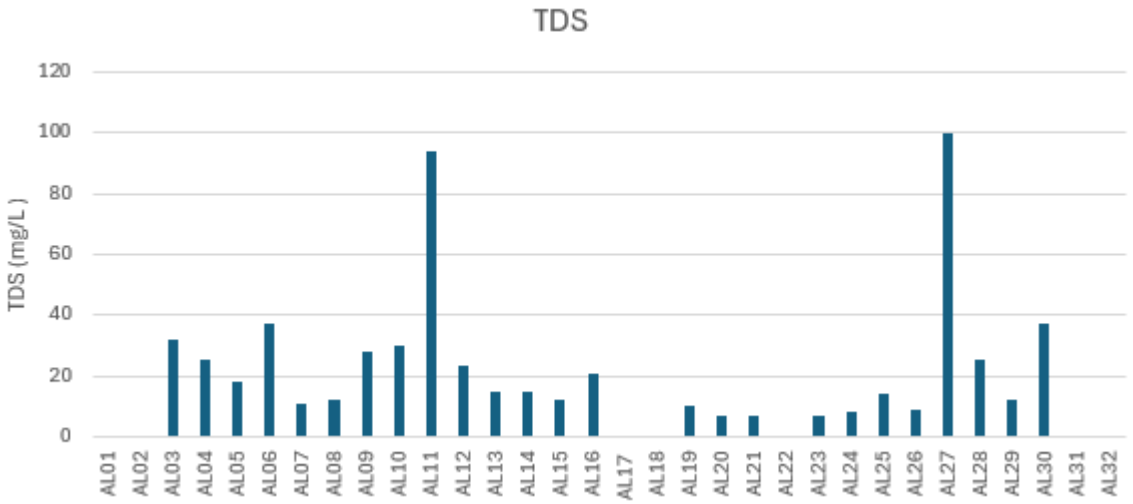
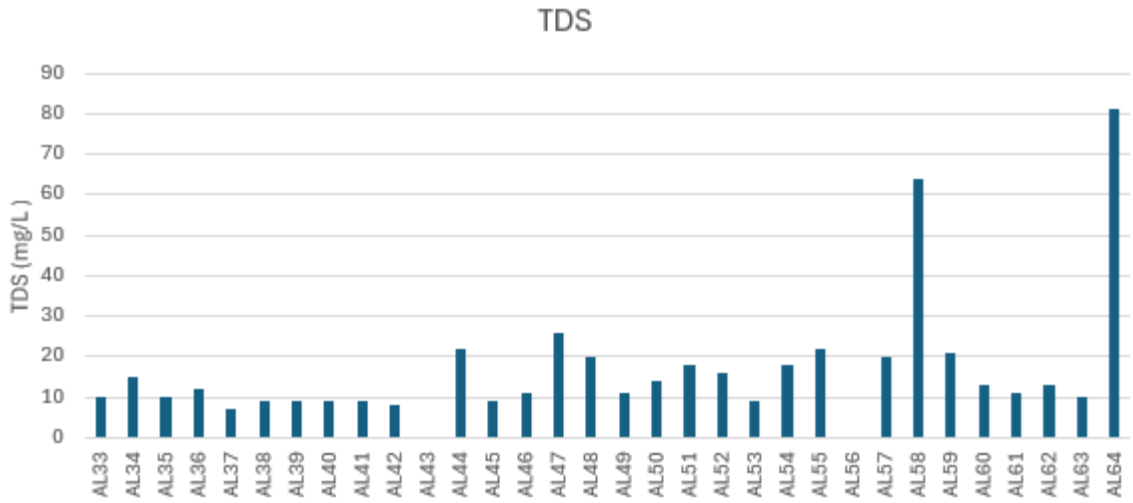


Figura 3-174 Comportamiento del oxígeno disuelto en aljibes
Fuente: SGI S.A.S, 2025

- **Sólidos Disueltos Totales (TDS)**

Para este parámetro, los aljibes presentan concentraciones entre 7 mg/L y 100 mg/L (Ver**: Figura 3-175**). Los valores de SDT registrados en los aljibes indican una baja a moderada mineralización del agua subterránea. Las concentraciones observadas se encuentran muy por debajo del límite máximo permitido para consumo humano, establecido en 1000 mg/L según la Resolución 2115 de 2007 (Colombia). Esto sugiere que el agua es de buena calidad en cuanto a salinidad, y puede considerarse apta para consumo, riego o uso doméstico, dependiendo de la evaluación de otros parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.


TDS
TDS (mg/L)
120
100
80
60
40
20
0
AL01 AL02 AL03 AL04 AL05 AL06 AL07 AL08 AL09 AL10 AL11 AL12 AL13 AL14 AL15 AL16 AL17 AL18 AL19 AL20 AL21 AL22 AL23 AL24 AL25 AL26 AL27 AL28 AL29 AL30 AL31 AL32


TDS
TDS (mg/L)
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
AL33 AL34 AL35 AL36 AL37 AL38 AL39 AL40 AL41 AL42 AL43 AL44 AL45 AL46 AL47 AL48 AL49 AL50 AL51 AL52 AL53 AL54 AL55 AL56 AL57 AL58 AL59 AL60 AL61 AL62 AL63 AL64

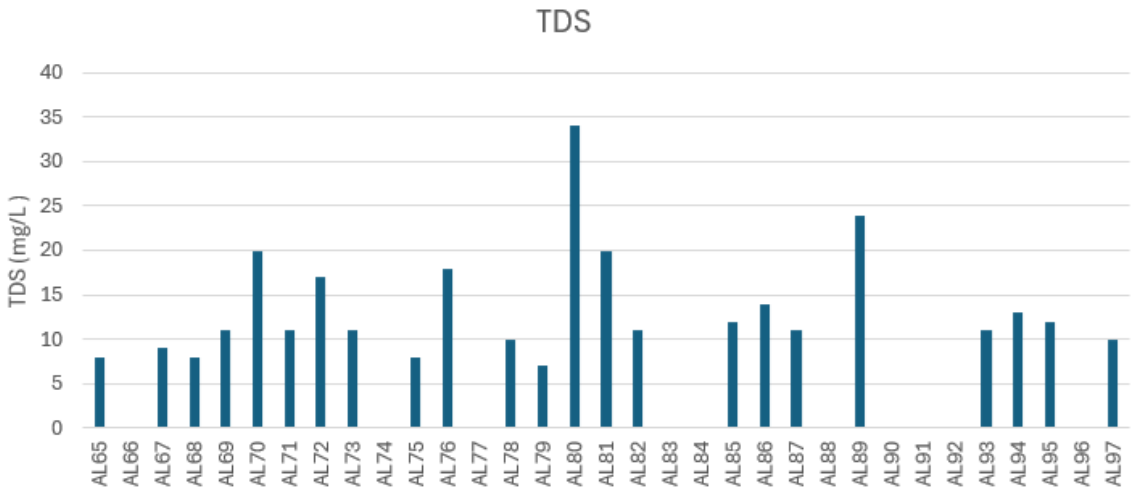

TDS
TDS (mg/L)
40
35
30
25
20
15
10
5
0
AL65 AL66 AL67 AL68 AL69 AL70 AL71 AL72 AL73 AL74 AL75 AL76 AL77 AL78 AL79 AL80 AL81 AL82 AL83 AL84 AL85 AL86 AL87 AL88 AL89 AL90 AL91 AL92 AL93 AL94 AL95 AL96 AL97

Figura 3-175 Comportamiento de sólidos disueltos totales en aljibes
Fuente: SGI S.A.S, 2025

3.2.7.14.3.2 Manantiales

Con el fin de evaluar la calidad del agua subterránea en los diferentes niveles acuíferos presentes en el área de influencia, se realizaron mediciones de parámetros in situ en los 27 manantiales identificados dentro de la zona de estudio (**Tabla 3-79**).

Tabla 3-79 Manantiales seleccionados para definir la calidad del agua subterránea

N°	ID	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		PARÁMETROS IN SITU					
		ESTE (m)	NORTE (m)	pH	T°	OD	CE	ORP	TDS
1	M01	4930339,32	1999979,64	4,25	25,21	5,13	45	376,6	23
2	M02	4934611,84	1987049,74	4,66	26,78	4,06	73	334,8	36
3	M03	4940007,61	1989627,36	4,45	26,64	3,75	16	370,2	8
4	M04	4935507,80	1993456,66	4,59	28,02	3,57	12	339,9	6
5	M05	4926484,49	1996143,97	5	28,63	3,62	11	237,5	5
6	M06	4926618,13	1996203,32	4,7	26,61	4,49	12	390,7	6
7	M07	4938651,01	1993940,36	4,74	26,74	1,76	18	289,7	9
8	M08	4934456,62	1995114,50	4,26	26,01	1,53	36	361,4	18
9	M09	4934368,02	1995104,86	4,27	26,34	1,45	36	431,6	18
10	M10	4925667,98	1997580,95	4,6	25,75	2,6	19	413	10
11	M11	4925603,73	1997542,93	4,51	25,96	2,88	20	458,4	10
12	M12	4925174,18	1997716,09	4,93	25,44	1,03	20	263,6	10
13	M13	4938566,64	1986400,29	4,87	27,41	1,11	11	272,7	5
14	M14	4935516,49	1988598,07	4,68	27,22	2,03	17	401,1	8
15	M15	4935404,04	1987894,33	-	-	-	-	-	-
16	M16	4936143,88	1995017,93	4,55	26,75	4,75	15	418,3	7
17	M17	4933193,98	1989271,56	4,55	26,25	2,86	26	442,8	13
18	M18	4927595,66	1996019,65	4,37	26,89	1,67	20	438,1	10
19	M19	4935630,66	1988468,35	4,8	26,3	1,16	20	392,4	10
20	M20	4928331,36	1998989,82	5,63	29,18	2,64	15	184,8	8
21	M21	4928197,08	1998978,30	4,65	26,02	1,27	24	383,5	12
22	M22	4931645,64	1990141,54	4,78	25,39	0,57	17	314,1	9
23	M23	4931586,77	1990145,60	4,77	26,08	2,05	16	369,8	8
24	M24	4931501,27	1990155,31	4,4	26,23	0,96	22	433,9	11
25	M25	4932280,15	1986013,89	4,62	25,21	0,49	16	396,1	8
26	M26	4930941,51	1985624,11	5,34	26,33	4,02	18	203	9
27	M27	4931392,07	1986801,58	4,73	27,74	1,89	14	402,7	7

- No se pudo medir.

Fuente: SGI S.A.S., 2025.

Los resultados obtenidos en los veintisiete (27) manantiales fueron comparados con los límites establecidos para los distintos usos del agua, según lo dispuesto en el Decreto Único Reglamentario (DUR) 1076 de 2015. En particular, se consideraron los siguientes artículos:

- Artículo 2.2.3.3.9.3: Agua para consumo humano y doméstico con tratamiento convencional,
- Artículo 2.2.3.3.9.4: Agua para consumo humano y doméstico con desinfección,
- Artículo 2.2.3.3.9.5: Agua para uso agrícola, y
- Artículo 2.2.3.3.9.6: Agua para uso pecuario.

Con base en estos lineamientos normativos, se llevó a cabo un análisis individual para cada uno de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos monitoreados, con el objetivo de determinar la calidad del agua subterránea proveniente de los manantiales y evaluar su idoneidad para los diferentes usos considerados.

- **pH**

En los manantiales identificados dentro del área de influencia, las concentraciones de pH mostraron una variabilidad comprendida entre 4,25 y 5,63 unidades. El valor mínimo fue registrado en el manantial M01, lo cual refleja condiciones marcadamente ácidas, posiblemente asociadas a procesos naturales como la descomposición de materia orgánica o por la lixiviación de suelos ácidos. Por su parte, el valor máximo fue observado en el manantial M19, que presenta una condición de ligera acidez, aunque más cercana a la neutralidad. (Ver: **Figura 3-176**)

Del total de manantiales registrados, seis (6) presentan valores de pH inferiores al límite mínimo permisible de 4,5 unidades, establecido para uso agrícola según el Artículo 2.2.3.3.9.5 del Decreto 1076 de 2015. Esta condición sugiere que una fracción significativa de los manantiales evaluados presenta aguas con acidez elevada, lo cual puede tener implicaciones negativas tanto para la calidad del recurso como para su aprovechamiento, particularmente en actividades como el consumo humano o el riego, sin un tratamiento previo adecuado.

La acidez observada puede facilitar la disolución de metales pesados y otros compuestos indeseables en el agua, incrementando el riesgo de contaminación química y disminuyendo su aptitud para usos sensibles. Además, condiciones de pH por debajo del umbral normativo pueden afectar los cultivos agrícolas o generar problemas de corrosión en sistemas de distribución.

Respecto a lo establecido en el Artículo 2.2.3.3.9.3 del mismo decreto, que permite el uso del agua para consumo humano y doméstico siempre que se aplique tratamiento convencional y el pH se mantenga entre 5,0 y 9,0 unidades, se identificó que únicamente tres (3) de los manantiales cumplen con este criterio. Esto sugiere que, si bien estas fuentes no alcanzan los estándares para consumo directo, sí podrían ser aptas para abastecimiento humano mediante tratamientos adecuados como la coagulación, filtración y desinfección, conforme a lo establecido en la normativa vigente.

En relación con el Artículo 2.2.3.3.9.4, que contempla el uso para consumo humano con desinfección simple (límite de pH entre 6,5 y 8,5 unidades), se evidencia que ninguna de las muestras recolectadas en los manantiales se encuentra dentro de este rango. Por tanto, no se recomienda el uso de estas aguas para consumo humano cuando el único proceso de potabilización disponible sea la desinfección básica, ya que el pH fuera del rango óptimo puede afectar la eficiencia de dicho tratamiento y la estabilidad microbiológica del recurso.

Finalmente, de acuerdo con el Artículo 2.2.3.3.9.6 del Decreto 1076 de 2015, que regula el uso del agua en actividades pecuarias, no se establecen límites específicos para el pH, lo que indica una mayor flexibilidad en este tipo de uso. No obstante, es recomendable realizar seguimiento de este

parámetro, ya que niveles extremadamente bajos podrían afectar indirectamente la salud animal o la calidad del agua en sistemas de distribución.

Cabe destacar que en uno de los manantiales no fue posible realizar la medición de pH debido a restricciones de acceso, ya que la propietaria del predio no autorizó la toma de datos, lo cual representa una limitación en la caracterización completa del área de estudio.

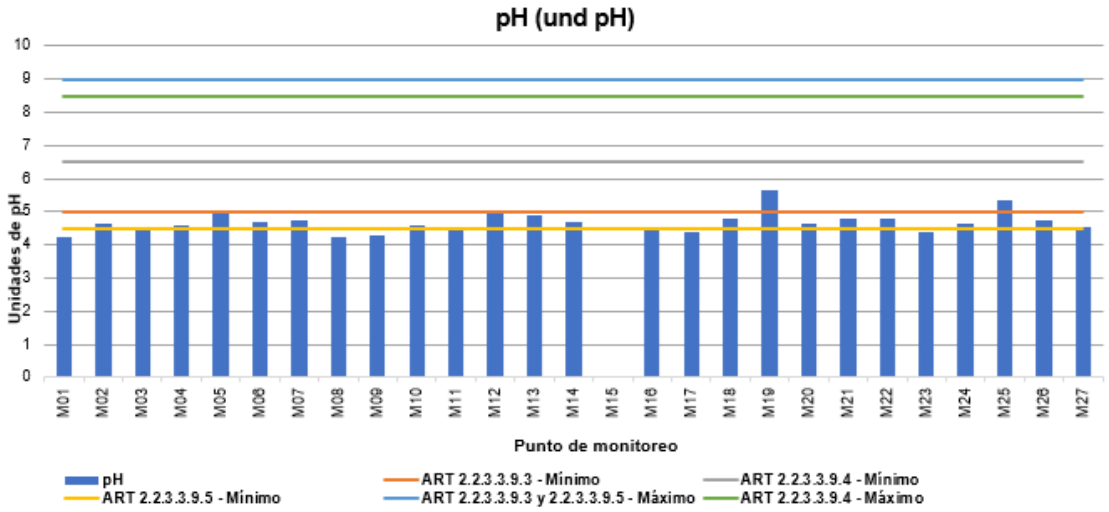


Figura 3-176 Comportamiento pH en manantiales
Fuente: SGI S.A.S, 2025

- **Temperatura**

Los valores de temperatura registrados en los 27 manantiales monitoreados evidencian una variación moderada, con una temperatura mínima de 25,21 °C reportada en el manantial M01 y una máxima de 29,18 °C en el manantial M19 (Ver: **Figura 3-177**). Estas temperaturas se encuentran dentro del rango esperado para aguas subterráneas emergentes en ambientes de clima cálido, como el que caracteriza el área de estudio.

La diferencia de temperaturas entre los distintos manantiales es relativamente baja, lo cual es coherente con su origen común en capas superficiales del acuífero y su exposición limitada a fuentes externas de calor. La variabilidad observada podría estar influenciada por factores como la ubicación del punto de afloramiento, la cobertura vegetal circundante, la hora del día en que se efectuó el muestreo, así como por las condiciones climáticas puntuales durante la recolección de datos.

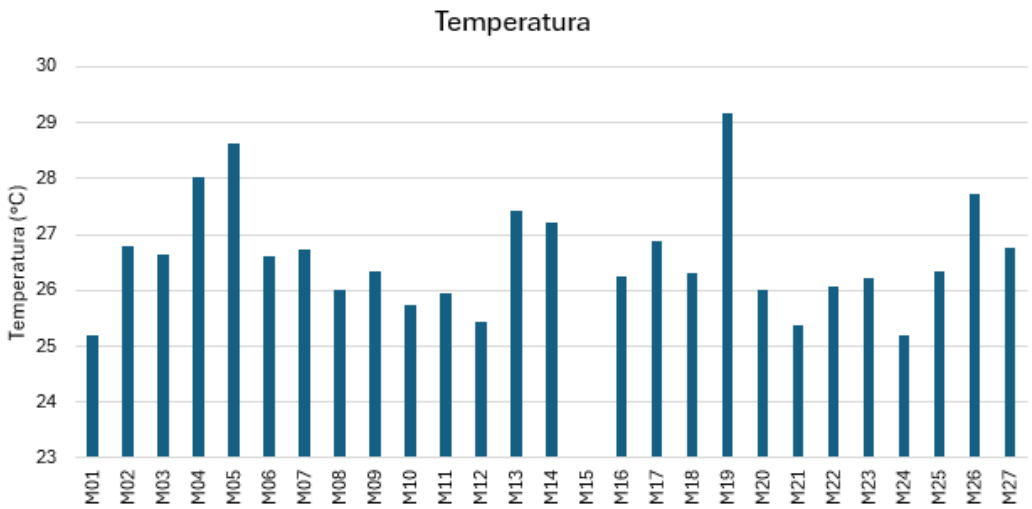


Figura 3-177 Comportamiento de la temperatura en manantiales
Fuente: SGI S.A.S, 2025

- **Oxígeno Disuelto**

Los veintisiete (27) manantiales monitoreados presentaron concentraciones de oxígeno disuelto que varían entre 0,49 mg/L, valor mínimo registrado en el manantial M24, y 5,13 mg/L, valor máximo reportado en el manantial M01 (Ver: **Figura 3-178**). Esta variabilidad indica un rango de condiciones redox en el agua subterránea emergente a través de los manantiales.

De acuerdo con la clasificación propuesta por MAPSA (2007), concentraciones de oxígeno disuelto inferiores a 6 mg/L corresponden a aguas consideradas hipóxicas, es decir, con bajo contenido de oxígeno. En este sentido, se puede afirmar que todos los manantiales monitoreados presentan condiciones de hipoxia, lo cual es común en aguas subterráneas poco profundas donde la circulación del agua es limitada y el intercambio con el oxígeno atmosférico es reducido.

Las bajas concentraciones de oxígeno disuelto podrían estar relacionadas con la actividad biológica en el suelo y subsuelo, como la descomposición de materia orgánica, el consumo de oxígeno por microorganismos o la presencia de compuestos reductores.

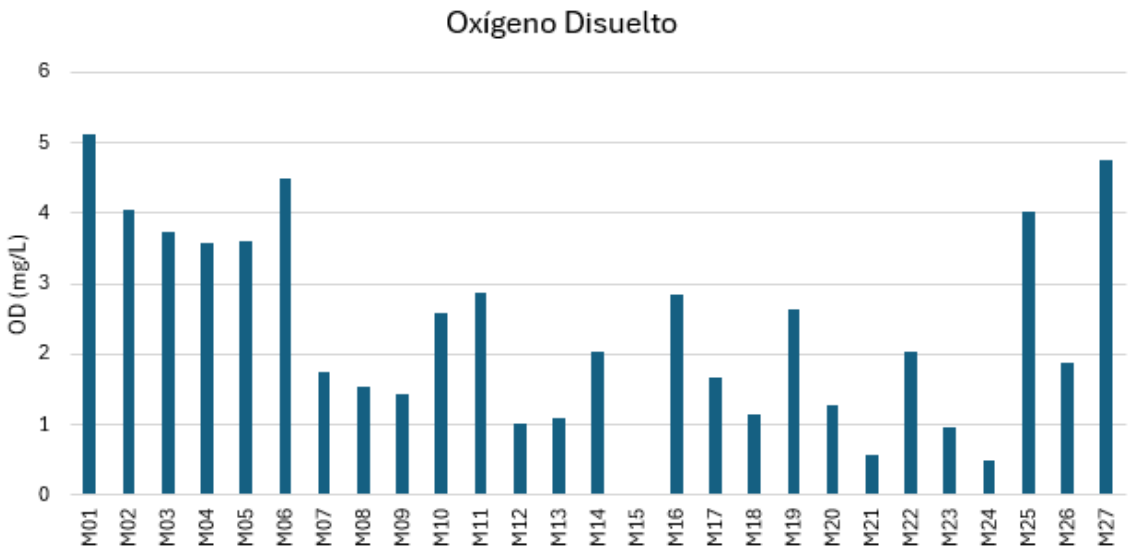


Figura 3-178 Comportamiento del oxígeno disuelto en manantiales
Fuente: SGI S.A.S, 2025

- **Conductividad eléctrica**

La mayoría de los valores de conductividad eléctrica (CE) registrados en los manantiales oscila entre 11 y 73 µS/cm, lo que refleja un rango relativamente amplio de variabilidad en el contenido de sales disueltas presentes en el agua subterránea.

Estos valores indican que el agua proveniente de los manantiales tiene, en general, una baja mineralización, característica común en sistemas acuíferos de recarga reciente o en zonas donde predomina la infiltración directa de aguas meteóricas con escasa interacción con las formaciones geológicas. La variabilidad observada en la CE sugiere diferencias locales en la geología, el tiempo de residencia del agua subterránea o la influencia de materia orgánica y suelos en el trayecto del flujo.

Desde el punto de vista de calidad del agua, niveles bajos de conductividad eléctrica son indicativos de aguas con poca mineralización, que pueden ser apropiadas para diversos usos, incluidos el consumo humano, el uso agrícola y pecuario, siempre que otros parámetros se encuentren dentro de los límites normativos. Sin embargo, valores muy bajos también pueden estar asociados a una baja capacidad de amortiguación frente a contaminantes, lo que hace importante su monitoreo continuo.

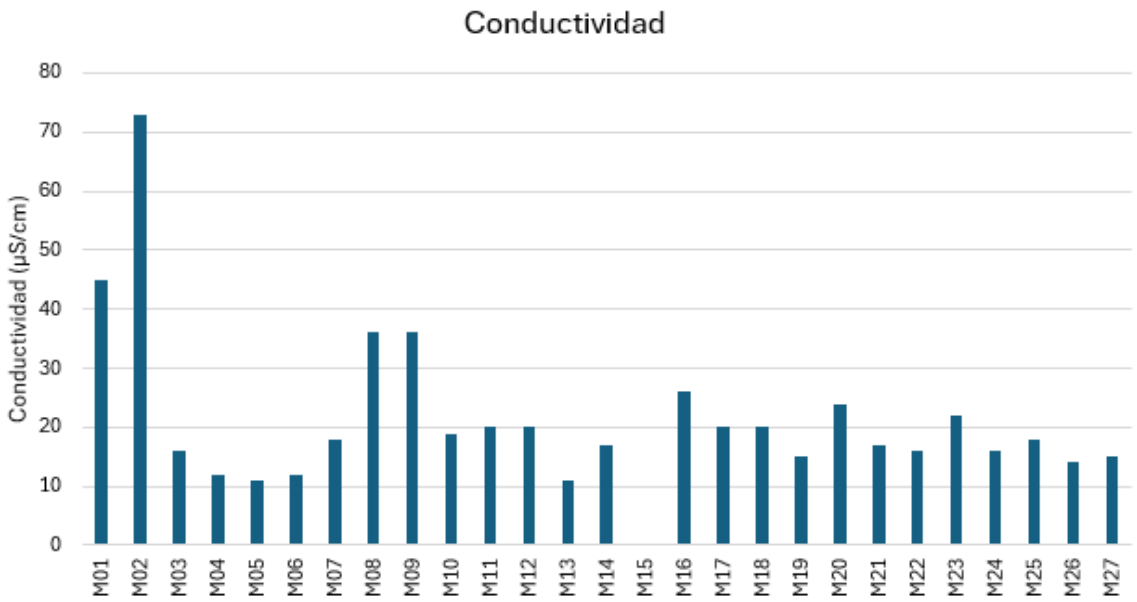


Figura 3-179 Comportamiento de la conductividad eléctrica en manantiales
Fuente: SGI S.A.S, 2025

- **Potencial Oxido-Reducción**

Los valores del potencial de óxido-reducción (ORP) registrados en los manantiales monitoreados se encuentran en un rango que va desde 184,8 mV hasta 458,4 mV, lo cual evidencia una variabilidad significativa en las condiciones redox del agua subterránea emergente.

En términos generales, valores de ORP por encima de 100 mV indican condiciones oxidantes, mientras que valores negativos o muy bajos reflejan ambientes reductores. En este caso, todos los manantiales presentan potenciales positivos, lo que sugiere que predominan condiciones oxidantes en el sistema hidrogeológico superficial.

La variabilidad observada puede estar relacionada con diferencias en la concentración de oxígeno disuelto, la presencia de compuestos orgánicos o inorgánicos reactivos, así como con el grado de exposición del agua subterránea al ambiente atmosférico durante su ascenso y descarga. Valores más elevados de ORP (por encima de 400 mV), como los reportados en algunos manantiales, pueden favorecer procesos de oxidación de compuestos como el hierro ($Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$) o el manganeso ($Mn^{2+} \rightarrow Mn^{4+}$), contribuyendo a la mejora natural de la calidad del agua al reducir la movilidad de algunos elementos potencialmente nocivos.

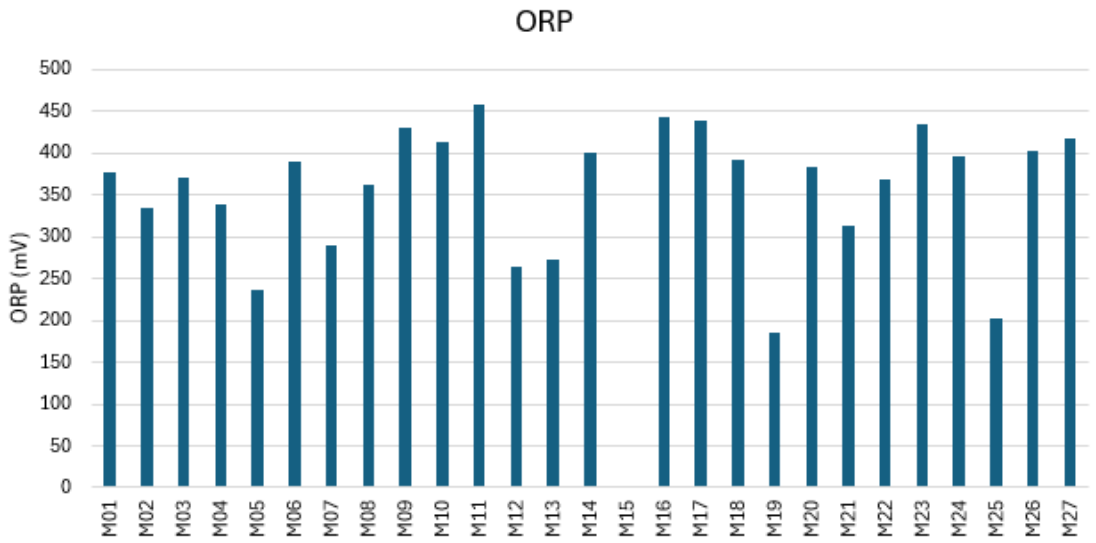


Figura 3-180 Comportamiento del potencial de óxido-reducción en manantiales
Fuente: SGI S.A.S, 2025

- **Solidos Disueltos Totales (TDS)**

Para este parámetro, los 27 manantiales presentan concentraciones entre 5 mg/L y 36 mg/L (Ver: **Figura 3-181**). Las concentraciones de SDT en los manantiales indican una muy baja mineralización del agua, característica común en fuentes de origen superficial o con corto tiempo de residencia subterránea. Estos valores están considerablemente por debajo del límite máximo de 1000 mg/L establecido para agua potable (Resolución 2115 de 2007, Colombia), lo cual sugiere que el agua proveniente de estos manantiales posee buena calidad en términos de salinidad. Esta baja carga de sales también puede estar asociada a zonas de recarga directa, con poca interacción con materiales geológicos solubles.

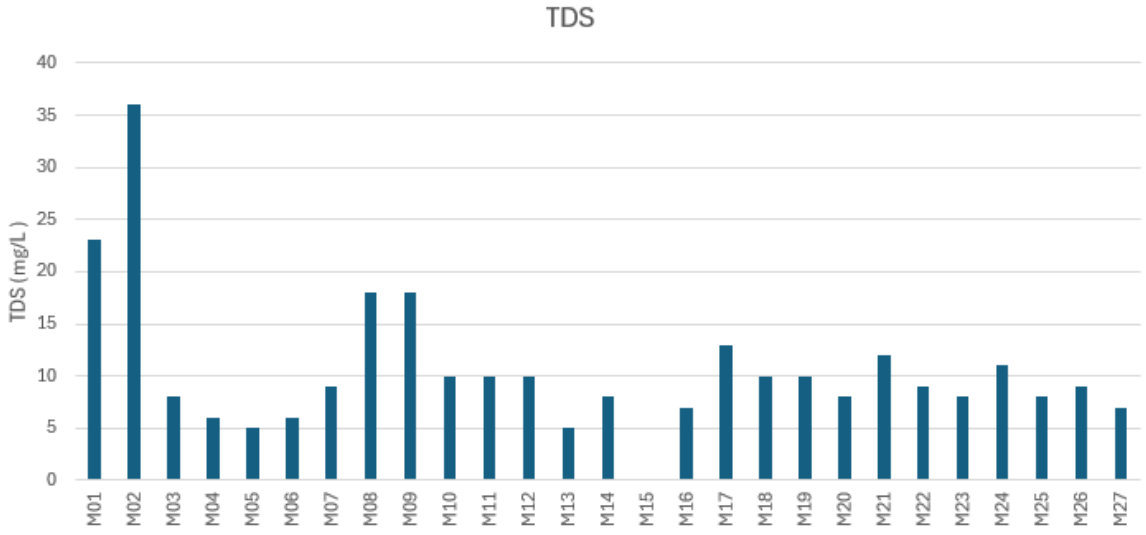


Figura 3-181 Comportamiento de sólidos disueltos totales en manantiales
Fuente: SGI S.A.S, 2025

3.2.7.14.3.3 Pozos

En el marco del presente proyecto, se realizó la toma de parámetros in situ en once (11) pozos para establecer la calidad de agua subterránea de los diferentes niveles acuíferos presentes en el área de influencia (**Tabla 3-80**).

Tabla 3-80 Pozos seleccionados para el monitoreo hidrogeoquímico y microbiológico del agua subterránea

N°	ID	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		PARÁMETROS IN SITU					
		ESTE (m)	NORTE (m)	pH	T°	OD	CE	ORP	TDS
1	P01	4943610,50	1995538,78	-	-	-	-	-	-
2	P02	4945517,24	1995189,02	5,52	30,6	4,55	47	255	23
3	P03	4943735,76	1995559,28	5,07	27,43	3,19	20	257,5	10
4	P04	4934872,75	1988184,67	6,07	28,63	2,03	28	42,2	14
5	P05	4937184,06	1991265,65	5,61	28,26	2,39	25	167,6	12
6	P06	4932081,68	1991778,97	5,52	27,02	5,1	14	245	7
7	P07	4938886,90	1989391,33	4,55	29,21	4,75	14	291,9	7
8	P08	4938059,37	1988978,70	-	-	-	-	-	-
9	P09	4937352,31	1987844,13	-	-	-	-	-	-
10	P10	4937133,39	1987835,44	-	-	-	-	-	-
11	P11	4925776,96	1997639,10	5,57	27,36	2,62	40	130,6	20

- No se pudo medir.

Fuente: SGI S.A.S., 2025.

Los resultados obtenidos en los once (11) pozos fueron comparados con los límites establecidos para los distintos usos del agua, según lo dispuesto en el Decreto Único Reglamentario (DUR) 1076 de 2015. En particular, se consideraron los siguientes artículos:

- Artículo 2.2.3.3.9.3: Agua para consumo humano y doméstico con tratamiento convencional,
- Artículo 2.2.3.3.9.4: Agua para consumo humano y doméstico con desinfección,
- Artículo 2.2.3.3.9.5: Agua para uso agrícola, y
- Artículo 2.2.3.3.9.6: Agua para uso pecuario.

Con base en estos lineamientos normativos, se llevó a cabo un análisis individual para cada uno de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos monitoreados, con el objetivo de determinar la calidad del agua subterránea proveniente de los pozos y evaluar su idoneidad para los diferentes usos considerados.

- **pH**

En los pozos identificados dentro del área de influencia, las concentraciones de pH mostraron una variabilidad comprendida entre 4,55 y 6,07 unidades. El valor mínimo fue registrado en el pozo P07, reflejando condiciones marcadamente ácidas, probablemente asociadas a procesos naturales como la descomposición de materia orgánica, la presencia de suelos con alta acidez o la lixiviación de

minerales ácidos. Por otro lado, el valor máximo se observó en el pozo P04, el cual presenta una condición de ligera acidez, más cercana a la neutralidad (ver: **Figura 3-182**).

Ninguno de los pozos presenta valores de pH inferiores al límite mínimo permisible de 4,5 unidades establecido para uso agrícola en el Artículo 2.2.3.3.9.5 del Decreto 1076 de 2015. No obstante, la presencia de valores bajos de pH en varios puntos sugiere una acidez significativa en una porción del recurso evaluado, lo que podría limitar su aprovechamiento en determinados usos, especialmente aquellos más sensibles como el consumo humano o el riego directo, a menos que se implemente un tratamiento previo.

Desde el punto de vista hidroquímico, esta acidez puede favorecer la disolución de metales pesados y otros compuestos potencialmente tóxicos, lo que incrementa el riesgo de contaminación química del agua subterránea. Además, pH bajos pueden afectar negativamente el desarrollo de cultivos y aumentar la corrosividad del agua, impactando infraestructuras hidráulicas o de almacenamiento.

En relación con el Artículo 2.2.3.3.9.3 del Decreto 1076 de 2015, que establece un rango de pH de 5,0 a 9,0 unidades para el uso del agua en consumo humano y doméstico, siempre que se aplique un tratamiento convencional, se identificó que cinco (5) de los pozos cumplen con este criterio. Esto sugiere que estas fuentes podrían ser aprovechables para abastecimiento humano, siempre que se implementen procesos adecuados como coagulación, filtración y desinfección, tal como lo contempla la normativa.

Por el contrario, frente a lo establecido en el Artículo 2.2.3.3.9.4 del mismo decreto, que permite el uso del agua para consumo humano con desinfección básica dentro de un rango de pH entre 6,5 y 8,5 unidades, se concluye que ninguna de las muestras cumple con este requisito. Por tanto, no se recomienda el uso de estas aguas para consumo humano cuando el único tratamiento disponible sea la desinfección simple, ya que el pH fuera del rango ideal puede comprometer la eficacia del tratamiento.

En cuanto al Artículo 2.2.3.3.9.6, referente al uso pecuario, no se establecen límites específicos para el pH, lo cual otorga mayor flexibilidad para este tipo de uso. Sin embargo, se recomienda realizar seguimiento continuo, ya que valores extremadamente bajos pueden afectar indirectamente la salud animal o alterar la calidad del agua durante su almacenamiento y distribución.

Finalmente, es importante señalar que en algunos de los manantiales no fue posible realizar la medición de pH debido a restricciones de acceso, como tapas selladas o falta de permiso por parte de los propietarios, lo que limitó parcialmente la caracterización completa del recurso.

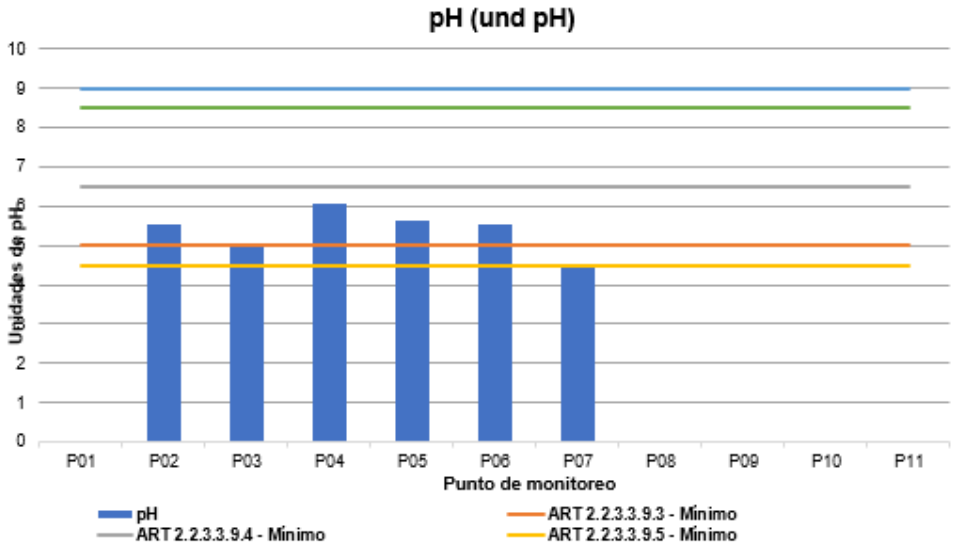


Figura 3-182 Comportamiento del pH en pozos
Fuente: SGI S.A.S, 2025

- **Temperatura**

Los valores de temperatura registrados en los once (11) pozos monitoreados evidencian una variación moderada, con un rango que va desde los 27,02 °C, registrado en el pozo P06, hasta los 30,6 °C, valor máximo reportado en el pozo P02.

Esta oscilación térmica se encuentra dentro de los rangos esperados para aguas subterráneas en zonas tropicales, y puede estar influenciada por factores como la profundidad del pozo, el tiempo de residencia del agua en el subsuelo, la temperatura ambiental y las características geológicas del acuífero. En general, temperaturas superiores a 25 °C en aguas subterráneas suelen reflejar un bajo grado de recarga reciente y una mayor interacción con el entorno geológico profundo.

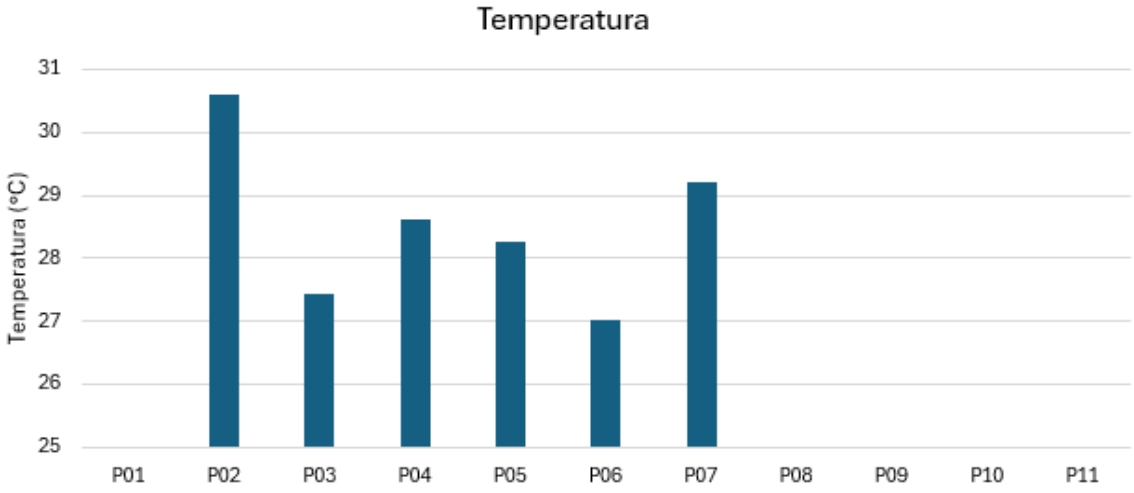


Figura 3-183 Comportamiento de la temperatura en pozos
Fuente: SGI S.A.S, 2025

- **Oxígeno Disuelto**

Los once (11) pozos monitoreados presentaron concentraciones de oxígeno disuelto (OD) que varían entre 2,03 mg/L, valor mínimo registrado en el pozo P04, y 5,1 mg/L, valor máximo observado en el pozo P06 (ver: **Figura 3-184**). Esta variabilidad refleja diferencias en las condiciones físico-químicas y biológicas del agua subterránea, posiblemente influenciadas por la profundidad de los pozos, el grado de recarga reciente, la presencia de materia orgánica o la interacción con materiales geológicos reductores.

De acuerdo con la clasificación propuesta por MAPSA (2007), las aguas con concentraciones de oxígeno disuelto por debajo de 5 mg/L se consideran hipóxicas, es decir, presentan un contenido reducido de oxígeno, lo cual puede limitar su aptitud para ciertos usos, especialmente aquellos que requieren condiciones aeróbicas, como el abastecimiento para consumo humano o el soporte de ciertos organismos acuáticos.

En este sentido, la mayoría de los pozos evaluados se encuentran dentro del rango de aguas hipóxicas, lo que sugiere un entorno subterráneo con baja oxigenación, característico de sistemas confinados o con poco intercambio con la atmósfera. Estas condiciones también pueden favorecer procesos reductores en el acuífero, como la disolución de hierro, manganeso u otros metales, afectando potencialmente la calidad química del agua.

Por tanto, el bajo contenido de oxígeno disuelto observado refuerza la importancia de considerar tratamientos adecuados si se pretende utilizar el recurso para consumo humano o actividades que requieran niveles de oxígeno más elevados.

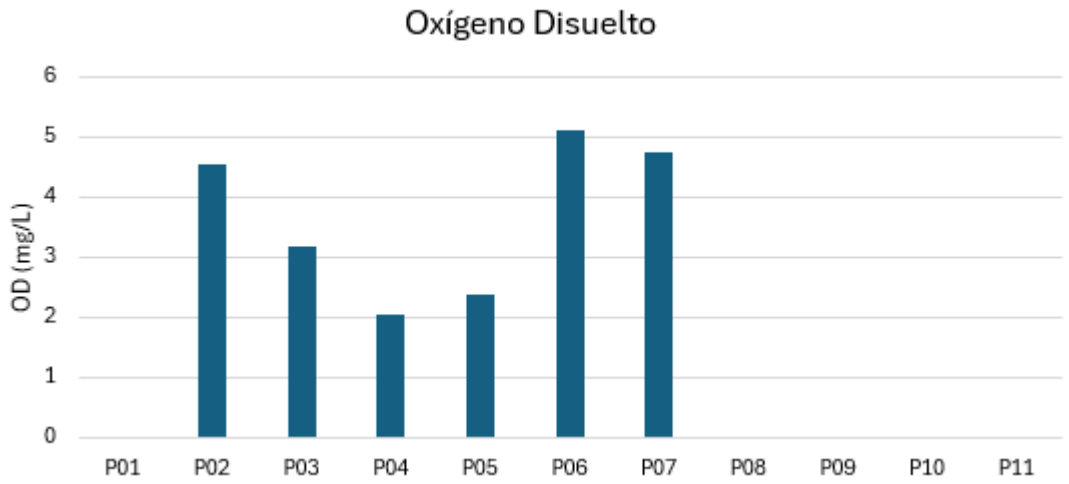


Figura 3-184 Comportamiento del oxígeno disuelto en pozos
Fuente: SGI S.A.S, 2025

- **Conductividad eléctrica**

La mayoría de los valores de conductividad eléctrica (CE) registrados en los once (11) pozos oscila entre 14 y 47 µS/cm, lo cual indica una baja mineralización del agua subterránea en esta zona del área de estudio.

Estos valores son característicos de aguas con escasa presencia de sales disueltas, lo que puede deberse a una limitada interacción entre el agua y las formaciones geológicas que la contienen, o a

una recarga reciente del acuífero con agua de lluvia poco mineralizada. Este tipo de aguas, comúnmente denominadas de baja salinidad, suelen encontrarse en zonas con baja actividad antrópica o en acuíferos superficiales no confinados.

Desde el punto de vista de la calidad del recurso, una baja conductividad eléctrica es generalmente un indicador favorable, ya que implica poca presencia de contaminantes inorgánicos, como cloruros, sulfatos o nitratos. No obstante, también puede significar que el agua tiene bajo contenido de nutrientes esenciales, lo cual podría tener implicaciones para ciertos usos agrícolas o pecuarios si no se complementan con prácticas de fertilización adecuadas.

En términos generales, estos resultados sugieren que el agua de los pozos evaluados es químicamente poco cargada, lo que representa un buen punto de partida para usos como el consumo humano, siempre que se verifiquen otros parámetros críticos y se garantice su potabilidad mediante el tratamiento adecuado.

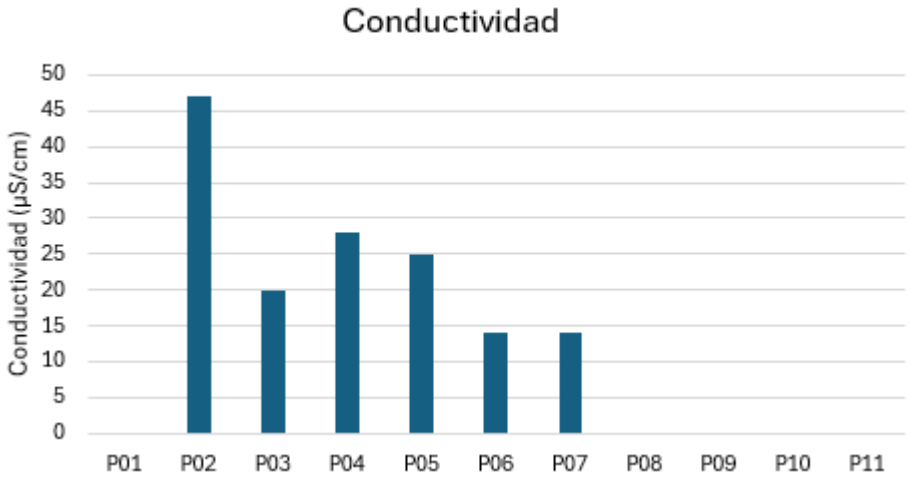


Figura 3-185 Comportamiento de la conductividad eléctrica en pozos
Fuente: SGI S.A.S, 2025

- **Potencial Oxido-Reducción**

Los valores del potencial de óxido-reducción (ORP) registrados en los manantiales monitoreados se encuentran en un rango que va desde 42,2 mV hasta 291,9 mV, lo cual evidencia una variabilidad significativa en las condiciones redox del agua subterránea dentro del área de influencia.

El ORP es un parámetro que refleja la capacidad del agua para actuar como agente oxidante o reductor, y está estrechamente relacionado con la presencia de compuestos químicos en distintos estados de oxidación. Valores bajos de ORP (cercanos o menores a 100 mV) suelen indicar condiciones reductoras, típicas de aguas con bajo contenido de oxígeno disuelto, materia orgánica en descomposición o presencia de metales disueltos. Por el contrario, valores por encima de 200 mV sugieren ambientes más oxidantes, donde el oxígeno está presente y predominan procesos como la nitrificación y la oxidación de metales.

En este contexto, los manantiales con valores de ORP cercanos al límite inferior del rango registrado podrían presentar una mayor susceptibilidad a procesos como la reducción de nitratos, sulfatos o hierro, lo que puede influir en la composición química del agua. Aquellos con valores más elevados reflejan ambientes más estables desde el punto de vista oxidativo, lo cual puede ser más favorable

para ciertos usos del recurso, como el abastecimiento humano, siempre que otros parámetros se encuentren dentro de los límites permisibles.

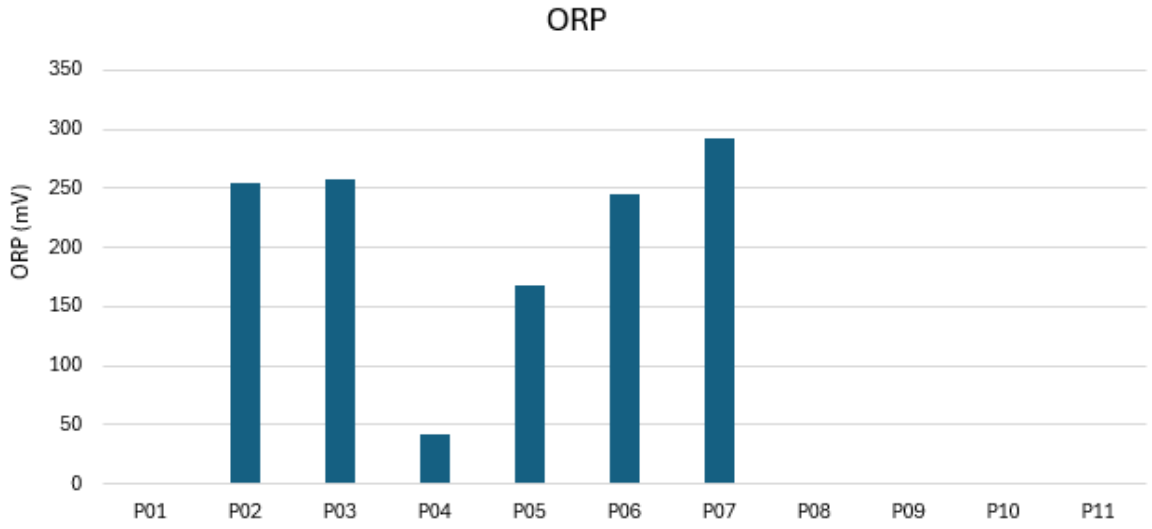


Figura 3-186 Comportamiento del potencial de óxido-reducción en pozos
Fuente: SGI S.A.S, 2025

- **Solidos Disueltos Totales (TDS)**

Para este parámetro, los 11 pozos presentan concentraciones entre 7 mg/L y 23 mg/L. Los valores de TDS registrados en los pozos indican una baja mineralización del agua subterránea, lo cual sugiere una escasa presencia de sales disueltas. Estos niveles están muy por debajo del límite máximo permisible para agua potable (1000 mg/L según la Resolución 2115 de 2007, Colombia), lo que indica que el agua extraída de estos pozos es de buena calidad en términos de salinidad. La baja concentración de sólidos disueltos podría estar relacionada con una recarga reciente, escasa interacción con formaciones geológicas solubles o una litología predominantemente no salina en el entorno de captación.

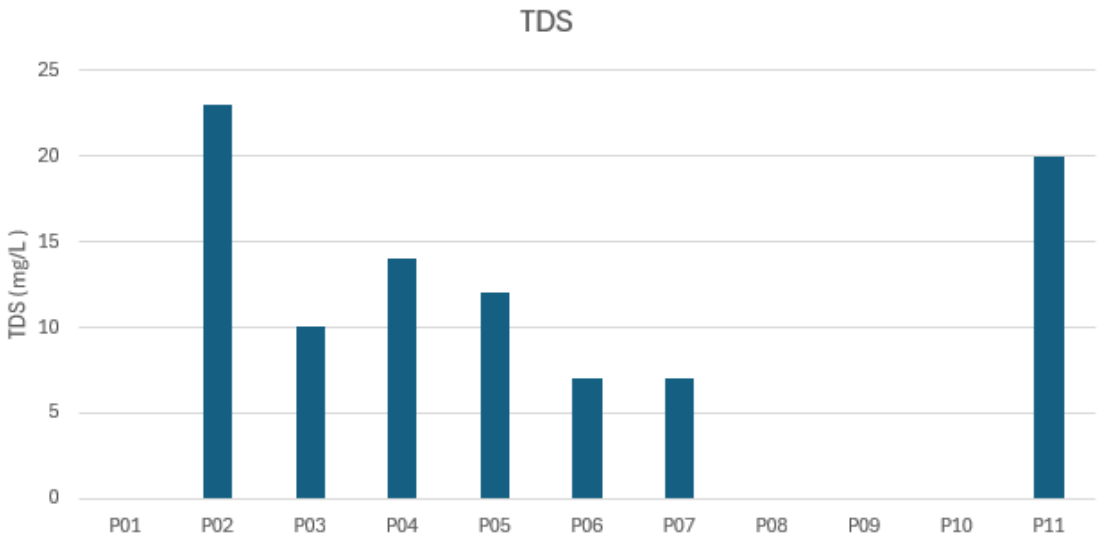


Figura 3-187 Comportamiento de los sólidos disueltos totales en pozos
Fuente: SGI S.A.S, 2025

3.2.7.14.3.4 Piezómetros

En el marco del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare se identificaron dieciséis (16) piezómetros para definir la calidad del agua subterránea (**Tabla 3-81**).

Tabla 3-81 Parámetros in situ en piezómetros de agua subterránea

N°	ID	OORDENADAS ORIGEN NACIONAL		PARÁMETROS IN SITU						OBSERVACIONES
		ESTE (m)	NORTE (m)	pH	T°	OD	CE	ORP	TDS	
1	Pz01	4934121,14	1986641,10							No se pudieron medir parámetros debido a que estaba seco
2	Pz02	4934762,31	1986498,47	4,79	27,84	4,04	108	318,1	54	Sin observaciones
3	Pz03	4934377,19	1987115,24	4,64	26,78	4,35	39	342,9	20	Sin observaciones
4	Pz04	4934910,29	1986848,61	4,65	26,72	5,16	74	355,8	37	Sin observaciones
5	Pz05	4935445,53	1987026,91	4,57	26,52	3,29	155	369,2	77	Sin observaciones
6	Pz06	4935089,27	1987485,47	5,75	26,33	3,27	140	251,8	70	Sin observaciones
7	Pz07	4935072,87	1987744,23	5,05	25,87	2,33	55	300,3	28	Sin observaciones
8	Pz08	4934902,81	1988054,31	4,54	27,43	3,85	16	347,8	8	Sin observaciones
9	Pz09	4935018,09	1988065,09	5,01	27,86	2,42	17	307,3	8	Sin observaciones
10	Pz10	4934492,64	1988019,22	4,82	27,42	4,17	16	267,1	8	Sin observaciones
11	Pz11	4934801,32	1987686,96	4,95	26,96	3,45	87	313,3	44	Sin observaciones
12	Pz12	4934757,62	1987873,34	4,78	27,96	3,06	91	308,2	45	Sin observaciones
13	Pz13	4934709,38	1988071,60	4,76	27,76	4,00	29	302,9	14	Sin observaciones
14	Pz14	4934989,75	1987843,60	4,99	26,94	2,37	14	173,8	7	Sin observaciones
15	Pz15	4937251,94	1991706,99	5,35	28,89	5,37	8	232,2	4	Sin observaciones

N°	ID	OORDENADAS ORIGEN NACIONAL		PARÁMETROS IN SITU						OBSERVACIONES
		ESTE (m)	NORTE (m)	pH	T°	OD	CE	ORP	TDS	
16	Pz16	4937312,98	1991752,06	5,72	30,24	4,98	19	190,3	10	Sin observaciones

Fuente: SGI SAS, 2025.

Los resultados obtenidos en los once (11) pozos fueron comparados con los límites establecidos para los distintos usos del agua, según lo dispuesto en el Decreto Único Reglamentario (DUR) 1076 de 2015. En particular, se consideraron los siguientes artículos:

- Artículo 2.2.3.3.9.3: Agua para consumo humano y doméstico con tratamiento convencional,
- Artículo 2.2.3.3.9.4: Agua para consumo humano y doméstico con desinfección,
- Artículo 2.2.3.3.9.5: Agua para uso agrícola, y
- Artículo 2.2.3.3.9.6: Agua para uso pecuario.

Con base en estos lineamientos normativos, se llevó a cabo un análisis individual para cada uno de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos monitoreados, con el objetivo de determinar la calidad del agua subterránea proveniente de los pozos y evaluar su idoneidad para los diferentes usos considerados.

- **pH**

En los piezómetros identificados dentro del área de influencia, las concentraciones de pH mostraron una variabilidad comprendida entre 4,54 y 5,75 unidades. El valor mínimo fue registrado en el piezómetro Pz08, reflejando condiciones marcadamente ácidas, probablemente asociadas a procesos naturales como la descomposición de materia orgánica, la presencia de suelos con alta acidez o la lixiviación de minerales ácidos. Por otro lado, el valor máximo se observó en el manantial Pz06, el cual presenta una condición de ligera acidez, más cercana a la neutralidad (ver: **Figura 3-188**).

Ninguno de los piezómetros presenta valores de pH inferiores al límite mínimo permisible de 4,5 unidades establecido para uso agrícola en el Artículo 2.2.3.3.9.5 del Decreto 1076 de 2015. No obstante, la presencia de valores bajos de pH en varios puntos sugiere una acidez significativa en una porción del recurso evaluado, lo que podría limitar su aprovechamiento en determinados usos, especialmente aquellos más sensibles como el consumo humano o el riego directo, a menos que se implemente un tratamiento previo.

Desde el punto de vista hidroquímico, esta acidez puede favorecer la disolución de metales pesados y otros compuestos potencialmente tóxicos, lo que incrementa el riesgo de contaminación química del agua subterránea. Además, pH bajos pueden afectar negativamente el desarrollo de cultivos y aumentar la corrosividad del agua, impactando infraestructuras hidráulicas o de almacenamiento.

En relación con el Artículo 2.2.3.3.9.3 del Decreto 1076 de 2015, que establece un rango de pH de 5,0 a 9,0 unidades para el uso del agua en consumo humano y doméstico, siempre que se aplique un tratamiento convencional, se identificó que cinco (5) de los piezómetros cumplen con este criterio. Esto sugiere que estas fuentes podrían ser aprovechables para abastecimiento humano, siempre que se implementen procesos adecuados como coagulación, filtración y desinfección, tal como lo contempla la normativa.

Por el contrario, frente a lo establecido en el Artículo 2.2.3.3.9.4 del mismo decreto, que permite el uso del agua para consumo humano con desinfección básica dentro de un rango de pH entre 6,5 y 8,5 unidades, se concluye que ninguna de las muestras cumple con este requisito. Por tanto, no se recomienda el uso de estas aguas para consumo humano cuando el único tratamiento disponible sea la desinfección simple, ya que el pH fuera del rango ideal puede comprometer la eficacia del tratamiento.

En cuanto al Artículo 2.2.3.3.9.6, referente al uso pecuario, no se establecen límites específicos para el pH, lo cual otorga mayor flexibilidad para este tipo de uso. Sin embargo, se recomienda realizar seguimiento continuo, ya que valores extremadamente bajos pueden afectar indirectamente la salud animal o alterar la calidad del agua durante su almacenamiento y distribución.

Finalmente, es importante señalar que en el piezómetro Pz01 no fue posible realizar la medición de pH debido a que se encontraba seco.

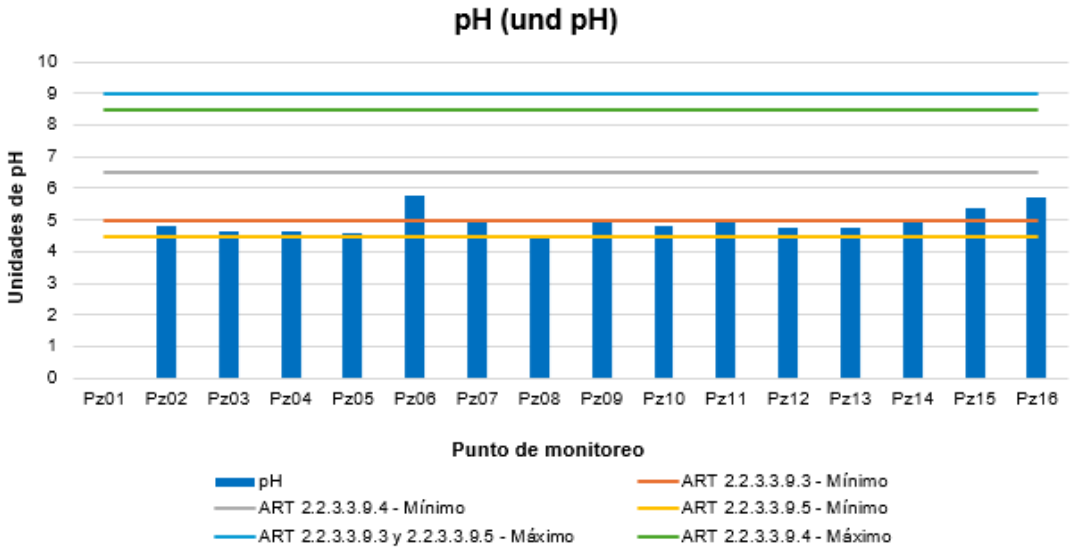


Figura 3-188 Comportamiento del pH en piezómetros
Fuente: SGI S.A.S, 2025

- **Temperatura**

Los valores de temperatura registrados en los dieciséis (16) piezómetros monitoreados evidencian una variación moderada, con un rango que va desde los 25,87°C, registrado en el piezómetro Pz07, hasta los 30,24°C, valor máximo reportado en el piezómetro Pz16. Estos valores de temperatura están entre los rangos esperados, teniendo en cuenta las condiciones naturales del área de estudio; además, se evidencia que la variación de temperatura es mínima entre los diferentes aljibes y puede estar asociada a la ubicación del punto, hora y condiciones climáticas en las que fueron recolectadas las muestras de agua.

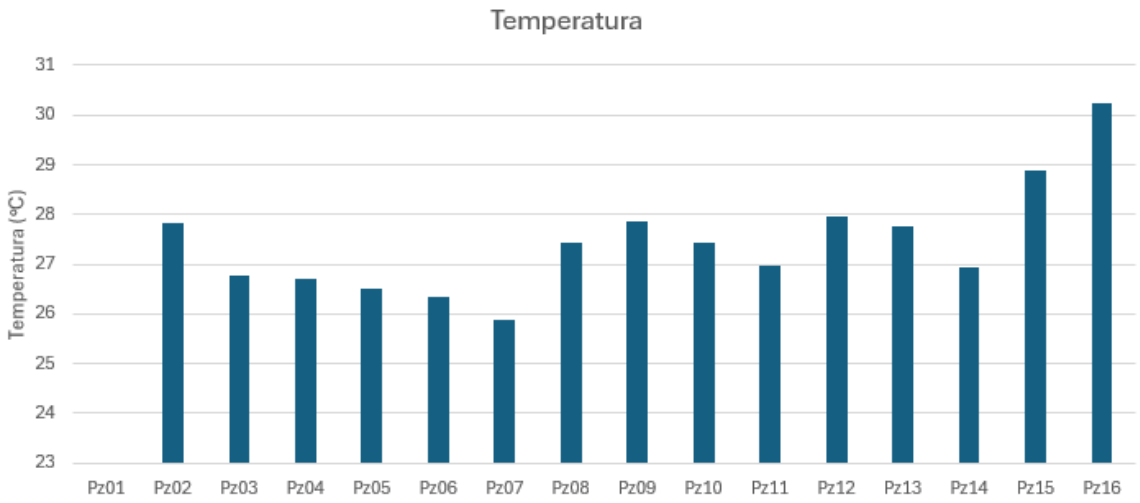


Figura 3-189 Comportamiento de la temperatura en piezómetros
Fuente: SGI S.A.S, 2025

- **Oxígeno Disuelto**

Los dieciséis (16) piezómetros presentaron concentraciones de oxígeno disuelto (OD) que varían entre 2,33 mg/L, valor mínimo registrado en el piezómetro Pz07, y 5,37 mg/L, valor máximo observado en el piezómetro Pz15 (ver: **Figura 3-190**).

Según la clasificación propuesta por MAPSA (2007), las concentraciones de oxígeno disuelto permiten evaluar el grado de oxigenación del agua subterránea, lo cual es un indicador clave de su calidad y del tipo de ambiente hidrogeoquímico. De acuerdo con esta clasificación, los valores registrados en los piezómetros indican condiciones que varían entre ambientes pobres en oxígeno (como en Pz07) y moderadamente oxigenados (como en Pz15). Esta variabilidad podría estar relacionada con diferencias en la profundidad de los piezómetros, tasas de recarga, permeabilidad del medio y presencia de materia orgánica o actividad microbiana. En general, el sistema subterráneo muestra características típicas de aguas de circulación relativamente lenta, con limitada interacción con la atmósfera.

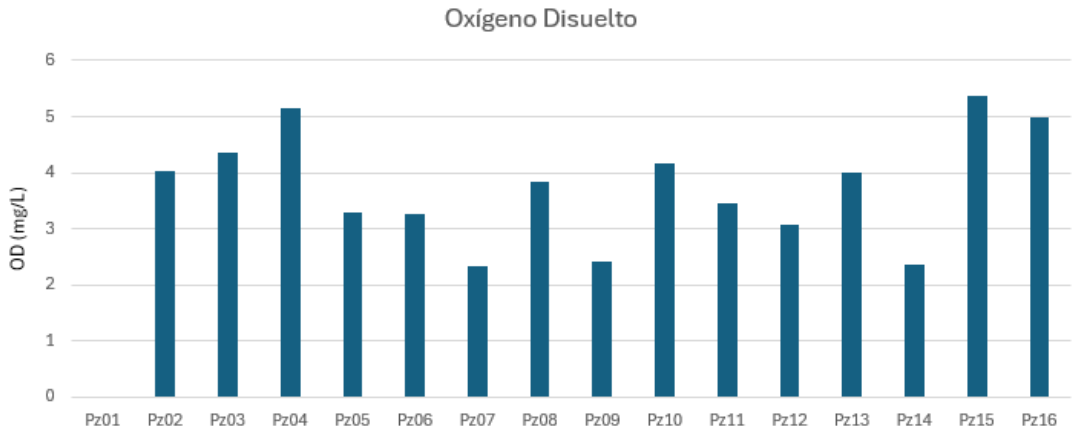


Figura 3-190 Comportamiento del oxígeno disuelto en piezómetros
Fuente: SGI S.A.S, 2025

- **Conductividad eléctrica**

La mayoría de los valores de conductividad eléctrica (CE) registrados en los dieciséis (16) piezómetros oscila entre 8 y 155 µS/cm. Los valores de conductividad eléctrica reflejan una baja concentración de iones disueltos en el agua subterránea, lo que indica una mineralización débil. Esta característica es típica de aguas jóvenes o recientemente infiltradas, con escasa interacción con las formaciones geológicas. Las bajas conductividades también pueden estar asociadas a materiales geológicos poco solubles o a zonas de recarga directa. En términos generales, los valores registrados sugieren que el acuífero presenta buena calidad química, sin indicios de salinización ni contaminación por fuentes externas. Además, estos niveles están muy por debajo del umbral comúnmente considerado como indicativo de aguas salobres (>1.500 µS/cm), lo que respalda la idoneidad del recurso para diversos usos, incluyendo el consumo humano previo tratamiento, así como usos agrícola y pecuario, conforme con lo establecido en la normativa ambiental vigente.

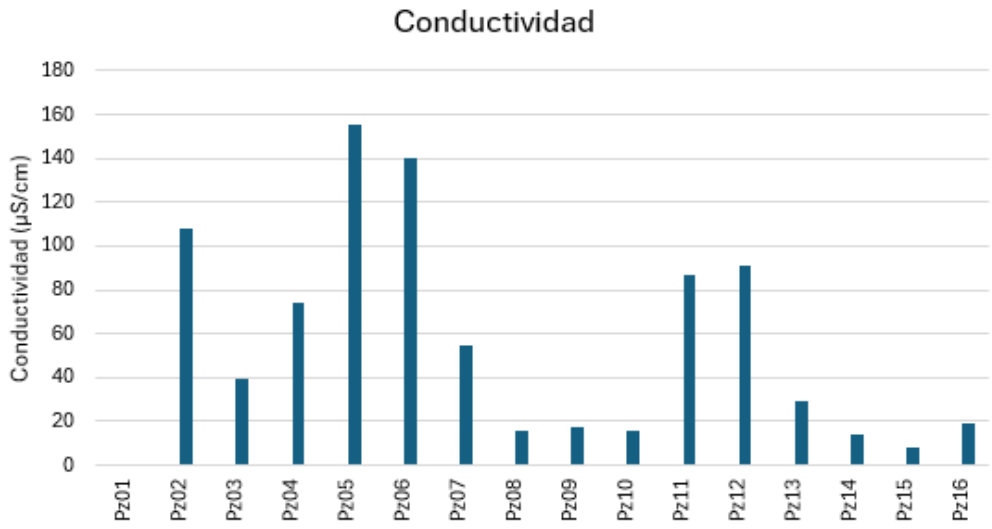


Figura 3-191 Comportamiento de la conductividad eléctrica en piezómetros
Fuente: SGI S.A.S, 2025

- **Potencial Oxido-Reducción**

El potencial de óxido-reducción (ORP) es un parámetro clave para evaluar el estado químico del agua subterránea y su capacidad para participar en reacciones de oxidación o reducción. Los valores positivos registrados (entre 173,8 mV y 369,2 mV) indican que el sistema acuífero se encuentra en condiciones oxidantes, lo que sugiere una buena disponibilidad de oxígeno disuelto y una baja actividad microbiana reductora. Además, los valores más elevados de ORP (por encima de 300 mV) reflejan una oxigenación más activa, posiblemente asociada a zonas de recarga o a una menor profundidad del nivel freático.

En conjunto, estos resultados son consistentes con un sistema hidrogeológico poco afectado por procesos reductores, lo cual es favorable desde el punto de vista de la calidad química del agua subterránea.

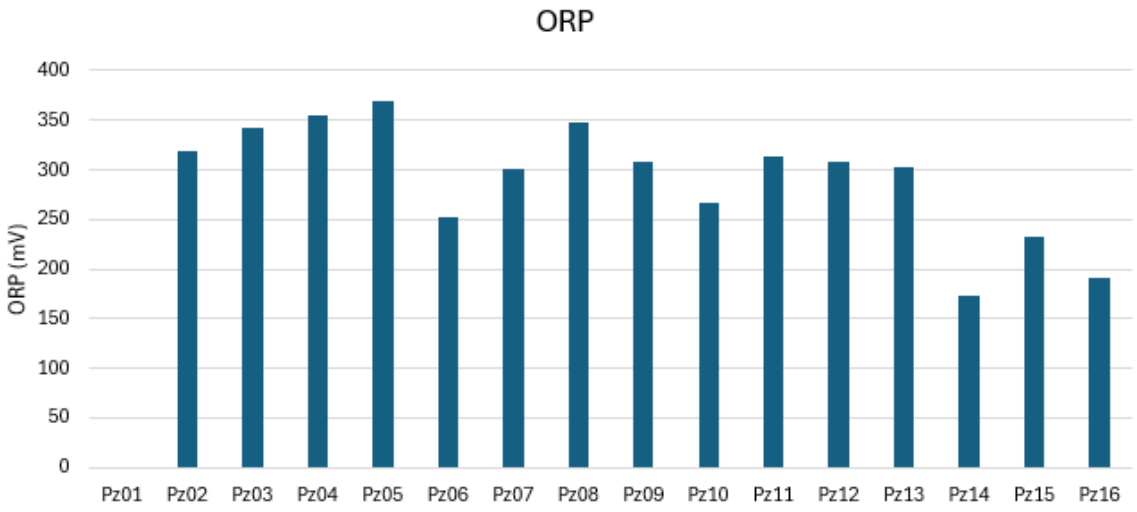


Figura 3-192 Comportamiento del potencial de óxido-reducción en piezómetros
Fuente: SGI S.A.S, 2025

- **Solidos Disueltos Totales (TDS)**

Para este parámetro, los 16 piezómetros presentan concentraciones entre 4 mg/L y 77 mg/L. Los valores de TDS registrados en los piezómetros indican una muy baja mineralización del agua subterránea, lo cual sugiere una escasa concentración de sales disueltas. Este comportamiento es típico de aguas jóvenes o recientemente recargadas, con limitada interacción con materiales geológicos solubles.

Los niveles observados están muy por debajo del límite máximo establecido para el consumo humano (1000 mg/L, según la Resolución 2115 de 2007 en Colombia), lo que implica que, desde el punto de vista de la salinidad, el agua subterránea evaluada es de excelente calidad. Estos bajos valores también pueden reflejar un entorno hidrogeológico compuesto por materiales de baja solubilidad o una recarga predominante de origen meteórico sin contaminación antropogénica significativa.

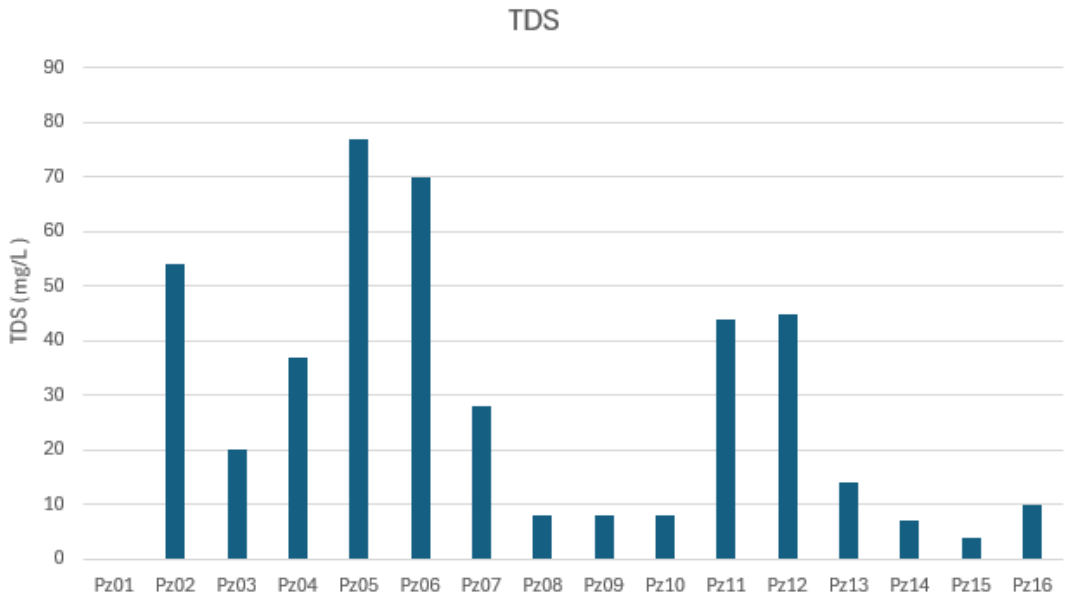


Figura 3-193 Comportamiento de los sólidos disueltos totales en piezómetros
Fuente: SGI S.A.S, 2025

3.2.7.14.4 Resultados información secundaria

Para complementar la información primaria disponible respecto a la calidad del agua subterránea, al igual que para la caracterización hidrogeoquímica, se tomaron como referencia los resultados de los monitoreos realizados en los meses de febrero y marzo en cuatro (4) pozos profundos para captación de agua subterránea adjudicados a Ecopetrol S.A. Estos pozos captan el Miembro Superior de la Formación Guayabo, permitiendo su caracterización y la determinación de la calidad del agua subterránea almacenada en estos niveles acuíferos

En cada uno de estos puntos se realizó un análisis de los resultados obtenidos y se compararon con respecto a los usos establecidos por los Artículos 2.2.3.3.9.3 (Tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo), Art. 2.2.3.3.9.4 (desinfección y criterios de calidad consumo humano y domestico), Art. 2.2.3.3.9.5 (Uso Agrícola) y Art. 2.2.3.3.9.6 (Pecuario) del Decreto único reglamentario 1076 de 2015, que especifica los límites normativos del agua según sus usos. La toma de las muestras y los ensayos analíticos fueron llevados a cabo por el laboratorio Chemilab en los meses de febrero y marzo de 2024.

En la **Tabla 3-82** se muestran los resultados del monitoreo de los meses de febrero y marzo realizado en los cuatro (4) pozos, así como su análisis con los límites establecidos en los Artículos 2.2.3.3.9.3 (Tratamiento convencional y criterios de calidad para consumo), Art. 2.2.3.3.9.4 (desinfección y criterios de calidad consumo humano y domestico), Art. 2.2.3.3.9.5 (Uso Agrícola) y Art. 2.2.3.3.9.6 (Pecuario) del Decreto único reglamentario 1076 de 2015.

Tabla 3-82. Resultados calidad de agua información secundaria de cuatro (4) pozos de agua subterránea - febrero y marzo 2024

PARÁMETRO	UNIDADES	PUNTOS DE MONITOREO				DECRETO 1076 DE 2015			
		Pozo Subestación Castilla I	Pozo Subestación Castilla II	Pozo Subestación Acacias	Pozo Subestación Chichimene				
		22/03/2024	23/03/2024	7/03/2024	5/02/2024				
		MN434886	MN435085	MN431457	MN424358	Artículo 2.2.3.3.9.3.	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5.	Artículo 2.2.3.3.9.6
ALCALINIDAD TOTAL	mg/L CaCO3	79,6	68,8	-	80,3	N.E	N.E	N.E	N.E
ALUMINIO	mg Al/L	<1	<1	-	<1	N.E	N.E	5	5
ANTIMONIO	mg Sb/L	<0,0025	<0,0025	-	<0,0025	N.E	N.E	N.E	N.E
ARSÉNICO	mg As/L	<0,0025	<0,0025	-	<0,0025	0,05	0,05	0,1	0,2
BARIO	mg Ba/L	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1	1	N.E	N.E
BICARBONATO	mg/L CaCO3	79,6	68,8	96,8	80,3	N.E	N.E	N.E	N.E
CADMIO	mg Cd/L	<0,00025	<0,00025	<0,00025	<0,00025	0,01	0,01	0,01	0,05
CALCIO	mg Ca/L	8,7	5,59	10,2	8,07	N.E	N.E	N.E	N.E
CARBONATO	mg CO_3^{2-}/L	<6,04	<6,04	<6,04	<6,04	N.E	N.E	N.E	N.E
CARBONO ORGÁNICO TOTAL	mg/L	<0,5	<0,5	<0,5	1,61	N.E	N.E	N.E	N.E
CIANURO DISUELTO	mg CN/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	N.E	0,2	N.E	N.E
CIANURO LIBRE	mg CN/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	N.E	N.E	N.E	N.E
CLORUROS	mg/L	<9,9	<9,9	<9,9	<9,9	250	250	N.E	N.E
COBRE	mg Cu/L	0,309	<0,001	<0,001	<0,001	1	1	0,2	0,5
COLIFORMES FECALES	NMP/100mL	<1	<1	<1	<1	2000	N.E	1000	N.E
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	22,8	8,6	11	16	20000	1000	5000	N.E
COLOR	UPC	5	50	10	20	75	20	N.E	N.E
CONDUCTIVIDAD	µS/cm	159	148	72,8	156	N.E	N.E	N.E	N.E
CROMO HEXAVALANTE	mg Cr/L	<0,04	<0,04	-		N.E	N.E	N.E	N.E
CROMO	mg Cr/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,05	0,05	0,1	1

PARÁMETRO	UNIDADES	PUNTOS DE MONITOREO				DECRETO 1076 DE 2015			
		Pozo Subestación Castilla I	Pozo Subestación Castilla II	Pozo Subestación Acacias	Pozo Subestación Chichimene				
		22/03/2024	23/03/2024	7/03/2024	5/02/2024				
		MN434886	MN435085	MN431457	MN424358	Artículo 2.2.3.3.9.3.	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5.	Artículo 2.2.3.3.9.6
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXÍGENO	mg/L	-	-	-	<2	N.E	N.E	N.E	N.E
DUREZA TOTAL DE LA DESCARGA	mg/L	-	-	-	63,3	N.E	N.E	N.E	N.E
E. COLI	NMP/100 mL	<1	<1	<1	<1	N.E	N.E	N.E	N.E
FENOLES	mg/L	-	-	<0,1	-	N.E	N.E	N.E	N.E
ORTOFOSFATOS	mg/L	<0,07	0,107	<0,07	<0,07	N.E	N.E	N.E	N.E
ACEITES Y GRASAS	mg/L	<2	<2	<2	<2	S.P.V	S.P.V	N.E	N.E
HIDROCARBUROS TOTALES	mg/L	<2	<2	<2	-	N.E	N.E	N.E	N.E
HIERRO	mg Fe/L	0,926	1,83	0,325	1,09	N.E	N.E	5	N.E
MAGNESIO	mg/L	3,99	3,19	6,38	8,13	N.E	N.E	N.E	N.E
MANGANESO	mg Mg/L	<0,1	0,124	<0,1	<0,1	N.E	N.E	0,2	N.E
MERCURIO	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,002	N.E	0,01
MOLIBDENO	mg Mo/L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	N.E	N.E	0,01	N.E
NÍQUEL	mg Ni/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	N.E	N.E	0,2	N.E
NITRATO	mg/L	<1	<1	<1	<1	10	10	N.E	N.E
NITRITO	mg/L	<0,00608	0,228	<0,00608	0,0134	1	1	N.E	10
NITROGENO AMONIACAL	mg NH3-N/L	<1	<1	<1	<1	N.E	N.E	N.E	N.E
OXÍGENO DISUELTO	mg/L	3,05	4,11	3,7	4,92	N.E	N.E	N.E	N.E
PH	Und pH	7,19	7,56	6,28	7,77	5,0-9,0	6,5-8,5	4,5-9,0	N.E
PLATA	mg Ag/L	<0,05	<0,05	-	-	0,05	0,05	N.E	N.E
PLOMO	mg Pb/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,05	0,05	5	0,1
POTASIO	mg K/L	3,71	3,86	4,88	3,48	N.E	N.E	N.E	N.E

PARÁMETRO	UNIDADES	PUNTOS DE MONITOREO				DECRETO 1076 DE 2015			
		Pozo Subestación Castilla I	Pozo Subestación Castilla II	Pozo Subestación Acacias	Pozo Subestación Chichimene				
		22/03/2024	23/03/2024	7/03/2024	5/02/2024				
		MN434886	MN435085	MN431457	MN424358	Artículo 2.2.3.3.9.3.	Artículo 2.2.3.3.9.4	Artículo 2.2.3.3.9.5.	Artículo 2.2.3.3.9.6
SALINIDAD EQUIVALENTE	PSU	-	-	-	0,066	N.E	N.E	N.E	N.E
SELENIO	mg Se/L	<0,0025	<0,0025	<0,0025	<0,0025	0,01	0,01	0,02	N.E
SILICE DISUELTO	mg SiO_2/L	4,1	4,69	3,34	3,38	N.E	N.E	N.E	N.E
SODIO	mg Na/L	13	14,4	11,3	5,72	N.E	N.E	N.E	N.E
SÓLIDOS DISUELTOS	mg/L	70	70	100	70	N.E	N.E	N.E	N.E
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	-	-	-	<10	N.E	N.E	N.E	N.E
SÓLIDOS TOTALES	mg/L	78	74	104	76	N.E	N.E	N.E	N.E
SULFATOS	mg/L	<5	<5	<5	<5	400	400	N.E	N.E
SURFACTANTES: ANIONICOS COMO SAAM	mg/L	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	N.E	N.E	N.E	N.E
TEMPERATURA	°C	27,2	27,7	28,2	26,3	N.E	N.E	N.E	N.E
TURBIDEZ	NTU	11	9	1,2	6,3	N.E	●190	N.E	N.E
ZINC	mg Zn/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	15	15	2	25

ART. 2.2.3.3.9.3: Consumo humano y doméstico cuando para su potabilización se requiere tratamiento convencional.

ART. 2.2.3.3.9.4: Consumo humano y doméstico cuando para su potabilización se requiere solo desinfección.

ART. 2.2.3.3.9.5: Criterios de calidad para uso agrícola.

ART. 2.2.3.3.9.6: Criterios de calidad para uso pecuario.

N.E: No Especificado en la normatividad en mención.

S.P.V: Sin película visible.

190 NTU= 10 UJT

Fuente: Chemilab S.A.S., 2024

A partir de la información presentada en la **Tabla 3-82** se puede analizar lo siguiente respecto a la calidad del agua subterránea almacenada en el Miembro Superior de la Formación Guayabo:

- pH

Las concentraciones de pH se pueden apreciar en la **Figura 3-194**, donde se presentan valores entre 6,28 unidades de pH en el punto Pozo Subestación Acacias y 7,77 unidades de pH en el punto Pozo Subestación Chichimene, lo que indica que las aguas subterráneas almacenadas en la unidad acuífera del Miembro Superior de la Formación Guayabo tienen características ligeramente ácidas. Con relación a los límites establecidos en el Decreto 1076 de 2015, se puede analizar que los cuatro (4) puntos cumplen con los límites inferiores de los Artículos 2.2.3.3.9.5 (4,5 und pH), 2.2.3.3.9.3 (5 und pH) y 2.2.3.3.9.4 (6,5 und pH), a excepción del punto Pozo Subestación Acacias que se encuentra cercano, pero por debajo del límite de 6,5 und pH. Estas fluctuaciones observadas en el pH podrían explicarse por las condiciones propias de los suelos en el área de influencia del proyecto, los cuales se caracterizan por una acidez inherente asociada a materiales geológicos de naturaleza ácida.

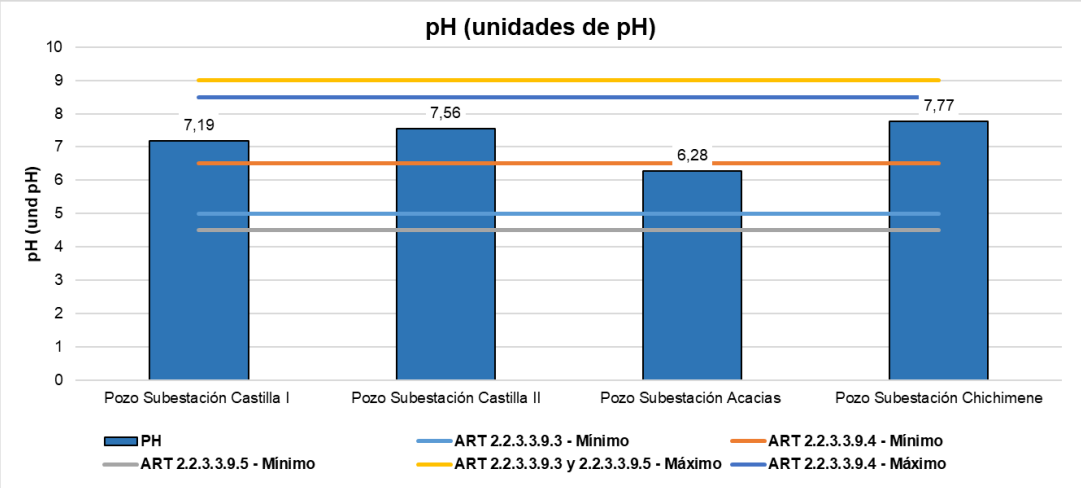


Figura 3-194. Valores de pH registrados en los pozos del monitoreo realizado en 2024
Fuente: SGI S.A.S, 2025

- Turbidez

El comportamiento de la turbidez de acuerdo con la equivalencia de 10 UJT = 190 NTU, indica que ninguno de los pozos profundos monitoreados supera el límite máximo permisible establecido en el Artículo 2.2.3.3.9.4 del Decreto 1076 de 2015 (10 UJT).

- Color

El Color expresado en UPC muestra concentraciones por debajo de los límites establecidos en los Artículos 2.2.3.3.9.3 (75 UPC) y 2.2.3.3.9.4 (20 UPC) en los puntos Pozo Subestación Castilla I (5 UPC), Pozo Subestación Acacias (10 UPC) y Pozo Subestación Chichimene (20 UPC), mientras que para el Pozo Subestación Castilla II el valor arrojado es de 50 UPC, estando por encima del límite del Artículo 2.2.3.3.9.4 (20 UPC) (**Figura 3-195**).

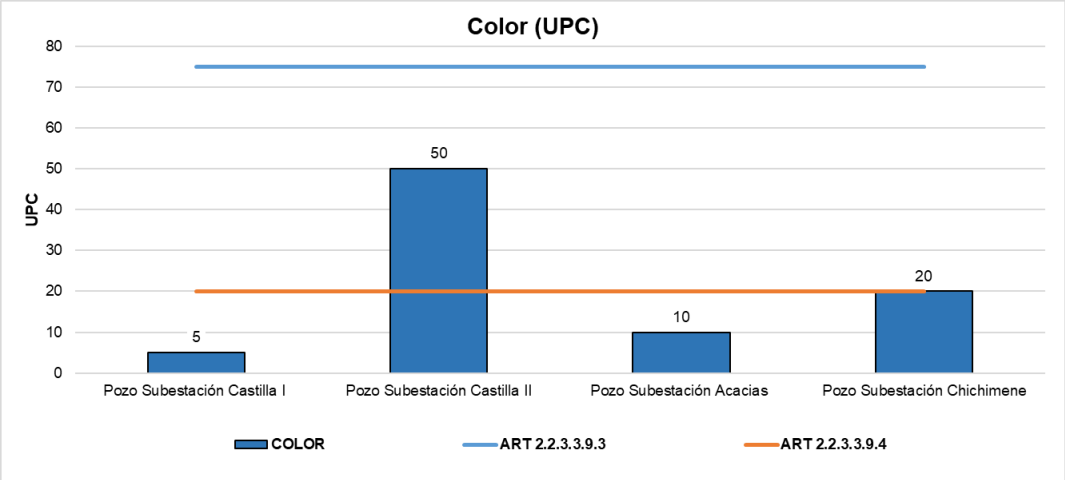


Figura 3-195. Valores de color registrados en los pozos profundos – Información secundaria
Fuente: SGI S.A.S, 2025

- Cloruros

Los cuatro (4) pozos profundos monitoreados presentan concentraciones de cloruros por debajo del límite mínimo de cuantificación del laboratorio (<9,9 mg/L), cumpliendo así con los límites establecidos en el Decreto 1076 de 2015.

- Aceites y grasas

En cuanto a Aceites y grasas, los cuatro (4) pozos profundos monitoreados presentan concentraciones por debajo del límite mínimo de cuantificación del laboratorio (<2 mg/L), cumpliendo así con los límites establecidos en el Decreto 1076 de 2015.

- Compuestos nitrogenados

Los parámetros Nitrito y Nitrato presentan concentraciones por debajo del límite de cuantificación del laboratorio (<0,00608 mg/L y <1 mg/L respectivamente) en la mayoría de los puntos evaluados, a excepción de los puntos Pozo Subestación Castilla II y Pozo Subestación Chichimene que arrojaron concentraciones de 0,228 mg/L y 0,0134 mg/L para Nitritos respectivamente. Sin embargo, ambos parámetros cumplen con los límites máximos permisibles establecidos en los Artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 del Decreto 1076 de 2015.

- Coliformes totales y fecales

El comportamiento de los Coliformes Totales y Coliformes Fecales en cada uno de los puntos evaluados cumple con los tres límites establecidos en el Decreto 1076 de 2015, la concentración más alta de Coliformes Totales fue en el punto denominado Pozo Subestación Castilla I con un valor de 22,8 NMP/100 mL, sin embargo, da cumplimiento a la normatividad ambiental vigente. Mientras

que los resultados de Coliformes Fecales arrojaron concentraciones por debajo del límite de cuantificación del laboratorio en todos los puntos analizados.

- Metales

Los metales Aluminio (<1 mg/L), Antimonio (<0,0025), Arsénico (<0,0025 mg/L), Bario (<0,5 mg/L), Cadmio (<0,00025 mg/L), Cromo (<0,001 mg/L), Mercurio (<0,001 mg/L), Molibdeno (<0,005 mg/L), Níquel (0,001 mg/L), Plata (<0,05 mg/L), Plomo (<0,001 mg/L), Selenio (<0,0025 mg/L) y Zinc (<0,05 mg/L), contienen concentraciones por debajo del límite de cuantificación del laboratorio en todos los puntos evaluados, dando así cumplimiento a los límites establecidos en el Decreto 1076 de 2015 para cada uno de estos.

Por otro lado, los metales Hierro, Manganeso, Potasio y Sodio presentan concentraciones por encima del límite de cuantificación del laboratorio en algunos puntos, sin embargo, cumplen con los límites establecidos en la normatividad ambiental vigente. A excepción del Cobre, que como se puede observar en la **Figura 3-196** presenta una concentración por encima del límite máximo establecido en el Artículo 2.2.3.3.9.5 (Uso Agrícola) (0,2 mg/L).

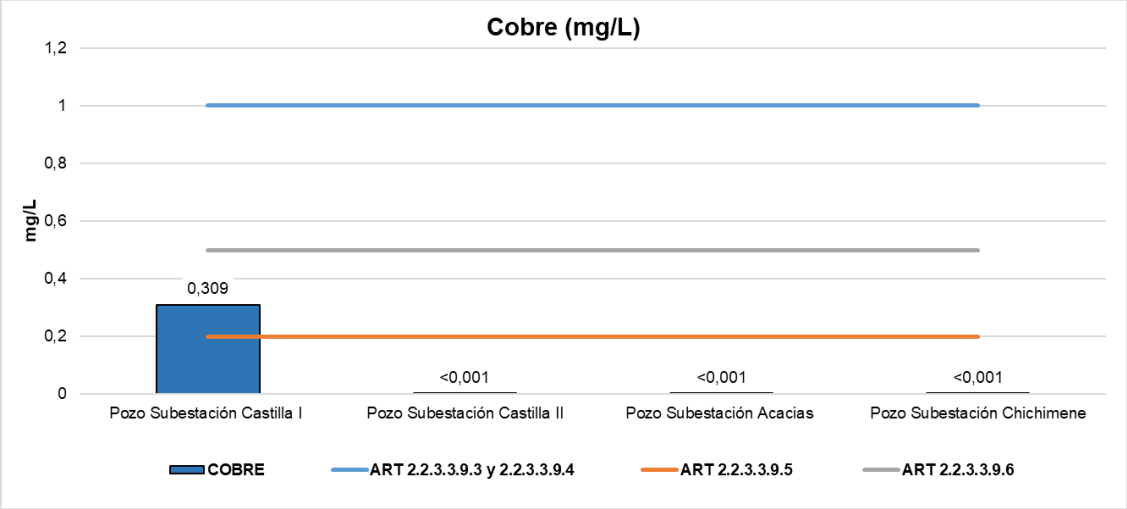


Figura 3-196. Valores de cobre registrados en los pozos profundos – Información secundaria
Fuente: SGI S.A.S, 2025

3.2.7.15 Vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación por el método DRASTIC

Los recursos hídricos subterráneos y la calidad de estos son de gran interés e importancia para la población en todo el territorio nacional debido a su uso constante en diversas actividades agrícolas y domesticas las cuales suplen las necesidades básicas de los habitantes. Por lo tanto, su protección es de sumo valor e implica un estudio detallado de las características hidrogeológicas de la zona de interés y el riesgo potencial de estar contaminado. De esta manera la determinación de la vulnerabilidad de las unidades acuíferas para la zona de estudio es de gran importancia, siendo objetivo principal preservar las fuentes de abastecimiento subterráneo y tomar conciencia del potencial de contaminación de cada una de ellas.

La vulnerabilidad de los acuíferos frente a la contaminación indica el riesgo previsible de alteración de la calidad natural del agua subterránea como consecuencia de actividades y/o instalaciones

generadoras de sustancias y agentes contaminantes, siendo una propiedad intrínseca del medio, la cual determina la sensibilidad del acuífero a ser afectado negativamente por un contaminante externo (Foster, 1987).

En el presente estudio, para el cálculo de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación se seleccionó el método DRASTIC, dado su amplia difusión y aplicación por ser considerado el método más completo y presentar facilidad de integración de sus factores dentro de Sistemas de Información Geográfica –SIG- (Rahmna, 2008). Este método fue aplicado teniendo en cuenta los parámetros consignados en la Propuesta Metodológica para la Evaluación de la Vulnerabilidad Intrínseca de los Acuíferos a la Contaminación presentada por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MADS) en el año 2010.

La metodología DRASTIC es el método más utilizado, desarrollado por Aller et al., (1987) para la United States Enviromental Protection Agency (EPA) en 1988 y considera un posible contaminante con la misma movilidad en el medio que en el agua, introducido por la superficie del terreno e incorporado al agua subterránea mediante la recarga (lluvia y/o retorno de riego).

El método se basa en la asignación de índices que van de 1 (mínima vulnerabilidad) a 10 (máxima vulnerabilidad) de acuerdo con las características y el comportamiento de cada una de las siete (7) variables consideradas en el acrónimo DRASTIC:

D = (depth to water): profundidad del nivel del agua.
R = (net recharge): recarga neta.
A = (aquifer media): formación geológica que constituye el acuífero.
S = (soil media): cubierta edáfica bajo la superficie del terreno.
T = (topography): pendiente del terreno.
I = (impact of vadose zone): tipo de material geológico de la zona no saturada.
C = (hydraulic conductivity): conductividad hidráulica del acuífero.

En la **Figura 3-197** se presentan las siete (7) variables con los respectivos insumos requeridos para estimar la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación por el método DRASTIC.

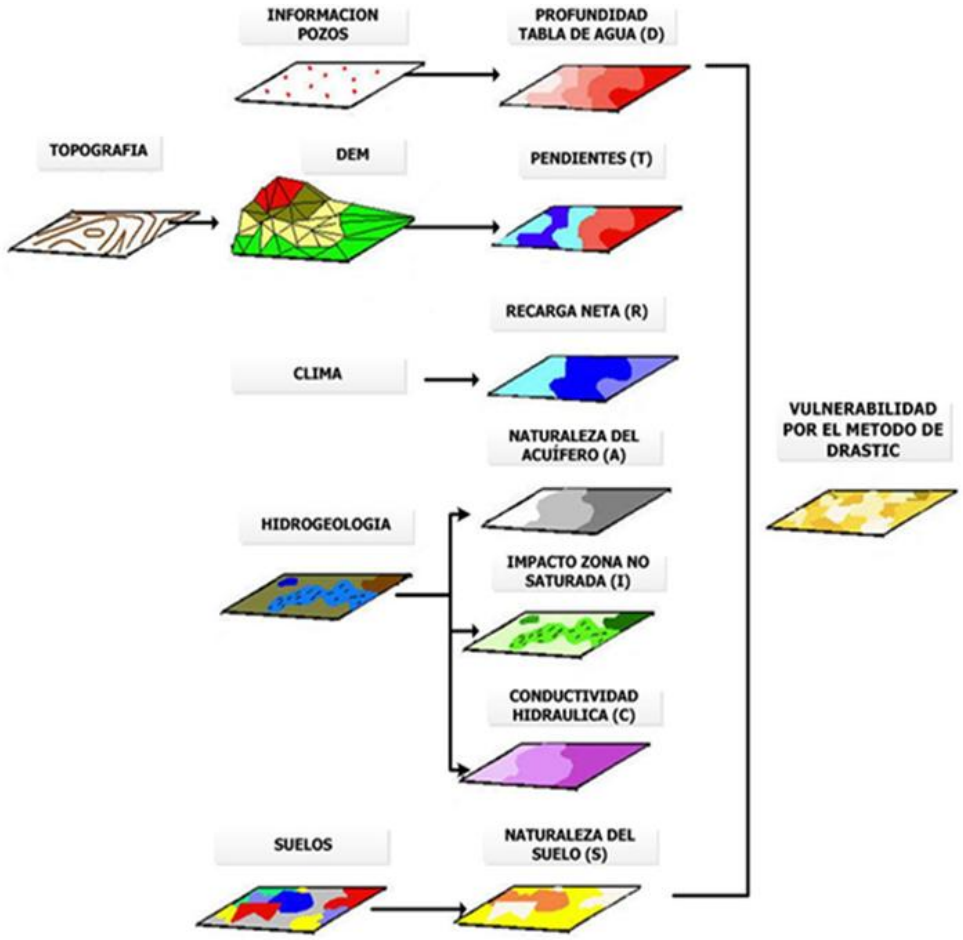


Figura 3-197 Variables consideradas para estimar la vulnerabilidad de los acuíferos por el método DRASTIC
Fuente: Modificado de National Service Center for Environmental Publications (NSCEP) (DRASTIC METOD, 1987)

A cada uno de los siete parámetros considerados por este método, se les asigna un valor comprendido entre el rango definido por la metodología, esto en función de los diferentes posibles escenarios que presenta cada parámetro, los cuales se presentan en la **Tabla 3-83**.

Tabla 3-83 Valoración de los parámetros empleados en el método DRASTIC para el cálculo de la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación

FACTORES DE VALORACIÓN – MÉTODO DRASTIC	
PARÁMETRO	**VALORACIÓN**
Profundidad del nivel de agua (D)	**Dr**
< 1.5	10
1.5 – 4.6	9
4.6 – 9.1	7
9.1 – 15.2	5

FACTORES DE VALORACIÓN – MÉTODO DRASTIC	
PARÁMETRO	**VALORACIÓN**
15.2 – 22.9	3
22.9 – 30.5	2
> 30.5	1
Recarga neta (R)	**Rr**
0 - 50	1
50 - 103	3
103 - 178	6
178 - 254	8
> 254	9
Litología del acuífero (A)	**Ar**
Lutita masiva	1 – 3
Metamórfica/Ígnea	2 – 5
Metamórfica/Ígnea meteorizada	3 – 5
Arenas y gravas de origen glaciar	4 – 6
Secuencias de arenisca, caliza y lutitas	5 – 9
Arenisca masiva	4 – 9
Caliza masiva	4 – 9
Arena o grava	4 – 9
Basaltos	2 – 10
Caliza kárstica	9 – 10
Naturaleza del suelo (S)	**Sr**
Delgado o ausente	10
Grava	10
Arena	9
Agregado arcilloso o compactado	7
Arenisca margosa	6
Marga	5
Limo margoso	4
Arcilla margosa	3
Estiércol-cieno	2
Arcilla no compactada y no agregada	1
Topografía (T)	**Tr**
0 – 2	10
2 – 6	9
6 – 12	5
12 – 18	3
> 18	1
Naturaleza de la zona no saturada (I)	**Ir**
Capa confinante	1

FACTORES DE VALORACIÓN – MÉTODO DRASTIC	
PARÁMETRO	**VALORACIÓN**
Cieno-arcilla	2 – 6
Lutita	2 – 5
Caliza	2 – 7
Arenisca	4 – 8
Secuencias de arenisca, caliza y lutita	4 – 8
Arena o grava con contenido de cieno y arcilla significativo	4 – 8
Metamórfica/Ígnea	2 – 8
Grava y arena	6 – 9
Basalto	2 – 10
Caliza kárstica	8 – 10
Conductividad hidráulica (C)	**Cr**
0.04 – 4.08	1
4.08 – 12.22	2
12.22 – 28.55	3
28.55 – 40.75	6
40.75 – 81.49	8
> 81.49	10

Fuente: MAVDT, 2010

Con base en las siete (7) variables mencionadas, se determina un valor numérico para cada área con características homogéneas desde el punto de vista hidrogeológico. Para tal efecto, se desarrolla un modelo aditivo, a partir de la sumatoria de los valores asignados a cada parámetro y el peso ponderado que recibe cada una de las siete (7) variables. Por lo tanto, el índice de vulnerabilidad obtenido es el resultado de sumar el valor de cada parámetro multiplicado por su índice de ponderación:

$$\text{Contaminación potencial} = (\text{Dw} \cdot \text{Dr}) + (\text{Rw} \cdot \text{Rr}) + (\text{Aw} \cdot \text{Ar}) + (\text{Sw} \cdot \text{Sr}) + (\text{Tw} \cdot \text{Tr}) + (\text{Iw} \cdot \text{Ir}) + (\text{Cw} \cdot \text{Cr})$$

Dónde:

Dw, Rw, Aw, Sw, Tw, Iw y Cw corresponden a la ponderación de cada uno de parámetros o factores señalados anteriormente.

Dr, Rr, Ar, Sr, Tr, Ir y Cr corresponden a la valoración interna de cada parámetro de acuerdo con la variabilidad de la propiedad.

En la **Tabla 3-84** se presentan los factores de ponderación y los rangos de calificación de las siete (7) variables empleadas para el cálculo de la vulnerabilidad de los acuíferos por el método DRASTIC.

Tabla 3-84 Factores de ponderación y rangos de los parámetros empleados en el método DRASTIC para el cálculo de la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación

VULNERABILIDAD MÉTODO DRASTIC		
PARÁMETROS	**FACTOR DE PONDERACIÓN (w)**	**RANGO (r)**
Profundidad del nivel de agua	5	1 - 10
Recarga neta	4	1 - 9
Litología del acuífero	3	1 - 10
Naturaleza del suelo	2	1 - 10
Topografía	1	1 - 10
Impacto de la zona no saturada	5	1 - 10
Permeabilidad	3	1 - 10

Fuente: National Service Center for Environmental Publications (NSCEP) - DRASTIC METOD

Para el análisis de la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación dentro del área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare, se tuvo en cuenta las características petrofísicas, hidrológicas e hidráulicas del área teniendo en cuenta las unidades hidrogeológicas presentes en la zona de estudio.

A continuación, se describe cada uno de los parámetros tenidos en cuenta en el método DRASTIC para el cálculo de la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación.

- **Profundidad del nivel de agua – Parámetro D**

Esta variable se definió con base en el inventario de puntos de agua subterránea levantado entre los meses de marzo y abril de 2025 por la compañía Servicios Geológicos Integrados S.A.S. Este inventario está constituido por 155 puntos de agua subterránea, entre los que se encuentran manantiales, aljibes, pozos y piezómetros.

Teniendo en cuenta que la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación asume una carga contaminante proveniente de la superficie, esta vulnerabilidad se centra en el acuífero más somero, ya que es el que se encuentra más expuesto a factores contaminantes. Por esta razón, para la valoración de este parámetro se tuvo en cuenta únicamente los puntos hidrogeológicos que cuentan con medición del nivel de agua y los cuales están captando exclusivamente el primer nivel acuífero. Para definir el espesor del primer nivel acuífero presente en el área de influencia, se recurrió a los métodos geofísicos realizados (tomografías eléctricas y sondeos eléctricos verticales), en las cuales se evidencia que el primer nivel acuífero presenta un espesor variable entre 60 a 70 metros.

Con base en lo anterior, para llevar a cabo la valoración del parámetro “Profundidad del nivel de agua”, inicialmente se realizó una depuración de los puntos hidrogeológicos que no cumplieran con las condiciones mencionadas anteriormente (que capten el primer nivel acuífero y que tengan registro del nivel de agua), a partir de la cual se descartaron diecisiete (17) puntos hidrogeológicos.

De esta manera, se seleccionaron ciento treinta y ocho (138) puntos de agua subterránea, a partir de los cuales se realizó la valoración del parámetro “Dr”, teniendo en cuenta los niveles de agua medidos en estos puntos hidrogeológicos y siguiendo los rangos y valoraciones propuestos en la metodología (**Tabla 3-83**). En la **Tabla 3-85** se presentan los 138 puntos hidrogeológicos empleados para realizar la valoración de esta variable, junto con la profundidad, nivel de agua medido en campo y la calificación del parámetro “Dr” que recibe cada uno de estos puntos según el nivel de agua registrado.

Tabla 3-85 Valoración del parámetro D "Profundidad del nivel de agua" – Método DRASTIC

N°	ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		PROFUNDIDAD (m)	NIVEL AGUA (m)	CALIFICACIÓN PARAMETRO (Dr)
			ESTE (m)	NORTE (m)			
1	AL01	Aljibe	4944304,48	1997001,75	4,68	1,00	10
2	AL02	Aljibe	4943866,48	1999548,99	0,00	0,75	10
3	AL03	Aljibe	4943951,42	1998504,33	3,39	0,70	10
4	AL04	Aljibe	4944020,22	1997946,97	3,13	0,62	10
5	AL05	Aljibe	4944037,43	1997429,56	4,92	1,39	10
6	AL06	Aljibe	4945568,65	1997300,67	6,83	0,88	10
7	AL07	Aljibe	4928251,43	1996252,24	7,72	1,01	10
8	AL08	Aljibe	4926601,39	1996925,84	2,20	0,96	10
9	AL09	Aljibe	4946607,88	1997371,04	2,77	1,66	9
10	AL10	Aljibe	4946496,93	1997347,32	3,10	1,55	9
11	AL100	Aljibe	4929626,00	1985903,00	8,42	3,63	9
12	AL11	Aljibe	4945695,67	1994486,27	5,01	3,27	9
13	AL12	Aljibe	4944393,38	1995665,60	2,50	1,95	9
14	AL13	Aljibe	4943722,01	1995457,28	4,90	2,48	9
15	AL14	Aljibe	4943929,80	1995556,33	2,53	1,51	9
16	AL15	Aljibe	4943636,45	1995485,36	6,86	3,26	9
17	AL16	Aljibe	4943741,30	1995562,41	5,58	2,96	9
18	AL17	Aljibe	4943905,30	1995593,24	0,00	2,12	9
19	AL18	Aljibe	4926959,72	1996613,89	4,86	1,95	9
20	AL19	Aljibe	4942744,58	1995938,07	9,74	5,49	7
21	AL20	Aljibe	4942880,51	1996073,90	3,52	0,36	10
22	AL21	Aljibe	4942163,52	1996553,06	10,00	6,12	7
23	AL22	Aljibe	4942290,14	1997029,24	2,63	0,59	10
24	AL23	Aljibe	4939657,76	1998169,07	4,04	1,45	10
25	AL24	Aljibe	4939243,70	1998432,34	5,02	2,08	9
26	AL25	Aljibe	4939866,59	1998067,45	4,02	2,04	9
27	AL26	Aljibe	4938904,29	1998570,25	6,96	1,92	9
28	AL27	Aljibe	4935793,81	1999715,05	2,94	1,93	9
29	AL28	Aljibe	4936008,06	1999314,84	8,81	6,38	7
30	AL29	Aljibe	4935179,21	1999517,47	2,50	0,81	10
31	AL30	Aljibe	4932095,56	1999960,71	5,37	1,93	9
32	AL31	Aljibe	4935766,41	1999419,67	12,20	2,49	9
33	AL33	Aljibe	4934978,70	1999255,85	5,24	3,22	9
34	AL34	Aljibe	4945028,47	1996358,51	6,19	3,04	9
35	AL35	Aljibe	4939445,21	1998163,08	9,82	7,00	7
36	AL36	Aljibe	4934762,34	1999264,19	6,22	2,42	9
37	AL37	Aljibe	4934572,77	1998390,96	5,90	2,08	9

N°	ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		PROFUNDIDAD (m)	NIVEL AGUA (m)	CALIFICACIÓN PARAMETRO (Dr)
			ESTE (m)	NORTE (m)			
38	AL38	Aljibe	4934411,76	1997976,63	8,13	5,29	7
39	AL39	Aljibe	4934718,10	1998941,78	5,63	2,69	9
40	AL40	Aljibe	4928322,52	2000638,29	9,60	5,04	7
41	AL41	Aljibe	4939234,31	1988356,01	2,00	0,95	10
42	AL42	Aljibe	4939112,76	1988707,59	13,08	10,19	5
43	AL43	Aljibe	4936553,60	1990763,26	4,99	4,32	9
44	AL44	Aljibe	4938888,24	1989401,22	12,75	11,43	5
45	AL45	Aljibe	4940163,25	1989541,14	2,46	1,36	10
46	AL46	Aljibe	4939024,91	1989251,88	14,13	11,51	5
47	AL47	Aljibe	4943950,06	1995477,04	4,39	2,09	9
48	AL48	Aljibe	4937128,91	1987839,89	9,72	5,71	7
49	AL49	Aljibe	4937797,83	1995089,95	5,60	2,50	9
50	AL50	Aljibe	4934919,10	1995540,34	3,16	1,70	9
51	AL51	Aljibe	4934813,33	1995516,97	5,00	3,40	9
52	AL52	Aljibe	4934838,42	1995517,48	6,10	3,66	9
53	AL53	Aljibe	4935695,66	1995189,67	3,90	0,66	10
54	AL54	Aljibe	4934685,94	1995474,16	4,80	2,84	9
55	AL55	Aljibe	4934312,77	1995435,30	9,20	3,55	9
56	AL56	Aljibe	4934358,27	1995823,48	8,00	2,91	9
57	AL57	Aljibe	4933901,53	1995260,92	8,43	5,21	7
58	AL58	Aljibe	4934033,89	1995099,89	6,34	4,09	9
59	AL59	Aljibe	4934260,99	1995402,88	6,70	2,23	9
60	AL60	Aljibe	4925366,98	1997584,06	10,82	6,66	7
61	AL61	Aljibe	4924398,77	1997961,35	7,26	4,49	9
62	AL62	Aljibe	4935789,27	1988456,61	6,90	5,34	7
63	AL63	Aljibe	4936101,37	1995026,06	5,72	0,67	10
64	AL64	Aljibe	4927323,77	2000208,61	4,43	1,26	10
65	AL65	Aljibe	4927290,36	2000160,75	3,13	0,49	10
66	AL67	Aljibe	4926114,50	1999113,08	6,00	3,13	9
67	AL68	Aljibe	4925937,18	1999066,42	6,80	2,34	9
68	AL69	Aljibe	4925856,64	1999038,26	6,28	2,73	9
69	AL70	Aljibe	4942687,83	1988483,86	4,37	2,66	9
70	AL71	Aljibe	4940825,22	1986662,57	7,40	4,50	9
71	AL72	Aljibe	4935710,08	1988518,36	9,74	5,94	7
72	AL73	Aljibe	4933551,01	1989158,19	6,74	2,70	9
73	AL75	Aljibe	4942804,78	1996193,85	5,40	1,66	9
74	AL76	Aljibe	4941208,02	1996638,37	7,30	3,74	9
75	AL78	Aljibe	4937355,73	1999072,00	3,40	2,01	9

N°	ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		PROFUNDIDAD (m)	NIVEL AGUA (m)	CALIFICACIÓN PARAMETRO (Dr)
			ESTE (m)	NORTE (m)			
76	AL79	Aljibe	4933436,32	1991061,02	3,90	1,90	9
77	AL80	Aljibe	4931694,19	1985617,84	5,15	3,23	9
78	AL81	Aljibe	4931674,15	1985622,87	5,45	2,90	9
79	AL82	Aljibe	4931676,37	1985657,70	4,95	2,99	9
80	AL85	Aljibe	4931647,09	1985726,31	6,34	3,74	9
81	AL86	Aljibe	4932386,84	1985171,15	2,47	0,06	10
82	AL87	Aljibe	4938410,91	1986864,25	5,25	3,29	9
83	AL89	Aljibe	4940555,38	1996903,66	6,14	2,33	9
84	AL90	Aljibe	4939181,34	1988460,61	9,80	7,30	7
85	AL91	Aljibe	4939148,60	1988547,73	10,58	8,06	7
86	AL92	Aljibe	4939179,18	1988590,25	10,46	8,28	7
87	AL93	Aljibe	4939205,16	1988605,73	10,88	8,35	7
88	AL94	Aljibe	4939129,91	1988604,85	10,87	9,08	7
89	AL95	Aljibe	4939113,30	1988777,18	12,49	10,30	5
90	AL96	Aljibe	4939090,48	1988795,93	12,10	10,24	5
91	AL97	Aljibe	4939077,13	1988832,62	14,87	11,52	5
92	AL98	Aljibe	4929495,00	1986015,00	5,40	1,91	9
93	AL99	Aljibe	4930303,00	1989833,00	10,34	5,93	7
94	M01	Manantial	4930339,32	1999979,65	1,22	1,18	10
95	M02	Manantial	4934611,84	1987049,74	0,00	0,00	10
96	M03	Manantial	4940007,62	1989627,37	0,25	0,00	10
97	M04	Manantial	4935507,81	1993456,67	0,00	0,00	10
98	M05	Manantial	4926484,50	1996143,97	0,00	0,00	10
99	M06	Manantial	4926618,13	1996203,33	1,10	0,40	10
100	M07	Manantial	4938651,01	1993940,37	0,00	0,00	10
101	M08	Manantial	4934456,63	1995114,50	0,30	0,00	10
102	M09	Manantial	4934368,02	1995104,87	0,00	0,00	10
103	M10	Manantial	4925667,99	1997580,96	0,00	0,00	10
104	M11	Manantial	4925603,74	1997542,93	0,00	0,00	10
105	M12	Manantial	4925174,19	1997716,10	0,25	0,00	10
106	M13	Manantial	4938566,65	1986400,29	0,17	0,00	10
107	M14	Manantial	4935516,49	1988598,08	0,62	0,00	10
108	M15	Manantial	4935404,04	1987894,33	0,00	0,00	10
109	M16	Manantial	4931392,08	1986801,59	6,15	0,00	10
110	M17	Manantial	4936143,89	1995017,93	0,08	0,00	10
111	M18	Manantial	4933193,98	1989271,56	0,11	0,00	10
112	M19	Manantial	4927595,67	1996019,66	0,00	0,00	10
113	M20	Manantial	4935630,66	1988468,36	0,00	0,00	10

N°	ID	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS ORIGEN NACIONAL		PROFUNDIDAD (m)	NIVEL AGUA (m)	CALIFICACIÓN PARAMETRO (Dr)
			ESTE (m)	NORTE (m)			
114	M21	Manantial	4928331,36	1998989,82	0,00	0,00	10
115	M22	Manantial	4928197,08	1998978,31	0,00	0,00	10
116	M23	Manantial	4931645,64	1990141,54	0,00	0,00	10
117	M24	Manantial	4931586,77	1990145,60	2,21	0,00	10
118	M25	Manantial	4931501,28	1990155,32	0,00	0,00	10
119	M26	Manantial	4932280,15	1986013,90	0,00	0,00	10
120	M27	Manantial	4930941,51	1985624,11	0,00	0,00	10
121	P03	Pozo	4943735,76	1995559,28	6,95	3,11	9
122	P04	Pozo	4934872,75	1988184,67	32,69	2,23	9
123	Pz02	Piezómetro	4934762,32	1986498,47	12,12	2,04	9
124	Pz03	Piezómetro	4934377,20	1987115,25	11,63	9,82	5
125	Pz04	Piezómetro	4934910,29	1986848,61	10,37	2,38	9
126	Pz05	Piezómetro	4935445,53	1987026,92	11,92	4,02	9
127	Pz06	Piezómetro	4935089,28	1987485,48	12,37	2,98	9
128	Pz07	Piezómetro	4935072,87	1987744,24	12,04	2,38	9
129	Pz08	Piezómetro	4934902,81	1988054,31	7,99	3,90	9
130	Pz09	Piezómetro	4935018,10	1988065,10	10,26	1,86	9
131	Pz10	Piezómetro	4934492,65	1988019,23	10,22	8,12	7
132	Pz11	Piezómetro	4934801,32	1987686,96	8,93	4,10	9
133	Pz12	Piezómetro	4934757,63	1987873,35	7,92	4,92	7
134	Pz13	Piezómetro	4934709,38	1988071,60	8,38	2,24	9
135	Pz14	Piezómetro	4934989,76	1987843,60	8,70	5,87	7
136	Pz15	Piezómetro	4937251,95	1991706,99	10,98	1,35	10
137	Pz16	Piezómetro	4937312,99	1991752,06	12,08	2,21	9
138	Pz17	Piezómetro	4929331,44	1991636,16	5,45	2,92	9

Fuente: SGI S.A.S., 2025

Los 138 puntos hidrogeológicos considerados para la valoración de esta variable presentan niveles de agua comprendidos desde ras de superficie (0 metros en el caso de los manantiales) hasta los 11,52 metros de profundidad; razón por la cual, reciben valoraciones de 10, 9, 7 y 5, siendo 5 la calificación más baja asignada a una limitada cantidad de puntos hidrogeológicos (principalmente aljibes con profundidades entre 12 y 14,87 metros) cuyos niveles de agua registrados oscilaban entre 10,19 metros a 11,52 metros. Estas valoraciones se asignaron considerando que entre más profundo esté el nivel del agua, menos vulnerable es a la infiltración de agentes contaminantes provenientes de la superficie, ya que los agentes contaminantes deben recorrer una distancia mayor para llegar al nivel freático.

En la **Figura 3-198** se presenta la distribución espacial de las valoraciones asignadas al parámetro D “profundidad del nivel de agua”, teniendo en cuenta el acuífero más somero identificado en el área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare.

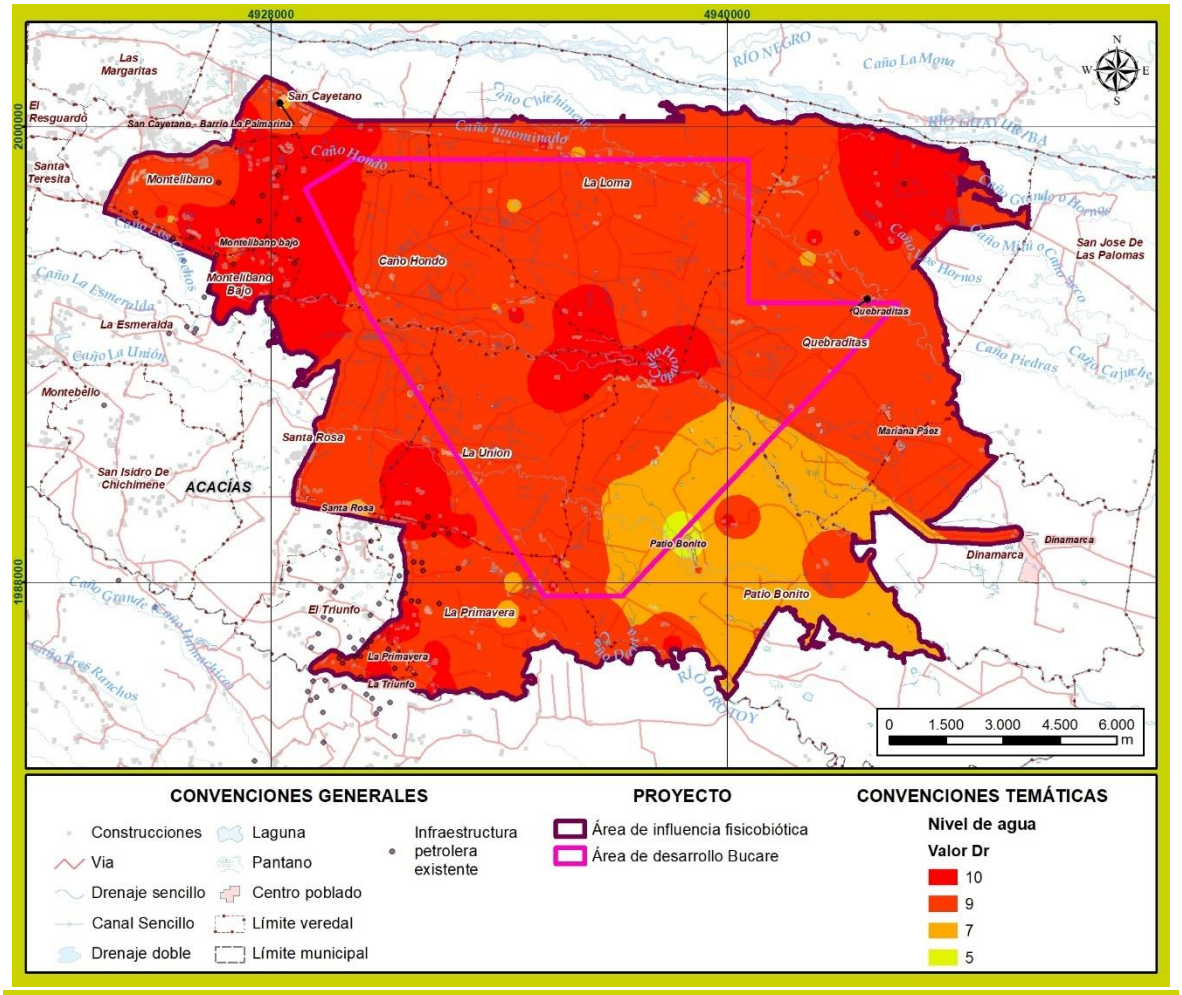


Figura 3-198 Profundidad del nivel de agua subterránea – Método DRASTIC
Fuente: SGI S.A.S., 2025

Como se puede observar en la **Figura 3-198**, en la mayoría del área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare predominan los niveles de agua con profundidades entre 1,5 a 4,6 metros, los cuales fueron calificados con un valor de 9, indicando que en estas zonas el nivel del agua subterránea es somero y, por ende, presenta un grado de vulnerabilidad alto. Esto es coherente al tener en cuenta que la mayor parte de los puntos hidrogeológicos identificados en el área de influencia corresponden a aljibes, los cuales captan niveles acuíferos que no superan los 14 metros de profundidad, en los que generalmente los niveles freáticos también son someros.

Adicionalmente, los manantiales identificados y que fueron tenidos en cuenta para la valoración de este parámetro presentan niveles de agua a ras de superficie, recibiendo una calificación de 10. Por otra parte, 20 puntos hidrogeológicos, principalmente aljibes y algunos piezómetros ubicados hacia el sureste del área de influencia, reportan niveles freáticos comprendidos entre 4,6 a 9,1 metros de profundidad, razón por la cual reciben una valoración de 7. Finalmente, únicamente 7 puntos hidrogeológicos presentaron un nivel de agua un poco más profundo, por lo que fueron valorados con 5. A partir de lo anterior, se puede deducir que, en términos generales, el primer acuífero identificado en el área de estudio presenta niveles freáticos muy someros, los cuales hacen que las

aguas subterráneas almacenadas sean más propensas a ser afectadas por una carga contaminante proveniente de la superficie.

- **Recarga neta – Parámetro R**

La recarga neta es la fracción de la recarga potencial que se infiltra al acuífero y representa una fuente de recarga para estos. Es decir, la recarga neta representa la cantidad efectiva de agua que realmente llega al acuífero después de tener en cuenta las pérdidas que puede presentar la recarga potencial asociadas a la evapotranspiración, la retención del suelo, escorrentía superficial, entre otras.

El cálculo de la recarga potencial de acuíferos se realizó mediante un balance hídrico de suelos, según la propuesta de Schosinsky (2006) y Schosinsky y Losilla (2000), en la que intervienen las siguientes variables: precipitación mensual, intercepción de lluvia por follaje, capacidad de infiltración del suelo, capacidad de campo, punto de marchitez, cobertura vegetal, profundidad de las raíces, evapotranspiración real determinada por coeficientes de humedad, uso del suelo y pendiente del terreno.

A partir del método de Schosinsky, se estimó que en el área de influencia del EIA para el Área de Desarrollo Bucare, la recarga potencial varía entre 0 a 2095,33 mm/año. Ahora bien, teniendo como referencia el Modelo Hidrogeológico Conceptual del Valle Medio del Magdalena para las planchas 108 y 119 Puerto Wilches, Barrancabermeja, Sabana de Torres y San Vicente del Chucuri realizado por el Servicio Geológico Colombiano, en el cual mencionan que la recarga neta puede corresponder al 10, 20 o 30% de la recarga potencial estimada; para el presente proyecto se seleccionó el escenario en el que la recarga neta corresponde únicamente al 10% de la recarga potencial, esto teniendo en cuenta otros Estudios de Impacto Ambiental realizados en zonas aledañas al área de influencia.

Con base en lo anterior, se estimó que la recarga neta en el área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare oscila entre 0 a 209,53 mm/año, los cuales reciben las valoraciones presentadas en la **Tabla 3-86**, según lo expuesto en la metodología.

Tabla 3-86 Valoración del parámetro R “Recarga neta” – Método DRASTIC

RECARGA NETA (mm/año)	VALOR ASIGNADO
0 - 50	1
50 - 103	3
103 – 178	6
178 – 209,53	8

Fuente: SGI S.A.S., 2025

En la **Figura 3-199** se presenta la distribución espacial de la valoración asignada al parámetro R “Recarga neta” en el área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare.

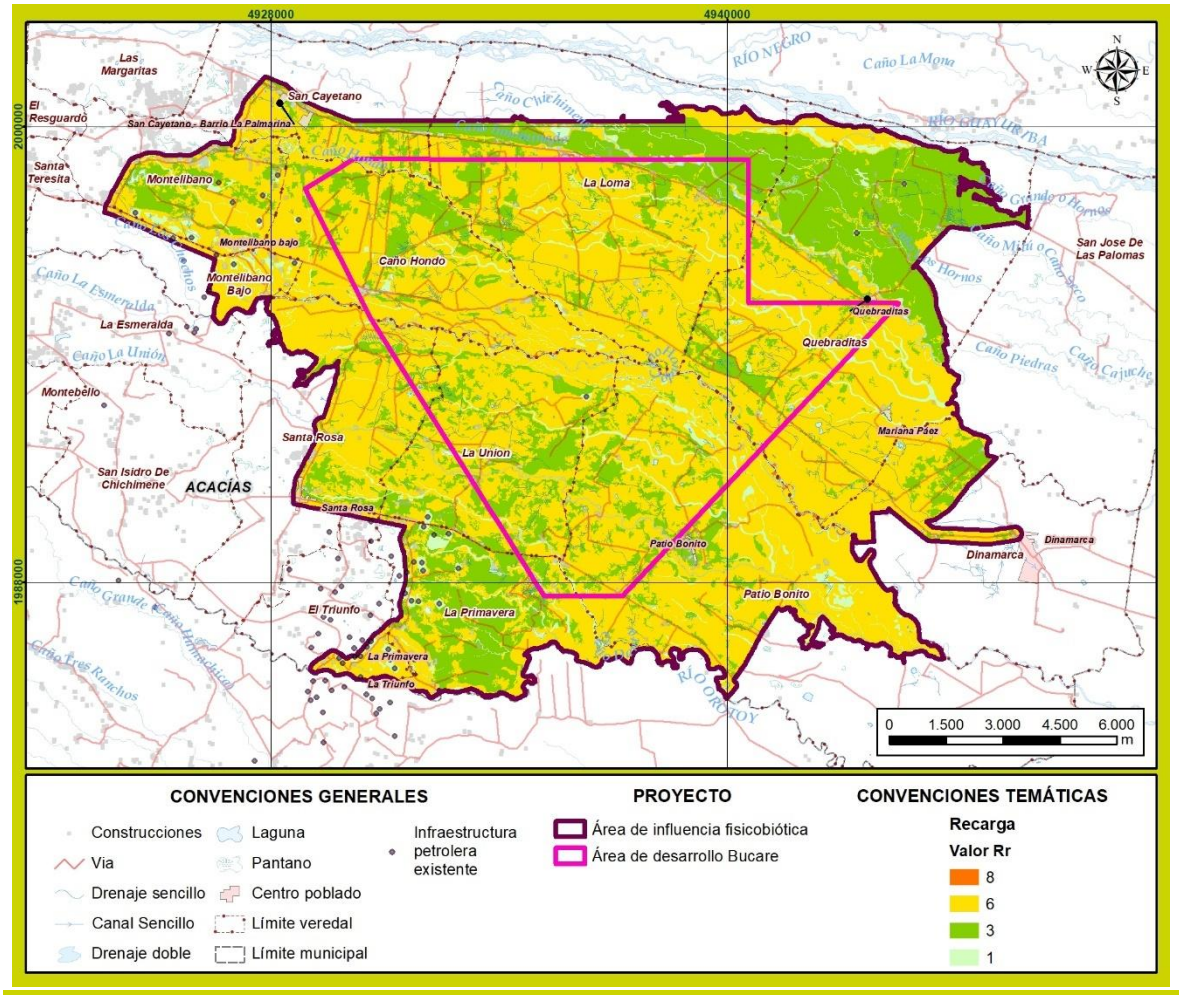


Figura 3-199 Recarga neta – Método DRASTIC
Fuente: SGI S.A.S., 2025

En la **Figura 3-199** se puede observar que la mayor parte del área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare presenta una recarga neta medianamente alta que puede contribuir a la infiltración de agentes contaminantes provenientes de la superficie; aunque, en menor proporción, también hay presencia de zonas donde la recarga neta es menor.

- **Litología y estructura del medio acuífero – Parámetro A**

Para la geología del acuífero, se tuvo en cuenta las descripciones litológicas y texturales descritas durante la campaña de campo realizada por SGI S.A.S., la cual comprende descripciones macroscópicas, observaciones de campo y métodos geofísicos realizados en el área tales como Tomografías y Sondeos Eléctricos Verticales.

Dicho lo anterior, en la **Tabla 3-87** se presentan los valores asignados, según los rangos establecidos por el MAVDT (2010) (**Tabla 3-83**), a cada una de las siete (7) unidades geológicas aflorantes en el área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare.

Tabla 3-87 Valoración del parámetro A litología del acuífero – Método DRASTIC

UNIDAD GEOLÓGICA	NOMENCLATURA	VALOR ASIGNADO
Depósitos aluviales de drenajes mayores	Q2al1	8
Depósitos aluviales de drenajes menores	Q2al2	8
Depósitos de Abanico Aluvial	Q1ca	5
Depósitos de planos de inundación de drenajes mayores	Q2pi	4
Depósitos de Terraza Alta	Qt1	6
Depósitos de Terraza Baja	Q2t3	6
Depósitos de Terraza Media	Qt2	6
Infraestructura	-	0

Fuente: SGI S.A.S., 2025

A las zonas cubiertas por infraestructura se les asignó un valor de 0, dado que en estos sectores el suelo es compactado para su desarrollo o se recubre con capas de cemento u otros materiales impermeables. En cualquiera de estos casos, el terreno queda impermeabilizado, lo que impide la infiltración del agua proveniente de la superficie.

En la **Figura 3-200** se presenta la distribución espacial de las valoraciones asignadas al parámetro A correspondiente a la “Litología y/o naturaleza del acuífero” dentro del área de influencia del presente proyecto.

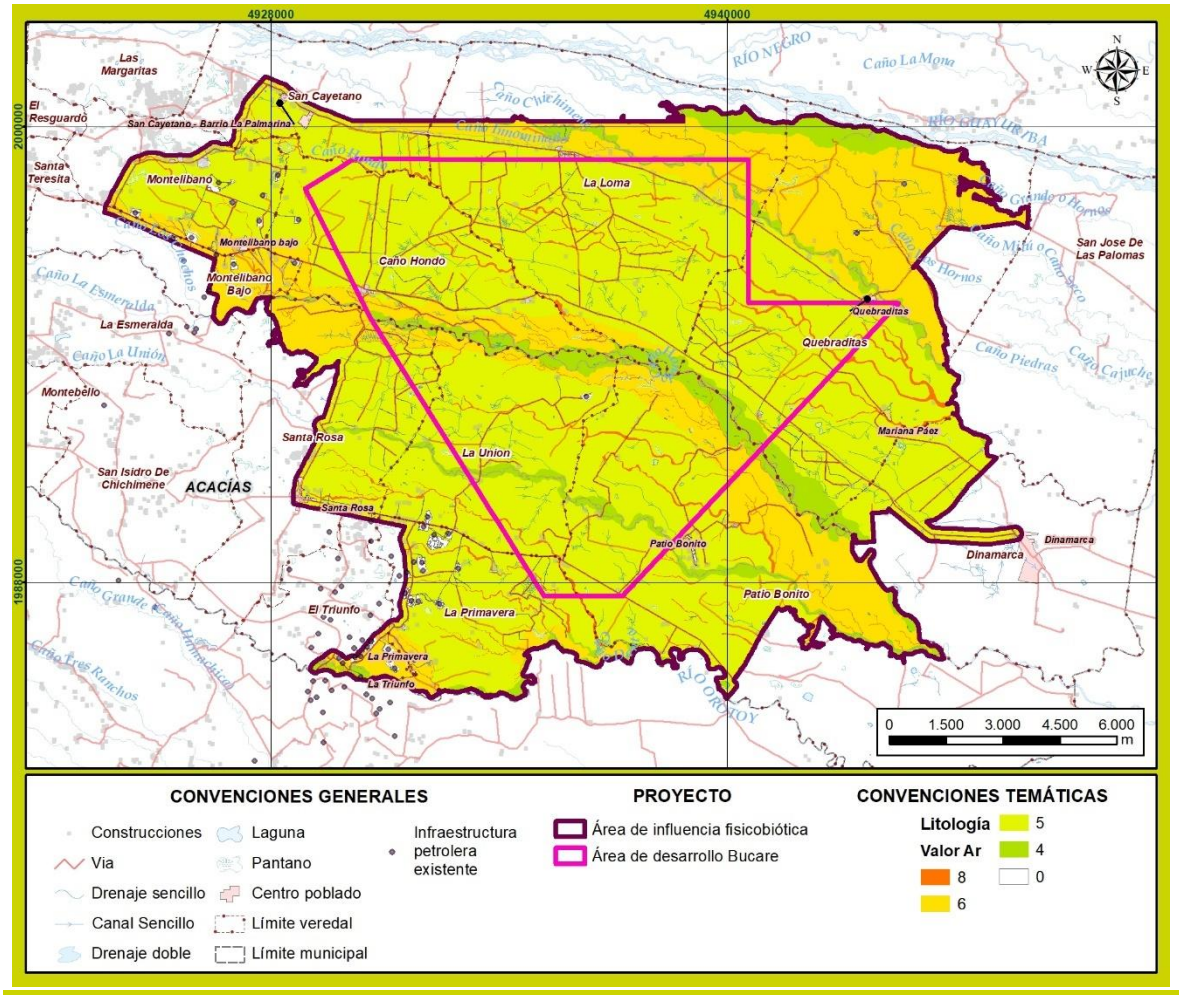


Figura 3-200 Litología y naturaleza del acuífero – Parámetro A
Fuente: SGI S.A.S., 2025

En la **Figura 3-200** se puede observar que en la mayor parte del área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare aflora los depósitos de abanico aluvial (Q1ca), la cual recibió una valoración de 5, basada en el grado de compactación que presentan estos depósitos.

- **Tipo de Suelo (S)**

Para este parámetro se tuvo en cuenta el mapa de suelos y las descripciones texturales realizadas en campo para elaborar los perfiles modales de cada una de las unidades cartografiables de suelo (UCS) identificadas en el área de influencia. Con base en estas descripciones, se calificó cada una de las unidades de suelo, tomando como base la información presentada en la **Tabla 3-83** y teniendo en cuenta que las texturas más finas son menos vulnerables a la contaminación porque retrasan el ingreso de agentes contaminantes al acuífero, mientras que texturas más gruesas presentan mayor permeabilidad y, por ende, mayor facilidad de infiltración.

En relación con los cuerpos de agua naturales y artificiales, los cuales no están cubiertos por una capa de suelo, la infiltración de agentes contaminantes se ve facilitada. Esto se debe a que la ausencia de una capa protectora de suelo favorece la infiltración de contaminantes hacia los

acuíferos. Teniendo en cuenta lo anterior, a los cuerpos de agua se les asignó la valoración más alta (10), debido a la alta vulnerabilidad que presentan los acuíferos en estas zonas.

Por el contrario, áreas donde hay desarrollo de infraestructura, tales como redes viales, zonas industriales, viviendas, entre otras, son las zonas menos vulnerables a la infiltración de agentes contaminantes provenientes de la superficie, pues el terreno en estas áreas es muy compacto y firme.

En la **Tabla 3-88** se presentan las unidades cartografiables de suelo (UCS) identificadas en el área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare y el valor asignado a cada una de estas.

Tabla 3-88 Valor asignado a las unidades de suelo (Parámetro S) - Método DRASTIC

UGS	FASE		TEXTURA	PONDERACIÓN
CA	Cauce aluvial		Delgado o ausente	10
	Laguna		Delgado o ausente	10
	Meandro abandonado		Delgado o ausente	10
	No suelo	Canal artificial	Delgado o ausente	10
		Excavaciones para acuicultura	Delgado o ausente	10
		Excavaciones para cuerpos de agua artificiales	Delgado o ausente	10
		Rellenos antrópicos	Arcilla no compactada y no agregada	1
		Rellenos de escombros	Arena	9
	NS-dep.cau	Barra longitudinal	Delgado o ausente	10
		Barra puntual	Delgado o ausente	10
		Barras compuestas	Delgado o ausente	10
		Isla	Delgado o ausente	10
		Orillar	Delgado o ausente	10
		Vega	Delgado o ausente	10
PVABA	PVABAapo		Limo margoso	4
	PVABAbpo		Limo margoso	4
	PVABAapm		Limo margoso	4
	PVABAbpm		Limo margoso	4
PVAC	PVACabn		Arenisca margosa	6
	PVACpbn		Arenisca margosa	6
	PVACbbn		Arenisca margosa	6
	PVACcbn		Arenisca margosa	6
PVAT			Arenisca margosa	6
RVPCDD			Marga	5
RVPN			Marga	5
RVT1P			Arenisca margosa	6
RVT1B			Marga	5
VVPCD			Marga	5
VVPI			Grava	10
VVT1B			Marga	5

UGS	FASE	TEXTURA	PONDERACIÓN
VVT1P		Arenisca margosa	6
VVT1T		Arena	9
VVT2B		Marga	5
VVT2P		Arenisca margosa	6
VVT3B		Marga	5
VVT3P		Arenisca margosa	6
VVT3T		Arena	9

Fuente: SGI S.A.S., 2025

En la **Figura 3-201** se presenta la distribución espacial de la valoración asignada a las diferentes unidades de suelo presentes en el área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare.

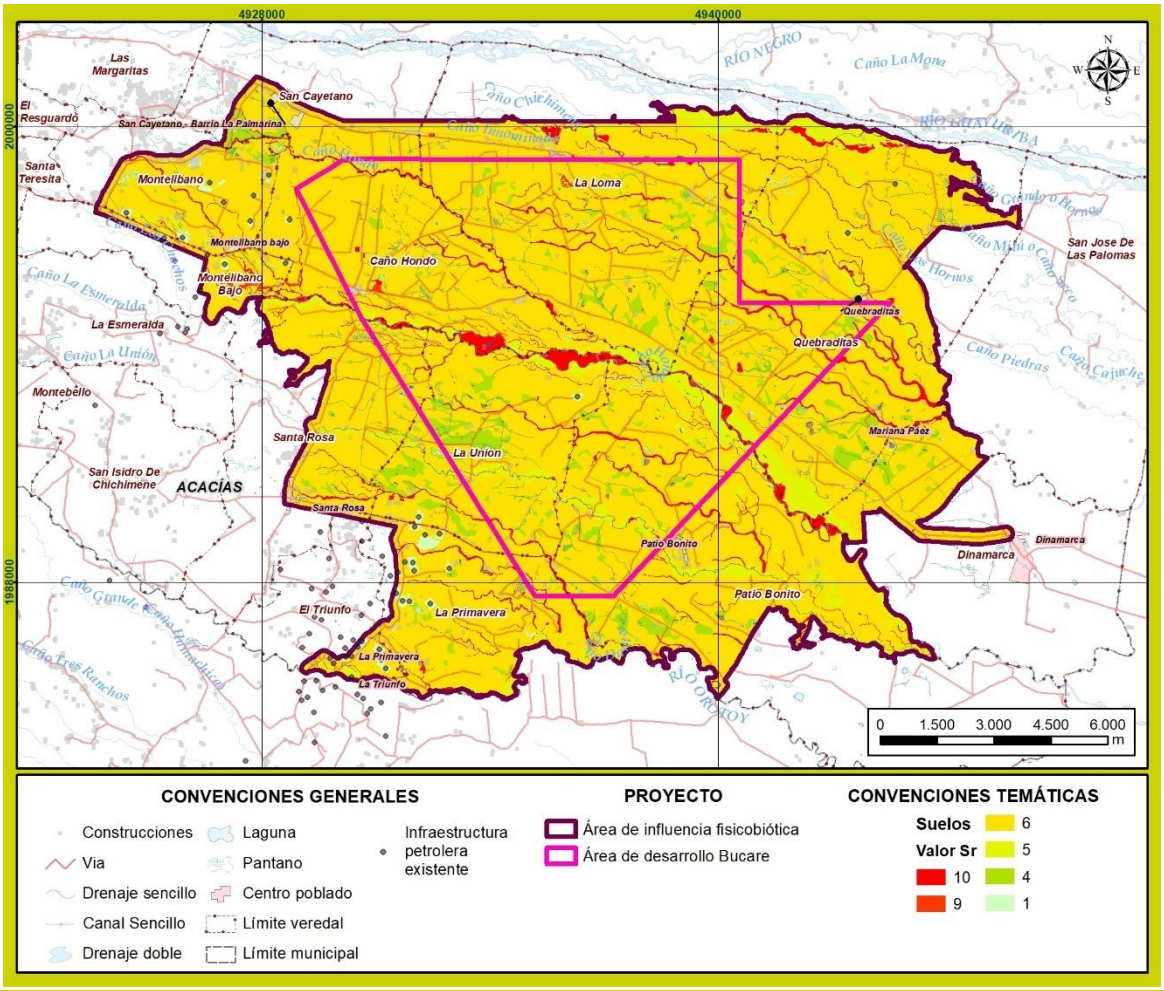


Figura 3-201 Tipo de suelo – Parámetro S
Fuente: SGI S.A.S., 2025

En la **Figura 3-201** se evidencia que teniendo en cuenta el tipo de suelo, la mayor parte del área de influencia presenta un grado de vulnerabilidad medio a alto, ya que la textura del suelo es principalmente arenisca margosa. Además, predominan zonas donde la capa de suelo es delgada o ausente, siendo estas zonas más vulnerables a la infiltración de agentes contaminantes provenientes de la superficie.

- **Topografía (T)**

El mapa de pendientes es el grado de inclinación del terreno expresado en porcentaje. Para la metodología DRASTIC, este valor se obtuvo a través de un Modelo Digital de Elevación de la zona (DEM), a partir del cual se generó un archivo ráster con la finalidad de determinar el nivel de pendientes, según la metodología del IGAC. Los valores de ponderación de este parámetro contemplan los rangos presentados en la **Tabla 3-89**.

Tabla 3-89 Valoración del parámetro T Topografía – Método DRASTIC

RANGO DE PENDIENTES (%)	VALORACIÓN ASIGNADA
A nivel (0-1%)	10
Ligeramente plana (1-3%)	10
Ligeramente inclinada (3-7%)	9
Moderadamente inclinada (7-12%)	5
Fuertemente inclinada (12-25%)	3

Fuente: SGI S.A.S., 2025

En la **Figura 3-202** se presenta la distribución espacial de las valoraciones asignadas a los diferentes rangos de pendientes identificadas en el área de influencia físico-biótica del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare y la clasificación asignada a cada una de estas pendientes.

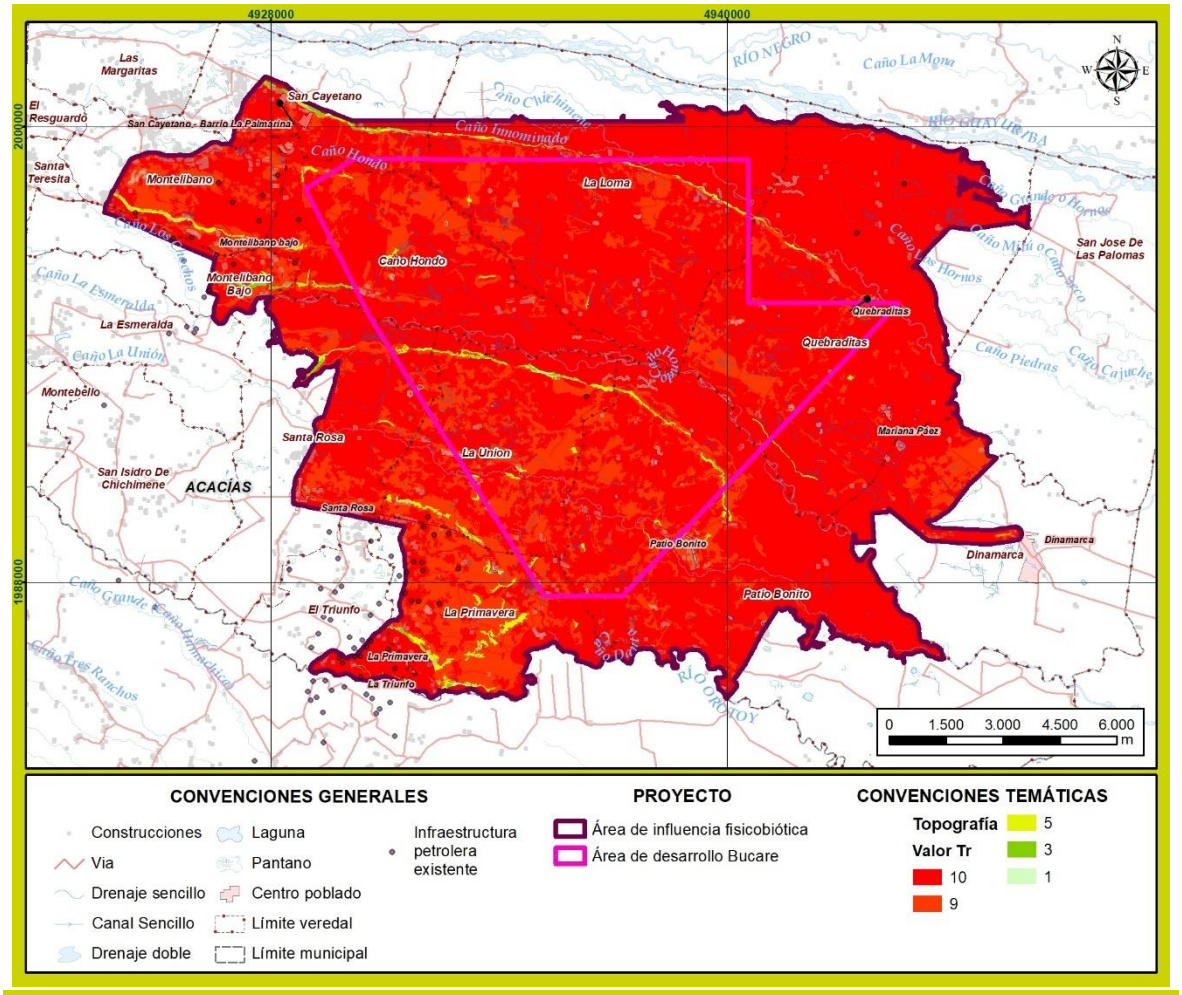


Figura 3-202 Pendiente del terreno – Parámetro T
Fuente: SGI S.A.S., 2025

En la **Figura 3-202** se observa que gran parte del área de influencia está dominada por pendientes suaves, en su mayoría inferiores a 3% de inclinación. Estas bajas pendientes se consideran particularmente favorables para la infiltración de agentes contaminantes provenientes de la superficie, ya que, al no presentar una inclinación pronunciada, el desplazamiento del agua de escorrentía es más lento, favoreciendo la eventual penetración de contaminantes hacia el subsuelo. En menor proporción, también se identifican algunas zonas con pendientes más inclinadas que no superan el 25% de desnivel, en las cuales el agua superficial fluye por el terreno a mayor velocidad, disminuyendo la probabilidad de que se infiltre algún contaminante, y por ello, se consideran áreas menos vulnerables para los acuíferos.

- **Naturaleza de la zona no saturada (I)**

La zona no saturada es de suma importancia para la determinación de la vulnerabilidad, ya que contiene material litológico cuya composición, propiedades fisicoquímicas y espesores definidos en estas capas están condicionando la distancia, la ruta y el tiempo de recorrido de una carga contaminante hacia la zona saturada. En la **Tabla 3-90** se presentan los valores de ponderación asignados para el parámetro I, correspondiente a la naturaleza de la zona no saturada, la cual para el área de influencia físico-biótica del presente proyecto se define como la unidad geológica aflorante.

Tabla 3-90 Valoración naturaleza de la zona no saturada, Parámetro I – Método DRASTIC

UNIDAD GEOLÓGICA	NOMENCLATURA	VALOR ASIGNADO
Depósitos aluviales de drenajes mayores	Q2al1	5
Depósitos aluviales de drenajes menores	Q2al2	8
Depósitos de Abanico Aluvial	Q1ca	5
Depósitos de planos de inundación de drenajes mayores	Q2pi	4
Depósitos de Terraza Alta	Qt1	6
Depósitos de Terraza Baja	Q2t3	6
Depósitos de Terraza Media	Qt2	6
Infraestructura	-	0

Fuente: SGI S.A.S., 2025

A las zonas cubiertas por infraestructura se les asignó un valor de 0, dado que en estos sectores el suelo es compactado para su desarrollo o se recubre con capas de cemento u otros materiales impermeables. En cualquiera de estos casos, el terreno queda impermeabilizado, lo que impide la infiltración del agua proveniente de la superficie.

En la **Figura 3-203** se puede apreciar la distribución espacial de las valoraciones asignadas a las zonas no saturadas en el área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare.

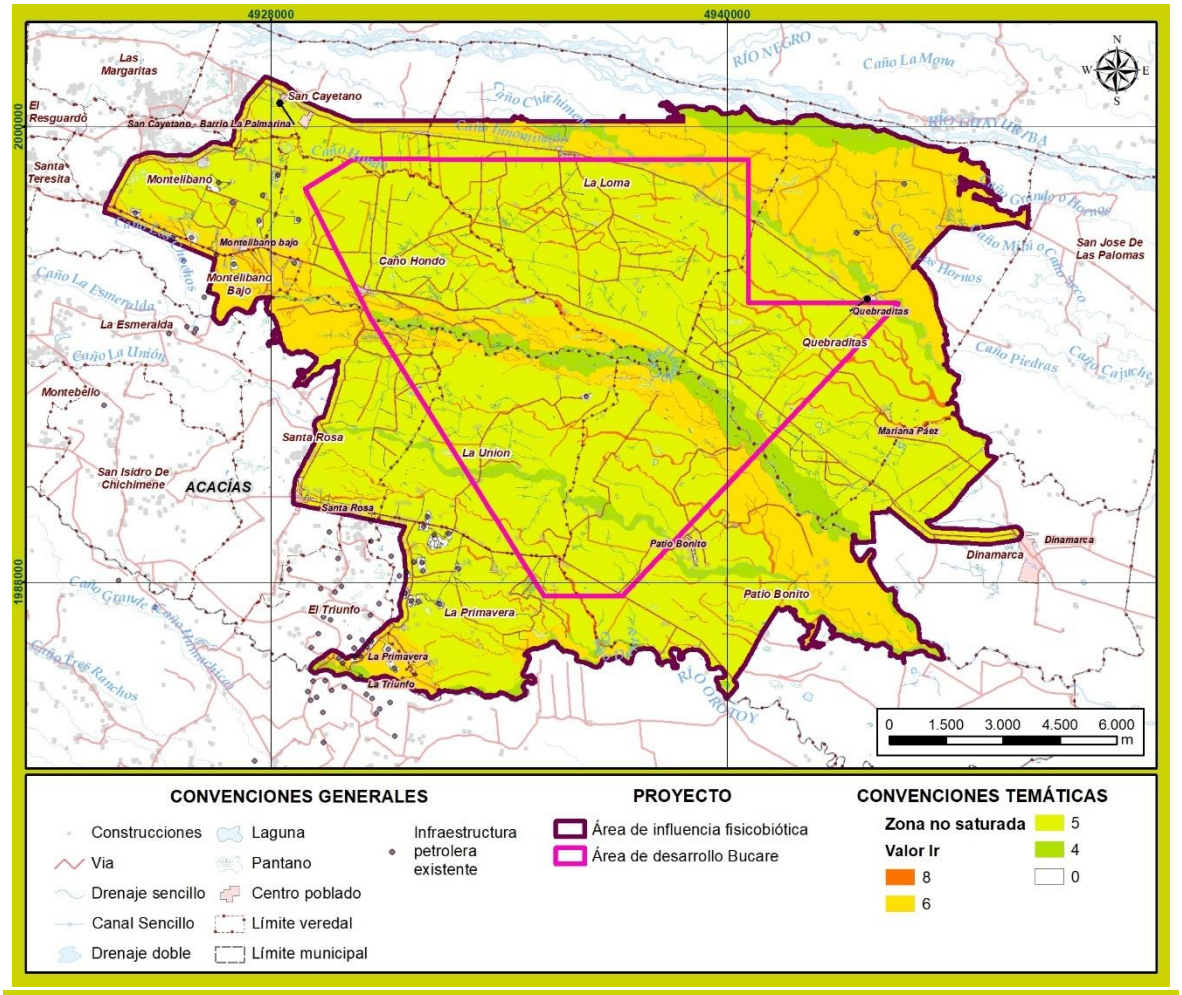


Figura 3-203 Naturaleza de la zona no saturada – Parámetro I
Fuente: SGI S.A.S., 2025

Tal como se puede observar en la **Figura 3-203**, la naturaleza de la zona no saturada en el área de estudio presenta valores que varían entre 4 a 8 según la relación de sedimentos finos y gruesos que presentan las unidades, así como el grado de compactación de estas; siendo los sedimentos gruesos y no compactos las litologías más vulnerables para la contaminación de los acuíferos y, por ende, los que mayor valoración recibieron.

- **Conductividad Hidráulica (C)**

La conductividad hidráulica de los Depósitos de Abanico Aluvial fue obtenida a partir de las pruebas de bombeo realizadas en los pozos y aljibes que hacen parte de la comunidad **(Tabla 3-45**), en las que se obtuvo para esta unidad una conductividad hidráulica promedio de 33,7 a 38,6 m/día, razón por la cual se le asigna un valor de 6. Asimismo, la conductividad hidráulica de los depósitos de las terrazas de acumulación fue estimada a partir de la prueba de bombeo realizada en el aljibe AL86, la cual arrojó un valor de 41,8 m/día, recibiendo una valoración de 8.

Para los depósitos aluviales y los planos de inundación, las conductividades hidráulicas fueron estimadas a partir de información secundaria y las descripciones litológicas realizadas en campo para cada una de estas unidades.

De acuerdo con los resultados obtenidos en las pruebas de bombeo mencionadas, se realizó la valoración del parámetro C para cada unidad geológica teniendo en cuenta la clasificación presentada por el MAVDT (**Tabla 3-83**), la cual se presenta en la **Tabla 3-91**.

Tabla 3-91 Valoración de la conductividad hidráulica, parámetro C – Método DRASTIC

UNIDAD GEOLÓGICA	NOMENCLATURA	VALOR ASIGNADO
Depósitos aluviales de drenajes mayores	Q2al1	8
Depósitos aluviales de drenajes menores	Q2al2	8
Depósitos de Abanico Aluvial	Q1ca	6
Depósitos de planos de inundación de drenajes mayores	Q2pi	2
Depósitos de Terraza Alta	Qt1	8
Depósitos de Terraza Baja	Q2t3	8
Depósitos de Terraza Media	Qt2	8

Fuente: SGI S.A.S., 2025

En la **Figura 3-204** se presenta la distribución espacial de la valoración asignada a las conductividades hidráulicas estimadas para cada unidad geológica aflorante en el área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare.

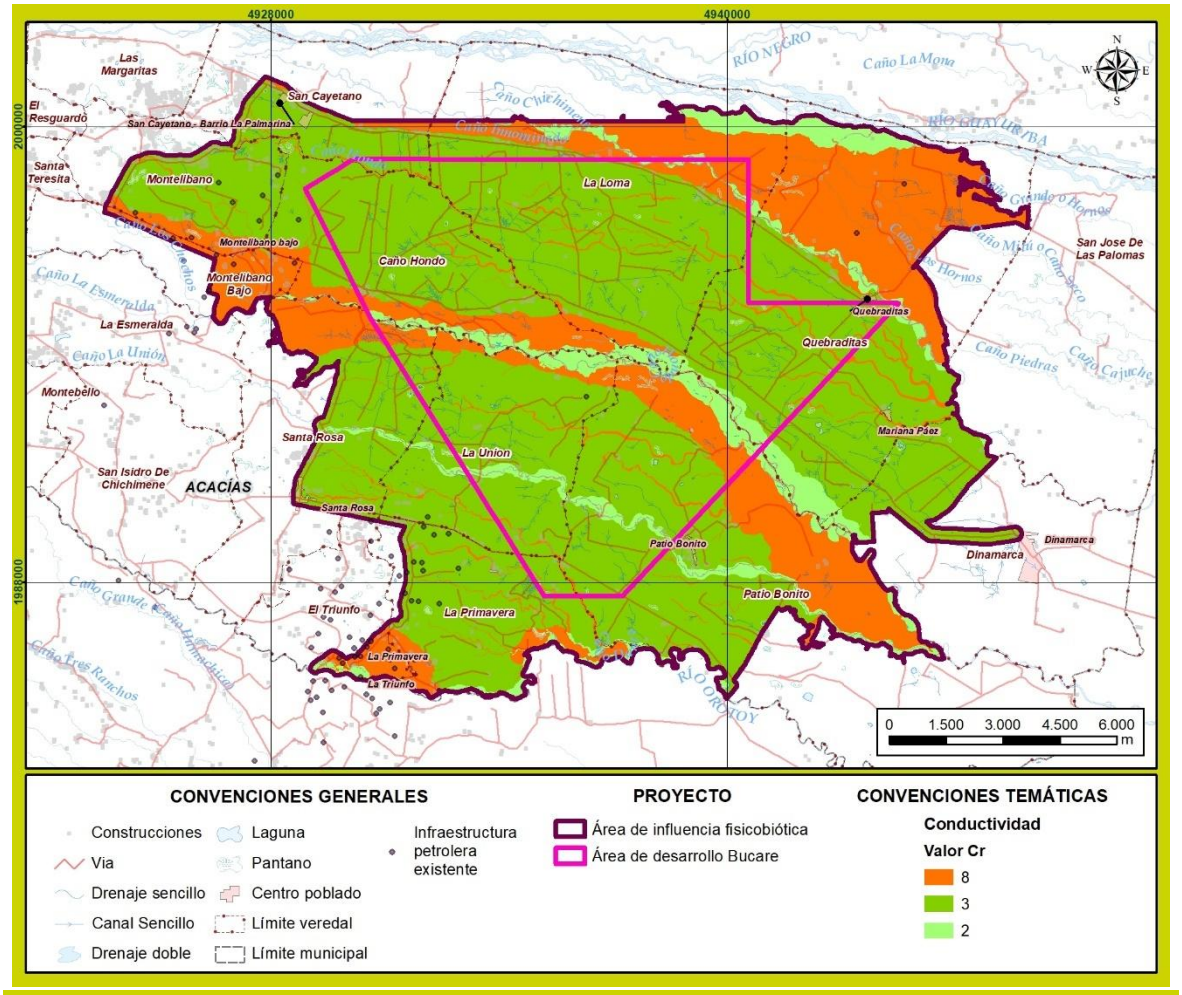


Figura 3-204 Conductividad hidráulica – Parámetro C
Fuente: SGI S.A.S., 2025

En la **Figura 3-204** se puede observar que en la mayor parte del área de estudio aflora la unidad geológica correspondiente a los depósitos de abanico aluvial, la cual presenta una conductividad hidráulica moderada. Por esto, la mayoría del área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare, se considera que presenta una conductividad hidráulica que favorece la infiltración de posibles contaminantes provenientes de la superficie.

Por otra parte, los depósitos de las diferentes terrazas de acumulación y de los depósitos aluviales presentan una conductividad hidráulica ligeramente superior mientras que los depósitos de los planos de inundación de los drenajes mayores presentan una conductividad considerablemente menor.

- **Estimación de la Vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación**

Una vez analizadas todas las variables y realizada la superposición de estas mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), se determinaron los rangos de vulnerabilidad teniendo en cuenta la sumatoria de la ponderación asignada a cada uno de los siete (7) parámetros evaluados, determinando de esta forma los grados de vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación presentes en el área de influencia del presente proyecto.

Sustituyendo en la ecuación general las ponderaciones de las siete (7) variables intrínsecas referidas en el método DRASTIC, se obtiene:

$$VDrastic = (5 * Dr) + (4 * Rr) + (3 * Ar) + (2 * Sr) + (1 * Tr) + (5 * Ir) + (3 * Cr).$$

A partir de la ecuación anterior, se obtiene el posible rango de valores que pueden ser obtenidos por el método DRASTIC, el cual está comprendido entre 47 (mínimo) y 184 (máximo), siendo más frecuentes valores entre 140 - 170. A partir de estos valores, se definen las categorías de vulnerabilidad de acuíferos a la contaminación con sus respectivos rangos asignados, tal como se presenta en la **Tabla 3-92**.

Tabla 3-92 Grados de vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación – Método DRASTIC

RANGO VALORES	GRADO DE VULNERABILIDAD
23 - 64	Vulnerabilidad muy baja
65 - 105	Vulnerabilidad baja
106 - 146	Vulnerabilidad moderada
147 - 187	Vulnerabilidad alta
188 - 230	Vulnerabilidad muy alta

Fuente: MAVDT, 2010

Es importante resaltar que la metodología empleada para estimar la vulnerabilidad de los acuíferos considera un agente contaminante externo el cual se introduce desde la superficie del terreno por procesos de infiltración, por lo que es aplicable únicamente a los acuíferos más someros del área del proyecto.

Mediante la cualificación de las siete (7) variables referidas en el Método DRASTIC y el uso de la superposición de capas en el sistema de información geográfica – SIG, se obtuvo la vulnerabilidad a la contaminación de la unidad acuífera más somera presente en el área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare.

En la **Figura 3-205** se presenta la distribución espacial de los rangos de la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos someros identificados en el área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare.

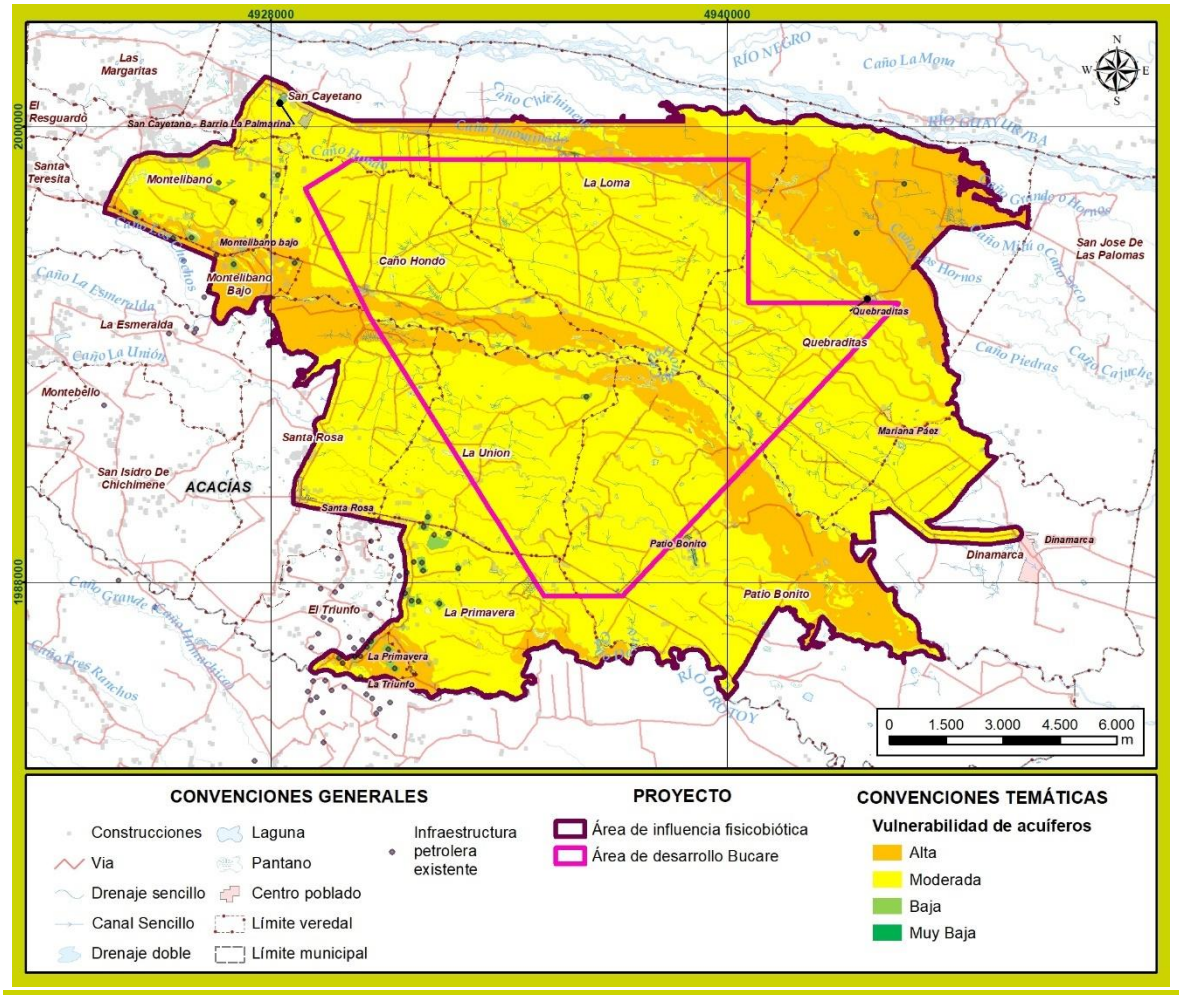


Figura 3-205 Distribución espacial de la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación en el área de influencia
Fuente: SGI S.A.S., 2025

En la **Tabla 3-93** se presentan las hectáreas que abarca cada uno de los grados de vulnerabilidad identificados en el área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare.

Tabla 3-93 Vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación en el área de influencia

GRADO DE VULNERABILIDAD	ÁREA DE INFLUENCIA FISICOBIÓTICA		ÁREA INTERVENCIÓN	
	ÁREA (ha)	ÁREA (%)	ÁREA (ha)	ÁREA (%)
Muy baja	28,79	0,12	5,26	0,05
Baja	363,73	1,45	75,08	0,72
Moderada	18412,25	73,63	8.930,24	85,77
Alta	6200,25	24,80	1.401,86	13,46
TOTAL	**25005,03**	**100**	**10412,44**	**100**

Fuente: SGI S.A.S., 2025

Como se puede observar en la **Tabla 3-93**, la mayor parte del área de influencia fisicobiótica del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare, más exactamente el 73,63% del área, presenta un grado de vulnerabilidad moderada, la cual se puede asociar principalmente a zonas donde el nivel del agua es muy somero, incluso afloran gran cantidad de manantiales, son zonas ligeramente planas constituidas por depósitos de granulometrías gruesas no consolidados a semiconsolidados que permiten en cierto grado la infiltración de agua desde la superficie al acuífero más somero. Estas y otras características del terreno les otorgan a estas zonas una vulnerabilidad hidrogeológica moderada.

Adicionalmente, se identificaron áreas donde la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación es alta, las cuales abarcan el 24,80% del área de influencia fisicobiótica. Este alto grado de vulnerabilidad se atribuye principalmente a la presencia de suelos arenosos, cuyas características texturales favorecen tanto la infiltración de agua como de los contaminantes que ésta pueda transportar. Además, en estas zonas hay presencia de bosques y coberturas vegetales abundantes que favorecen la infiltración del agua. Sumado a esto, las pendientes en estos sectores son suaves. Todas estas características, en conjunto, contribuyen a que la vulnerabilidad sea alta.

Finalmente, dentro del área de influencia también se encuentran, aunque en menor proporción, zonas donde afloran suelos con textura muy fina (franco y franco-arcilloso) que presentan una permeabilidad muy baja; donde, además, el grado de pendiente es mayor, el nivel freático del agua subterránea es más profundo y las precipitaciones son bajas, lo cual contribuye a que la vulnerabilidad hidrogeológica en estas zonas sea baja y muy baja, ya que hay una mayor protección de los acuíferos someros a ser afectados por una carga contaminante proveniente de la superficie, pues la infiltración en estos suelos es demasiado lenta. Por lo anterior, unicamente el 1,45% del área de influencia fisicobiótica presenta una vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos baja mientras que el 0,12% de esta presenta vulnerabilidad muy baja.

3.2.7.16 Modelo hidrogeológico conceptual

Con base en la integración de la información geofísica disponible, en la que se incluyen nueve (9) perfiles magnetotelúricos, cinco (5) tomografías eléctricas y nueve (9) registros de pozo, se identificaron y caracterizaron las unidades geológicas presentes en el área de influencia, especialmente aquellas profundas que no se pudieron caracterizar mediante la observación directa en campo.

En el área de influencia del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare se identificaron los siguientes sellos hidráulicos presentes a lo largo de la secuencia estratigráfica: El Miembro Inferior de la Formación Guayabo, la Formación León, las unidades Lutita E, C1, Lutita E3 y Lutita E4 de la Formación Carbonera y la Formación Gachetá. Estos sellos hidráulicos evidenciaron ser continuos dentro del área de influencia y se consideran de extensión regional.

En cuanto a las unidades acuíferas, se identificaron como acuíferos someros y aflorantes los depósitos del abanico aluvial y los depósitos asociados a los diferentes niveles de acumulación de las terrazas (Depósitos de terraza alta, Depósitos de terraza media y Depósitos de terraza baja). Asimismo, en profundidad se identificó el Miembro Superior de la Formación Guayabo, la Unidad Areniscas Superiores de Carbonera, Arenas Carbonera, las unidades C2 y T1 de la Formación Carbonera, la Formación Mirador, Formación Guadalupe y Formación Une.

En el caso particular de los depósitos cuaternarios, entre los que se incluyen los depósitos de Abanico Aluvial (Q1ca), los depósitos asociados a los diferentes niveles de acumulación de las terrazas (Qt1, Qt2 y Q2t3), los Depósitos de plano de inundación de drenajes mayores (Q2pi) y los depósitos aluviales (Q2al1 y Q2al2), estas unidades fueron caracterizadas principalmente a partir de las descripciones litológicas realizadas en campo, dado que corresponden a las unidades aflorantes dentro del área de estudio. Esta información fue complementada mediante la interpretación de tomografías eléctricas y sondeos magnetotelúricos, considerando que dichas

unidades cuaternarias no fueron registradas en los perfiles geofísicos de pozo debido a su escasa profundidad.

Por otra parte, si bien la Formación Guayabo fue identificada en la mayoría de los registros de pozo disponibles, estos no permitieron definir su espesor total ni diferenciar claramente el Miembro Superior del Miembro Inferior, debido a que los registros no abarcan la totalidad de la unidad desde superficie. En este sentido, la caracterización de la Formación Guayabo fue complementada con la información obtenida a partir de tomografías eléctricas y sondeos magnetotelúricos, los cuales, aunque presentan una menor profundidad de investigación en comparación con los registros de pozo, ofrecen un mayor nivel de detalle para unidades someras, como los depósitos cuaternarios y la propia Formación Guayabo.

En cuanto a las unidades hidrogeológicas, se identificaron dos unidades principales aflorando en el área de influencia: Unidad hidrogeológica A3 y Unidad hidrogeológica A4.

La unidad A3 en el área de influencia está constituida por los Depósitos de abanico aluvial, los Depósitos de terraza alta, Depósitos de terraza media y Depósitos de terraza baja, los cuales conforman acuíferos de carácter libre a ligeramente semiconfinados. Están compuestos por rocas con flujo esencialmente intergranular, caracterizados litológicamente por presentar sedimentos no consolidados a semi-consolidados de granulometría predominantemente gruesa (gravas, gravas arenosas y arenas gravosas) con matriz fina, cuya proporción puede variar.

Esta unidad abarca el 89,67% del área de influencia fisicobiótica del Estudio de Impacto Ambiental para el Área de Desarrollo Bucare, así como el 90,25% del área de intervención, constituyéndose como la unidad de mayor extensión dentro del área de estudio.

Asimismo, representa la principal fuente de abastecimiento de agua subterránea para la comunidad local, tanto así que el 95,5% de los puntos de agua subterránea que hacen parte del inventario extraen agua de esta unidad, con diferentes profundidades de captación. Dentro de estos puntos se incluyen pozos profundos cuya información constructiva, en particular la ubicación de los filtros, no se encuentra disponible. No obstante, considerando que dichos pozos se localizan espacialmente sobre la unidad hidrogeológica A3, se asume que la captación de agua subterránea se realiza principalmente desde esta unidad. Sin embargo, esta captación no necesariamente es exclusiva, ya que, dependiendo del diseño y profundidad de los pozos, podría involucrar también niveles acuíferos más profundos correspondientes a otras unidades hidrogeológicas subyacentes, tales como el Miembro Superior de la Formación Guayabo.

De acuerdo con las descripciones litológicas realizadas en campo, se evidencia que la unidad hidrogeológica A3 presenta una marcada heterogeneidad litológica, la cual se refleja directamente en su comportamiento hidrogeológico. Esta heterogeneidad se manifiesta en los amplios rangos de los parámetros hidráulicos obtenidos en las pruebas de bombeo, asociados principalmente a variaciones locales en el contenido de sedimentos finos y en el grado de compactación. A pesar de ello, el sistema se comporta integralmente como una unidad hidrogeológica A3, mostrando sectores con mayor o menor productividad en función de dichas variaciones litológicas.

Los acuíferos desarrollados en los Depósitos de planos de inundación de drenajes mayores, los depósitos aluviales de drenajes mayores y los depósitos aluviales de drenajes menores están conformados por materiales con flujo esencialmente intergranular. Debido a sus características litológicas, su espesor y su limitada continuidad lateral, estas unidades se clasifican como acuíferos tipo A4.

El Modelo Hidrogeológico Matemático construido a partir de la información presentada en el presente capítulo, puede ser consultado en **Anexos/5. Anexos Abiótico/5.7 Hidrogeología/5.7.8_ Modelo_hidrogeológico_matemático**. En la Figura 3-206 se presenta la representación en 3D del modelo hidrogeológico.

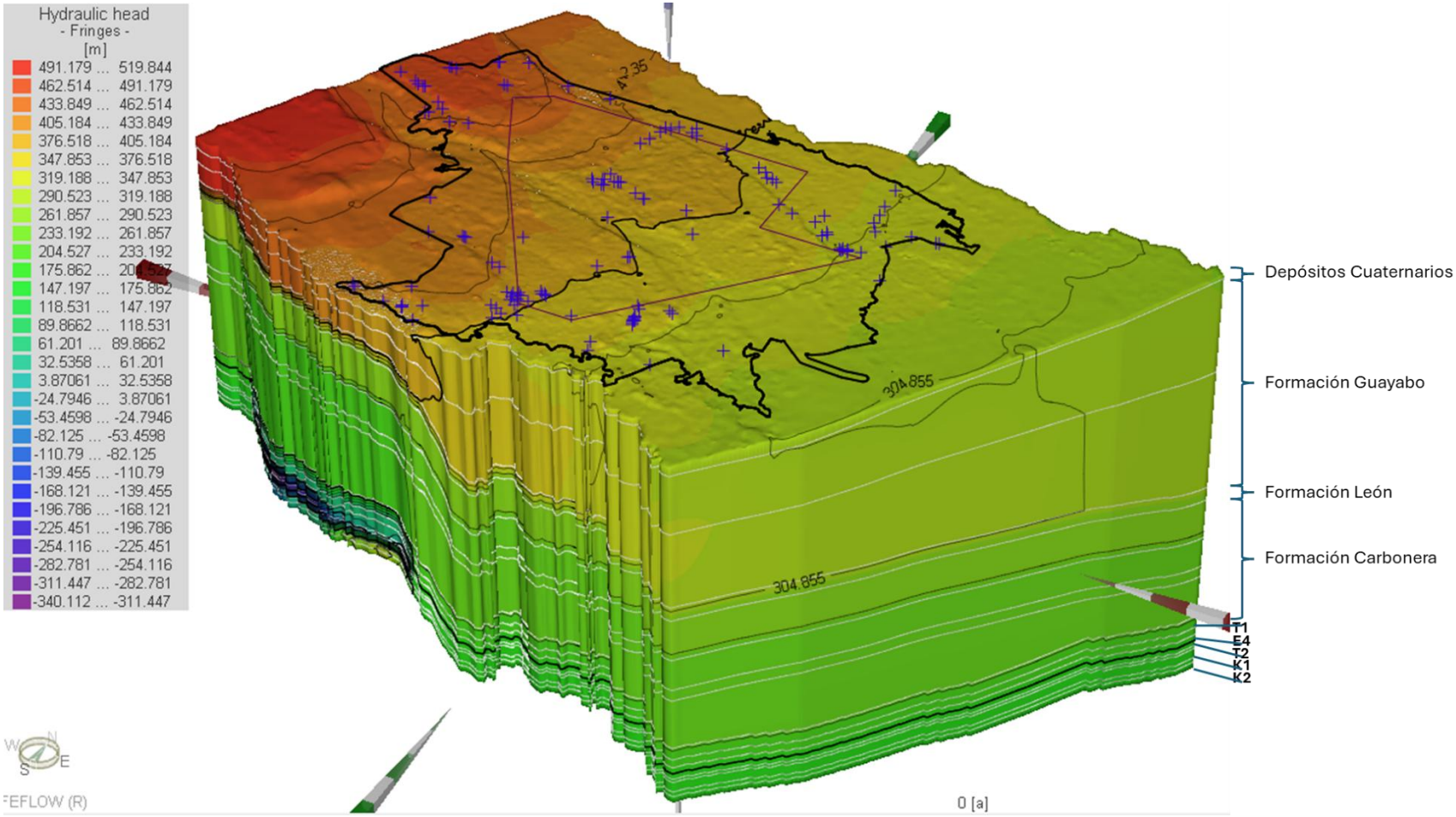


Figura 3-206 Bloque diagrama del área de estudio basado en el modelo hidrogeológico matemático
Fuente: SGI S.A.S., 2025

3.2.7.17 Modelo hidrogeológico matemático

Con el fin de evaluar el comportamiento del sistema hidrogeológico ante diferentes esquemas de operación, se definieron cuatro escenarios de modelación que representan las alternativas de desarrollo proyectadas para el campo. Los escenarios 1 (bajo), 2 (medio) y 3 (alto) consideran la inyección combinada para sostenimiento de presión en la unidad T2 y la disposición de aguas en la unidad K2 y el escenario 4, simula la inyección de disposición por el máximo volumen además de la inyección para sostenimiento.

Para el escenario 1 se espera alcanzar un caudal máximo de inyección para sostenimiento de presión de 12900 BWPD y de 15890 BWPD para inyección con fines de disposición, sumando un caudal total de inyección entre las dos actividades de 28790 BWPD. En el escenario 2, se distribuyen 25300 BWPD para sostenimiento de presión y 21890 BWPD para disposición, sumando un total de 47190 BWPD. En el escenario 3, se alcanza un caudal máximo de inyección para sostenimiento de presión de 44550 BWPD y 35670 BWPD para disposición, sumando un total de 80220 BWPD en caudal de inyección.

Adicionalmente, se planteó un escenario 4 correspondiente a la inyección para disposición, en el cual el caudal total de 80.220 BWPD es inyectado exclusivamente en la unidad K2. La modelación desarrollada permite estimar los incrementos de presión asociados a cada escenario, analizar la respuesta hidráulica de las unidades involucradas y evaluar la viabilidad hidrogeológica de las alternativas propuestas, considerando tanto los efectos acumulativos de la inyección como la sostenibilidad del sistema acuífero en el tiempo.

Como resultado de las modelaciones, se obtuvo que en ninguno de los escenarios se alcanzó la presión de fractura ni por la inyección para sostenimiento de presión, ni por la inyección para disposición. De igual forma, los fluidos permanecen confinados en las unidades objetivo de inyección durante los 30 años de la simulación, sin ascender a los acuíferos someros aprovechables de los Depósitos cuaternarios y la Formación Guayabo. El modelo completo puede ser consultado en **Anexos/5. Anexos Abiótico/5.7 Hidrogeología/5.7.8_ Modelo_hidrogeológico_matemático.**