TABLA DE CONTENIDO

5 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA 7

5.1 MEDIO ABIÓTICO 7
5.1.6 Hidrogeología 7
5.1.6.1 Marco hidrogeológico regional 7
5.1.6.2 Análisis de información existente 7
5.1.6.3 Caracterización geofísica de la zona de estudio 10
5.1.6.4 Análisis de Correlación de tomografías geoeléctricas en APE COR-15 42
5.1.6.5 Unidades hidrogeológicas presentes en el AI 49
5.1.6.6 Inventario de puntos de agua subterránea 66
5.1.6.7 Hidrogeoquímica 187
5.1.6.8 Balance hídrico superficial de largo plazo 205
5.1.6.9 Balance hídrico de suelos 212
5.1.6.10 Identificación de zonas de recarga, descarga y tránsito de agua subterránea 217
5.1.6.11 Modelo hidrogeológico conceptual 235
5.1.6.12 Evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea 276

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 5-1 COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE UNIDADES EN LA REGIÓN DEL APE COR 15 SEGÚN VARIOS AUTORES 9
TABLA 5-2 RESISTIVIDAD ELÉCTRICA EN EL MARCO GEOLÓGICO DEL PROYECTO EIA APE COR-15 11
TABLA 5-3 RANGO TÍPICO DE RESISTIVIDAD DE SEDIMENTOS Y ROCAS 13
TABLA 5-4 VALORES RESISTIVOS PROMEDIOS PARA DIFERENTES TIPOS DE ROCA 13
TABLA 5-5 INTERPRETACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA LTE-2 14
TABLA 5-6 INTERPRETACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA LTE-5 15
TABLA 5-7 INTERPRETACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA LTE-6 17
TABLA 5-8 INTERPRETACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA LTE-7 18
TABLA 5-9 INTERPRETACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA LTE-8 19
TABLA 5-10 INTERPRETACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA LTE-9 20
TABLA 5-11 INTERPRETACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA LTE-10 22
TABLA 5-12 INTERPRETACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA LTE-11 24
TABLA 5-13 INTERPRETACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA LTE-15 25
TABLA 5-14 INTERPRETACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA LTE-16 26
TABLA 5-15 INTERPRETACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA LTE-17 27
TABLA 5-16 INTERPRETACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA LTE-18 29
TABLA 5-17 INTERPRETACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA LTE-21 30
TABLA 5-18 INTERPRETACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA LTE-24 31
TABLA 5-19 INTERPRETACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA LTE-25 32
TABLA 5-20 INTERPRETACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA LTE-26 33
TABLA 5-21 INTERPRETACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA LTE-27. 34
TABLA 5-22 INTERPRETACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA LTE-28 36
TABLA 5-23 INTERPRETACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA LTE-29 37
TABLA 5-24 INTERPRETACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA LTE-31 38
TABLA 5-25 INTERPRETACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA LTE-32 39
TABLA 5-26 INTERPRETACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA LTE-33. 41
TABLA 5-27 INTERPRETACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA LTE-34 42
TABLA 5-28 CORRELACIÓN GEOELÉCTRICA DE FORMACIONES GEOLÓGICAS EN APE COR-15 42
TABLA 5-29 ZONAS CON POSIBILIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA A PARTIR DE LAS TOMOGRAFÍAS 48
TABLA 5-30 DESCRIPCIÓN SINTÉTICA DE LAS UNIDADES GEOLÓGICAS CON FINES DE CLASIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA 49
TABLA 5-31 VALORES DE TRANSMISIVIDAD PARA DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES 52
TABLA 5-32 COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE UNIDADES EN EL AI DEL APE COR 15 CON EL CRITERIO DE TRANSMISIVIDAD 52
TABLA 5-33 COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE UNIDADES EN EL AI DEL APE COR 15 CON EL CRITERIO DE COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO 55
TABLA 5-34 OCURRENCIA DE MANANTIALES CONTRA DENSIDAD ESTRUCTURAL - FRACTURAMIENTO 58
TABLA 5-35 COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE UNIDADES EN EL AI DEL APE COR 15 CON EL CRITERIO DE POROSIDAD 59
TABLA 5-36 CLASIFICACIÓN DE UNIDADES GEOLÓGICAS SEGÚN EL CRITERIO DE CAPACIDAD ESPECÍFICA .. 61
TABLA 5-37 COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE UNIDADES EN EL AI DEL APE COR 15 CON EL CRITERIO DE CAPACIDAD ESPECÍFICA 62
TABLA 5-38 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DEFINIDAS EN EL AI DEL APE COR 15 64
TABLA 5-39 CONCESIONES DE POZOS PROFUNDOS EN EL AI DEL APE COR 15 67
TABLA 5-40 PUNTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA REGISTRADOS EN EL AI DEL APE COR 15 76
TABLA 5-41 PUNTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA POR MUNICIPIO 173
TABLA 5-42 PUNTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA POR VEREDA 173
TABLA 5-43 PUNTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA POR UNIDAD GEOLÓGICA 174

TABLA 5-44 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE POZOS INVENTARIADOS 175
TABLA 5-45 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE ALJIBES INVENTARIADOS..... 175
TABLA 5-46 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE MANANTIALES INVENTARIADOS..... 175
TABLA 5-47 USOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA IDENTIFICADOS CON EL INVENTARIO POR TIPO DE PUNTO DE AGUA 186
TABLA 5-48 USOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA IDENTIFICADOS CON EL INVENTARIO POR UNIDAD GEOLÓGICA CAPTADA 187
TABLA 5-49 PUNTOS DE MONITOREO DE AGUA SUBTERRÁNEA CON EL CRITERIO ALTITUDINAL EN EL AI APE COR-15 189
TABLA 5-50 PUNTOS DE MONITOREO DE AGUA SUBTERRÁNEA CON EL CRITERIO UNIDAD HIDROGEOLÓGICA EN EL AI APE COR-15..... 189
TABLA 5-51 PUNTOS DE MONITOREO DE AGUA SUBTERRÁNEA CON EL CRITERIO TIPO DE PUNTO EN EL AI APE COR-15 189
TABLA 5-52 PUNTOS DE MONITOREO DE AGUA SUBTERRÁNEA CON EL CRITERIO DE SURGENCIA EN EL AI APE COR-15 190
TABLA 5-53 COORDENADAS PUNTOS DE MUESTREO AGUA SUBTERRÁNEA COR-15 191
TABLA 5-54 RESULTADOS DE IONES MAYORITARIOS Y PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL AI APE COR-15 194
TABLA 5-55 CLASIFICACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL AI APE COR-15..... 197
TABLA 5-56 PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL MEDIA MULTIANUAL [MM] USADA EN EL BALANCE HÍDRICO DE SUELOS 214
TABLA 5-57 TEMPERATURA MEDIA MENSUAL [°C] MULTIANUAL USADA EN EL BALANCE HÍDRICO DE SUELOS 214
TABLA 5-58 RU MÁX. POR UNIDAD DE SUELOS 216
TABLA 5-59 CATEGORÍAS DE LA PROBABILIDAD DE RECARGA SEGÚN EL MÉTODO APLIS 218
TABLA 5-60 CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE ALTITUD (A) 219
TABLA 5-61 CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE PENDIENTES 221
TABLA 5-62 CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE LITOLOGÍA..... 223
TABLA 5-63 CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE INFILTRACIÓN 225
TABLA 5-64 CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE SUELOS 227
TABLA 5-65 ÁREAS DE RECARGA, DESCARGA Y TRÁNSITO DE AGUA SUBTERRÁNEA 235
TABLA 5-66 METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA 276
TABLA 5-67 CÁLCULO DE VULNERABILIDAD EN EL AI DEL MEDIO FÍSICO..... 278
TABLA 5-68 PROPORCIÓN DEL AI POR CLASE DE VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA 282

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 5-1 LOCALIZACIÓN DE LAS TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS DESARROLLADAS EN EL PROYECTO 11
FIGURA 5-2 PERFIL GEOELÉCTRICO LTE-2 14
FIGURA 5-3 PERFIL GEOELÉCTRICO LTE-5 15
FIGURA 5-4 PERFIL GEOELÉCTRICO LTE-6 16
FIGURA 5-5 PERFIL GEOELÉCTRICO LTE-7 18
FIGURA 5-6 PERFIL GEOELÉCTRICO LTE-8 19
FIGURA 5-7 PERFIL GEOELÉCTRICO LTE-9 20
FIGURA 5-8 PERFIL GEOELÉCTRICO LTE-10 22
FIGURA 5-9 PERFIL GEOELÉCTRICO LTE-11 23
FIGURA 5-10 PERFIL GEOELÉCTRICO LTE-15 25
FIGURA 5-11 PERFIL GEOELÉCTRICO LTE-16 26
FIGURA 5-12 PERFIL GEOELÉCTRICO LTE-17 27
FIGURA 5-13 PERFIL GEOELÉCTRICO LTE-18 29
FIGURA 5-14 PERFIL GEOELÉCTRICO LTE-21 30
FIGURA 5-15 PERFIL GEOELÉCTRICO LTE-24 31
FIGURA 5-16 PERFIL GEOELÉCTRICO LTE-25 32
FIGURA 5-17 PERFIL GEOELÉCTRICO LTE-26 33
FIGURA 5-18 PERFIL GEOELÉCTRICO LTE-27 34
FIGURA 5-19 PERFIL GEOELÉCTRICO LTE-28 35
FIGURA 5-20 PERFIL GEOELÉCTRICO LTE-29 37
FIGURA 5-21 PERFIL GEOELÉCTRICO LTE-31 38
FIGURA 5-22 PERFIL GEOELÉCTRICO LTE-32 39
FIGURA 5-23 PERFIL GEOELÉCTRICO LTE-33 40
FIGURA 5-24 PERFIL GEOELÉCTRICO LTE-34 42
FIGURA 5-25 UBICACIÓN ESPACIAL UNIDADES SEGÚN TRANSMISIVIDAD EN EL AI DEL APE COR-15 53
FIGURA 5-26 CLASIFICACIÓN DE ACUÍFEROS SEGÚN SU COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO 55
FIGURA 5-27 DENSIDAD ESTRUCTURAL 57
FIGURA 5-28 DIAGRAMA DE BARRAS DE LA OCURRENCIA DE MANANTIALES CONTRA LA DENSIDAD ESTRUCTURAL EN EL AI DEL APE COR-15 58
FIGURA 5-29 UBICACIÓN ESPACIAL UNIDADES SEGÚN TIPO DE POROSIDAD EN EL AI DEL APE COR-15 ... 60
FIGURA 5-30 UBICACIÓN ESPACIAL UNIDADES SEGÚN CAPACIDAD ESPECÍFICA EN EL AI DEL APE COR-15 63
FIGURA 5-31 FORMATO DE CAMPO PARA EL LEVANTAMIENTO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL AI DEL APE COR-15 70
FIGURA 5-32 LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL AI DEL APE COR-15 75
FIGURA 5-33 DISTRIBUCIÓN ALTITUDINAL DE LOS PUNTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA REGISTRADOS EN EL AI DEL APE COR-15 172
FIGURA 5-34 RELACIÓN ENTRE PH Y TEMPERATURA EN LOS MANANTIALES INVENTARIADOS 182
FIGURA 5-35 RELACIÓN ENTRE ELEVACIÓN Y TEMPERATURA EN LOS MANANTIALES INVENTARIADOS 183
FIGURA 5-36 RELACIÓN ENTRE MANANTIALES, FALLAS Y CONTACTOS GEOLÓGICOS EN EL AI DEL APE COR-15 184
FIGURA 5-37 VISTA 3D DE OCURRENCIA DE MANANTIALES CERCANOS A PARTEAGUAS 185
FIGURA 5-38 MECANISMO DE FLUJO A LO LARGO DE PARTEAGUAS 186
FIGURA 5-39 LOCALIZACIÓN PUNTOS DE MONITOREO DE AGUA SUBTERRÁNEA EIA APE COR-15 192
FIGURA 5-40 CHEQUEO BALANCE IÓNICO DE MUESTRAS DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EIA APE COR-15 196
FIGURA 5-41 DIAGRAMA DE PIPER DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EIA APE COR-15 197
FIGURA 5-42 DIAGRAMA DE PIPER DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EIA APE COR-15 199

FIGURA 5-43 DIAGRAMA DE SCHÖELLER – BERKALOFF DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN ACUÍFEROS EN EL APE COR-15 200
FIGURA 5-44 DIAGRAMA DE SCHÖELLER – BERKALOFF DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN ACUITARDOS EN EL APE COR-15 201
FIGURA 5-45 DIAGRAMA DE STIFF DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EIA APE COR-15 202
FIGURA 5-46 DIAGRAMA DE STIFF DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA ANTRÓPICOS (POZO Y ALJIBES) EIA APE COR-15 203
FIGURA 5-47 DIAGRAMA DE STIFF DE MANANTIALES EIA APE COR-15 204
FIGURA 5-48 VARIACIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL EN EL AI DEL APE COR-15 206
FIGURA 5-49 VARIACIÓN ESPACIAL DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL TOTAL ANUAL EN EL AI DEL APE COR-15 208
FIGURA 5-50 VARIACIÓN ESPACIAL DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL TOTAL ANUAL EN EL AI DEL APE COR-15 210
FIGURA 5-51 VARIACIÓN ESPACIAL DE LA OH TOTAL SUPERFICIAL EN EL AI DEL APE COR-15 211
FIGURA 5-52 VISTA 3D DESDE EL OCCIDENTE DE LA VARIACIÓN ESPACIAL DE LA OH TOTAL SUPERFICIAL EN EL AI DEL APE COR-15 212
FIGURA 5-53 RECARGA CALCULADA A PARTIR DE BALANCE HÍDRICO DE SUELOS 217
FIGURA 5-54 VARIABLE ALTITUD APLIS 220
FIGURA 5-55 VARIABLE PENDIENTES APLIS 222
FIGURA 5-56 VARIABLE LITOLOGÍA APLIS 224
FIGURA 5-57 VARIABLE INFILTRACIÓN APLIS 226
FIGURA 5-58 VARIABLE SUELOS APLIS 228
FIGURA 5-59 PROBABILIDAD DE RECARGA DE ACUÍFEROS MÉTODO APLIS 229
FIGURA 5-60 ZONAS CON MODERADA A MUY ALTA PROBABILIDAD DE RECARGA EN EL AI DEL APE COR-15 231
FIGURA 5-61 ZONAS CON LÁMINA DE RECARGA SUPERIOR QUE 30 MM EN EL AI DEL APE COR-15 232
FIGURA 5-62 ZONAS DONDE AFLORAN ACUÍFEROS EN EL AI DEL APE COR-15 233
FIGURA 5-63 ZONAS DE RECARGA, DESCARGA Y TRÁNSITO DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL AI DEL APE COR-15 234
FIGURA 5-64 VISTA 3D DESDE EL OCCIDENTE DE LAS ZONAS DE RECARGA, DESCARGA Y TRÁNSITO DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL AI DEL APE COR-15 235
FIGURA 5-65 LOCALIZACIÓN DEL ACUÍFERO AQ-OSO EN EL AI DEL APE COR-15 237
FIGURA 5-66 LOCALIZACIÓN DEL ACUÍFERO AQ-EFB EN EL AI DEL APE COR-15 238
FIGURA 5-67 LOCALIZACIÓN DEL ACUÍFERO AQ-D1D3T EN EL AI DEL APE COR-15 239
FIGURA 5-68 LOCALIZACIÓN DEL ACUÍFERO AQ-E1ARS EN EL AI DEL APE COR-15 240
FIGURA 5-69 LOCALIZACIÓN DEL ACUÍFERO AQ-E2P EN EL AI DEL APE COR-15 241
FIGURA 5-70 LOCALIZACIÓN DEL ACUÍFERO AQ-J3G EN EL AI DEL APE COR-15 242
FIGURA 5-71 LOCALIZACIÓN DEL ACUÍFERO AQ-K1B3T EN EL AI DEL APE COR-15 243
FIGURA 5-72 LOCALIZACIÓN DEL ACUÍFERO AQ-K2K1U EN EL AI DEL APE COR-15 244
FIGURA 5-73 LOCALIZACIÓN DEL ACUÍFERO AQ-K2K5LT EN EL AI DEL APE COR-15 245
FIGURA 5-74 LOCALIZACIÓN DEL ACUÍFERO AQ-NAA EN EL AI DEL APE COR-15 246
FIGURA 5-75 LOCALIZACIÓN DEL ACUÍFERO AQ-QC EN EL AI DEL APE COR-15 247
FIGURA 5-76 LOCALIZACIÓN DEL ACUÍFERO AQ-QPL EN EL AI DEL APE COR-15 248
FIGURA 5-77 LOCALIZACIÓN DEL ACUÍFERO AQ-QAL EN EL AI DEL APE COR-15 249
FIGURA 5-78 LOCALIZACIÓN DE UNIDADES CON POCO O NULO INTERÉS HIDROGEOLÓGICO EN EL AI DEL APE COR-15 250
FIGURA 5-79 LOCALIZACIÓN MANANTIALES CON RESPECTO A FRANJAS DE ACCIÓN DE FALLAS Y CONTACTOS GEOLÓGICOS 251
FIGURA 5-80 REPRESENTACIÓN LÍNEAS DE FLUJO LOCALES, INTERMEDIAS Y REGIONALES 252
FIGURA 5-81 ISOPIEZAS UNIDAD CHIPAQUE 253
FIGURA 5-82 ISOPIEZAS UNIDAD CONCENTRACIÓN 254
FIGURA 5-83 ISOPIEZAS UNIDAD PICACHO 255

FIGURA 5-84 ISOPIEZAS ACUÍFERO SOMERO ESQUISTOS Y FILITAS DE BUSBANZÁ 256
FIGURA 5-85 ISOPIEZAS FORMACIÓN GIRÓN 257
FIGURA 5-86 ISOPIEZAS FORMACIÓN GUADUAS 258
FIGURA 5-87 ISOPIEZAS FORMACIÓN LABOR Y TIERNA 259
FIGURA 5-88 ISOPIEZAS FORMACIÓN LOS PINOS 260
FIGURA 5-89 ISOPIEZAS STOCK DE OTENGÁ 261
FIGURA 5-90 ISOPIEZAS FORMACIÓN PLAENERS 262
FIGURA 5-91 ISOPIEZAS DEPÓSITOS ALUVIALES 263
FIGURA 5-92 ISOPIEZAS DEPÓSITOS COLUVIALES 264
FIGURA 5-93 ISOPIEZAS FORMACIÓN TIBASOSA 265
FIGURA 5-94 ISOPIEZAS FORMACIÓN UNE 266
FIGURA 5-95 LOCALIZACIÓN PERFILES HIDROGEOLÓGICOS 271
FIGURA 5-96 CORTE HIDROGEOLÓGICO A-A' 272
FIGURA 5-97 CORTE HIDROGEOLÓGICO B-B' 272
FIGURA 5-98 CORTE HIDROGEOLÓGICO C-C' 273
FIGURA 5-99 CORTE HIDROGEOLÓGICO E-E' 273
FIGURA 5-100 DETALLE CONVENCIONES UNIDADES HIDROESTRATIGRÁFICAS BLOQUEDIAGRAMA COR-15 274
FIGURA 5-101 BLOQUEDIAGRAMA COR-15 275
FIGURA 5-102 MÉTODO GOD PARA LA EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA 277
FIGURA 5-103 VARIACIÓN ESPACIAL DE LA VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL AI DEL APE COR-15 281

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 5-1 TOMA DE COORDENADAS CON EQUIPO GPS 71
FOTOGRAFÍA 5-2 MEDICIÓN DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS INSITU 71
FOTOGRAFÍA 5-3 MEDICIÓN DE NIVEL ESTÁTICO CON SONDA ELÉCTRICA DE NIVEL 72
FOTOGRAFÍA 5-4 ASEGURAMIENTO DE LA INFORMACIÓN REGISTRADA EN EL FORMATO DE CAMPO 73

5 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

5.1 MEDIO ABIÓTICO

5.1.6 Hidrogeología

La hidrogeología es una rama de las ciencias de la tierra que estudia el flujo y almacenamiento de agua en el subsuelo. En desarrollo de este componente en los estudios de impacto ambiental permite identificar la existencia y el comportamiento del recurso hídrico subterráneo, evaluar las implicaciones del desarrollo de los proyectos sobre este recurso, proponer medidas de manejo, corrección, compensación y mitigación de los posibles impactos, y proponer planes de seguimiento y monitoreo que den cuenta de la evolución del agua subterránea durante y después de la implementación del proyecto. El desarrollo de este componente se basó en los términos de referencia M-M-INA-01 para la Elaboración del estudio de impacto ambiental para proyectos de perforación exploratoria de hidrocarburos expedidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS y la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA (2014), la Metodología general para presentación de estudios ambientales del MADS y ANLA (2010).

En este documento se presenta el marco hidrogeológico regional, el análisis de información existente, la caracterización geofísica de la zona de estudio, las unidades hidrogeológicas presentes en el área de influencia del componente abiótico – AI, el inventario de puntos de agua subterránea, la identificación de zonas de recarga, descarga y tránsito de agua subterránea, un modelo hidrogeológico conceptual, y, por último, una evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea.

5.1.6.1 Marco hidrogeológico regional

El área de perforación exploratoria – APE COR-15 se encuentra ubicada en la cordillera oriental. Según la clasificación de provincias hidrogeológicas presentada en el documento Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia, preparado por el IDEAM (2013). El área de influencia del proyecto está enmarcada en la Provincia Hidrogeológica Montana Cordillera Oriental (PM4), correspondiente principalmente a acuíferos clásticos en rocas sedimentarias con buenas posibilidades hidrogeológicas en las secuencias cretácicas, Paleógeno-Neógeno y sedimentos del Cuaternario. Además, hacia el sur el APE COR-15 limita con el sistema acuífero montano Duitama Sogamoso – SAM 4.4.

Por otra parte, en el INGEOMINAS, hoy Servicio Geológico Colombiano (SGC) desarrolló el Atlas de Aguas Subterráneas de Colombia (Versión 2.0) y dividió el país en planchas a escala 1:500.000. El área COR-15 se ubica en la plancha 5-09 y según su memoria explicativa se tienen unidades que van de sedimentos con flujo esencialmente intergranular, a rocas con flujo esencialmente a través de fracturas (rocas fracturadas y/o carstificadas), y sedimentos y rocas con limitados recursos de aguas subterráneas.

5.1.6.2 Análisis de información existente

En este numeral se desarrollan los temas que tienen un aporte al conocimiento hidrogeológico de la zona de estudio. Se aborda el tema de la geología desde la litología y lo estructural, la hidrología desde la oferta hídrica y la red de drenaje, y el aporte de estudios hidrogeológicos previos. A continuación, se desarrollan estos temas.

➢ **Aporte de la geología: litología, estratigrafía y estructural**

La caracterización geológica del presente EIA se tomó como base para la caracterización hidrogeológica que se desarrolló en este estudio. Los elementos principales que se tuvieron en cuenta se listan a continuación:

- Litología: este es un insumo que permite reconocer las características de los materiales y capas constituyentes de una formación geológica. En esta se identifica la presencia de diferentes materiales constituyentes, tales como arcillolitas, areniscas, limolitas, esquistos, filitas, granitos, entre otros. A partir de esto se obtiene una primera idea del comportamiento hidrogeológico de las unidades geológicas.
- Estratigrafía: De acá se pudo identificar que las rocas presentes en el AI tienen edades que van desde el Mesoproterozoico hasta el paleógeno superior, esto indica una gran dinámica geológica de la zona. Además, se identificó que hay rocas ígneas y metamórficas aflorando al occidente de la zona de estudio que abarcan casi un 25 % del AI, y también afloran rocas sedimentarias que representan poco más del 75 % del AI. Esta diferenciación de rocas permite reconocer, a primera vista, que el comportamiento hidrogeológico tiene un comportamiento diferenciado al oriente con las rocas sedimentarias, y al occidente con las rocas ígneas y metamórficas.
- Estructural: la zona de estudio se encuentra ubicada en la Cordillera Oriental, donde es manifiesta la acción de la tectónica sobre el levantamiento, orientación, plegamiento y contactos de las unidades geológicas. De lo estructural se toma el conocimiento de las fallas y pliegues sinclinales y anticlinales, como elementos que condicionan las características hidráulicas de flujo y almacenamiento de agua subterránea. Las fallas geológicas identificadas son: Soapagá, Divaquiva, Otengá, Costa Rica, Peña Blanca, Culatas, Gámeza, Duga, Tasco, Páramo, Bujío, Tópaga, Mal Sitio, Monguí, La Chapa, Chicuaza y Topón. Los pliegues de mayor extensión e importancia en la zona son el anticlinal del Chicamocha y el sinclinal de Betéitiva.

En el *numeral 5.1.6.11 Modelo Hidrogeológico Conceptual* se analiza la incidencia que tienen los elementos geológicos sobre el comportamiento hidrogeológico de la zona.

➢ **Aporte de la hidrología: balance hídrico e hidrografía**

La caracterización hidrológica realizada en el presente EIA fue tomada como una base para la comprensión del sistema hídrico subterránea. Su papel fundamental en dos aspectos: reconocer la disponibilidad de agua para recargar las unidades que tienen características hidráulicas apropiadas para almacenar y transportar agua subterránea, e identificar la clasificación de los cuerpos de agua según su permanencia, lo que da luz acerca de la relación agua superficial – agua subterránea. A continuación, se desarrollan un poco más los elementos tenidos en cuenta:

- Balance hídrico: a partir de este análisis se reconoce la disponibilidad de agua en superficie que puede convertirse en un aporte para los acuíferos. Este es un elemento fundamental para la evaluación de la renovabilidad del recurso hídrico subterráneo y de la cantidad de agua que puede ser aprovechada de manera sostenible de los acuíferos.
- Hidrografía: de acá se toma la localización y permanencia de la red de drenaje del área de estudio. Con esto se realiza el análisis de la relación entre el agua subterránea y superficial. Por ejemplo, un cuerpo de agua perenne permite reconocer un aporte de flujo base de acuíferos que estén en contacto con el cuerpo de agua.

En el *numeral 5.1.6.11 Modelo Hidrogeológico Conceptual* se analiza la incidencia que tienen los elementos hidrológicos sobre el comportamiento hidrogeológico de la zona.

- **Estudios previos de hidrogeología**

Se realizó una búsqueda bibliográfica de los estudios realizados en la zona donde se ubica el área de influencia del APE COR-15, con el fin de obtener los estudios relacionados con la hidrogeología de mayor relevancia para la comprensión del funcionamiento del medio hidrogeológico. Como resultado se encontraron y analizaron tres estudios, por considerarlos de la mayor relevancia para la caracterización. Estos son: Investigación geológica e hidrogeológica en los sectores norte y centro del departamento de Boyacá de INGEOMINAS – UPTC (2007), POMCA de la cuenca alta del río Chicamocha de CORPOBOYACÁ – UPTC (2006) y el estudio Determinación y caracterización del entorno regional del páramo de Pisba de CORPOBOYACÁ (2015).

De los estudios citados se sintetizó la identificación del comportamiento hidrogeológico de las unidades geológicas presentes en la región circundante al APE COR 15 (ver **Tabla 5-1)**.

Tabla 5-1 Comportamiento hidrogeológico de unidades en la región del APE COR 15 según varios autores

UNIDAD GEOLÓGICA	SÍMBOLO UG	INGEOMINAS - UPTC (2007)	CORPOBOYACÁ - UPTC (2006)	CORPOBOYACÁ (2015)
Filitas y esquistos de Busbanzá	?o?efb	Acuitardo	Acuífugas	Acuitardo
Neis de Quebradas	?o?nq		Acuitardo	
Formación Tíbet	D1d3t	Acuífero con porosidad secundaria por efecto de las fallas locales que aumentan su productividad.	Acuífero porosidad primaria y secundaria	
Formación Floresta	D2f	Acuitardo	Acuitardo	Acuífero
Formación Cuche	D3d6c	Acuitardo		Acuitardo
Formación Areniscas de Socha	E1ars	Acuífero de porosidad secundaria y primaria	Acuífero de porosidad secundaria y primaria	Acuífero
Formación Arcillas de Socha	E2as	Acuitardo		Acuitardo
Formación Concentración	E2c	Acuitardo	Acuicierre o acuicludo	
Formación Picacho	E2p	Acuífero de porosidad primaria		Acuífero
Formación Girón	J3g	Acuitardo. Se considera acuífero donde la falla de Soapaga ha afectado la formación		
Formación Tibasosa	K1b3t, K1b3ts	Acuífero porosidad secundaria por disolución en Corrales y Busbanzá.	Acuífero	Acuífero
Formación Une	K2k1u	Acuífero porosidad secundaria por intenso fracturamiento asociado a falla de Soapaga	Acuífero	Acuífero
Formación Chipaque	K2k3c	Acuitardo		Acuífero
Formación Plaeners	K2k5gp	Acuífero porosidad secundaria solamente		Acuífero porosidad secundaria

UNIDAD GEOLÓGICA	SÍMBOLO UG	INGEOMINAS - UPTC (2007)	CORPOBOYACÁ - UPTC (2006)	CORPOBOYACÁ (2015)
		donde se encuentra fuertemente fracturado (p. ej. Falla Costa Rica)		
Formación Guaduas	K2k6gg	Acuitardo		Acuitardo con posibilidad de pequeños acuíferos locales
Formación Labor y Tierna	K2k5lt	Acuífero porosidad secundaria por fallas locales, sin continuidad lateral		Acuífero porosidad secundaria
Formación Los Pinos	K2k5lp	Acuitardo		
Depósito Fluvial Neógeno	Naa	Acuífero de porosidad primaria		
Stock de Otengá	Oso	Acuitardo	Acuífugas	Pocas características acuíferas por su composición litológica y porosidad
Depósitos Aluviales	Qal	Acuífero de porosidad primaria	Acuífero de porosidad primaria	Acuífero
Depósitos Coluviales	Qc	Acuífero de porosidad primaria	Acuífero de porosidad primaria	Interés moderado
Depósitos Fluvio – Lacustres	Qpl	Acuífero de porosidad primaria	Acuífero de porosidad primaria	

Fuente: Tomado de INGEOMINAS – UPTC, 2007, CORPOBOYACÁ – UPTC, 2006 Y CORPOBOYACÁ, 2015

Se evidenció que, en general, las clasificaciones son consistentes entre los estudios. A excepción del Stock de Otengá (Oso) clasificado como acuitardo, acuífugo y unidad con pocas características acuíferas, y de la formación Concentración (E2c) considerada entre acuitardo y acuicierre o acuífugo. De las 23 unidades geológicas mencionadas, se clasifican de manera cuasi unánime como acuíferos a 12 de ellas, por lo que se considera que la zona tiene probabilidades de constituir reservas de agua subterránea.

Este conocimiento de estudios previos permite una primera comprensión del comportamiento hidrogeológico de las unidades presentes en la zona. A partir de donde se estructuró la adquisición de nueva información para el desarrollo de la línea base de aguas subterráneas.

5.1.6.3 Caracterización geofísica de la zona de estudio

Para la caracterización geofísica del área de estudio se realizaron 23 líneas de tomografía eléctrica en el área de estudio. En el *Anexo* ***Estudio Geofísico*** documento TRLC-190502-80_informe_geofisica_COR-15_M&P_2020_11_Ene_V4 se presenta el informe de las LTE realizadas para el proyecto y a continuación se presenta el resumen de los resultados y las implicaciones sobre la caracterización hidrogeológica.

Inicialmente, se proyectaron tomografías eléctricas en los cuatro municipios donde se ubica el proyecto COR-15. Sin embargo, no fue posible realizar los trabajos propuestos en el municipio de Betéitiva porque no se obtuvieron permisos para ello. Hubo resistencia de la comunidad de este municipio ante el desarrollo de las actividades, por lo que, finalmente, las tomografías se localizaron únicamente en los municipios Corrales, Busbanzá y Tasco (ver Figura 5-1). La localización de estas tomografías se presenta en la capa Tomografía Eléctrica de la GDB.

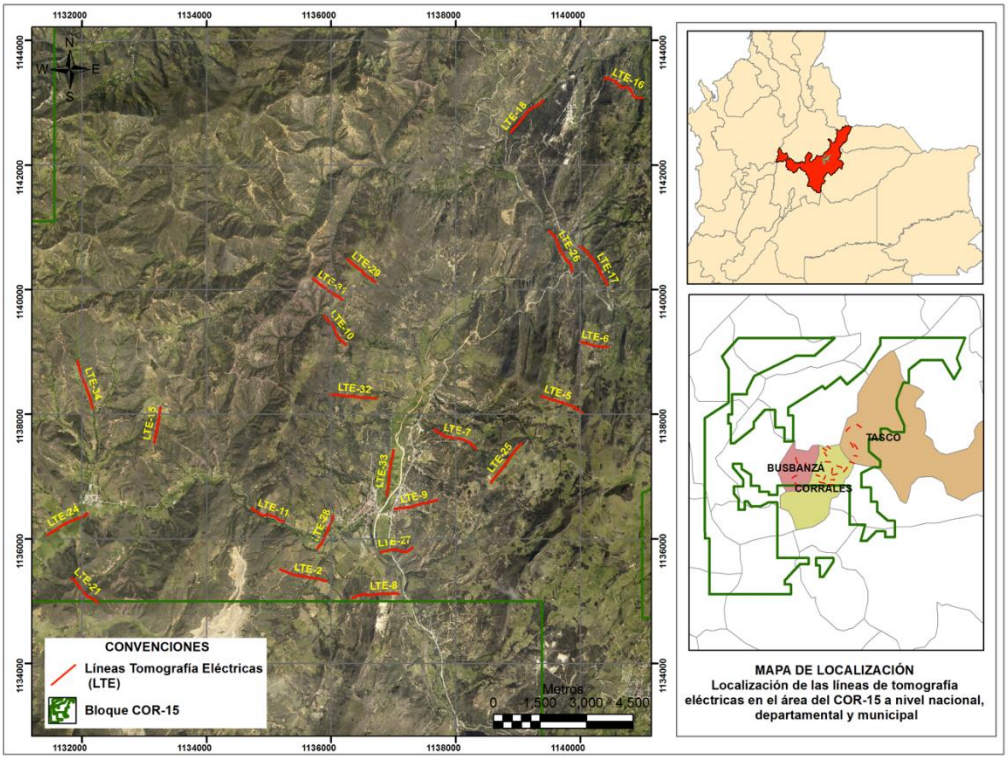


Figura 5-1 Localización de las tomografías eléctricas desarrolladas en el proyecto
Fuente: Martínez et al, 2006

La interpretación de la información procesada a partir de las tomografías geoeléctricas en el proyecto EIA APE COR-15, se basó en el análisis de las litologías aflorantes y los índices de humedad o agua saturada asumida a cada formación geológica. Se establecieron intervalos de resistividad para cada formación geológica en función de su estratigrafía. Los rangos van desde 0 hasta 11000 ohm.m. A partir de estos datos de resistividad electrica aparente; se establecio valores enmarcados en la **Tabla 5-2**.

Tabla 5-2 Resistividad eléctrica en el marco geológico del proyecto EIA APE COR-15

FORMACION GEOLOGICA	LITOLOGIA	RANGOS DE RESISTIVIDAD (Ω.m)
Esquistos y Filitas de Buzbanza (?o?efb)	Esquistos y filitas	300-3000
Neis de quebradas (?o?nq)	Paraneis	100-10000
Stock de Otengá (Oso)	Granito, venas rellenas de sericita y oxidos de hierro	100-3000
Tibet (D1d3t)	Areniscas con intercalaciones de lodolitas y limolitas Conglomerados-Areniscas masivas Areniscas con intercalaciones de lodolitas y limolitas	300-1000 2-20 300-1000
Floresta (D2f)	Lodolitas con presencia de arena	150-2800
Cuche (D3d6c)	Arenisca de cuarzo con capas de limonitas micaceas.	300-2000
Girón (J3g)	Arenisca, areniscas conglomeráticas	300-1500

FORMACION GEOLOGICA	LITOLOGIA	RANGOS DE RESISTIVIDAD (Ω.m)
	intercaladas con capas de lodolitas. Paraconglomerados y arenisca de cuarzo.	
Tibasosa (K1b3t)	Niveles calcareos con intercalaciones de arenisca y arcillolitas Arcillolitas y lodolitas con niveles calcareos	300-10000 2 – 20 300 – 10000
Une (K2k1U)	Areniscas cuarzosas intercaladas con capas gruesas de lodolitas	300 - 1000
Chipaque (K2k3c)	Lodolitas negras Lutitas con areniscas Nivel calcareo Lutitas negras	2-20 2-300 300-500 2-20
Plaeners (K2k5gp)	Limolitas silíceas con intercalaciones de chert y lodolitas Cuarzoarenitas	20 – 100 300 – 1000
Los Pinos (K2k5lp)	Arcillolitas y lodolitas, seguidas por cuarzo arenitas ligeramente calcáreas. Lodolitas calcáreas y silíceas con intercalaciones de arenitas arcillosas y calizas en estratos de poco espesor.	20 – 800 2 – 500 300 – 10000
Labor y Tierna (K2k5lt)	Areniscas calcáreas Niveles de lodolitas Cuarzoarenitas	300 – 10000 2 – 20 300 – 1000
Guaduas (K2k6gg)	Arcillolitas Capas de carbon Cuarzoarenitas	2-20 0-3.5 x 10^{-5} 300-1000
Areniscas de Socha (E1ars)	Areniscas con intercalaciones de arcillolitas	300-1000 2-20
Arcillas de Socha (E1as)	Arcillolitas Bandas de cuarzoarenitas	2-20 300-1000
Picacho (E2p)	Cuarzoarenitas con niveles conglomeraticos Niveles Arcillosos	50-500 2-20
Concentracion (E2c)	Arcillotas con constantes bancos de arenisca Arenisca sobre la que yace un banco mineral de hierro oolitico	2 - 20 300 - 1000 0-10 x 10^{-8}
Cuaternario Fluvial Neógeno (Naa)	Conglomerados aluviales de gran espesor Conos de deyección	50 – 300
Cuaternario Fluvial-Lacustre (Qpl)	Material arcilloso fino y suelto	0,5 - 40
Cuaternario Coluvial (Qc)	Materiales heterogéneos compuestos por bloques, gravas en matriz limo-arenosa	200 – 500
Cuaternario Aluvial (Qal)	Material heterogeneo fino y grueso	100 - 300 Puede llegar hasta 3200

Fuente: *UPTC, INCITEMA (2019)*

Nota: Se debe correlacionar la columna estratigrafica de cada formacion con los datos de resitividad electrica. Las unidades litoestratigraficas secas presentan resitividades altas (>1000 Ω.m)

Se debe tener en cuenta el grado de saturacion de las litologias para hacer una buena interpretacion de la tomografia electrica (**Tabla 5-3** y **Tabla 5-4**). Se realizo una interpretacion litologica, hidrogeologica, estructural y correlacion de las unidades lito estratigraficas.

Tabla 5-3 Rango típico de resistividad de sedimentos y rocas

ROCAS o SEDIMENTOS	Resistividad (Ω.m)
Arcilla	2 - 15
Arena seca	> 1000
Arena saturada con agua dulce	20 - 150
Arena saturada con agua salada	< 5
Grava saturada con agua dulce	30 - 50
Arenisca con agua dulce	30 - 50
Caliza porosa con agua dulce	< 500
Caliza compacta	> 500

Fuente*: Modificado de Astier, 1975*

Tabla 5-4 Valores resistivos promedios para diferentes tipos de roca

MATERIAL	Resistividad Nominal (Ω.m)
Cuarzo	300 - 10^6
Lutitas consolidadas	20 – 2000
Conglomerados	2000 - 10^4
Areniscas	1 – 7.4X10^8
Calizas	50 - 10^7
Dolomitas	350 – 5000
Arcillas	1 – 100
Aluvión y arena	10 – 800
Arcilla (muy seca)	50 – 150
Grava (seca)	1400
Grava (saturada)	100
Arenas recientes/cuaternarias	50 – 100
Suelo arenoso seco	80 – 1050
Arena arcillosa	30 – 215
Arena y grava	30 – 225

Fuente: *Modificado de Reynolds, 1998*

A continuación, la interpretación de las 23 líneas de tomografía eléctrica.

- **Tomografía geoeléctrica LTE-2**

La tomografía se ubica al suroeste del municipio de Corrales, con una longitud de 800 metros y espaciado de 10 metros entre electrodos.

De izquierda a derecha se tiene el conjunto de areniscas secas (alta resistividad) de la formación Une de alta resistividad en contacto neto fallado con el Cuaternario Fluvio-lacustre de baja resistividad saturado (acuífero). La secuencia termina con resistividades bajas correspondientes a niveles arcillosos de la formación Concentración.

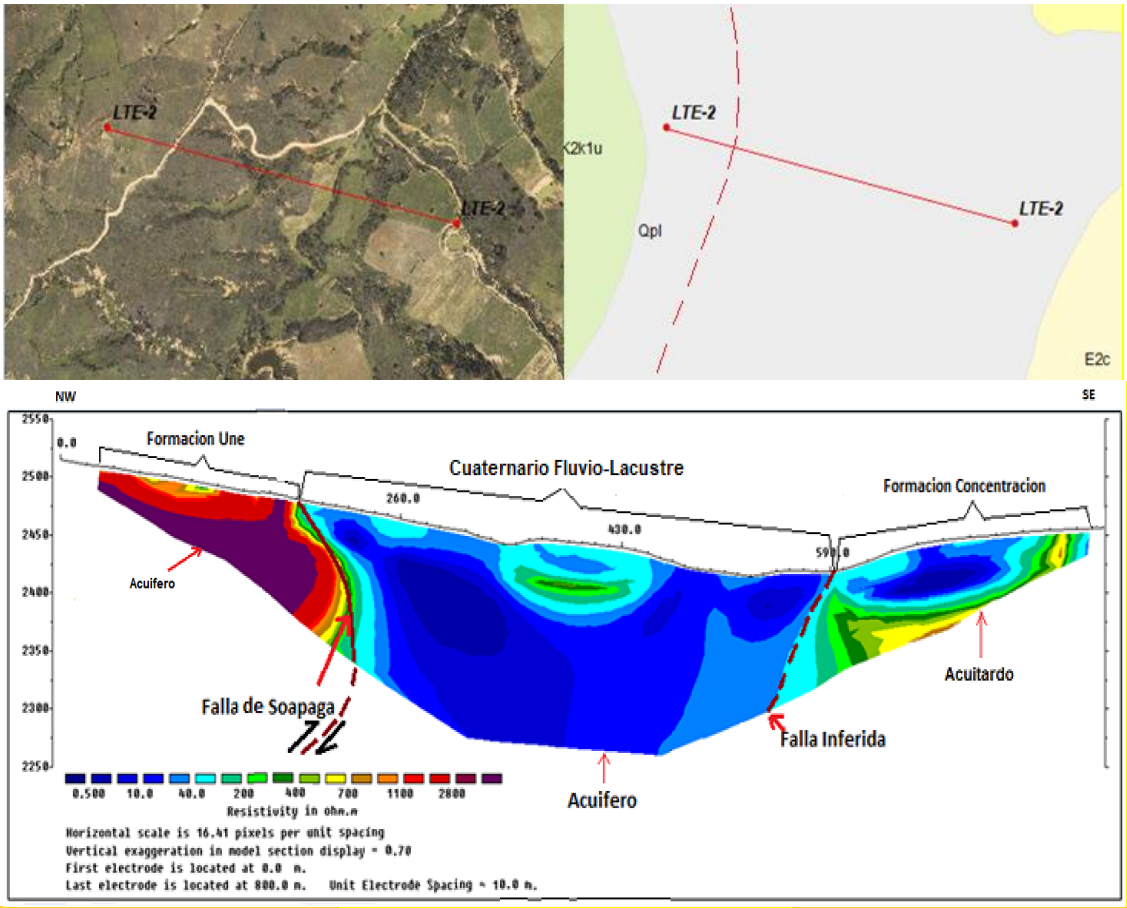


Figura 5-2 Perfil Geoeléctrico LTE-2
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

El análisis litológico, geofísico e hidrogeológico de la tomografía LTE-2, se presentan en la **Tabla 5-5.**

Tabla 5-5 Interpretación de la tomografía LTE-2

Formación Geológica	Litología	Rango De Resistividad (Ω.m)	Clasificación Hidrogeológica
Une (K2k1u)	Areniscas cuarzosas intercaladas con capas gruesas de lodolitas.	**>1000**	Acuífero Alta resistividad, terreno seco.
Cuaternario Fluvio-Lacustre (Qpl)	Material heterogéneo compuesto por guijos, cantos y gravas.	**0-100**	Acuífero Baja resistividad, media saturación.
Concentración (E2c)	Arcillolitas grises oscuras y negras, intercalaciones de cuarzo arenitas de grano fino a medio y localmente grueso.	**5-700**	Acuitardo Baja resistividad.

Fuente: UPTC- INCITEMA, 2019

- **Tomografía geoeléctrica LTE-5**

La tomografía se ubica al noroeste del municipio de Corrales, con una longitud de 740 metros y espaciado de 10 metros entre electrodos.

De izquierda a derecha se presentan intercalaciones de arcillolitas con cuarzoarenitas de la formación Guaduas (K2k6gg), en contacto con niveles de areniscas de la formación Labor y Tierna (K2k5lt) de baja resistividad hacia el tope (pobremente saturadas) y altas resistividades hacia la base. Al final capas de arcillolitas de baja resistividad de la formación Guaduas junto a zona de incertidumbre geológica, ver **Figura 5-3**.

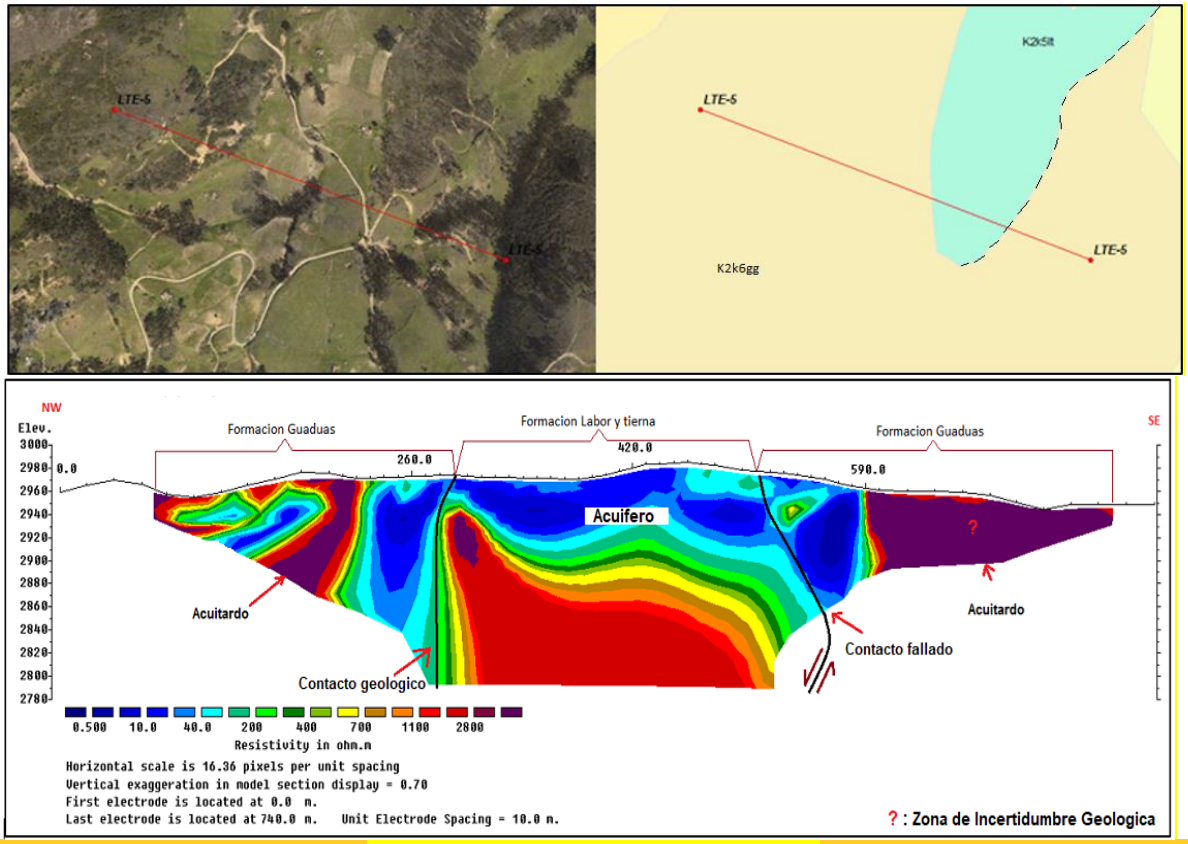


Figura 5-3 Perfil Geoeléctrico LTE-5
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

El análisis litológico, geofísico e hidrogeológico de la tomografía LTE-5, se presentan en la **Tabla 5-6.**

Tabla 5-6 Interpretación de la tomografía LTE-5

Formación Geológica	Litología	Rango De Resistividad (Ω.m)	Clasificación Hidrogeológica
Guaduas (K2k6gg)	Arcillolitas con nódulos lodolíticos hacia el tope y frecuentes intercalaciones de cuarzoarenitas de grano fino.	**0 - 2600**	Acuitardo
Labor y Tierna	Arenitas de grano fino a medio con		Acuífero

Formación Geológica	Litología	Rango De Resistividad (Ω.m)	Clasificación Hidrogeológica
(K2k5lt)	intercalaciones de limolitas.	**2-3000**	*Arenas secas-alta resistividad

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

- **Tomografía geoeléctrica LTE-6**

Se ubica al noroeste del municipio de Corrales, con una longitud de 500 metros y espaciado de 10 metros entre electrodos.

De izquierda a derecha el perfil comprende el flanco izquierdo del anticlinal del Chicamocha. La secuencia litoestratigráfica inicia con areniscas secas de alta resistividad de la formación Labor y Tierna (K2k5lt) en contacto con niveles arcillosos y lodolitas de baja resistividad de la formación Los Pinos (K2k5lp). Finalmente, capas de liditas de baja resistividad y bancos de areniscas secos de alta resistividad hacia el centro de la formación Plaeners (K2k5gp), ver **Figura 5-4**.

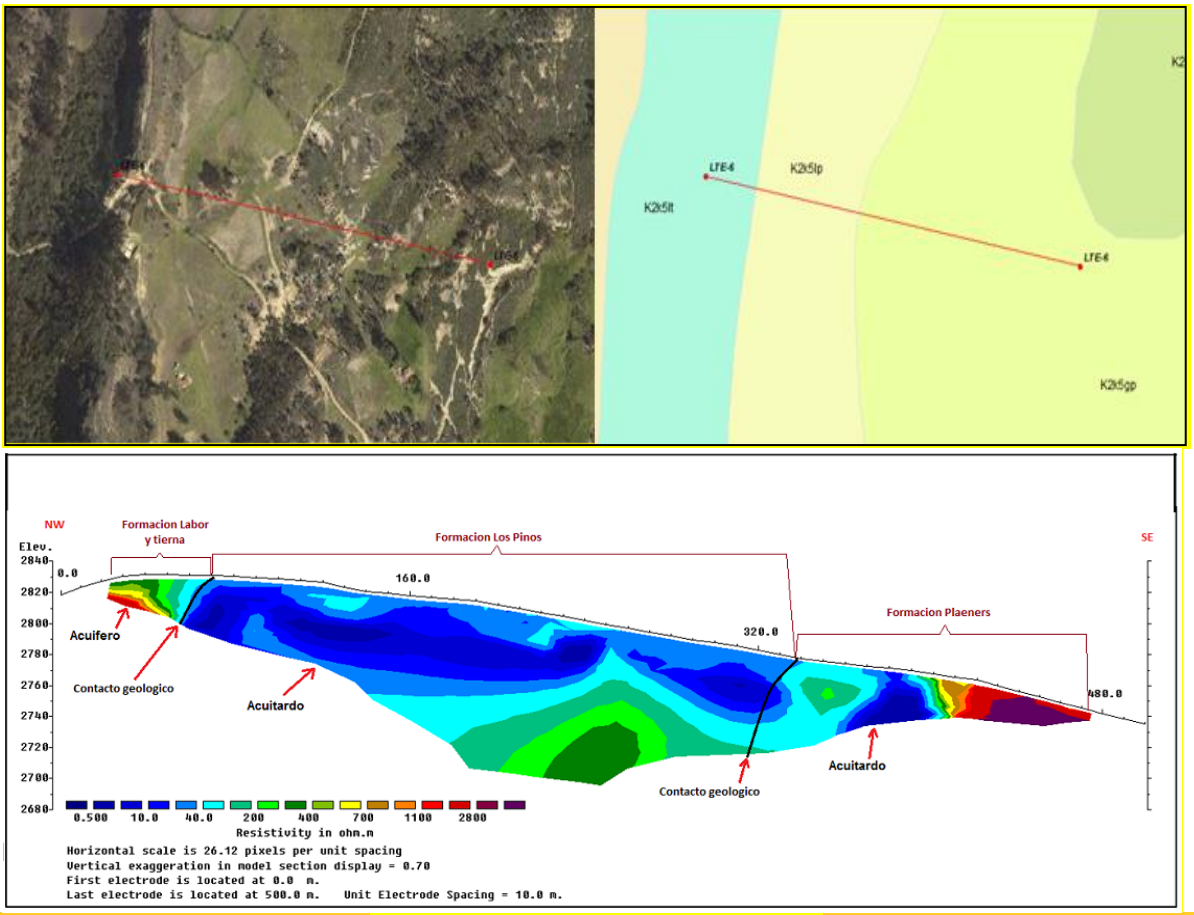


Figura 5-4 Perfil Geoeléctrico LTE-6
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

El análisis litológico, geofísico e hidrogeológico de la tomografía LTE-6, se presentan en la **Tabla 5-7**.

Tabla 5-7 Interpretación de la tomografía LTE-6

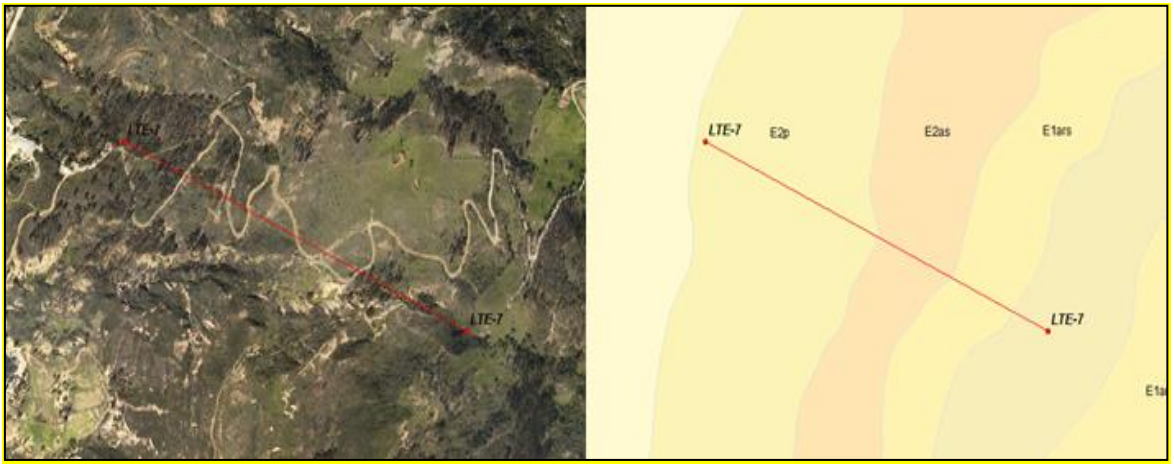
Formación Geológica	Litología	Rango De Resistividad (Ω.m)	Clasificación Hidrogeológica
Labor y Tierna (K2k5lt)	Arenitas intercaladas con delgadas capas de limolitas, no se aprecia contenido de humedad.	**400 - 1000**	Acuífero
Los Pinos (K2k5lp)	Arenitas en capas delgadas, arcillolitas y limolitas con predominancia de las capas de arcillolitas.	**2 - 400**	Acuitardo Baja resistividad
Formación Plaeners (K2k5gp)	Constituida en su parte superior y media por paquetes de limolitas silíceas con intercalaciones de chert y lodolitas, y en la parte inferior por cuarzoarenitas.	**2 - 3000**	Acuitardo *Arcillas-baja resistividad *Arenas secas-alta resistividad

Fuente: ***UPTC- INCITEMA, 2019***

- **Tomografía geoeléctrica LTE-7**

Se ubica al noroeste del municipio de Corrales, con una longitud de 800 metros y espaciado de 10 metros entre electrodos.

El perfil comprende de izquierda a derecha bancos de arenisca con niveles conglomeráticos secos de alta resistividad de la formación Picacho (E2p) en contacto neto con arcillolitas y limolitas de la formación Arcillas de Socha de baja resistividad; para el caso de la formación Arenisca de Socha, los bancos de arenisca presentan bajas resistividades indicador de saturación. En el extremo derecho la formación Guaduas con niveles arcillosos de baja resistividad seguidas por capas de arenita de cuarzo secas de alta resistividad, ver **Figura 5-5**.



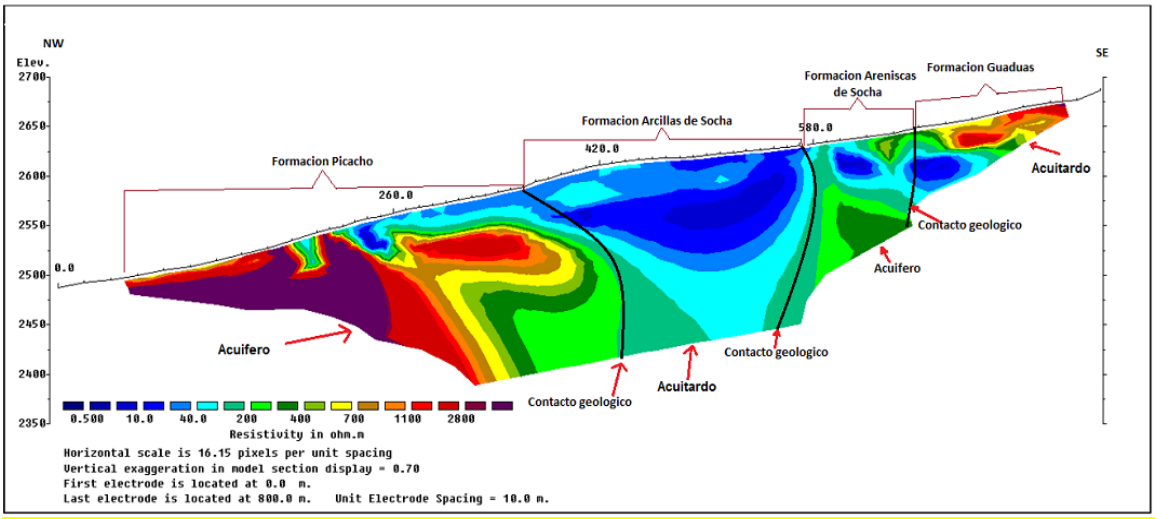


Figura 5-5 Perfil Geoeléctrico LTE-7
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

El análisis litológico, geofísico e hidrogeológico de la tomografía LTE-7, se presentan en la **Tabla 5-8**.

Tabla 5-8 Interpretación de la tomografía LTE-7

Formación Geológica	Litología	Rango De Resistividad (Ω.m)	Clasificación Hidrogeológica
Picacho (E2p)	Cuarzo arenitas e intercalaciones de arcillolitas, es apreciable los guijos de cuarzo entre los niveles de arenitas gruesas.	**150 - 3000**	Acuífero Alta Resistividad Terreno seco.
Arcillas De Socha (E1as)	Arcillolitas con frecuentes intercalaciones de cuarzo arenitas de grano fino.	**0 - 100**	Acuitardo Baja Resistividad.
Areniscas De Socha (E1ars)	Cuarzo arenitas de grano fino, con escasas intercalaciones de arcillolitas.	**2- 350**	Acuífero Baja Resistividad.
Guaduas (K2k6gg)	Arcillolitas con nódulos lodoliticos hacia el tope y frecuentes intercalaciones de cuarzoarenitas de grano fino.	**100 - 2800**	Acuitardo Alta Resistividad Terreno Seco

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

- **Tomografía geoeléctrica LTE-8**

La tomografía se ubica al sur del municipio de Corrales, con una longitud de 800 metros y espaciado de 10 metros entre electrodos.

De derecha a izquierda se tienen; areniscas secas de la formación Areniscas de Socha (E1ars) de alta resistividad, un contacto fallado con arcillolitas de baja resistividad de la formación Arcillas de Socha (E1as), para el caso de los bancos de arenisca de la formación Picacho (E2p) presenta resistividades bajas indicador de saturación; en contraste la base arenosa seca de la formación Concentración (E2c) indica alta resistividad y niveles arcillosos de baja resistividad suprayaciendo.

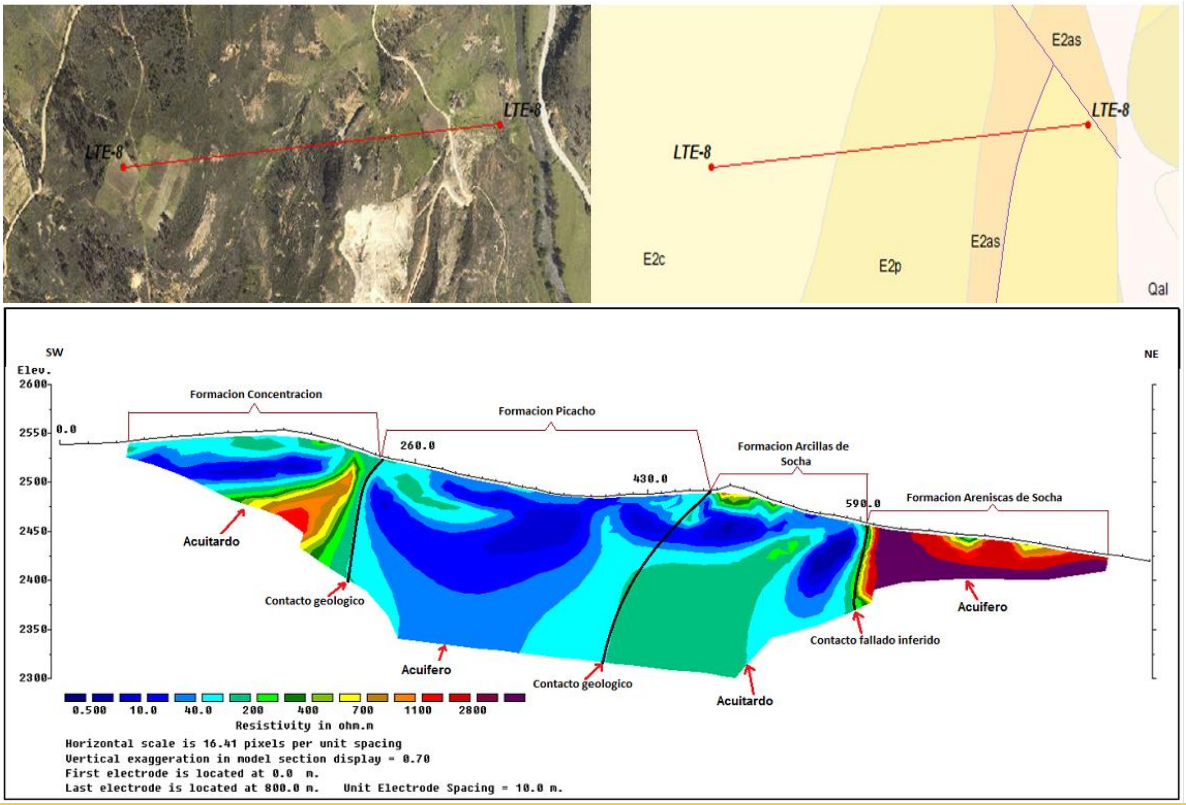


Figura 5-6 Perfil Geoeléctrico LTE-8
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

El análisis litológico, geofísico e hidrogeológico de la tomografía LTE-8, se presentan en la **Tabla 5-9**.

Tabla 5-9 Interpretación de la tomografía LTE-8

Formación Geológica	Litología	Rango De Resistividad (Ω.m)	Clasificación Hidrogeológica
Concentración (E2c)	Arcillolitas grises y frecuentes intercalaciones de cuarzo arenitas.	**2 - 1500**	Acuitardo *Arcillas-baja resistividad *Arenas secas-alta resistividad
Picacho (E2p)	Cuarzoarenitas, e intercalaciones de arcillolitas grises, es apreciable los guijos de cuarzo entre los niveles de arenitas gruesas.	**2 - 100**	Acuífero Baja resistividad.
Arcillas de Socha (E1as)	Arcillolitas grises. Son frecuentes las intercalaciones de cuarzo arenitas de grano fino	**2- 200**	Acuitardo- Baja resistividad.
Areniscas de Socha (E1ars)	Cuarzoarenitas de grano fino a medio, con escasas intercalaciones de arcillolitas grises claras y rojizas.	**700 - 3000**	Acuífero Alta resistividad, terreno seco.

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

- **Tomografía geoeléctrica LTE-9**

La tomografía se ubica al este del municipio de Corrales, con una longitud de 740 metros y espaciado de 10 metros entre electrodos.

La litoestratigrafía aflorante de izquierda a derecha se tiene; un conjunto de arcillolitas secas de alta resistividad de la formación Concentración (E2c), hacia la base el contacto arenoso levemente saturado con los bancos de arenisca de la formación Picacho (E2p) con resistividades media (100 – 200 Ω.m) que contrastan con niveles de resistividad baja de la formación Arcillas de Socha (E2as) del orden 3 a 20 Ω.m,, ver **Figura 5-7**.

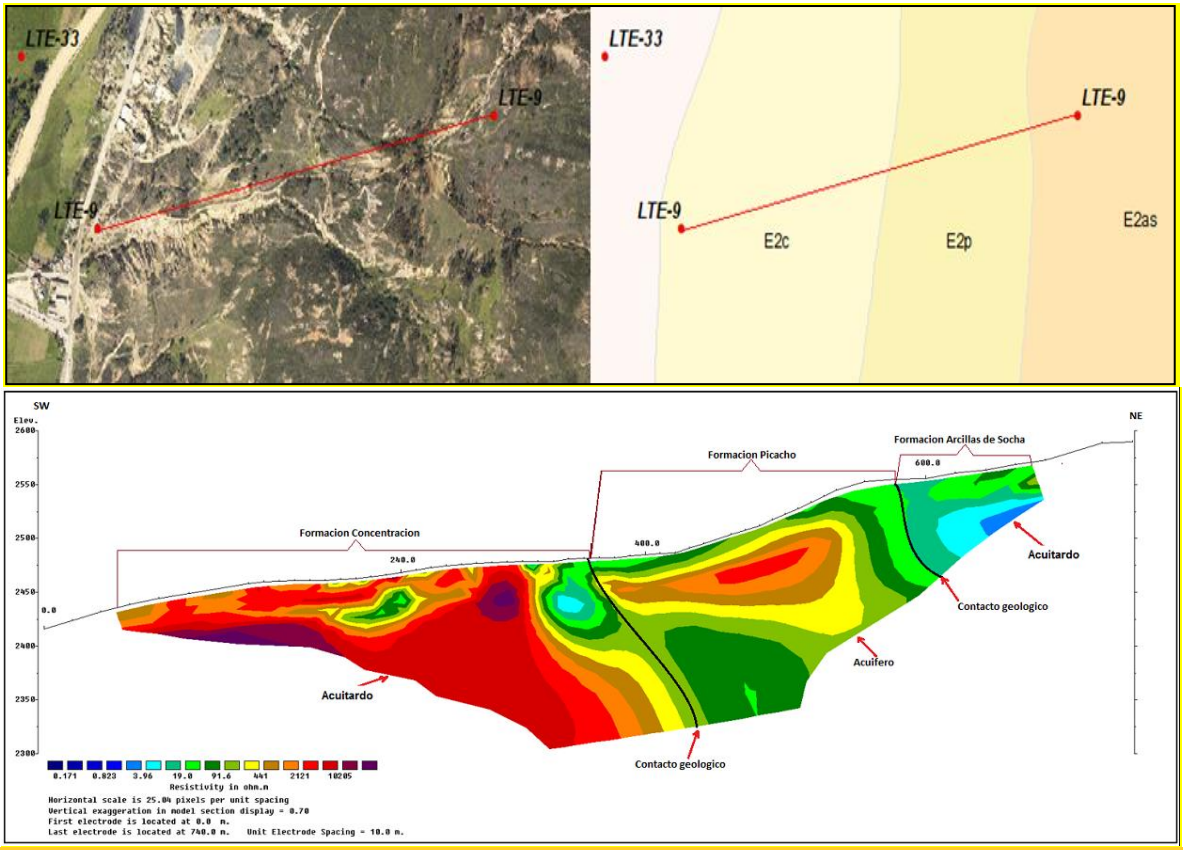


Figura 5-7 Perfil Geoeléctrico LTE-9
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

El análisis litológico, geofísico e hidrogeológico de la tomografía LTE-9, se presentan en **la Tabla 5-10.**

Tabla 5-10 Interpretación de la tomografía LTE-9

Formación Geológica	Litología	Rango De Resistividad (Ω.m)	Clasificación Hidrogeológica
Concentración (E2c)	Arcillolitas y frecuentes intercalaciones de cuarzo arenitas de grano fino a medio y localmente grueso.	**4 - 10200**	Acuitardo Resistividad alta litología seca.

Formación Geológica	Litología	Rango De Resistividad (Ω.m)	Clasificación Hidrogeológica
Picacho (E2p)	Cuarzoarenitas e intercalaciones de arcillolitas, es apreciable los guijos de cuarzo entre los niveles de arenitas gruesas.	**20 - 2150**	Acuífero. *En el centro arenas secas-alta resistividad
Arcillas de Socha (E2as)	Arcillolitas con intercalaciones de cuarzo arenitas.	**2 - 100**	Acuitardo Baja resistividad.

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

- **Tomografía geoeléctrica LTE-10**

La tomografía se ubica al norte del municipio de Corrales, con una longitud de 600 metros y espaciado de 10 metros entre electrodos.

La descripción litoestratigráfica de izquierda a derecha señala el miembro superior de la formación Tibasosa (K1b3ts); bancos de caliza saturados con baja resistividad (40-100 Ω.m), seguido de capas de arenisca cuarcítica levemente saturadas de resistividad media (300-700 Ω.m), luego el contacto neto arcilloso de baja resistividad con el miembro inferior de la formación Tibasosa (K1b3t), hacia la base bancos de arenisca compacta seca alta resistividad (>2000 Ω.m), ver **Figura 5-8**.

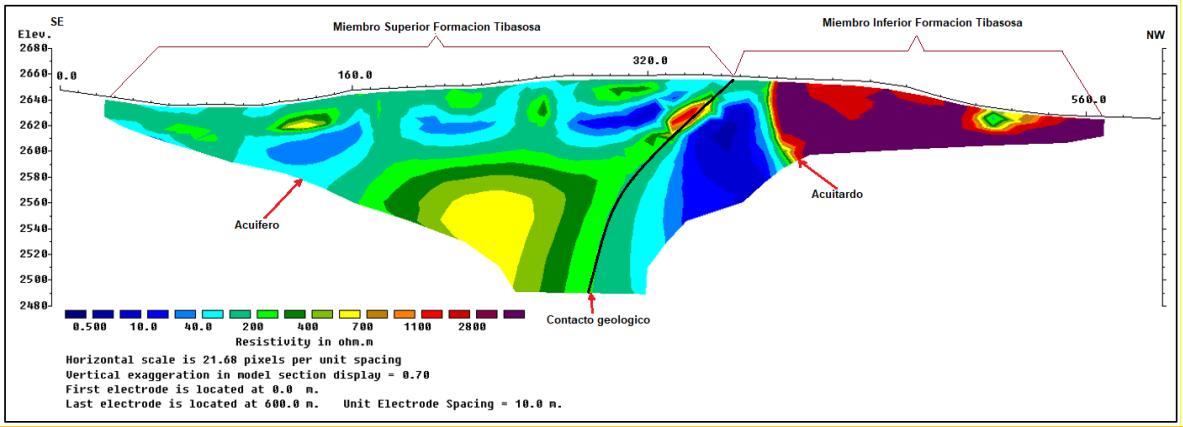


Figura 5-8 Perfil Geoeléctrico LTE-10
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

El análisis litológico, geofísico e hidrogeológico de la tomografía LTE-10, se presentan en la **Tabla 5-11.**

Tabla 5-11 Interpretación de la tomografía LTE-10

Formación Geológica	Litología	Rango De Resistividad (Ω.m)	Clasificación Hidrogeológica
Tibasosa (K1b3ts)	Niveles calcareos potentes con intercalaciones de arenisca y arcillolitas	**10 - 600**	Acuífero Resistividad baja .
Tibasosa (K1b3t)	Arcillolitas y lodolitas con niveles calcareos delgados. Hacia la base arenisca compacta.	**2 - 3200**	Acuitardo *Arcillas-baja resistividad *Arenas secas-alta resistividad

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

- **Tomografía geoeléctrica LTE-11**

Se ubica al oeste del municipio de Corrales, con una longitud de 600 metros y espaciado de 10 metros entre electrodos.

De izquierda a derecha, se tiene el miembro superior de la formación Tibasosa (K1b3ts); alternancia de bancos de caliza con areniscas de bajas resistividades levemente saturadas en contacto con areniscas cuarzosas compactas secas de alta resistividad correspondientes a la base de la formación Une (K2k1u) hacia el techo capas de arenisca saturadas en contacto fallado con el cuaternario Fluvial-Lacustre de alta resistividad (>2500 Ω.m).

Desde el punto de vista estructural se resalta la presencia de la falla de Soapaga de tipo inverso que afecta las capas superiores de la formación Une generando fracturamiento secundario. Como se observa en la figura esquemática la interpretación es concordante con el afloramiento de la formación Tibasosa la cual en superficie presenta estratos verticales de los bancos de calizas al tope de la formación, ver **Figura 5-9**.

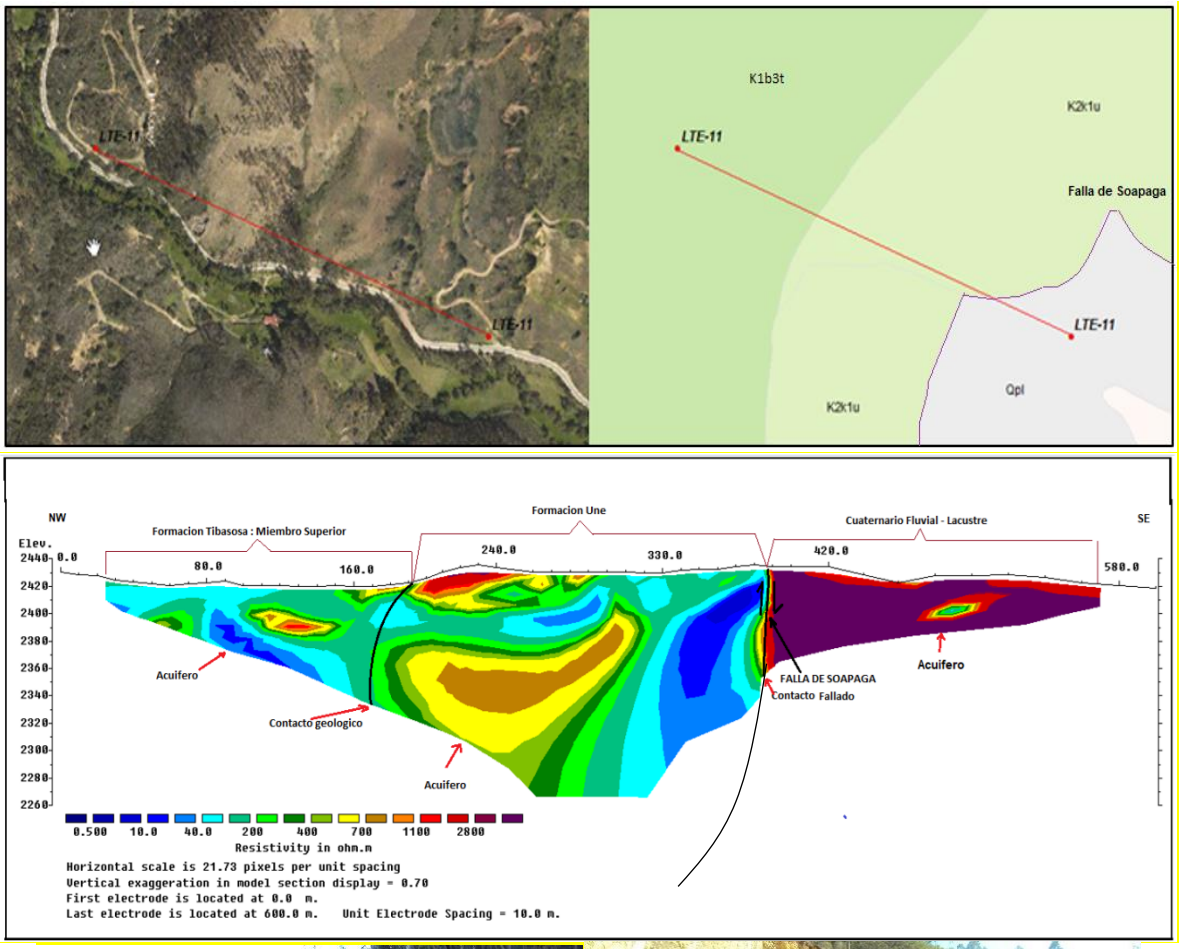


Figura 5-9 Perfil Geoeléctrico LTE-11
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

El análisis litológico, geofísico e hidrogeológico de la tomografía LTE-11, se presentan en la **Tabla 5-12**.

Tabla 5-12 Interpretación de la tomografía LTE-11

Formación Geológica	Litología	Rango De Resistividad (Ω.m)	Clasificación Hidrogeológica
Tibasosa (K1b3ts)	Bancos de caliza potentes intercalados con arcillolitas.	**10 - 200**	Acuífero de porosidad secundaria
Une (K2k1u)	Areniscas cuarzosas intercaladas con capas gruesas de lodolitas. La presencia de la falla de Soapaga genera fracturamiento secundario	**10 - 900**	Acuífero Baja resistividad. *Arenas secas-alta resistividad
Cuaternario Fluvial-Lacustre (Qpl)	Materiales heterogéneos, que han sido transportados y depositados por la acción del agua, consisten principalmente en guijos, cantos y gravas.	**>1000**	Acuífero Alta resistividad Terreno seco

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

- **Tomografía geoeléctrica LTE-15**

La tomografía se ubica al noreste del municipio de Busbanzá, con una longitud de 600 metros y espaciado de 10 metros entre electrodos.

La tomografía se realizó sobre el Stock de Otengá (Oso). Se describe de izquierda a derecha: granitos alterados de baja resistividad que suprayace a un cuerpo intrusivo compuesto por cuarzo sienita, granito a granodiorita (UPTC, 2019) de alta resistividad en contacto con una zona de baja resistividad levemente saturada y termina con granitos aplíticos de alta resistividad (>2500 Ω.m), ver **Figura 5-10**.

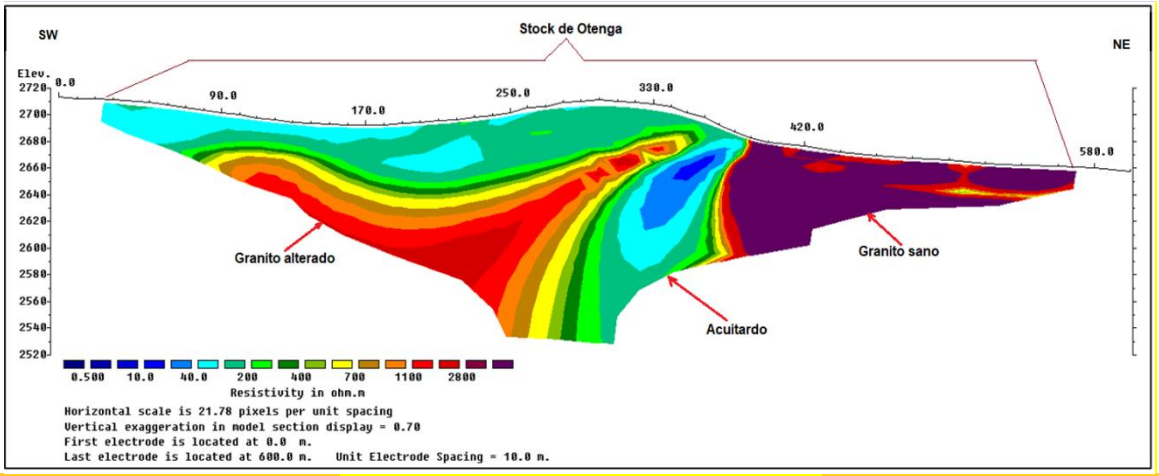


Figura 5-10 Perfil Geoeléctrico LTE-15
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

El análisis litológico, geofísico e hidrogeológico de la tomografía LTE-15, se presentan en la **Tabla 5-13.**

Tabla 5-13 Interpretación de la tomografía LTE-15

Formación Geológica	Litología	Rango De Resistividad (Ω.m)	Clasificación Hidrogeológica
Stock de Otengá (Oso)	Rocas graníticas, el intrusivo en roca está compuesto por varios elementos desde cuarzo sienita, granito a granodiorita.	**100 – 3200** *Granitos aplíticos sanos: >2500	Acuífero Baja resistividad.

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

- **Tomografía geoeléctrica LTE-16**

La tomografía eléctrica se ubica al norte del municipio de Corrales, con una longitud de 740 metros y espaciado de 10 metros entre electrodos.

De izquierda a derecha se tienen; areniscas secas de la formación Areniscas de Socha (E1ars) de alta resistividad, un contacto neto con arcillolitas de baja resistividad de la formación Guaduas (K2k6gg) y al final bancos de arenisca levemente saturadas de la formación Labor y Tierna (K2k5lt), presenta resistividades altas, ver **Figura 5-11**.

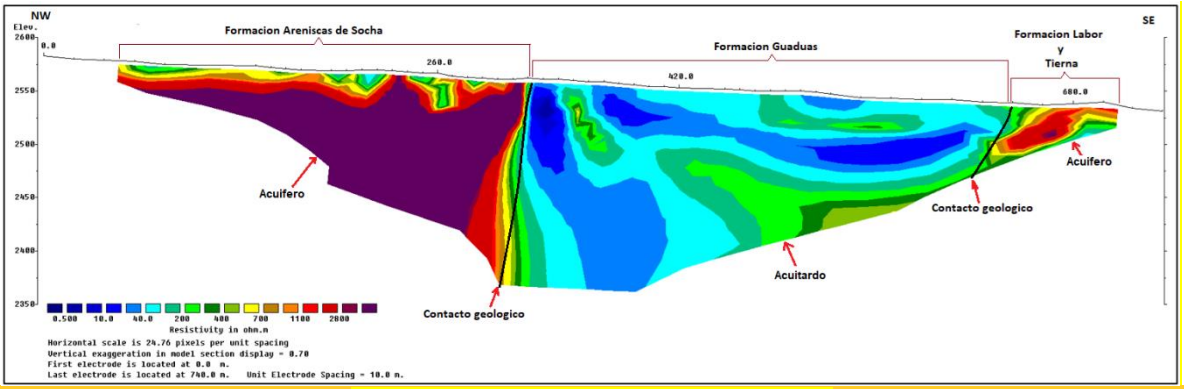


Figura 5-11 Perfil Geoeléctrico LTE-16
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

El análisis litológico, geofísico e hidrogeológico de la tomografía LTE-16, se presentan en la **Tabla 5-14.**

Tabla 5-14 Interpretación de la tomografía LTE-16

Formación Geológica	Litología	Rango De Resistividad (Ω.m)	Clasificación Hidrogeológica
Formación Areniscas de Socha (E2ars)	Bancos de arenisca dura (secas).	**>2000**	Acuífero Resistividad alta.
Formación Guaduas (K2k6gg)	Niveles de arcillolitas y limolitas con ocasionales intercalaciones de arenita de cuarzo.	**10 - 400**	Acuitardo Resistividad baja.
Labor y Tierna (K2k5lt)	Areniscas calcáreas en estratos gruesos.	**500 - 1200**	Acuífero Alta resistividad.

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

- **Tomografía geoeléctrica LTE-17**

La tomografía se ubica al noreste del municipio de Corrales paralela a la vía que conduce al municipio de Otengá, con una longitud de 800 metros y espaciado de 10 metros entre electrodos.

La línea geoeléctrica presenta de izquierda a derecha areniscas de cuarzo de grano fino a grueso secas de alta resistividad correspondiente a la formación Labor y Tierna (K2k5lt) en contacto con la secuencia de arcillolitas y lodolitas de baja resistividad de la formación Los Pinos (K2k5lp); hacia el centro de esta unidad geológica las resistividades aumentan por la presencia de arenitas de cuarzo y calizas en estratos de poco espesor, para la formación Plaeners (K2k5gp) se presentan liditas e intercalaciones de arcillolita que suprayacen a bancos potentes de arenisca de baja resistividad indicador de saturación. Ver **Figura 5-12**.

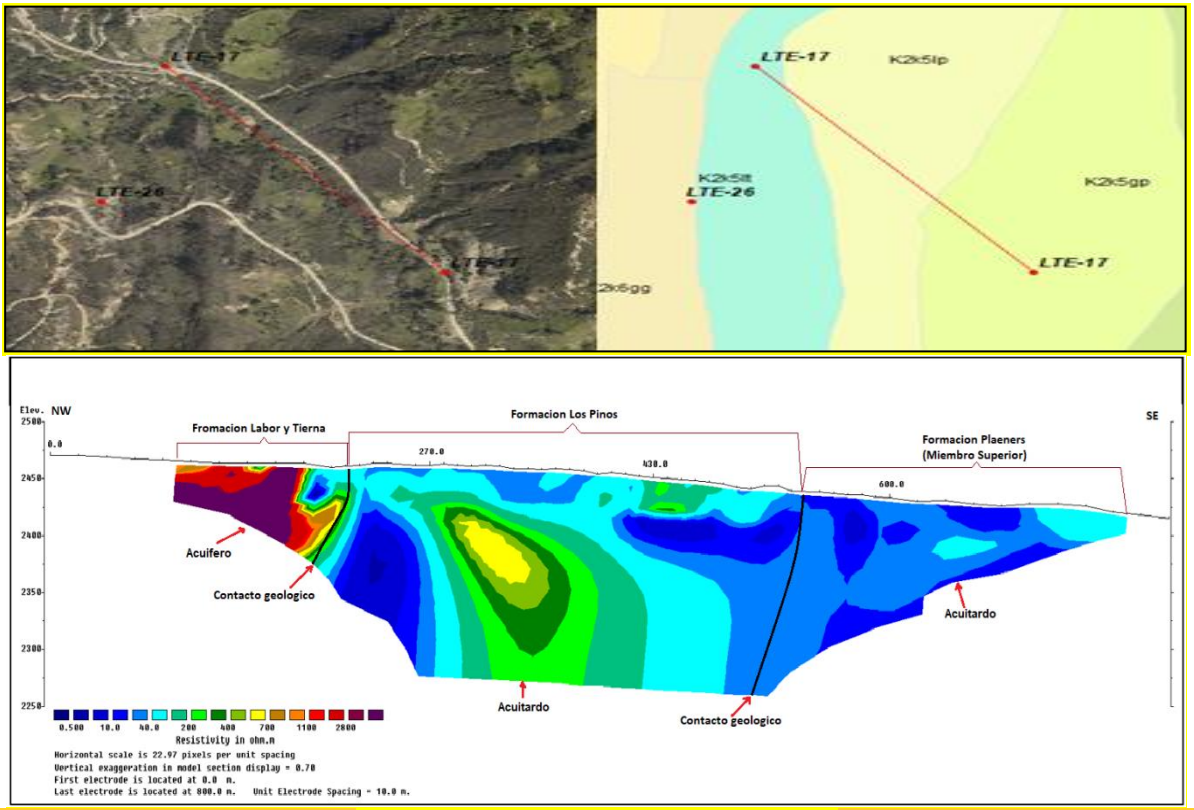


Figura 5-12 Perfil Geoeléctrico LTE-17
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

El análisis litológico, geofísico e hidrogeológico de la tomografía LTE-17, se presentan en la **Tabla 5-15.**

Tabla 5-15 Interpretación de la tomografía LTE-17

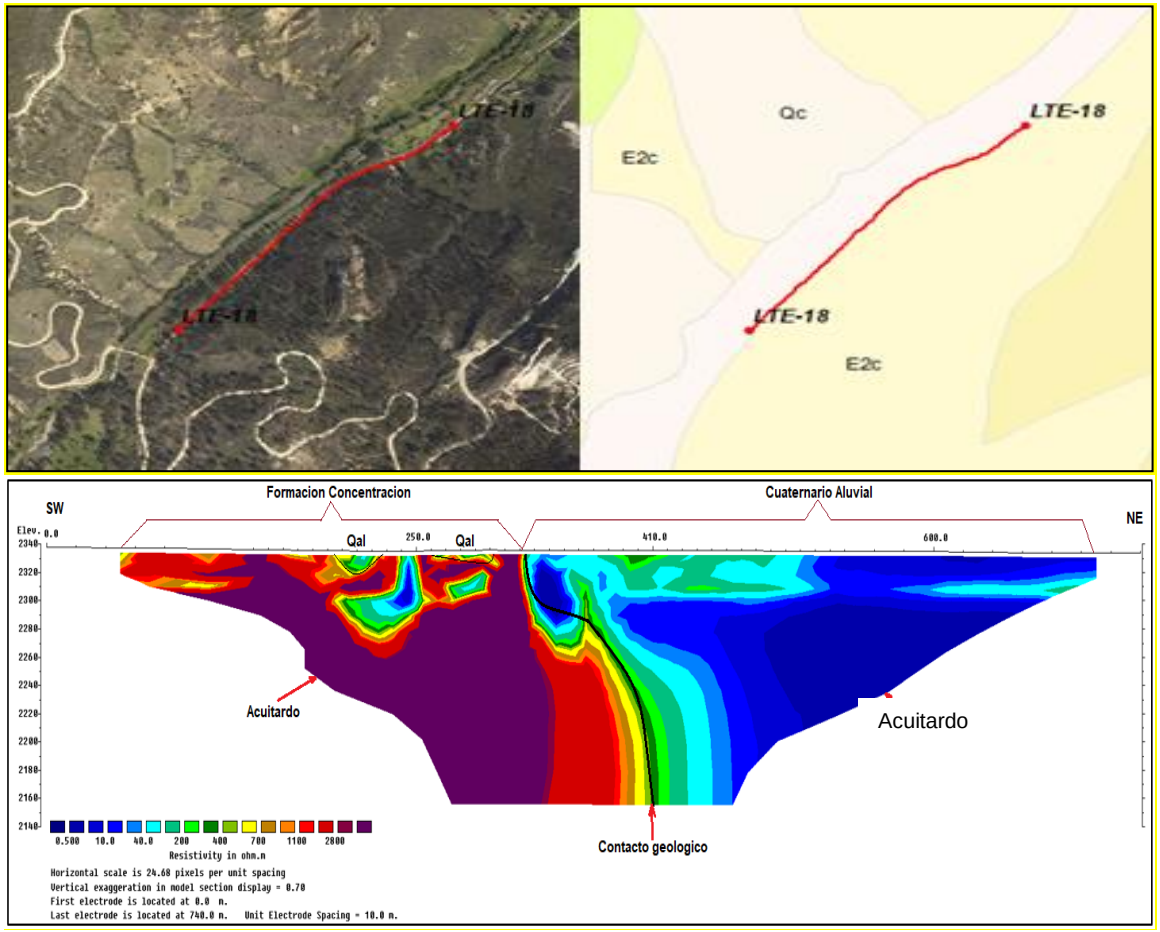
Formación Geológica	Litología	Rango De Resistividad (Ω.m)	Clasificación Hidrogeológica
Labor y Tierna (K2k5lt)	Arenitas intercaladas con delgadas capas de limolitas, no se aprecia contenido de humedad.	**700 - 3200**	Acuífero Alta resistividad.
Los Pinos (K2k5lp)	Arcillolitas y limolitas con predominancia de las capas de arcillolitas. Delgadas capas de caliza lumaquélica y arenitas hacia el centro de la unidad.	**2 - 600**	Acuitardo Resistividad baja
Plaeners (K2k5gp)	Constituida en su parte superior por paquetes de limolitas silíceas con intercalaciones de chert y lodolitas, y en la parte media bancos de cuarzoarenita.	**2- 100**	Acuitardo Resistividad baja *No presenta fracturamiento para ser considerado acuífero porosidad secundaria.

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

- **Tomografía geoeléctrica LTE-18**

La línea geoeléctrica se ubica al noreste del municipio de Corrales paralela a la vía férrea cercana a cruce de la vía a Otengá, con una longitud de 740 metros y espaciado de 10 metros entre electrodos.

La tomografía eléctrica de izquierda a derecha denota niveles de arenisca secos de la formación Concentración (E2c) de alta resistividad con intercalaciones de arcillolitas de baja resistividad en contacto con el depósito cuaternario aluvial (Qal) constituido por conglomerados que presentan bajas resistencia relacionada con alta saturación. Ocasionalmente remanentes de depósitos aluviales de baja resistividad a lo largo de la línea.



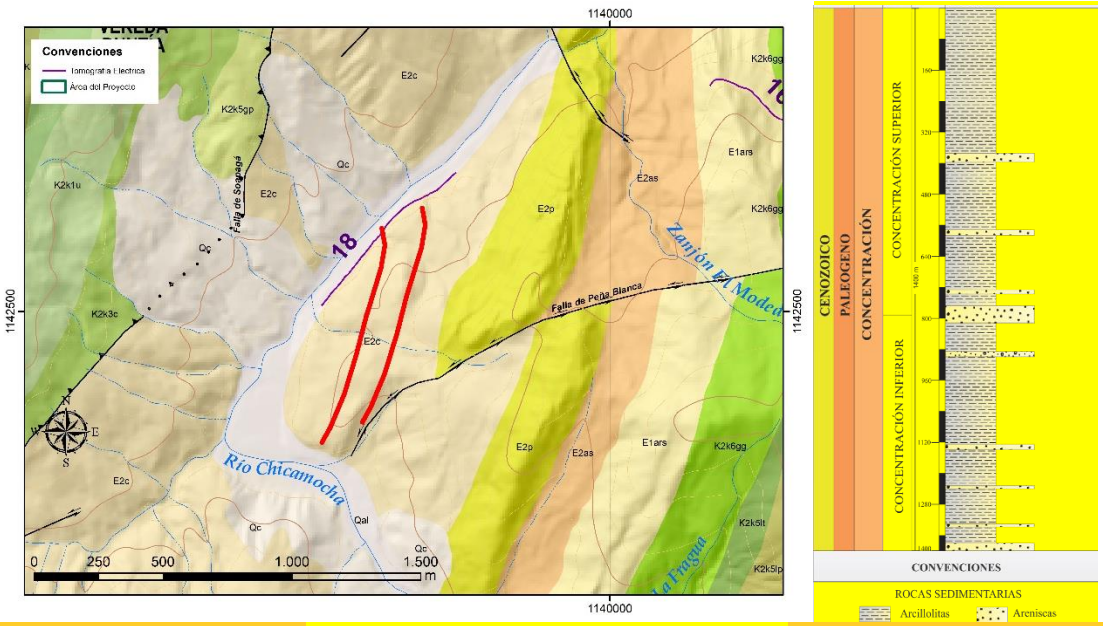


Figura 5-13 Perfil Geoeléctrico LTE-18
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

El análisis litológico, geofísico e hidrogeológico de la tomografía LTE-18, se presentan en **la Tabla 5-16**.

Tabla 5-16 Interpretación de la tomografía LTE-18

Formación Geológica	Litología	Rango de Resistividad (Ω.m)	Clasificación Hidrogeológica
Formación Concentración (E2c)	Arcillolitas y frecuentes intercalaciones de cuarzo arenitas de grano fino a medio y localmente grueso. Localmente saturadas.	**700 - 3200**	Acuitardo Alta resistividad.
Cuaternario Aluvial (Qal)	Acumulaciones de materiales heterogéneos, que han sido transportados y depositados por la acción del agua, consisten principalmente en guijos, cantos y gravas.	**2 - 100**	Acuífero de baja resistividad Alta saturación.

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

- **Tomografía geoeléctrica LTE-21**

La tomografía se ubica al sur del municipio de Busbanzá, con una longitud de 600 metros y espaciado de 10 metros entre electrodos.

De izquierda a derecha se tienen; esquistos moscovíticos sanos y filitas secos de la formación Esquistos y Filitas de Busbanzá (?o?efb) de alta resistividad seguido por capas gruesas de lodolitas compactas que gradan a areniscas de alta resistividad hacia el techo de la formación Tíbet (D1d3t); esta formación está en contacto gradacional con las lodolitas de la formación Floresta quien a lo largo de su litoestratigrafia presenta resistividades del orden de 100 a 1000 Ω.m. Se localiza el contacto fallado lodolitas violáceas (600 a 1000 Ω.m) de la formación Cuche (D3d6c).

Desde el punto de vista estructural se presenta una falla de cabalgamiento que genera desplazamiento a lo largo del contacto geológico de las formaciones Floresta y Cuche.

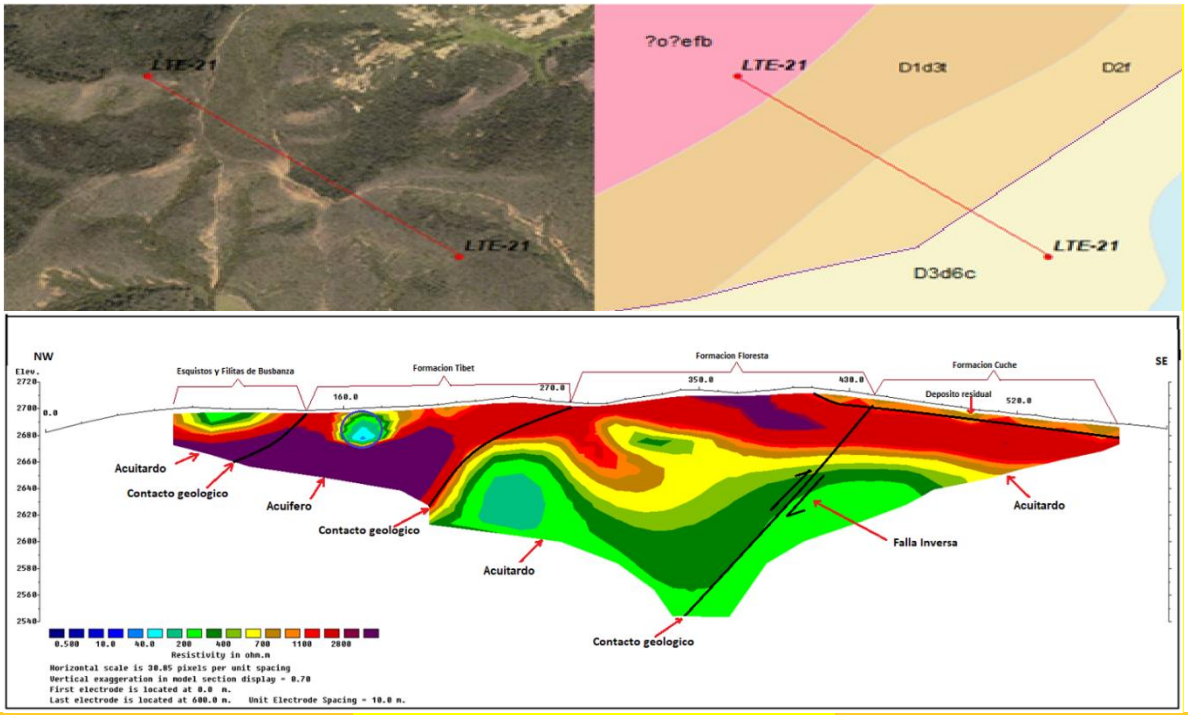


Figura 5-14 Perfil Geoeléctrico LTE-21
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

El análisis litológico, geofísico e hidrogeológico de la tomografía LTE-21, se presentan en la **Tabla 5-17.**

Tabla 5-17 Interpretación de la tomografía LTE-21

Formación Geológica	Litología	Rango De Resistividad (Ω.m)	Clasificación Hidrogeológica
Esquistos y Filitas de Buzbanza (?o?efb)	Esquistos moscovíticos cuarzosos, feldespato, biotíticos y filitas cuarzo moscovíticas con intercalaciones de metareniscas y cuarcitas y filitas moteadas.	**300 - 3000**	Acuitardo Alta resistividad.
Formación Tíbet (D1d3t)	Está conformada por tres miembros: a) areniscas con intercalaciones de lodolitas y limolitas micáceas, b) conglomerados y capas de areniscas masivas, c) arenisca de grano fino e intercalaciones de arcillolitas y limolitas amarillentas.	**> 800**	Acuífero Alta resistividad.
Formación Floresta (D2f)	Conjunto de lodolitas.	**200 - 1000**	Acuitardo.
Formación Cuche (D3d6c)	Lodolitas violáceas a verdosas	**250 - 2000**	Acuitardo Alta resistividad.

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

- **Tomografía geoeléctrica LTE-24**

La tomografía se ubica al suroeste del municipio de Busbanzá, cerca al casco urbano del municipio con una longitud de 740 metros y espaciado de 10 metros entre electrodos.

De izquierda a derecha se tienen; esquistos moscovíticos y filitas secos de alta resistencia de la formación Esquistos y Filitas de Busbanzá (?o?efb) seguido por granitos alterados de resistividad baja. Se localiza la quebrada la floresta representada en la tomografía como zona de baja resistencia (2 a 40 Ω.m) continua al depósito cuaternario aluvial (Qal) de resistividad baja lo que infiere alta saturación.

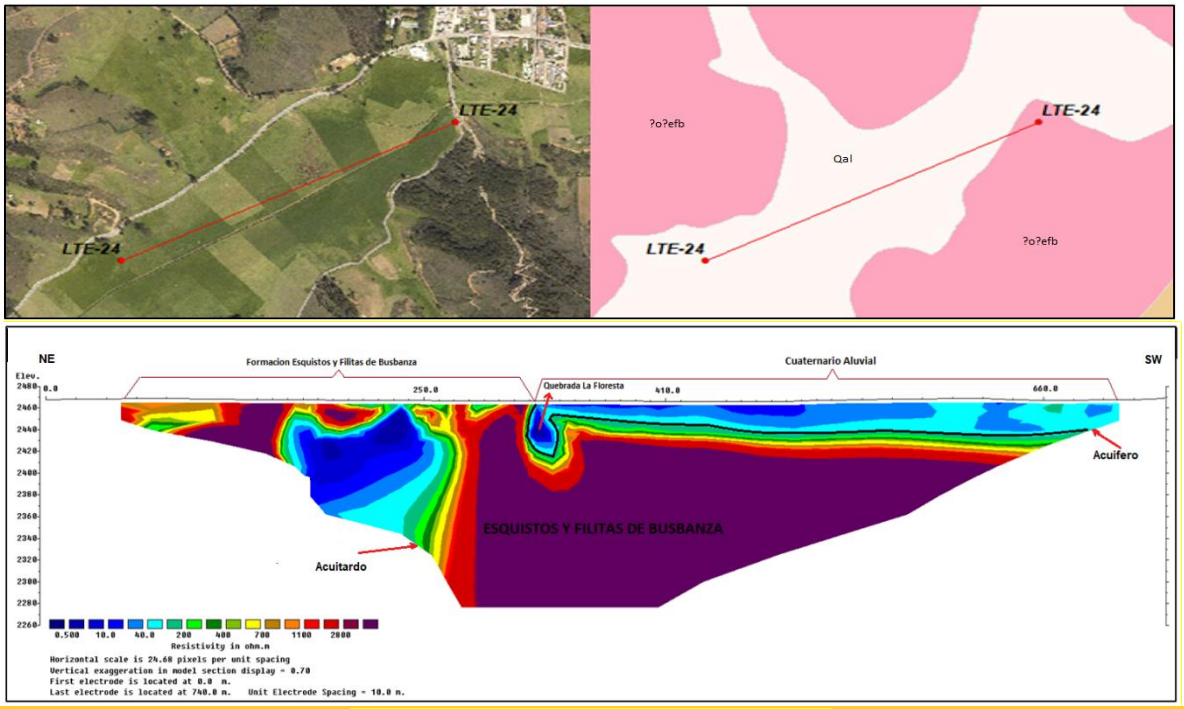


Figura 5-15 Perfil Geoeléctrico LTE-24
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

El análisis litológico, geofísico e hidrogeológico de la tomografía LTE-24, se presentan en la **Tabla 5-18.**

Tabla 5-18 Interpretación de la tomografía LTE-24

Formación Geológica	Litología	Rango De Resistividad (Ω.m)	Clasificación Hidrogeológica
Depósito aluvial (Qal)	Materiales heterogéneos, que han sido transportados y depositados por la acción del agua. Guijos, cantos y gravas.	**10 - 40**	Acuífero Baja resistividad Terreno saturado.
Esquistos y Filitas de Buzbanza (?o?efb)	Esquistos moscovíticos cuarzosos, feldespato, biotíticos y filitas cuarzo moscovíticas con intercalaciones de metareniscas y cuarcitas y filitas moteadas.	**300 - 3000**	Acuitardo Alta resistividad Terreno seco.

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

- **Tomografía geoeléctrica LTE-25**

La tomografía se ubica al noreste del municipio de Corrales, cerca al casco urbano del municipio con una longitud de 800 metros y espaciado de 10 metros entre electrodos.

Este perfil es particular porque la gráfica no muestra información representativa. De izquierda a derecha se describen los bancos de arenisca seca y de alta resistividad del segmento medio de la formación Arcillas de Socha (E2as).

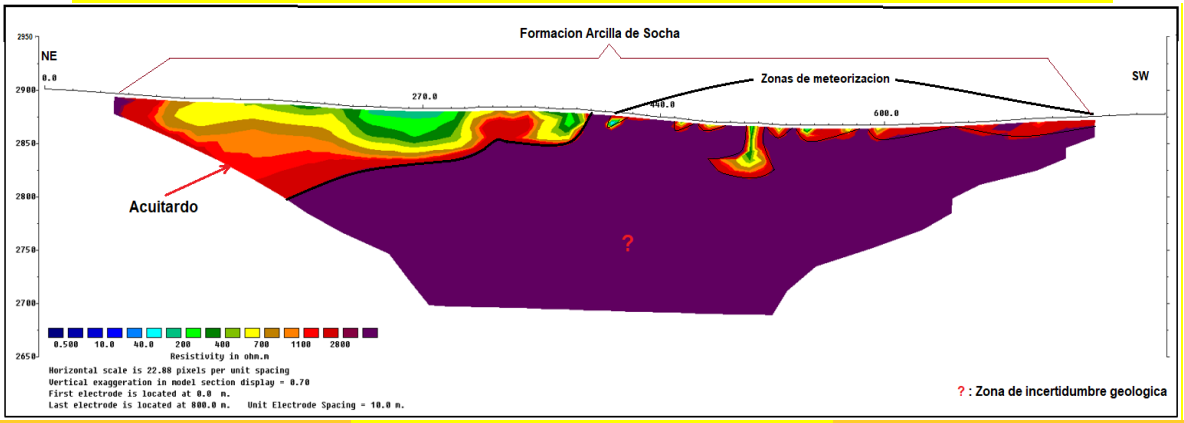


Figura 5-16 Perfil Geoeléctrico LTE-25
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

El análisis litológico, geofísico e hidrogeológico de la tomografía LTE-25, se presentan en la **Tabla 5-19**.

Tabla 5-19 Interpretación de la tomografía LTE-25

Formación Geológica	Litología	Rango De Resistividad (Ω.m)	Clasificación Hidrogeológica
Arcillas de Socha (E2as)	En la zona aflora el segmento medio de la formación, bancos de arenisca con intercalaciones de arcillolitas.	**300 - 1200**	Acuitardo Alta resistividad.

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

- **Tomografía geoeléctrica LTE-26**

La tomografía se ubica al noreste del municipio de Corrales, con una longitud de 800 metros y espaciado de 10 metros entre electrodos.

De izquierda a derecha se tienen; arcillolitas de la formación Arcillas de Socha (E2as) de baja resistividad en contacto con arenisca de la formación Areniscas de Socha (E1ars) las cuales presentan resistividades bajas relacionado con alta saturación. El perfil geoeléctrico en su zona derecha refleja zonas de incertidumbre geológica.

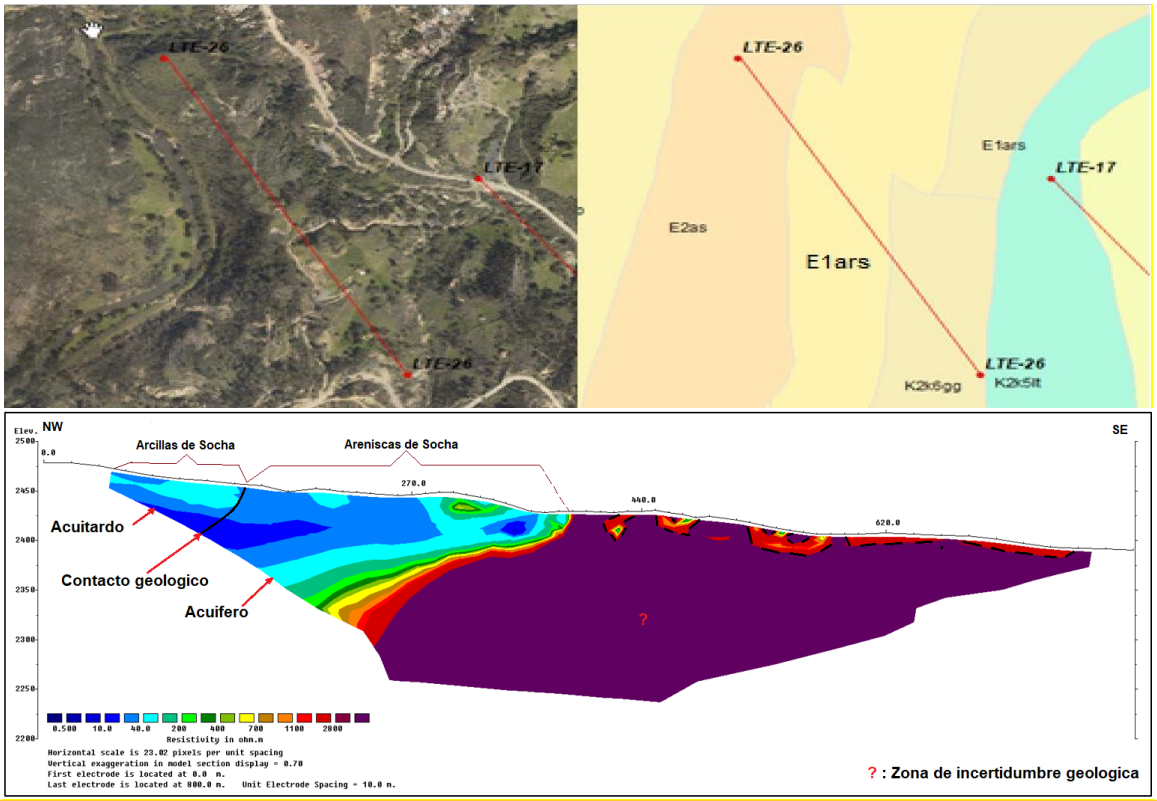


Figura 5-17 Perfil Geoeléctrico LTE-26
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

El análisis litológico, geofísico e hidrogeológico de la tomografía LTE-26, se presentan en la **Tabla 5-20.**

Tabla 5-20 Interpretación de la tomografía LTE-26

Formación Geológica	Litología	Rango De Resistividad (Ω.m)	Clasificación Hidrogeológica
Arcillas de Socha (E1as)	Arcillolitas grises. Son frecuentes las intercalaciones de cuarzo arenitas de grano fino.	**10 - 50**	Acuitardo Baja resistividad
Areniscas de Socha (E1ars)	Cuarzoarenitas con escasas intercalaciones de arcillolitas grises claras y rojizas.	**10 - 600**	Acuífero Terreno saturado

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

- **Tomografía geoeléctrica LTE-27**

La tomografía se ubica al sureste del municipio de Corrales en cercanías al casco urbano, con una longitud de 600 metros y espaciado de 10 metros entre electrodos.

De izquierda a derecha se tienen conglomerados de baja resistividad (10 a 100 Ω.m) con alta saturación pertenecientes al cuaternario aluvial (Qal), continuo a este depósito es evidente las resistividades altas generadas por la carretera Sogamoso-Corrales. El pie de talud marca el inicio de un acuitardo constituido por arcillolitas intercaladas con bancos de arenisca secas de alta resistividad de la formación concentración (E2c), al final del perfil bancos de arenisca conglomeráticas secos de alta resistividad de la formación Picacho (E2p).

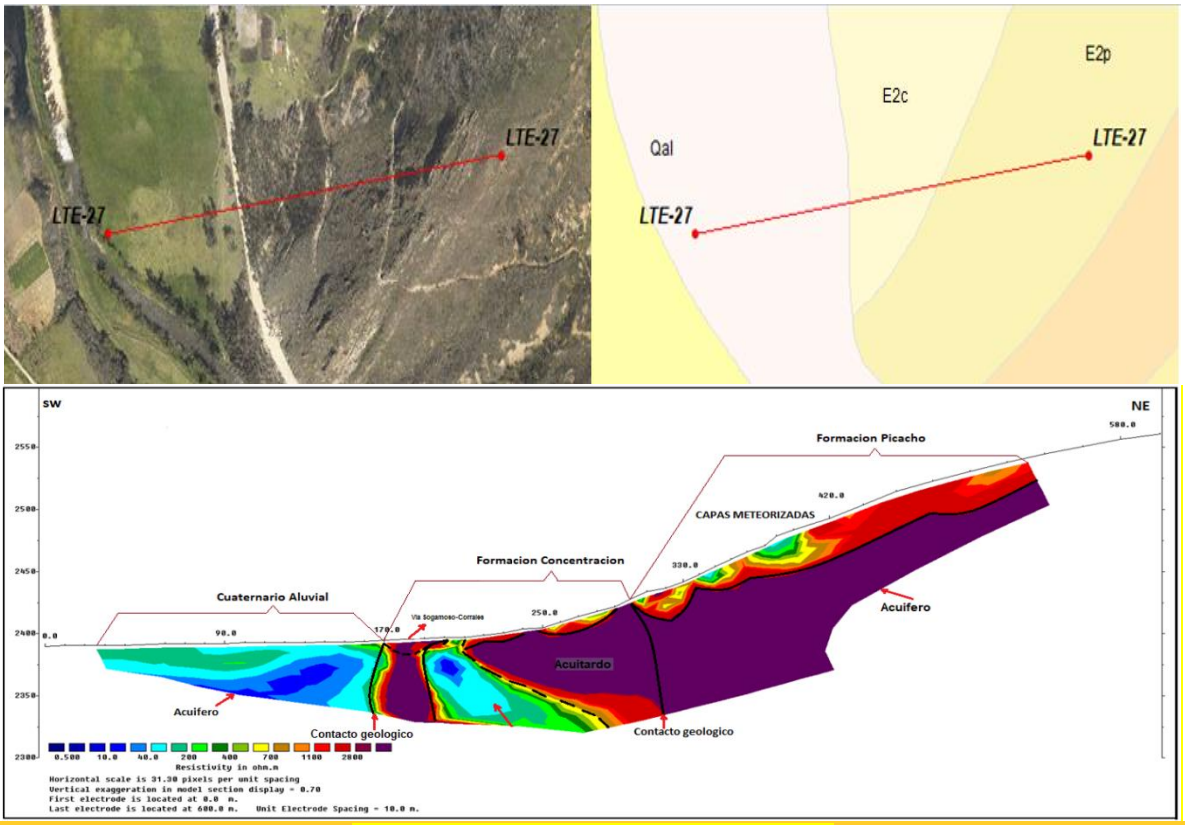


Figura 5-18 Perfil Geoeléctrico LTE-27
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

El análisis litológico, geofísico e hidrogeológico de la tomografía LTE-27, se presentan en la **Tabla 5-21.**

Tabla 5-21 Interpretación de la tomografía LTE-27.

Formación Geológica	Litología	Rango De Resistividad (Ω.m)	Clasificación Hidrogeológica
Cuaternario aluvial (Qal)	Materiales heterogéneos, consisten principalmente en guijos, cantos y gravas.	**2 - 100**	Acuífero Resistividad baja.
Concentración (E2c)	Arcillolitas y frecuentes intercalaciones de cuarzo arenitas.	**2 - 3000**	Acuitardo *Arcillas-baja resistividad

Formación Geológica	Litología	Rango De Resistividad (Ω.m)	Clasificación Hidrogeológica
			*Arenas secas-alta resistividad
Picacho (E2p)	Cuarzoarenitas de grano medio a conglomerático e intercalaciones de arcillolitas.	**>2500**	Acuífero Alta resistividad.

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

- **Tomografía geoeléctrica LTE-28**

La tomografía se ubica al suroeste del municipio de Corrales, en inmediaciones de la cabecera municipal, con una longitud de 600 metros y espaciado de 10 metros entre electrodos.

De izquierda a derecha se tiene un depósito de guijos, cantos y gravas de la formación Cuaternario Aluvial de baja resistividad levemente saturados en contacto con areniscas secas de alta resistividad de la formación Concentración (E2c). Se presentan depósitos aluviales secos de alta resistividad sobre los paquetes arenosos de la formación Concentración que infrayace a los depósitos.

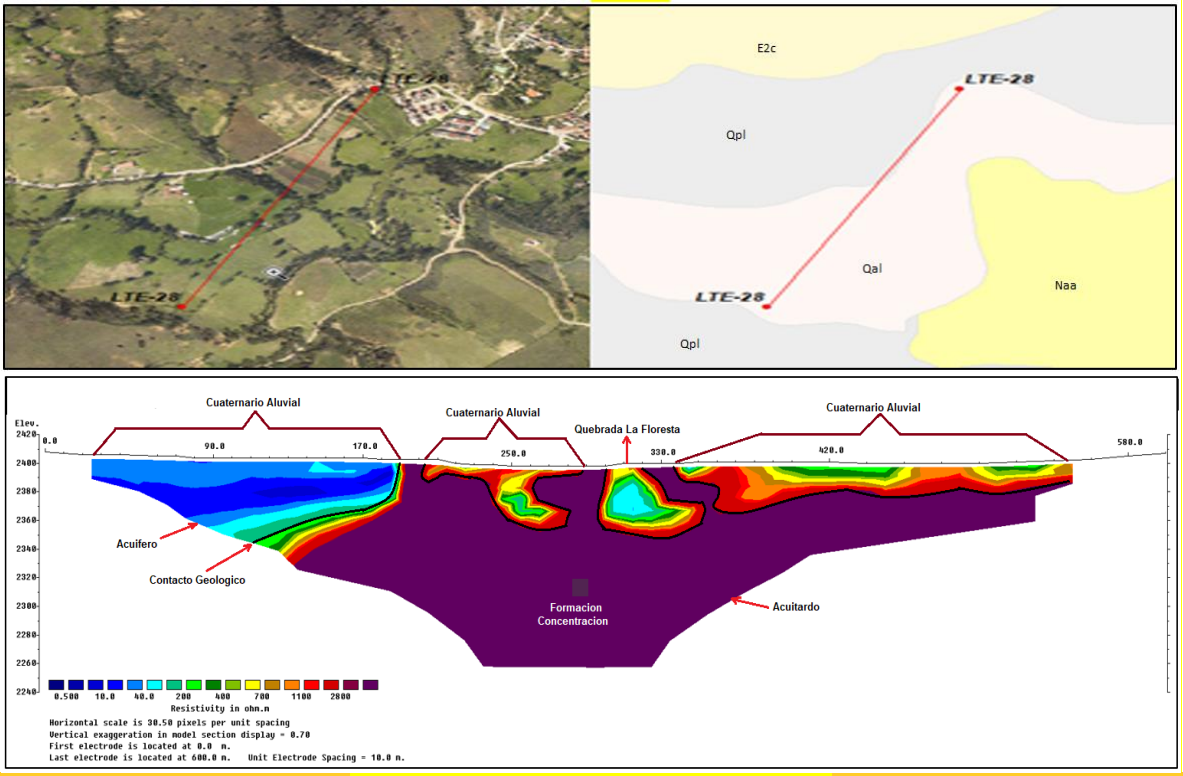


Figura 5-19 Perfil Geoeléctrico LTE-28
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

El análisis litológico, geofísico e hidrogeológico de la tomografía LTE-28, se presentan en la **Tabla 5-22.**

Tabla 5-22 Interpretación de la tomografía LTE-28

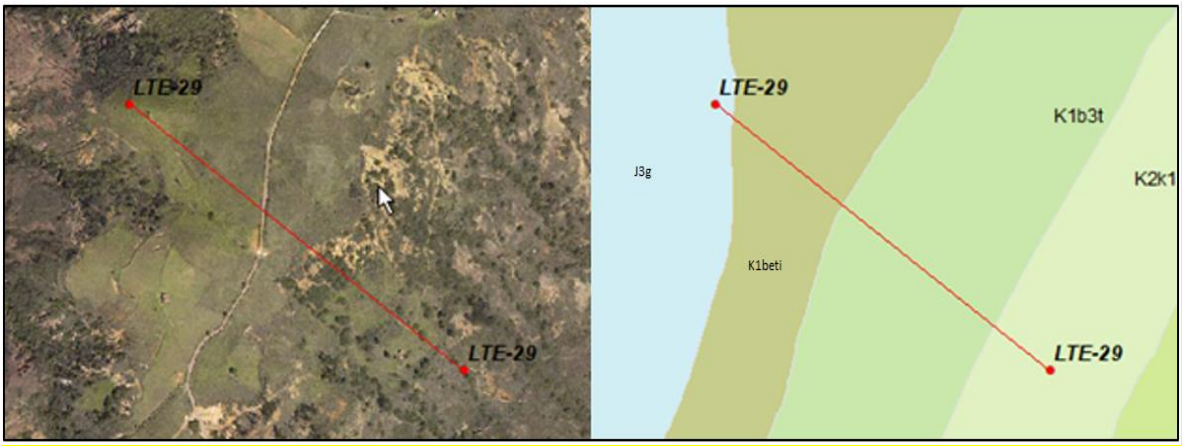
Formación Geológica	Litología	Rango De Resistividad (Ω.m)	Clasificación Hidrogeológica
Cuaternario aluvial (Qal)	Materiales heterogéneos, que han sido transportados y depositados por la acción del agua, consisten principalmente en guijos, cantos y gravas.	**2 – 100**	Acuífero Resistividad baja Terreno Saturado.
Concentración (E2c)	Arcillolitas y frecuentes intercalaciones de cuarzo arenitas de grano fino a medio y localmente grueso.	**>3000**	Acuitardo Alta resistividad

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

- **Tomografía geoeléctrica LTE-29**

La tomografía se ubica al norte del municipio de Corrales, con una longitud de 600 metros y espaciado de 10 metros entre electrodos.

De izquierda a derecha se tienen areniscas conglomeráticas secas de la formación Girón (J3g) de alta resistividad junto a capas de conglomerados y areniscas de baja resistividad pobremente saturadas del miembro inferior de la Formación Tibasosa (K1b3t), seguido por intercalaciones de capas delgadas de caliza arenosa secas de alta resistividad luego el contacto neto con las areniscas y los bancos de caliza del miembro superior de la formación Tibasosa (K1b3ts) de baja resistividad moderadamente saturados debido a porosidad secundaria por disolución, la secuencia termina con la base arenosa de la formación Une (K2k1u) de baja resistividad saturada.



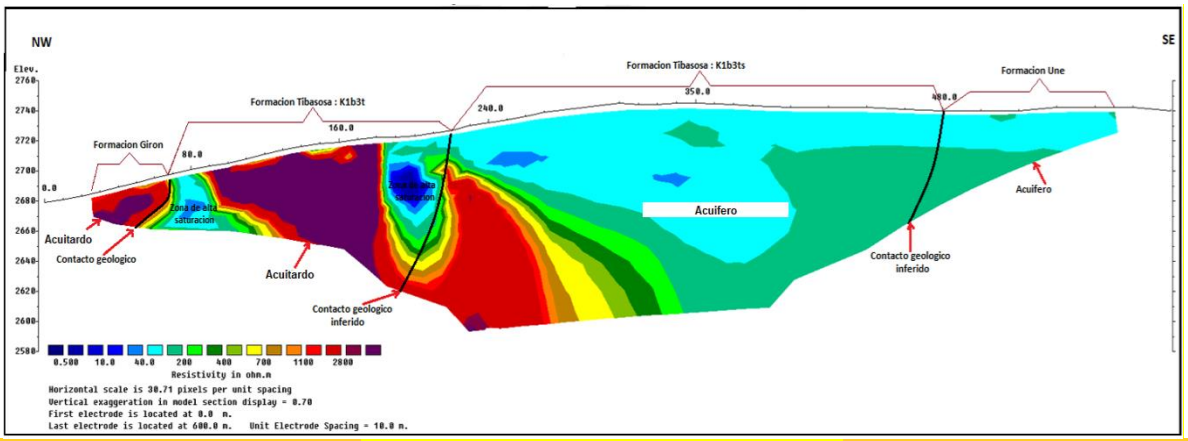


Figura 5-20 Perfil Geoeléctrico LTE-29
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

El análisis litológico, geofísico e hidrogeológico de la tomografía LTE-29, se presentan en la **Tabla 5-23.**

Tabla 5-23 Interpretación de la tomografía LTE-29

Formación Geológica	Litología	Rango De Resistividad (Ω.m)	Clasificación Hidrogeológica
Une (K2k1U)	Areniscas cuarzosas intercaladas con capas gruesas de lodolitas	**40 - 100**	Acuífero Resistividad baja, Terreno saturado.
Tibasosa (K1b3t)	**Miembro superior:** Niveles calcareos con intercalaciones de arenisca y arcillolitas. **Miembro inferior:** Arcillolitas y lodolitas con niveles calcareos.	**40 – 500** **400 - 3200**	**Acuífero** *Arenas secas-alta resistividad **Acuitardo** *arcillolitas y lodolitas de baja resistividad *Arenas secas-alta resistividad
Girón (J3g)	Arenisca de grano grueso, areniscas conglomeráticas.	**>1000**	Acuitardo Alta resistividad

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

- **Tomografía geoeléctrica LTE-31**

La tomografía se ubica al norte del municipio de Corrales, con una longitud de 600 metros y espaciado de 10 metros entre electrodos.

De izquierda a derecha se tienen paraconglomerados intercalados con capas gruesas de areniscas secas de la formación Girón (J3g) de alta resistividad afectados estructuralmente por la falla de Duga, continua el segmento lodolítico de baja resistividad hasta el techo arenoso que marca el contacto con el miembro inferior de la formación Tibasosa (K1b3t) caracterizado por conglomerados intercalados con arcillolitas y capas delgadas de arenisca de grano grueso de baja resistividad pobremente saturados.

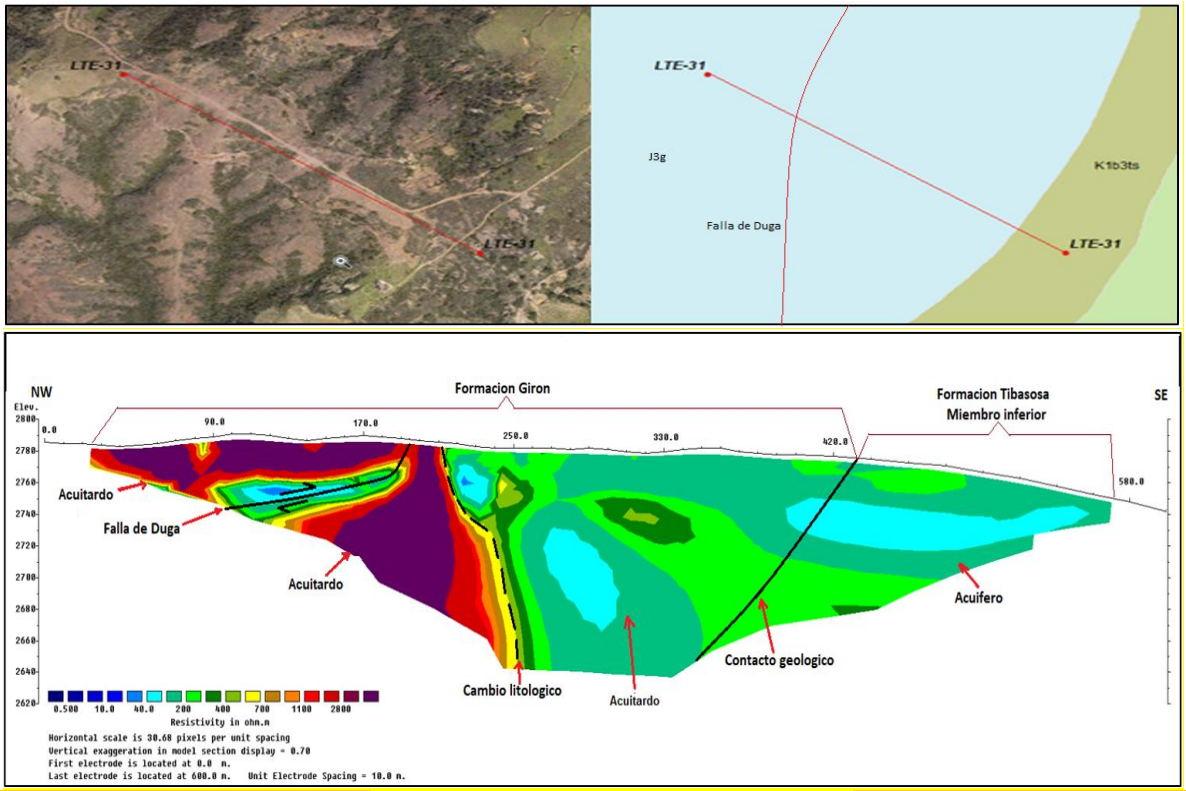


Figura 5-21 Perfil Geoeléctrico LTE-31
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

El análisis litológico, geofísico e hidrogeológico de la tomografía LTE-31, se presentan en la **Tabla 5-24**.

Tabla 5-24 Interpretación de la tomografía LTE-31

Formación Geológica	Litología	Rango De Resistividad (Ω.m)	Clasificación Hidrogeológica
Tibasosa (K1b3t)	En la base conglomerados con intercalaciones de arenisca de grano grueso.	**40 -300**	Acuífero, Baja resistividad pobremente saturado.
Girón (J3g)	Arenisca de grano grueso, areniscas conglomeráticas intercaladas con capas gruesas de lodolitas y areniscas con intraclástos de arcillolita y arenisca cuarzosa de grano fino.	**> 1000** **40 - 350**	Acuitardo. *Arenas secas-alta resistividad *Arcillas-baja resistividad

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

- **Tomografía geoeléctrica LTE-32**

La tomografía se ubica al norte del municipio de Corrales, con una longitud de 800 metros y espaciado de 10 metros entre electrodos.

De derecha a izquierda se tiene el conjunto de arcillolitas correspondientes al techo de la formación Concentración (E2c) de baja resistividad en contacto neto fallado con areniscas secas de alta

resistividad de la formación Une (K2k1U), para el caso del miembro superior de la formacion Tibasosa (K1b3t) se tienen calizas de alta resistividad en estado seco.

Desde el punto de vista estructural la falla de Soapaga rompe la secuencia estratigráfica de la zona, aumentando la densidad de fracturamiento e infiltración del agua. La sección interpretada no supera los 200 dentro de la sección vertical, la falla se Soapagá en profundidad toma una divergencia en sentido oeste de acuerdo a las secciones sísmicas interpretadas en el APE así como en la representación del modelo hidrológico conceptual presentado. La inflexión de la falla es interpretada en la **Figura 5-22**.

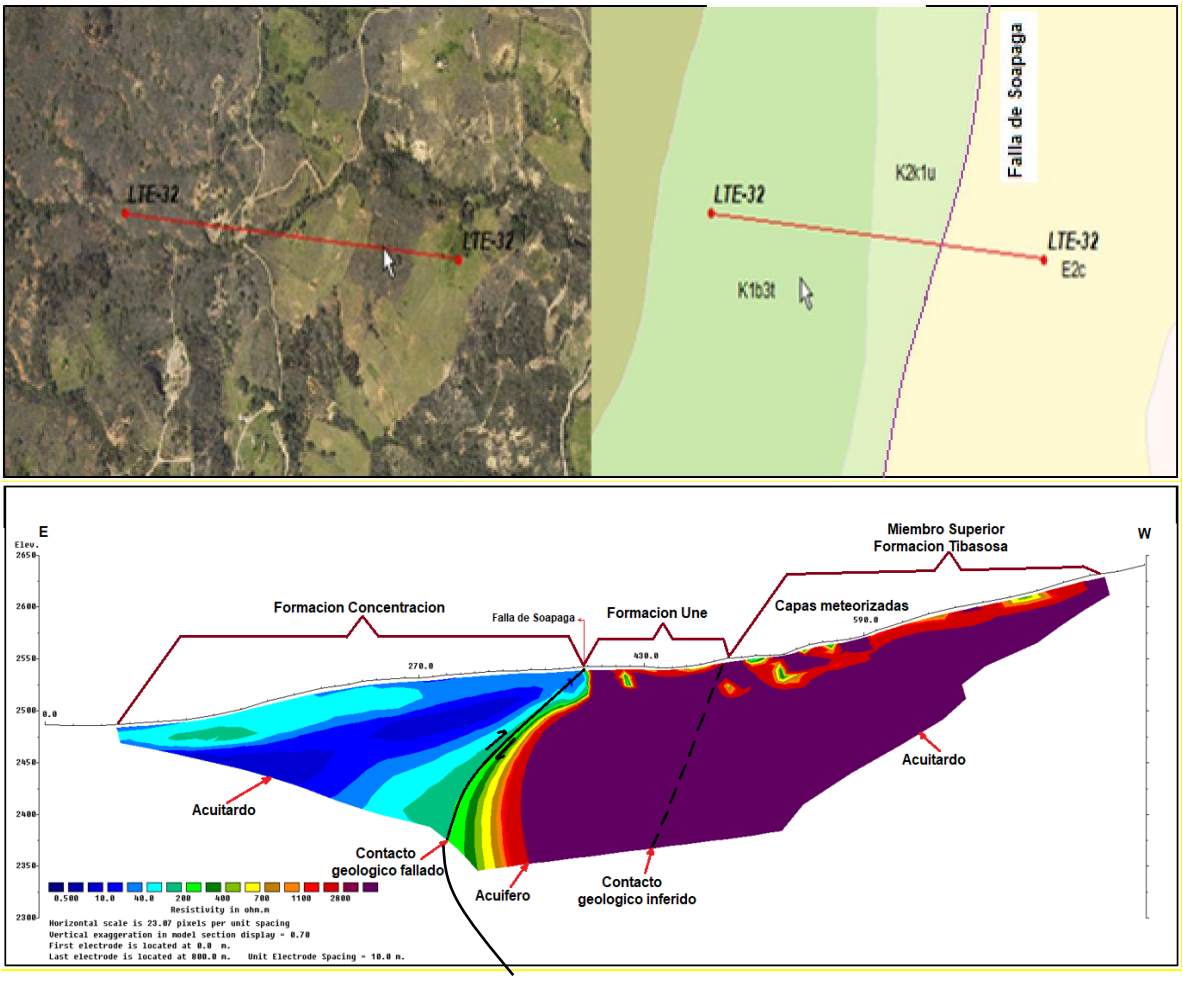


Figura 5-22 Perfil Geoeléctrico LTE-32
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

El análisis litológico, geofísico e hidrogeológico de la tomografía LTE-32, se presentan en la **Tabla 5-25**.

Tabla 5-25 Interpretación de la tomografía LTE-32

Formación Geológica	Litología	Rango De Resistividad (Ω.m)	Clasificación Hidrogeológica

Formación Geológica	Litología	Rango De Resistividad (Ω.m)	Clasificación Hidrogeológica
Tibasosa (K1b3ts)	Niveles calcareos con intercalaciones de arenisca y arcillolitas	**> 2500**	Acuífero Alta resistividad, terreno seco.
Une (K2k1U)	Areniscas cuarzosas intercaladas con capas de lodolitas.	**> 2500**	Acuífero Alta resistividad, terreno seco.
Concentración (E2c)	Arcillolitas y frecuentes intercalaciones de cuarzo arenitas.	**10 - 400**	Acuitardo Baja resistividad Presencia de agua

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

- **Tomografía geoeléctrica LTE-33**

La tomografía se ubica al este del municipio de Corrales, en inmediaciones del casco urbano y en cercanías al Río Chicamocha con una longitud de 740 metros y espaciado de 10 metros entre electrodos.

De izquierda a derecha se tienen arena, gravas y cantos secos de alta resistividad del Cuaternario Aluvial (Qal), hacia el centro de la tomografía conjuntos de arcillolitas de baja resistividad en contacto con areniscas masivas de alta resistividad del segmento medio de la formación Concentración (E2c), al final un depósito aluvial de baja resistividad saturado.

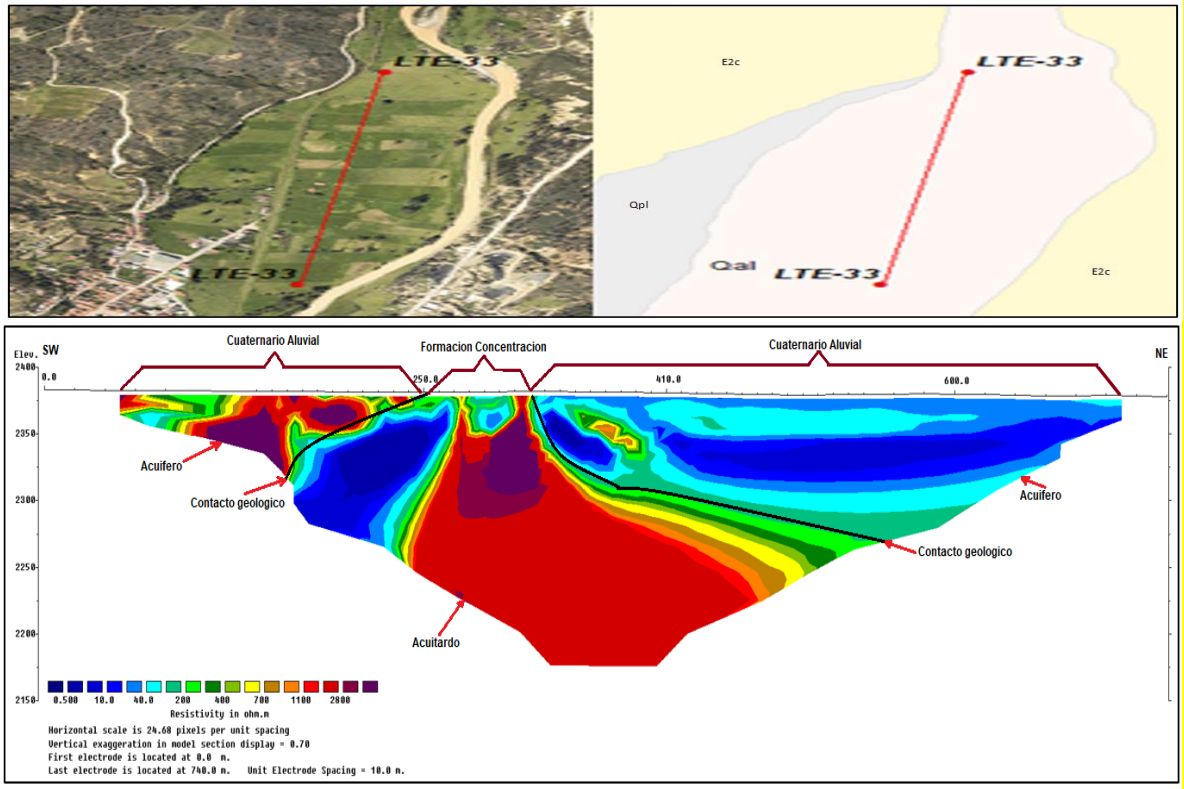


Figura 5-23 Perfil Geoeléctrico LTE-33
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

El análisis litológico, geofísico e hidrogeológico de la tomografía LTE-33, se presentan en **Tabla 5-26**.

Tabla 5-26 Interpretación de la tomografía LTE-33.

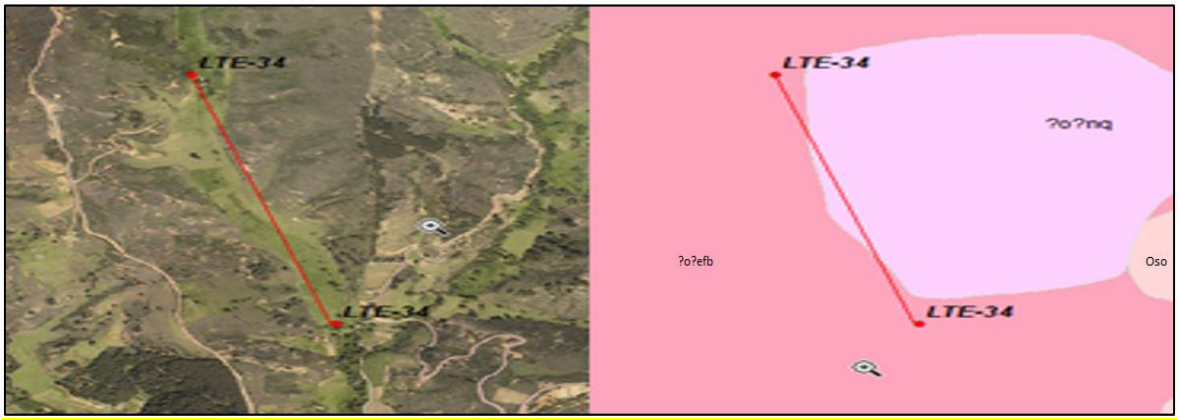
Formación Geológica	Litología	Rango De Resistividad (Ω.m)	Clasificación Hidrogeológica
Cuaternario aluvial (Qal)	Materiales heterogéneos, guijos, cantos y gravas.	**2 – 150** **400 - 3200**	Acuífero Baja resistividad, Terreno saturado. Contacto discordante.
Concentración (E2c)	Arcillolitas y frecuentes intercalaciones de cuarzo arenitas de grano fino a medio y localmente grueso.	**150 – 3200** **2 – 150**	Acuitardo Alta resistividad *Arcillas-baja resistividad

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

- **Tomografía geoeléctrica LTE-34**

La tomografía se ubica al norte del municipio de Busbanzá, con una longitud de 800 metros y espaciado de 10 metros entre electrodos.

De izquierda a derecha se tienen esquistos y filitas secos de alta resistividad de la formación Esquistos y Filitas de Busbanzá (?o?fb), en contacto con paraneis cuarzosa alterado de baja resistencia levemente saturados de la formación Neis de Quebradas (?o?nq). La secuencia estratigráfica corresponde a un pequeño sinclinal, fallado en el centro de la formación Neis de Quebradas.



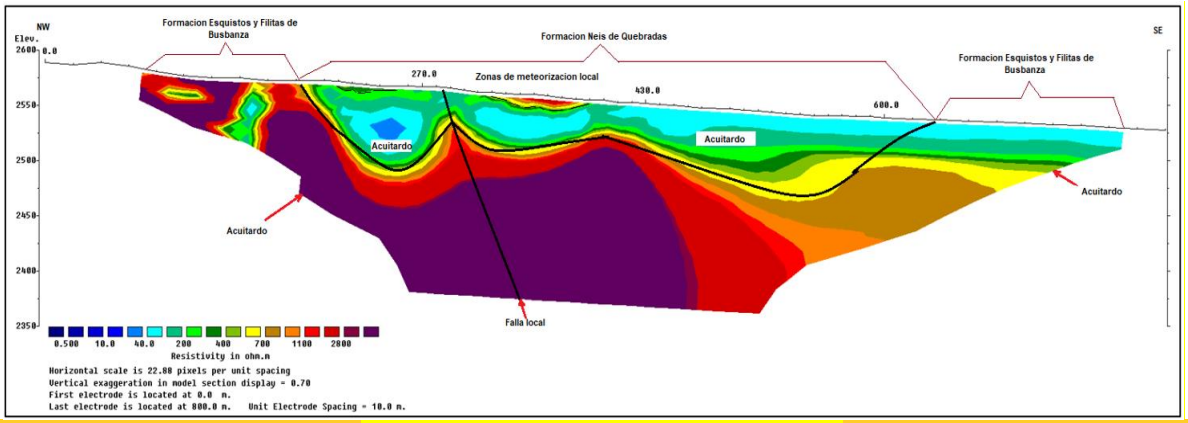


Figura 5-24 Perfil Geoeléctrico LTE-34
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

El análisis litológico, geofísico e hidrogeológico de la tomografía LTE-34, se presentan en la **Tabla 5-27.**

Tabla 5-27 Interpretación de la tomografía LTE-34

Formación Geológica	Litología	Rango De Resistividad (Ω.m)	Clasificación Hidrogeológica
Esquistos y Filitas de Busbanza (?o?efb)	Esquistos moscovíticos, alternancia de bandas de cuarzo y feldespato potásico, esquistos micáceos, filitas con intercalaciones de metareniscas y cuarcitas y filitas moteadas.	**40 - 600**	Acuitardo Altas resistividades.
Neis de quebradas (?o?nq)	Paraneis con bandas de predominancia cuarzosa en ocasiones presentando diques de granito.	**> 600**	Acuitardo Baja resistividad.

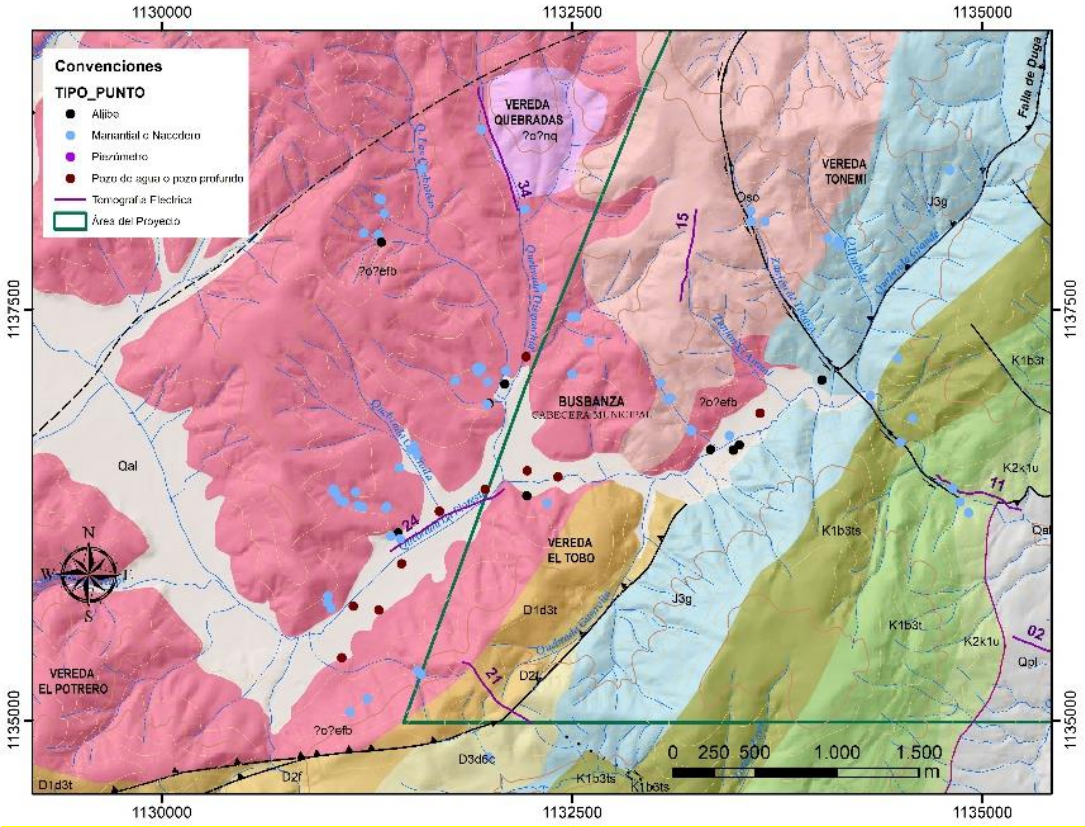
Fuente: ***UPTC, INCITEMA (2019).***

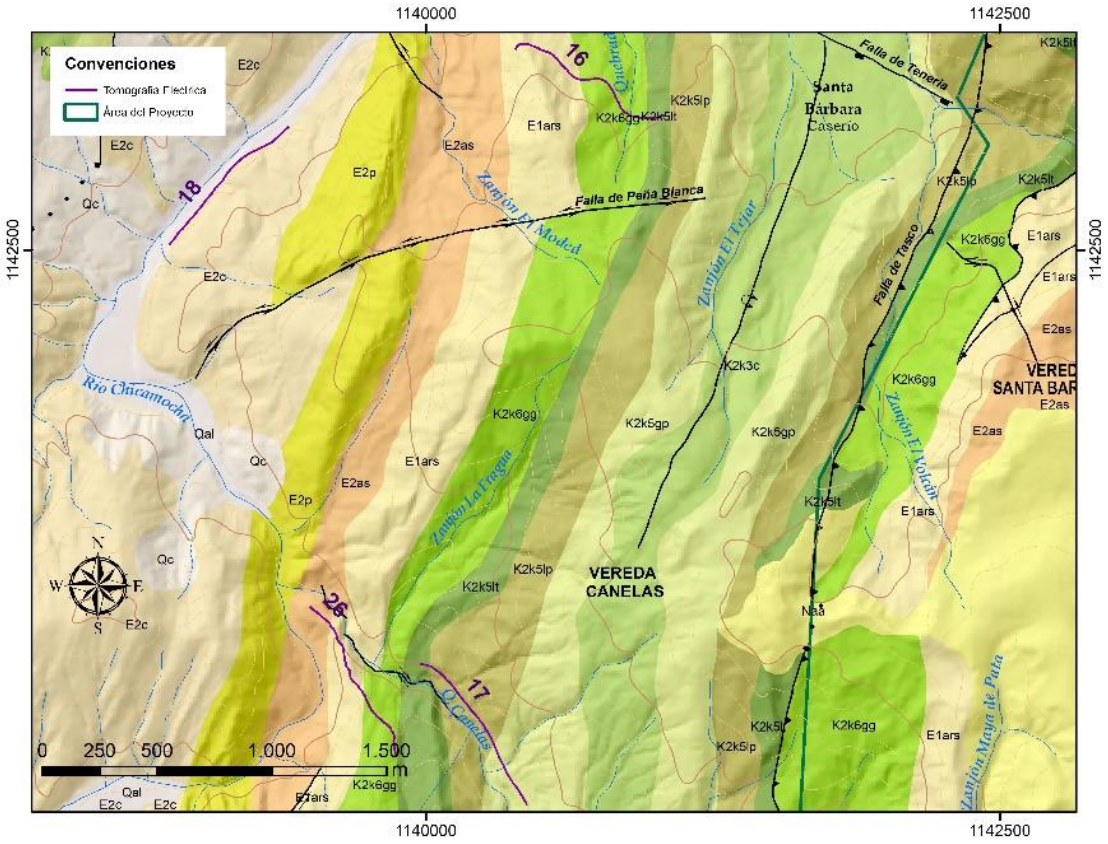
5.1.6.4 Análisis de Correlación de tomografías geoeléctricas en APE COR-15

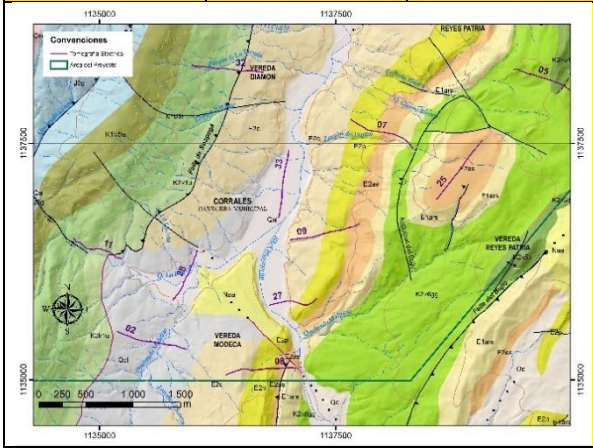
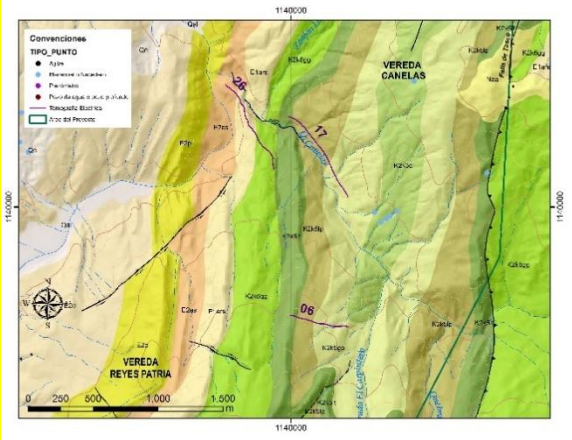
En el análisis del estudio geoeléctrico se determinó la relación de continuidad hidrogeológica lateral para aquellas formaciones geológicas donde se realiza más de dos sondeos. Los objetivos de dicho análisis son determinar si las variables resistividad y saturación están correlacionadas entre tomografías hechas sobre la misma unidad geológica y valorar el nivel de concordancia entre los valores de los parámetros estudiados. Por ende, se presenta el análisis de correlación geoeléctrico en la **Tabla 5-28** Correlación geoeléctrica de formaciones geológicas en APE COR-15

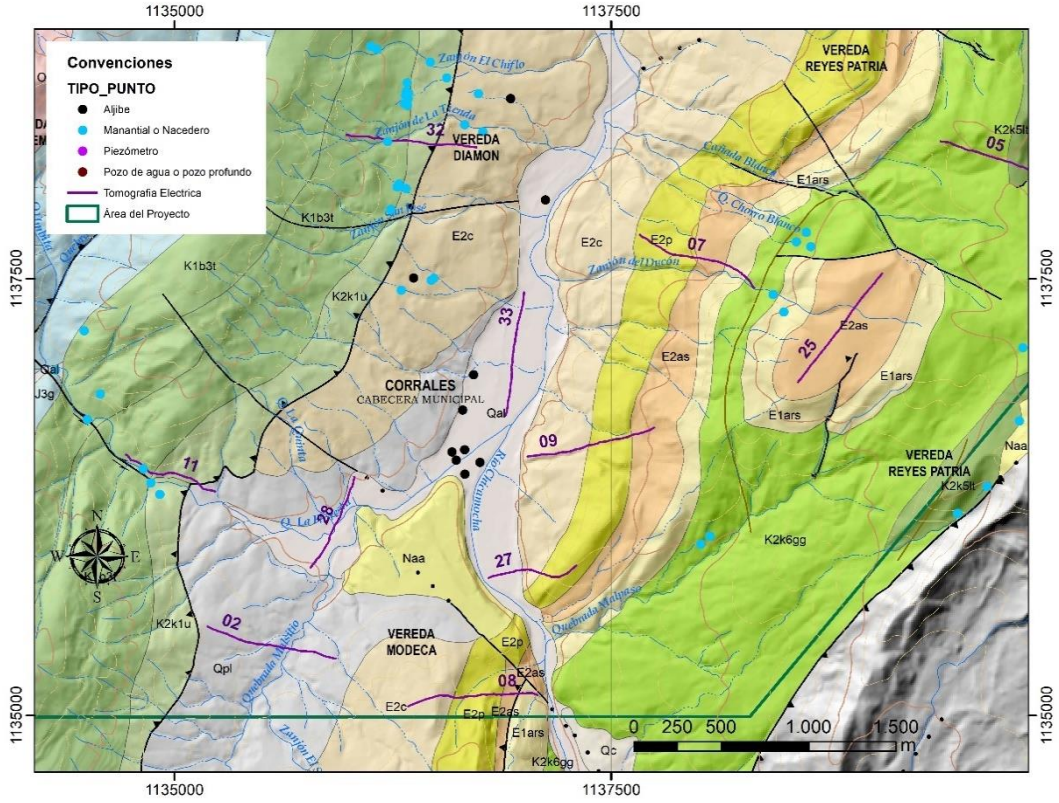
Tabla 5-28 Correlación geoeléctrica de formaciones geológicas en APE COR-15

TOMOGRAFÍAS	UNIDAD GEOLÓGICA	CORRELACIÓN GEOELÉCTRICA

TOMOGRAFÍAS	UNIDAD GEOLÓGICA	CORRELACIÓN GEOELÉCTRICA
LTE 21-24-34	(?o?efb)	La formación Esquistos y Filitas de Busbanzá (?o?efb) desde el sur hasta el norte presenta esquistos y filitas secos de alta resistividad, ocasionalmente se presentan zonas de baja resistividad asociado a suelos residual meteorizado levemente saturados. Esta litología permanece uniforme en el área que encierra los sondeos.
		
LTE-08-07-16-26-05	E1ars, E1as, K2k6gg	La formación Areniscas de Socha (E1ars) en sentido sur occidente – noreste, presenta resistividades intermedias (200-600) con excepción de la tomografía LTE-08 de baja resistividad asociada a saturación superficial. En las tomografías LTE-07-26 DE Resistividad intermedia (200-600) vereda Reyes Patria de Corrales. Hacia el norte en el sector de peña blanca la resistividad es alta asociada a arenas secas. En cercanías al control estructural de la falla de peña blanca. Para el caso de la formación arcillas del Socha, dentro de las 5 tomografías de referencia (07-08-09-25-26) prevalecen las bajas resistividades entre los 2-200 (Ω.m) en correspondencia de la litología aflorante. En el mismo sentido la formación Guaduas (K2k6gg) presenta valores de resistividad baja asociado a litología arcillosa prevalecientes mientras que hacia el sur no se puede determinar sus características geoeléctricas debido a la zona de incertidumbre geológica que muestra

TOMOGRAFÍAS	UNIDAD GEOLÓGICA	CORRELACIÓN GEOELÉCTRICA
		la tomografía LTE-26. En el centro de la vereda Reyes Patria en Corrales la unidad denota baja resistividad. Sus características poco resistivas se mantienen a lo largo de los sondeos. Realizados.
		
LTE 08-09-18-27-32	Qal, E2c	El cuaternario aluvial (Qal) se comporta como un depósito de materiales heterogéneos de baja resistividad saturado. Ocasionalmente se suelen presentar depósitos de alta resistividad en estado seco. Su grado de saturación es variable, no existen grandes depósitos de extensión vertical considerada, tomografías 27-28 y 33, los resultados de la correlación geológico-geofísica son concordantes. En cuanto a la formación Concentración (E2c) presente en las tomografías (08-09-18-27 y 32) de litología prevalecientemente arcillosas de baja resistividad, e intercalaciones de areniscas localmente saturadas (LTE-38) con relación al inventario de puntos o manifestaciones de agua se asocia a flujos mayoritariamente localizados sobre el trazo de la falla de Soapagá.

TOMOGRAFÍAS	UNIDAD GEOLÓGICA	CORRELACIÓN GEOELÉCTRICA
		
LTE 17-06-05	K2k5lt, K2k5lp, K2k5gp	La formación Labor y Tierna (K2k5lt) de norte a sur se caracteriza por bancos de areniscas secos de alta resistividad. Al sur la resistividad decrece sobre la charnela plegada del anticlinal del Chicamocha, a razón del fracturamiento secundario causado por el sistema de fallas del Bujío. observable en planta dentro del mapa geológico. A este sistema se asocian diversos manantiales de agua en cercanías a la quebrada el carpintero. En cuanto a la formación Los Pinos (K2k5lp) cuya litología corresponde a intercalaciones de arcillolitas con capas de arenisca y al techo capas de caliza lumaquelica existe correspondencia dentro de los perfiles geológico geofísicos indicados para el caso de la tomografía LTE-06 los valores de resistividad bajos se asocian a las capas de arcillolita, para el caso de la LTE-17 los resultados alcanzan valores de 800 (Ω.m) en correspondencia de las interestratificaciones presentes en la formación los pinos.5 Finalmente, la formación Plaeners (K2k5gp) registrada en las tomografías LTE 06-17 registra valores bajos <200 (Ω.m) a altos >1000 (Ω.m) de resistividad, lo anterior a razón de heterogeneidad litológica de la formación en la cual se presentan niveles finos de arcillolitas de baja resistividad, chert y calizas de media resistividad y capas arenosas secas de alta resistividad.
LTE 10,11,29 y 32.	K1b3t, K2k1U	Las tomografías ubicadas el noroeste de Corrales en las veredas Didamon y Buenavista LTE 10,11,29 Y 32, describen la variación litológica observable en campo y descrita en el capítulo 5.1 geología. Formación Tibasosa, Para la cual de base a techo se presentan arcillolitas verdosas, amarillentas con intercalaciones en delgadas capas de arenitas de bajas resistividades <200 (Ω.m), hasta encontrarse con el contacto neto del miembro superior de calizas masivas altamente fracturas con espesores superiores a los 2m. De resistividades medias entre los 200-800 (Ω.m). tomografías LTE 10-11y 29. Para el caso de la tomografía LTE-32 los resultados sugieren que el espesor cartografiado de la formación une es mayor al presentarse valores altos de resistividad asociadas a arenas secas. Sobre el miembro superior (calizas fracturadas) se asocia la presencia

TOMOGRAFÍAS	UNIDAD GEOLÓGICA	CORRELACIÓN GEOELÉCTRICA
		de manantiales subsuperficiales asociado a la porosidad secundaria en correspondencia a los efectos estructurales de compresión ejercidos por la falla de Soapaga. De igual forma la distribución de la existencia de los manantiales se asocia al contacto neto entre el miembro superior e inferior. La correspondencia hidrogeológica está limitada a bloques estructurales originados por fallas transversales al trazo SW-Ned e la falla de Soapagá. Ver cartografía geológica La formación Une (K2k1U) presenta de noreste a suroeste areniscas intercaladas con capas de lodolitas. En Corrales la tomografía 32 señala alta resistividad relacionada a terreno seco mientras que en límites de las veredas Tonemí y Didamon en Busbanzá LTE-29 no señala cambios significativos en la resistividad que denote el afloramiento de la formación Une sobre el trazo de la tomografía de análisis.
		
LTE 7-8-9-27	E2c, E2p, E2as, E1ars	La formación Concentración (E2c) presente en 5 tomografías eléctricas LTE-08-09-18-27-32, presenta valores disimiles en correspondencia por la heterogeneidad de litologías que la constituyen, en tal sentido de sur a norte, la tomografía LTE-08, Se registran valores de baja resistividad asociadas a un paquete arenoso hacia la base de la formación moderadamente saturado, el rasgo geomorfológico de esta capa es foto interpretado. Para el caso de las tomografías 27 y 09 se registran altos valores de resistividad asociados a depósitos de detritos próximos al

TOMOGRAFÍAS	UNIDAD GEOLÓGICA	CORRELACIÓN GEOELÉCTRICA
		cauce aluvial del rio Chicamocha que en dinámica fluvial enmascara a la formación concentración. La LTE-18, se asocia una capa arenosa seca de alta resistividad. En el caso del trazo de la línea geoeléctrica LTE-32, Los valores de resistividad bajos corresponde a afloramientos arcillosos secos en cercanías a la zona de brecha de la falla de Soapagá a la cual se asocian diversas manifestaciones de agua superficial (nacederos). La formación picacho en intersecto con las tomografías LTE-7-8-9-25, presenta diferencia en los valores de resistividad, a excepción de la tomografía LTE-08, los valores de resistividad altos se asocian al afloramiento de paquetes arenosos con bajos a nulos contenidos de agua (arenas secas), en la tomografía LTE-08, se presentan valores bajos asociados a una saturación superficial interpretada por el control de tipo estructural asociado a fallas de tipo inverso que dislocan la continuidad lateral de las formaciones hacia el norte. En correlación con el inventario de aguas superficiales sobre el trazo de análisis allí no existen registros de puntos hidrogeológicos. Los resultados expuestos por la formación arcillas del Socha LTE-07-08-26 Y 25, Denotan homogeneidad dentro de las primeras tres tomografías indicadas, en las cuales se presentan valores bajos de resistividad (0-200 Ω.m) que se correlacionan directamente con la litología arcillosa que prevalece en la formación arcillas del Socha. Para el caso de la tomografía 25 los valores se disparan a valores altos a muy altos de resistividad que difiere del valor teórico esperado y es considerada una zona de incertidumbre de acuerdo a la interpretación geológico geofísica realizada. Los valores altos de resistividad en profundidad se asocian a areniscas secas de la formación areniscas del Socha. Por último, la formación Areniscas de Socha (E1ars) comprendida por bancos de arenisca presenta valores bajos de resistividad que se asocian a contenidos de agua dentro de los paquetes arenosos LTE-07-26, En el caso de la tomografía LTE-07, Existen registros cercanos de manifestaciones de agua en superficie asociada manantiales o nacederos en cercanías a la quebrada chorro blanco y el zanjón del Ducón. Para el caso de la tomografía 26, esta se localiza en proximidad al trazo dextral de una falla de rumbo que extiende paralela a la quebrada de canelas. No obstante, allí no fueron registrados puntos de aguas superficiales próximos. indicación de que esta falla actúa como un conducto permeable hacia profundidad.

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

- **Zonas con potencial para la exploración de agua subterránea en el APE COR-15**

Se ubicaron zonas a partir de las tomografías teniendo en cuenta las siguientes condiciones:

- Ubicación de zonas saturadas en profundidad en acuíferos.
- Zonas con pocos o ningún punto de agua subterránea.
- Zonas más de 100 m de cualquier punto de agua subterránea y 30 m de cuerpos de agua superficial.

- Rejillas a profundidades por debajo de manantiales y drenajes cercanos para tomar agua de flujos con poca o nula conexión al agua en superficie.

Se realizó la **Tabla 5-29** para presentar las zonas con potencial de agua subterránea.

Tabla 5-29 Zonas con posibilidad de agua subterránea a partir de las tomografías

TOMOGRAFÍA	UNIDAD GEOLÓGICA	PROFUNDIDAD REJILLAS [m]	ELEVACIÓN [msnm]	COMENTARIOS
LTE-2	Qpl	Entre 80 m y 120 m	2460	Las rejillas iniciarían a 2380 msnm, es el mismo nivel al que está la confluencia de la Q. La Floresta con el río Chicamocha y muy por debajo de las corrientes de agua cercanas al punto.
LTE-15	Oso	Entre 30 m y 70 m	2700	Zona de granito fracturado
LTE-18	Qal	Entre 30 m y 70 m	2334	En depósitos del río Chicamocha.
LTE_27	Qal	Entre 20 m y 50 m	2393	En depósitos del río Chicamocha.
LTE-28	Qal	Entre 20 m y 40 m	2404	Es un depósito aluvial.
LTE-29	K1b3t	Entre 40 m y 80 m	2745	La rejilla empezaría a 2705 msnm, por debajo de los cuerpos de agua cercanos y un manantial al nororiente
LTE-33	Qal	Entre 50 m y 120 m	2380	Está ubicado sobre una zona de depósitos aluviales.

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

- **Conclusiones y recomendaciones estudio geoeléctrico**

El tipo de arreglo utilizado fue el Gradiente, el cual es una variación del tipo de arreglo Schlumberger. Aunque el arreglo tipo Gradiente toma más tiempo en ser registrado que el Wenner, éste garantiza alta confiabilidad en los datos debido al alto número de registros por línea, donde para el proyecto el promedio del número de registros por línea fue de 480.

Como era de esperarse, los depósitos aluviales presentan las resistividades más bajas, asociadas a una alta permeabilidad y saturación, se configuran como las reservas de agua más promisorias, tanto por su extensión como su profundidad, se puede considerar como las primeras alternativas en la búsqueda de recursos hídricos; presentan en general niveles freáticos altos. Otras formaciones con interés de exploración son Stock de Otengá y Tibasosa, con características preponderantes de carácter secundario.

En forma general la geología de superficie fue bien correlacionada con la interpretación de los valores de resistividad de las tomografías, pudiendo incluso inferir fallas y contactos fallados a partir de bajas resistividades asociadas al fracturamiento de las rocas.

5.1.6.5 Unidades hidrogeológicas presentes en el AI

La definición de unidades hidrogeológicas es el resultado de la conjunción del conocimiento hidrogeológico de la zona, representado en la litología, la tectónica, la meteorización, el fracturamiento, la caracterización geofísica y las manifestaciones de agua subterránea. En la **Tabla 5-30** se presenta una descripción de las unidades geológicas que sintetiza los elementos que permiten realizar la clasificación hidrogeológica que se presenta en este documento.

Tabla 5-30 Descripción sintética de las unidades geológicas con fines de clasificación hidrogeológica

UNIDAD GEOLÓGICA	PUNTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
Formación Floresta		Compuesta por clastos finos a muy finos. Es un conjunto de lodolitas compactas que pasan a un conjunto de lodolitas amarillentas, gradando a limolitas, hasta encontrarse con un conjunto de lodolitas fisiles poco compactas.
Neis de Quebradas		Neis con propiedades hidráulicas primarias cuasi nulas. No se tienen evidencias de espesores meteorizados ni ocurrencias de agua subterránea.
Formación Tíbet		Tiene tres niveles: el primero de areniscas de grano muy grueso, con intercalaciones de lodolitas y limolitas; el segundo de conglomerados, en capas delgadas a gruesas, además capas de areniscas masivas de grano grueso; el tercero de capas de arenisca de grano fino, e intercalaciones de arcillolitas y limolitas.
Formación Cuche	1 punto: 1 Manantial	Capas medias y gruesas de arenisca, intercaladas con capas medias de limolitas y capas delgadas de lodolitas, presentando abundante material carbonoso y orgánico finamente diseminado.
Formación Areniscas de Socha	1 punto: 1 manantial	Cuarzo arenitas de grano fino a medio, cemento silíceo (capas delgadas a muy gruesas), con esporádicas intercalaciones de arcillolitas. En el tope una sucesión de cuarzo arenitas de grano medio.
Formación Arcillas de Socha	2 puntos: 1 Aljibe 1 Manantial	Arcillolitas, que presentan meteorización. Son frecuentes las intercalaciones de cuarzo arenitas de grano fino, con cemento silíceo (capas delgadas y gruesas). Su parte superior e inferior presenta lodolitas y en su parte media está conformada por lodolitas con intercalaciones de arenitas líticas de grano fino a medio.
Formación Concentración	24 puntos: 2 Aljibes 22 Manantiales	Arcillolitas que presentan meteorización y frecuentes intercalaciones de cuarzo arenitas de grano fino a medio y localmente grueso.

UNIDAD GEOLÓGICA	PUNTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
Formación Picacho	7 puntos: 7 Manantiales	Cuarzo arenitas de grano medio hasta conglomerático, presenta meteorización, con cemento silíceo (capas gruesas a muy gruesas) con intercalaciones de arcillolitas grises claras, oscuras y rojizas. Además, presenta areniscas de grano grueso, con frecuentes líneas de guijos de cuarzo de pocos centímetros de diámetro.
Formación Filitas y esquistos de Busbanzá	91 puntos: 1 Pozo 5 Aljibes 85 Manantiales	En superficie se encontraron indicios de meteorización que pueden llegar a 30 m se espesor, donde se da almacenamiento y flujo de agua. Por debajo de la capa meteorizada los esquistos y filitas que presentan propiedades hidráulicas primarias de poco interés.
Formación Girón	32 puntos: 1 Aljibe 31 Manantiales	Capas tabulares medias a gruesas de arenisca de grano grueso, areniscas conglomeráticas intercaladas con capas gruesas de lodolitas y areniscas con intraclastos de arcillolita. Paraconglomerados intraformacionales con guijarros de cuarcita, cuarzo, lodolitas y arenisca de cuarzo de grano fino (hacia la base).
Formación Tibasosa	33 puntos: 33 Manantiales	Capas tabulares gruesas de areniscas de grano medio a grueso localmente conglomera ticas, muy compactas, intercaladas con capas muy delgadas de lodolitas y areniscas de grano grueso a medio, ricas en cuarzo y en menor proporción líticos (hacia la base). Se presentan rocas calcáreas que pueden ser atacadas por disolución y generar porosidad secundaria por carstificación.
Formación Une	8 puntos: 8 Manantiales	Capas medias a gruesas de areniscas cuarzosas de grano fino a medio (muy compactas), cemento silíceo (color blanco grisáceo y amarillo). Intercaladas con capas gruesas de lodolitas grises, negras y amarillas, con abundancia de óxidos de hierro.
Formación Chipaque	15 puntos: 15 Manantiales	Capas delgadas de lodolitas, con intercalaciones de cuarzo arenitas, en la base lutitas y limolitas, en la parte media superior lutitas con intercalaciones de areniscas de 3 a 4 m de espesor. Localmente presenta un nivel calcáreo en la parte media de la formación. Los manantiales identificados se localizan en la charnela del anticlinal del Chicamocha donde la formación está meteorizada.
Formación Plaeners	5 puntos: 5 Manantiales	En la parte inferior está compuesta por un conjunto de cuarzo arenitas de grano fino (capas gruesas a muy gruesas); en su parte media y superior está constituida por paquetes de limolitas silíceas (capas delgadas) con intercalaciones de Chert y lodolitas fisibles.
Formación Guaduas	11 puntos: 11 Manantiales	Arcillolitas (capas delgadas), con esporádicas intercalaciones de cuarzo arenitas (grano fino), presenta meteorización, cemento silíceo (capas delgadas y medias), con capas de carbón, en su mayor parte meteorizadas.
Formación Labor y Tierna	8 puntos: 8 Manantiales	Cuarzo arenitas de grano fino a grueso, en estratos delgados a gruesos. Generalmente se observan paquetes de cuarzo arenitas de grano creciente.
Formación Los Pinos	3 puntos: 3 Manantiales	Arcillolitas, lodolitas fisiles, limolitas silíceas con intercalaciones de areniscas y en su parte superior

UNIDAD GEOLÓGICA	PUNTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
		areniscas de grano fino a medio, cuarzosos.
Depósito Fluvial Neógeno		Grandes conos de Deyección y depósitos aluviales. Cantos redondeados de limolitas, cuarcitas y areniscas feldespáticas en matriz limo – arenosa muy cementada.
Stock de Otengá	20 puntos: 20 Manantiales	Se identificó un espesor meteorizado de 30 m que permite el almacenamiento y flujo de agua evidenciado por la existencia de manantiales. Por debajo de la capa meteorizada las propiedades hidráulicas son muy pobres, por ser rocas graníticas muy compactas. Su composición varía desde cuarzo sienita, granito a granodiorita.
Depósito Cuaternario Aluvial	32 puntos: 10 pozos 14 aljibes 8 manantial	Cantos y gravas redondeados en matriz limo-arenosa y limo-arcillosa producto de corrientes actuales.
Depósito Cuaternario Coluvial	7 puntos: 1 Aljibe 6 Manantiales	Materiales mixtos, producto de deslizamientos. Gravas, arenas y limos.
Depósitos Fluvio – Lacustres		Capas de material limo – arcilloso intercaladas con capas de conglomerados, niveles de cantos y arenas fluviales.

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

Ahora bien, las unidades hidrogeológicas se clasificaron con varios criterios: permeabilidad, comportamiento hidráulico, tipo de porosidad y capacidad específica. A continuación, se describe cada uno de los criterios y el resultado obtenido.

- **Permeabilidad y Transmisividad**

En esta clasificación se da cuenta de la capacidad que tiene una unidad geológica de almacenar y transmitir agua en condiciones normales.

La permeabilidad es una propiedad hidráulica que da cuenta de la capacidad que tiene una capa geológica para permitir el flujo de agua. Este es un criterio semicuantitativo que clasifica las unidades geológicas en tres tipos según IDEAM (2013a):

- Formaciones permeables ($K > 10^{-1}$ m/día): forman importantes acuíferos de relativamente alta permeabilidad y productividad.
- Formaciones semipermeables (10^{-1} m/día $> K > 10^{-4}$ m/día): forman acuíferos menos productivos y acuitardos.
- Formaciones impermeables ($K < 10^{-4}$ m/día): forman acuicludos y acuífugos.

Por otra parte, la transmisividad es una propiedad hidráulica que está relacionada con la cantidad de agua que entrega una sección de área unitaria ante un gradiente del 100% (Custodio y Llamas, 1996). En la **Tabla 5-31** se presentan valores de transmisividad para diferentes tipos de materiales que fueron consultados como base para la clasificación hidrogeológica por transmisividad.

Tabla 5-31 Valores de transmisividad para diferentes tipos de materiales

Clasificación de terrenos por su transmisividad (m^2/día) (Adaptado de Custodio y Llamas, 1983)					
T	1	10	10^2	10^3	
Calificación	**Impermeables**	**Poco permeable**	**Algo permeable**	**Permeable**	**Muy permeable**
Calificación del acuífero	Sin acuífero	Acuífero muy pobre	Acuífero pobre	Acuífero de regular a bueno	Acuífero excelente
Tipo de materiales			Arena fina	Arena limpia	
	Arcilla compacta	Limo arenoso	Arena limosa	Grava y arena	Grava limpia
	Pizarra	Limo	Caliza pozo fracturada	Arena fina	Dolomías, calizas
	Granito	Arcilla limosa	Basaltos	Caliza fracturada	Muy fracturadas

Fuente: Tomado de IDEAM (2013a) referenciado de ITGE (1987)

Se puede que, para las unidades clásticas, conforme se hacen más finos y compactos los clastos, la capacidad de transmisión de agua disminuye. Además, también se identifica que la capacidad de transporte de agua se ve influenciada por la fracturación y disolución de las rocas. En la **Tabla 5-32** se presenta la clasificación de las unidades geológicas según su comportamiento hidrogeológico con el criterio de transmisividad.

Tabla 5-32 Comportamiento hidrogeológico de unidades en el AI del APE COR 15 con el criterio de transmisividad

UNIDAD GEOLÓGICA	SÍMBOLO UG	TRANSMISIVIDAD
Formación Floresta	D2f	Acuicludo
Neis de Quebradas	?o?nq	Acuífugo
Formación Tíbet	D1d3t	Acuífero
Formación Cuche	D3d6c	Acuitardo
Formación Areniscas de Socha	E1ars	Acuífero
Formación Arcillas de Socha	E2as	Acuitardo
Formación Concentración	E2c	Acuitardo
Formación Picacho	E2p	Acuífero
Formación Filitas y esquistos de Busbanzá	?o?efb	Acuífero en superficie Acuífugo en profundidad
Formación Girón	J3g	Acuífero
Formación Tibasosa	K1b3t, K1b3ts	Acuífero
Formación Une	K2k1u	Acuífero
Formación Chipaque	K2k3c	Acuitardo
Formación Plaeners	K2k5gp	Acuitardo
Formación Guaduas	K2k6gg	Acuitardo
Formación Labor y Tierna	K2k5lt	Acuífero
Formación Los Pinos	K2k5lp	Acuitardo
Depósito Fluvial Neógeno	Naa	Acuífero
Stock de Otengá	Oso	Acuífero en superficie Acuífugo en profundidad
Depósito Cuaternario Aluvial	Qal	Acuífero
Depósito Cuaternario Coluvial	Qc	Acuífero
Depósitos Fluvio – Lacustres	Qpl	Acuífero

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

En la **Figura 5-25** se encuentra la representación espacial de la clasificación de las unidades geológicas según su transmisividad.

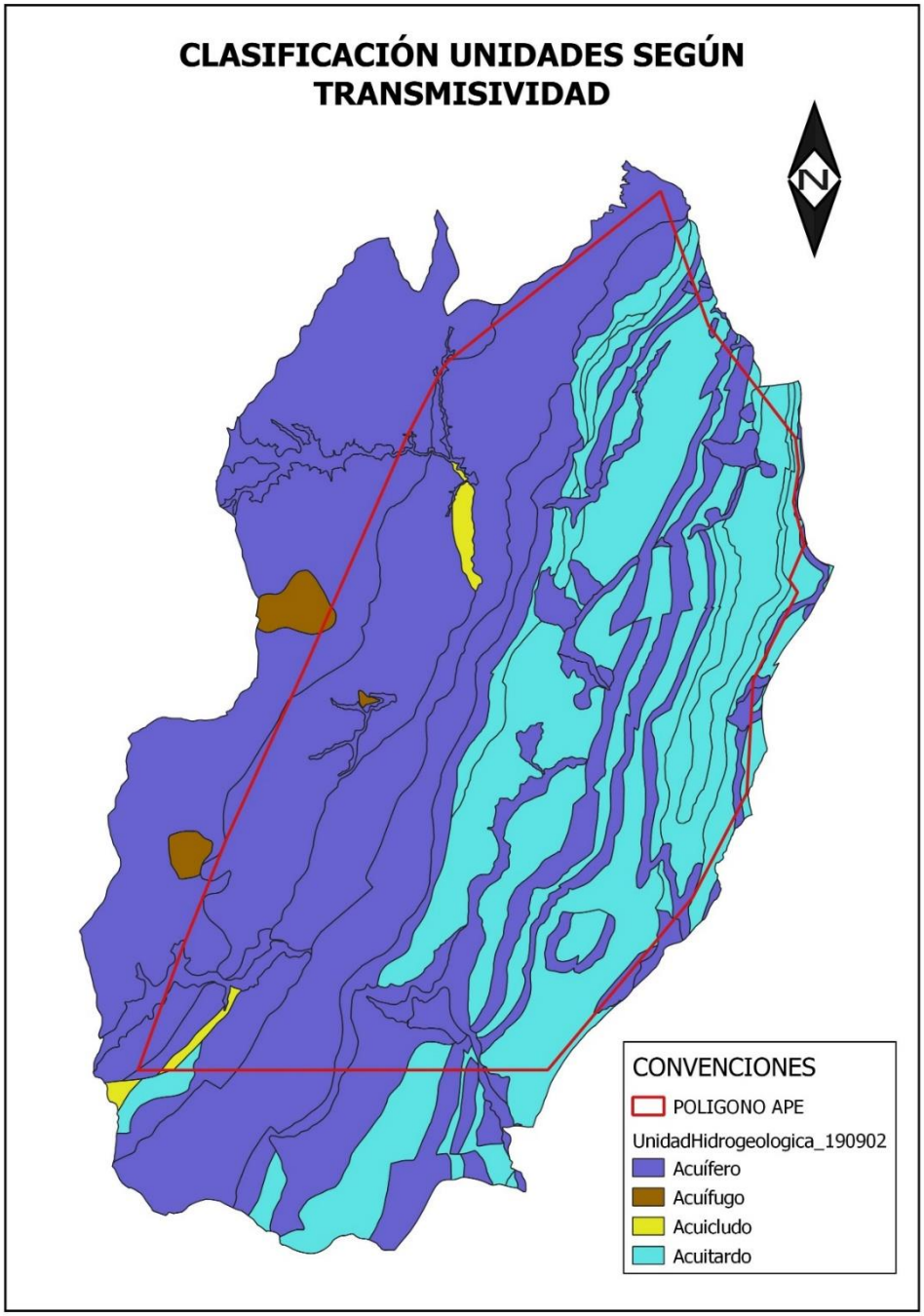


Figura 5-25 Ubicación espacial unidades según transmisividad en el AI del APE COR-15
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

Las unidades Stock de Otengá (Oso) y Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá (?o?efb) tienen la particularidad de tener un comportamiento hidrogeológico que varía en profundidad. Esto se debe a que estas son rocas que por sus propiedades hidráulicas primarias se consideran incapaces de almacenar y transportar agua en condiciones normales. Sin embargo, en el estudio geofísico realizado en este EIA se identificó una capa meteorizada en estas rocas, lo que abre la posibilidad de un acuífero somero, que, por porosidad secundaria generada por el fracturamiento y la meteorización, permita flujos locales y algún almacenamiento menor de agua subterránea. Por esta razón, las unidades geológicas Oso y (?o?efb se traducen cada una en una unidad acuífero somero en la capa más cercana a superficie y una unidad acuífugo en profundidad.

En resumen, en superficie se identificaron: un (1) acuicludo, un (1) acuífugo, siete (7) acuitardos y trece (13) acuíferos.

- **Comportamiento hidráulico**

Esta clasificación de los acuíferos se da de acuerdo con el comportamiento hidráulico de las formaciones geológicas con respecto a la presión de la superficie del agua subterránea y la posición estratigráfica de la capa geológica. Las clases son las siguientes según Martínez et al (2006):

- Acuífero libre: en estos acuíferos se cumple que la superficie freática tiene una presión igual a la presión atmosférica. Además, las unidades que suprayacen este tipo de acuíferos son permeables (acuíferos) y permiten el flujo vertical de agua desde la superficie hasta la capa freática.
- Acuífero confinado: este tipo de unidad se conforma cuando el acuífero se encuentra aislado de la superficie con formaciones impermeables. La presión en el acuífero siempre es superior a la atmosférica. Por lo tanto, si se realiza una perforación desde la superficie hasta el acuífero el nivel de agua ascenderá hasta llegar a un equilibrio de presiones con la atmósfera. Dentro de las unidades que suprayacen este acuífero están acuífugos o acuicludos.
- Acuífero semiconfinado: este tipo de unidad tiene un comportamiento entre libre y confinado. Es decir, las unidades que suprayacen este tipo de acuíferos permiten cierto flujo vertical desde y hacia el acuífero. Las unidades suprayacentes son del tipo acuitardo.

Este tipo de clasificación se realiza únicamente para los acuíferos, entonces las unidades que se clasifican como acuicludo, acuífugo y acuitardo no entran dentro de esta clasificación y permanecen con estos nombres. Hay que tener en cuenta que un acuífero puede clasificarse de manera diferente en diferentes sitios según su ubicación estratigráfica. En la **Figura 5-26** se presenta una descripción de este tipo de clasificación.

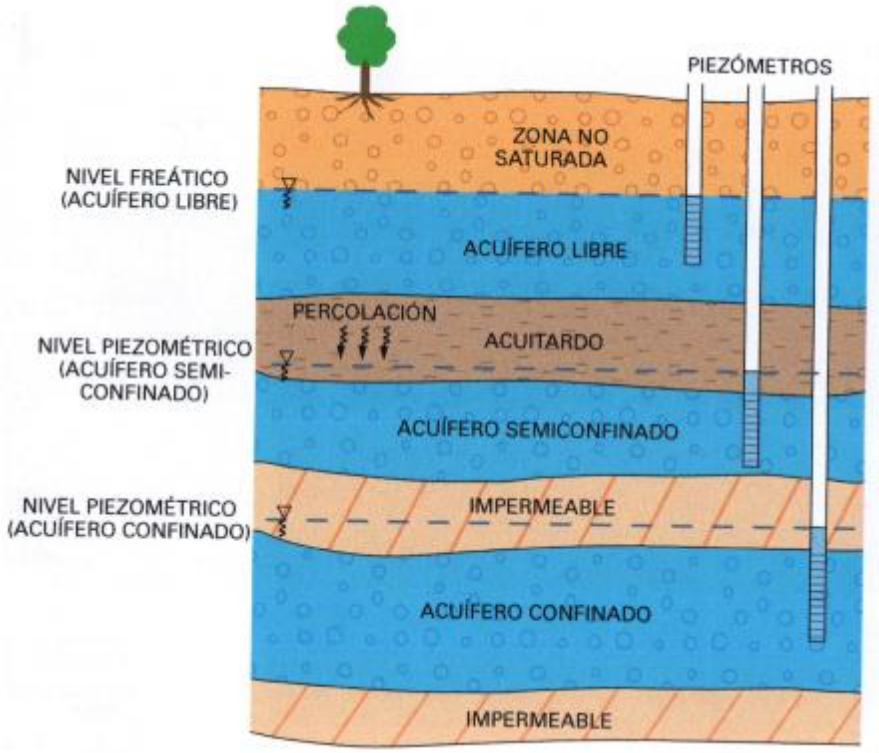


Figura 5-26 Clasificación de acuíferos según su comportamiento hidráulico
Fuente: Martínez et al, 2006

A continuación, se presenta la clasificación de las unidades geológicas del área de estudio según el comportamiento hidráulico (**Tabla 5-33**).

Tabla 5-33 Comportamiento hidrogeológico de unidades en el AI del APE COR 15 con el criterio de comportamiento hidráulico

UNIDAD GEOLÓGICA	SÍMBOLO UG	COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO
Formación Floresta	D2f	Acuicludo
Neis de Quebradas	?o?nq	Acuífugo
Formación Tíbet	D1d3t	Libre
Formación Cuche	D3d6c	Acuitardo
Formación Areniscas de Socha	E1ars	Libre a semiconfinado
Formación Arcillas de Socha	E2as	Acuitardo
Formación Concentración	E2c	Acuitardo
Formación Picacho	E2p	Libre a semiconfinado
Formación Filitas y esquistos de Busbanzá	?o?efb	Libre
Formación Girón	J3g	Libre
Formación Tibasosa	K1b3t, K1b3ts	Libre
Formación Une	K2k1u	Libre
Formación Chipaque	K2k3c	Acuitardo
Formación Plaeners	K2k5gp	Acuitardo
Formación Guaduas	K2k6gg	Acuitardo
Formación Labor y Tierna	K2k5lt	Libre a semiconfinado
Formación Los Pinos	K2k5lp	Acuitardo
Depósito Fluvial Neógeno	Naa	Libre

UNIDAD GEOLÓGICA	SÍMBOLO UG	COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO
Stock de Otengá	Oso	Libre
Depósito Cuaternario Aluvial	Qal	Libre
Depósito Cuaternario Coluvial	Qc	Libre
Depósitos Fluvio – Lacustres	Qpl	Libre

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

En conclusión, de las trece (13) unidades que se clasifican como acuíferos diez (10) son libres, tres (3) son libres a semiconfinados.

- **Tipo de porosidad, comportamiento estructural y fracturamiento**

La porosidad es una propiedad que relaciona el volumen de vacíos con respecto al volumen total de los materiales de las unidades geológicas. Estos espacios vacíos tienen diversos orígenes, el primero es a hora de la creación de la roca, en cuyo caso se habla de porosidad primaria; en otros casos, los vacíos se generan por condiciones de fracturamiento y disolución de rocas después de su génesis, en cuyo caso se habla de porosidad secundaria. En el caso de unidades tipo acuífugo y acuicludo, esta clasificación se establece en “Sin interés hidrogeológico”.

En la zona de estudio existen estructuras geológicas tales como fallas y pliegues, las cuales tienen implicaciones en el funcionamiento del sistema hidrogeológico. Se hace un análisis de cruce espacial del comportamiento estructural tomando como indicador la densidad estructural o fracturamiento (ver **numeral 5.1.7.3.2** y **Figura 5-27**) que está clasificada de 1 a 10, siendo los valores mayores los que representan mayor fracturamiento; y la ocurrencia de puntos de surgencia de agua subterránea (manantiales).

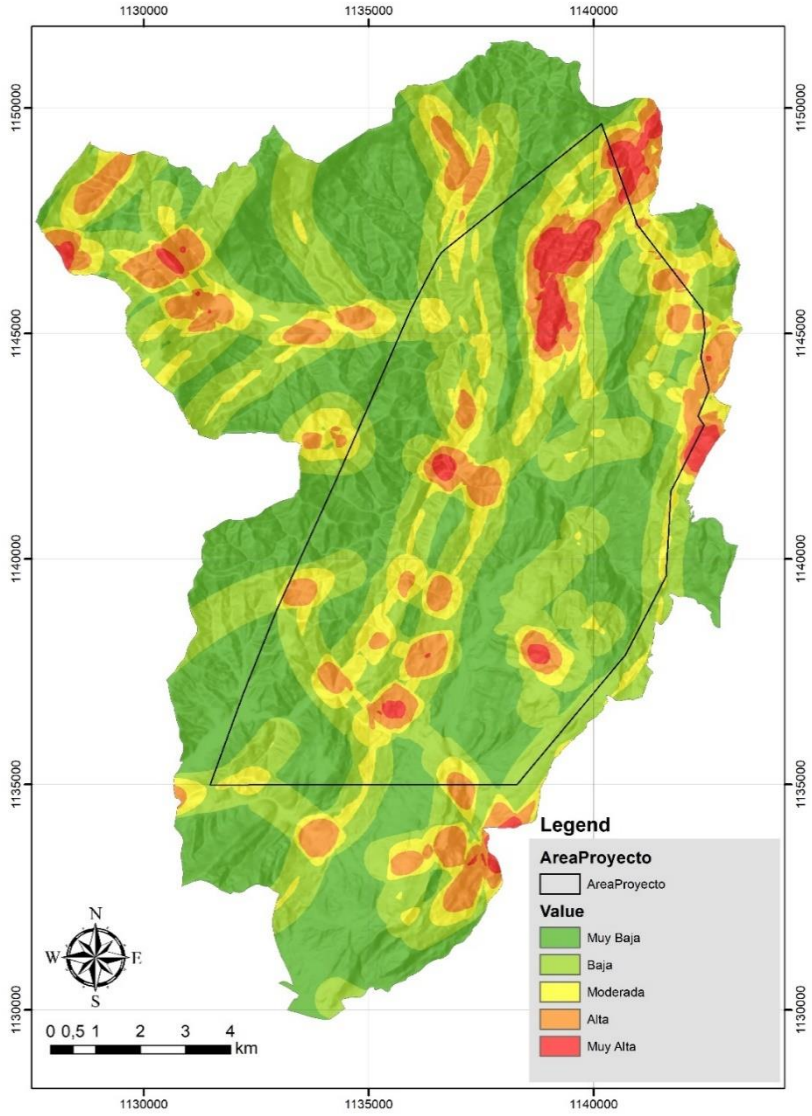


Figura 5-27 Densidad Estructural
Fuente: UPTC- INCITEMA, 2019

Del cruce espacial entre manantiales y densidad estructural se generó la **Tabla 5-34**. De esta tabla se identifica un comportamiento de ocurrencia de manantiales principalmente asociado a densidades estructurales media-baja (4) a muy baja (1) (ver Figura 5-27). Este hallazgo permite inferir que, aunque existe una alta complejidad estructural y alta densidad de fracturamiento, el elemento estructural no es preponderante para explicar la surgencia de agua subterránea en el área de estudio. Sin embargo, las fallas geológicas representan un medio de surgencia de agua de gran importancia, ya que asociados a ellas se identifican manaderos de hidrocarburos que acusan la permeabilidad de las fallas geológicas, y que además pueden generar cambios en las propiedades fisicoquímicas del agua Este tema será abordado nuevamente en el ***numeral 5.1.6.11***

Modelo hidrogeológico conceptual donde se reconocerá el tipo de surgencia por fallas geológicas, contactos y otros.

Tabla 5-34 Ocurrencia de manantiales contra densidad estructural - fracturamiento

UNIDAD GEOLÓGICA	DENSIDAD ESTRUCTURAL									TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Depósito Cuaternario Aluvial	4		1	1	1	1				8
Depósito Cuaternario Coluvial	1	1	3	1						6
Formación Arcillas de Socha				1						1
Formación Areniscas de Socha		1								1
Formación Chipaque	8		4	3						15
Formación Concentración	6	1	2	2	2	3		6		22
Formación Cuche				1						1
Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	51	2	14	13	3					83
Formación Girón	4	1		19	5	2				31
Formación Guaduas	2	1	1				1	2	2	9
Formación Labor y Tierna	3		1	4						8
Formación Los Pinos		1	2							3
Formación Picacho	1			3			1			5
Formación Plaeners	2			1	1	1				5
Formación Tibasosa	1	2	6	10	5	3	1	5		33
Formación Une	2			1	2	1	1	1		8
Stock de Otengá	5		1	8		2	2			18
Total general	90	10	35	68	19	13	6	14	2	257

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

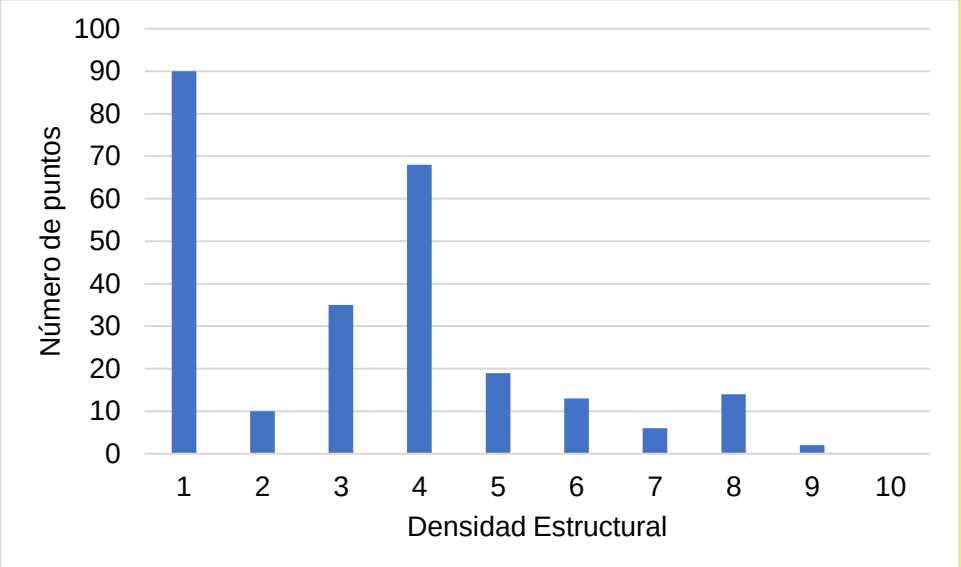


Figura 5-28 Diagrama de barras de la ocurrencia de manantiales contra la densidad estructural en el AI del APE COR-15

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

En la **Tabla 5-35** se presenta la clasificación de las unidades en el AI del APE COR 15 con el criterio de la porosidad.

Tabla 5-35 Comportamiento hidrogeológico de unidades en el AI del APE COR 15 con el criterio de porosidad

UNIDAD GEOLÓGICA	SÍMBOLO UG	POROSIDAD
Formación Floresta	D2f	Sin interés hidrogeológico
Neis de Quebradas	?o?nq	Sin interés hidrogeológico
Formación Tíbet	D1d3t	Secundaria
Formación Cuche	D3d6c	Primaria
Formación Areniscas de Socha	E1ars	Primaria
Formación Arcillas de Socha	E2as	Secundaria
Formación Concentración	E2c	Secundaria
Formación Picacho	E2p	Primaria
Formación Filitas y esquistos de Busbanzá	?o?efb	Secundaria
Formación Girón	J3g	Secundaria
Formación Tibasosa	K1b3t, K1b3ts	Secundaria
Formación Une	K2k1u	Secundaria
Formación Chipaque	K2k3c	Secundaria
Formación Plaeners	K2k5gp	Secundaria
Formación Guaduas	K2k6gg	Secundaria
Formación Labor y Tierna	K2k5lt	Secundaria
Formación Los Pinos	K2k5lp	Secundaria
Depósito Fluvial Neógeno	Naa	Primaria
Stock de Otengá	Oso	Secundaria
Depósito Cuaternario Aluvial	Qal	Primaria
Depósito Cuaternario Coluvial	Qc	Primaria
Depósitos Fluvio – Lacustres	Qpl	Primaria

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

En total se tienen dos (2) unidades sin interés hidrogeológico, ocho (8) con porosidad primaria y trece (13) unidades con porosidad secundaria. Este hecho está muy relacionado con la fuerte tectónica del área. En **Figura 5-29** se encuentra la representación espacial de la clasificación de las unidades geológicas según su transmisividad.

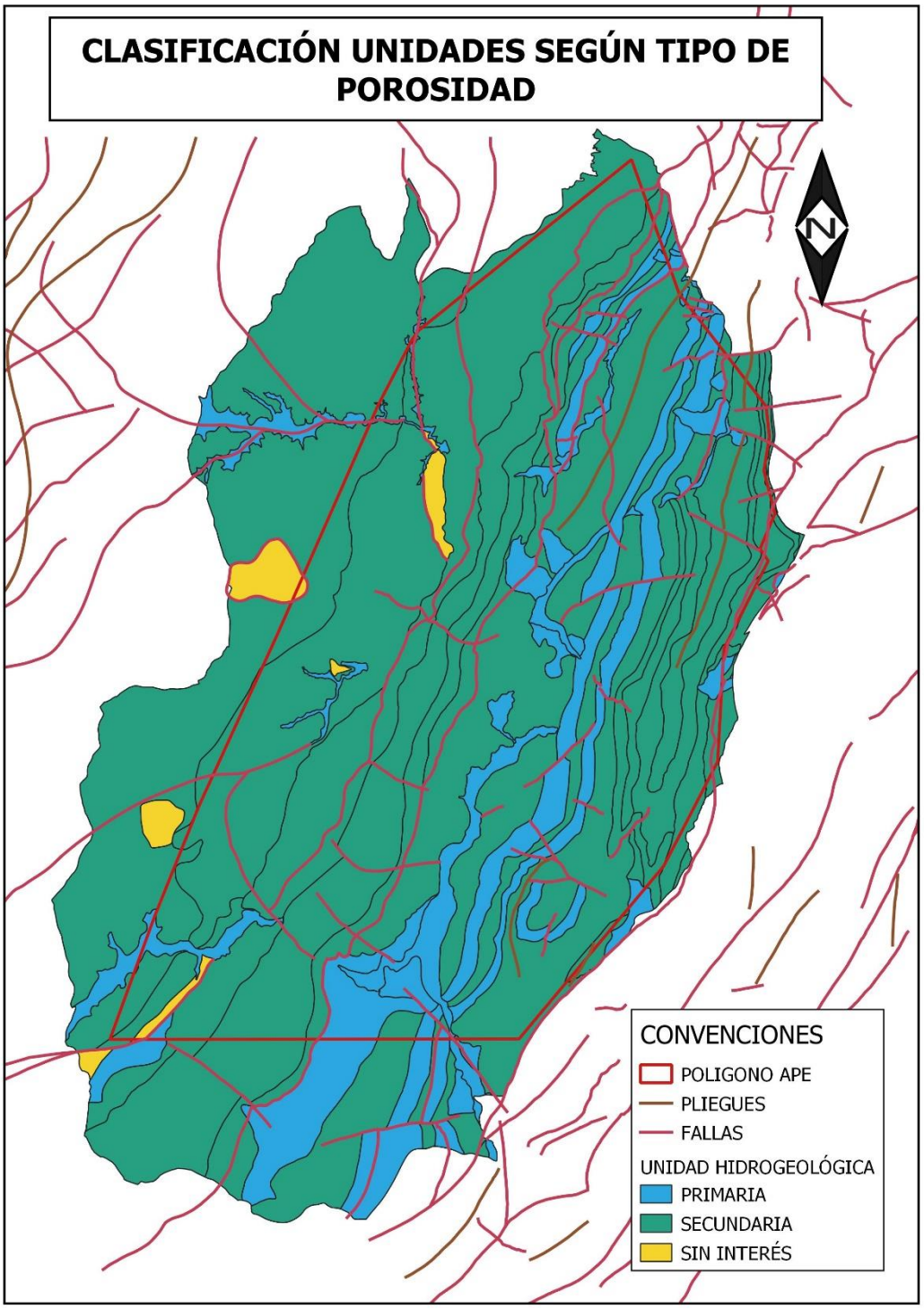


Figura 5-29 Ubicación espacial unidades según tipo de porosidad en el AI del APE COR-15

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

➢ **Capacidad específica**

La capacidad específica es una propiedad que da cuenta de la producción de un acuífero y las características del flujo de agua subterránea. Este criterio es utilizado en el Atlas Hidrogeológico de Colombia en escala 1:500.000. Las clases son las siguientes:

- Tipo A: esta clase comprende sedimentos y rocas con flujo esencialmente intergranular. Se subdivide en tres subclases A1, A2 y A3 como alta, media y baja capacidad específica, respectivamente.
- Tipo B: esta clase comprende rocas con flujo esencialmente a través de fracturas (rocas fracturadas y/o carstificadas). Se subdivide en dos subclases B1 y B2, con capacidad específica media y baja, respectivamente.
- Tipo C: esta clase comprende sedimentos y rocas con limitados o ningún recurso de aguas subterráneas. Se subdivide en dos subclases C1 y C2, como muy baja a ninguna capacidad, respectivamente.

En la **Tabla 5-36** se presenta la descripción de cada una de las clases que se obtienen a partir de la capacidad específica.

Tabla 5-36 Clasificación de unidades geológicas según el criterio de capacidad específica

SÍMBOLO	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS	CAPACIDAD ESPECÍFICA PROMEDIO [l/s/m]	DESCRIPCIÓN
A1	Sedimentos y rocas con flujo esencialmente intergranular	Alta entre 2.0 y 5.0	Acuíferos continuos de extensión regional de alta productividad, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados y rocas sedimentarias poco consolidadas de ambiente fluvial, glacifluvial, marino y vulcano clástico. Acuíferos libres y confinados con agua de buena calidad química
A2		Media entre 1.0 y 2.0	Acuíferos continuos de extensión regional de mediana productividad, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados y rocas sedimentarias terciarias poco consolidadas, de ambiente fluvial, glacifluvial, marino y vulcano clástico. Acuíferos generalmente confinados con agua de buena calidad química
A3		Baja entre 0.05 y 1.0	Acuíferos discontinuos de extensión local, de baja productividad, conformados por sedimentos cuaternarios y rocas sedimentarias terciarias poco consolidadas de ambiente aluvial, lacustre, coluvial, eólico y marino marginal. Acuíferos libres y confinados con agua de regular calidad química.
B1	Rocas con flujo esencialmente a través de fracturas (rocas y/o carstificadas).	Media entre 1.0 y 2.0	Acuíferos continuos de extensión regional de mediana productividad, conformados por rocas sedimentarias y volcánicas piroclásticas de ambiente marino y continental. Acuíferos libres y confinados con agua de buena calidad química. Con frecuencia se encuentran fuentes termales asociadas a la tectónica.
B2		Baja entre 0.05 y 1.0	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. Acuíferos generalmente confinados con agua de buena calidad química

SÍMBOLO	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS	CAPACIDAD ESPECÍFICA PROMEDIO [l/s/m]	DESCRIPCIÓN
C1	Sedimentos y rocas con limitados o ningún recurso de aguas subterráneas	Muy baja < 0.05	Complejo de sedimentos y rocas de muy baja productividad, constituidos por depósitos cuaternarios no consolidados de ambientes lacustres, deltaicos y marinos y por rocas sedimentarias terciarias a cretácicas poco consolidadas subterráneas de origen continental o marino. Almacenan aguas de regular a mala calidad química, salada en las regiones costeras.
C2		Muy baja a ninguna < 0.05	Complejo de rocas ígneos-metamórficas con muy baja a ninguna productividad, muy compactadas y en ocasiones fracturadas, terciarias a precámbricas. Almacenan aguas de buena calidad química. Con frecuencia se encuentran fuentes termales asociadas a la tectónica

Fuente: Tomado de INGEOMINAS, 2016

En la **Tabla 5-37** se presenta la clasificación de las unidades en el AI del APE COR 15 con el criterio de la capacidad específica:

Tabla 5-37 Comportamiento hidrogeológico de unidades en el AI del APE COR 15 con el criterio de capacidad específica

UNIDAD GEOLÓGICA	SÍMBOLO UG	CAPACIDAD ESPECÍFICA
Depósito Cuaternario Aluvial	Qal	A1
Depósito Cuaternario Coluvial	Qc	A1
Depósito Fluvial Neógeno	Naa	A2
Depósitos Fluvio – Lacustres	Qpl	A2
Formación Arcillas de Socha	E2as	C1
Formación Areniscas de Socha	E1ars	A2
Formación Chipaque	K2k3c	C1
Formación Concentración	E2c	C1
Formación Cuche	D3d6c	C1
Formación Filitas y esquistos de Busbanzá	?o?efb	B2
Formación Floresta	D2f	C1
Formación Girón	J3g	B1
Formación Guaduas	K2k6gg	C1
Formación Labor y Tierna	K2k5lt	B1
Formación Los Pinos	K2k5lp	C1
Formación Picacho	E2p	A1
Formación Plaeners	K2k5gp	C1
Formación Tibasosa	K1b3t, K1b3ts	B2
Formación Tíbet	D1d3t	B1
Formación Une	K2k1u	B1
Neis de Quebradas	?o?nq	C2
Stock de Otengá	Oso	B2

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

De esta clasificación se tienen cuatro (4) A1, cuatro (4) A2, dos (2) B1, tres (3) B2, nueve (9) C1 y un (1) C2. En **Figura 5-30** se encuentra la representación espacial de la clasificación de las unidades geológicas según su capacidad específica.

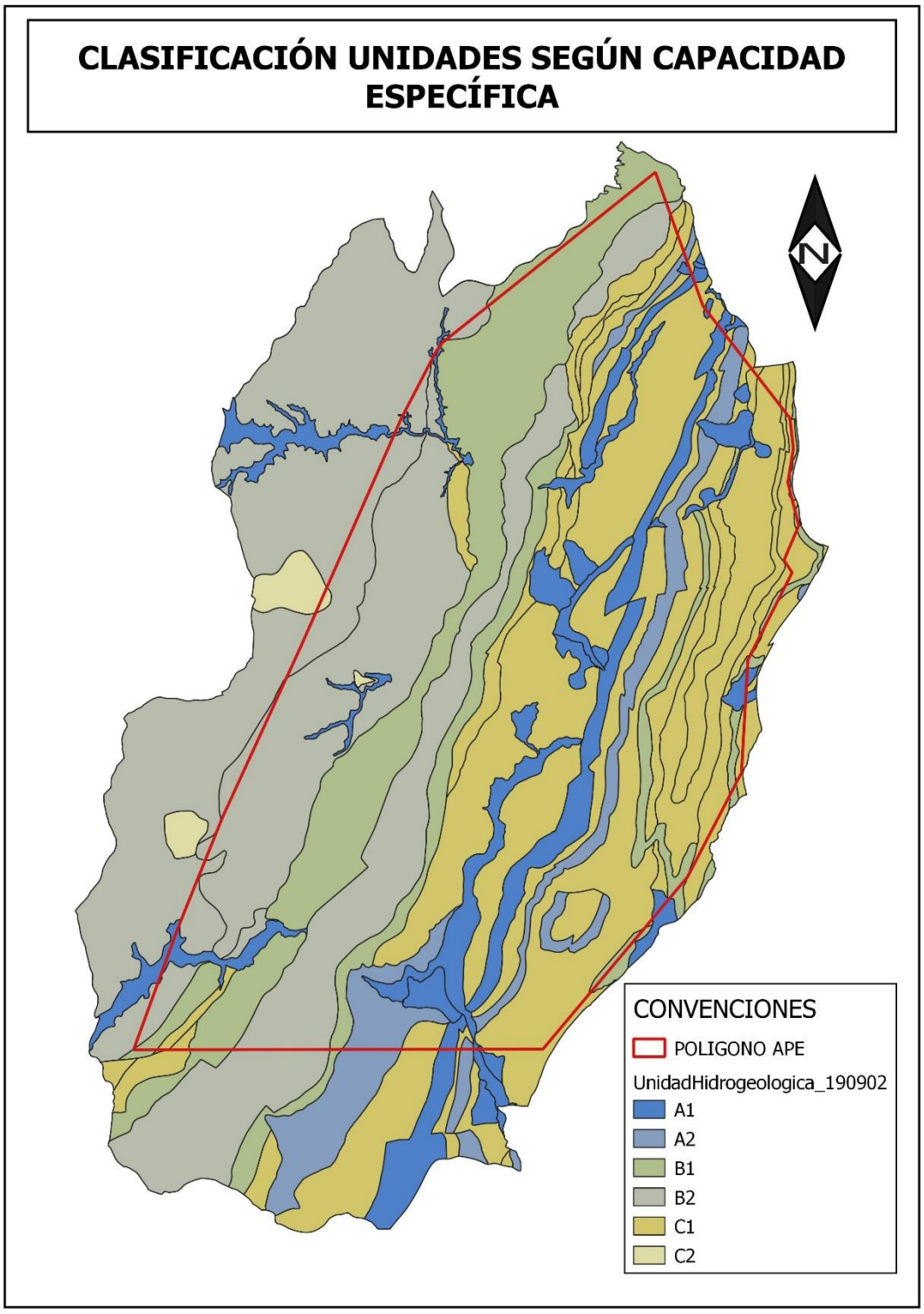


Figura 5-30 Ubicación espacial unidades según capacidad específica en el AI del APE COR-15

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

Una vez realizada la clasificación por cada criterio se realizó definición de unidades hidrogeológicas del área de influencia del proyecto de exploración APE COR 15 (ver **Tabla 5-38**).

Tabla 5-38 Unidades hidrogeológicas definidas en el AI del APE COR 15

UNIDAD GEOLÓGICA	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA	SÍMBOLO UHG	ÁREA [ha]	DESCRIPCIÓN UNIDAD
Formación Floresta	Acuicludo Floresta	ac-D2f	90.82	Esta unidad se comporta como un acuicludo por los materiales finos y compactos que la componen y que impiden el flujo de agua subterránea en condiciones normales. En inmediaciones de fallas geológicas pueden generarse propiedades hidráulicas secundarias que permitan flujos locales.
Neis de Quebradas	Acuífugo Neis de Quebradas	acf-nq	141.58	Esta unidad se comporta como un acuífugo por la baja porosidad y permeabilidad de la roca.
Formación Tíbet	Acuífero Tíbet	AQ-D1d3t	63.3	Esta unidad se comporta como un acuífero con baja capacidad de transporte de agua. Existen algunos niveles de areniscas entre grano fino a grueso, y conglomerados que pueden almacenar y transportar agua de manera local.
Formación Cuche	Acuitardo Cuche	Aq-D3d6c	60.52	Esta unidad se comporta como un acuitardo. Existen capas de arenas en las que se genera almacenamiento y transporte de agua subterránea de manera local.
Formación Areniscas de Socha	Acuífero Areniscas de Socha	AQ-E1ars	422.43	Esta unidad se comporta como un acuífero de baja producción. Aunque está compuesto por arenas, estas son de tamaño de grano fino a medio, sumado a que tiene intercalaciones de arcillolitas, lo que afecta su capacidad de transporte de agua.
Formación Arcillas de Socha	Acuitardo Arcillas de Socha	Aq-E2as	380.17	Esta unidad se comporta como un acuitardo. A pesar de estar conformado por arcillas, se pueden identificar manifestaciones de agua subterránea asociadas con zonas fracturadas y de fallas geológicas.
Formación Concentración	Acuitardo Concentración	Aq-E2c	1725.00	Esta unidad se comporta como un acuitardo. Tiene manifestaciones de agua subterránea que pueden estar asociadas a niveles de arenas de la unidad, espesores meteorizados, fracturas y zonas de fallas.
Formación Picacho	Acuífero Picacho	AQ-E2p	571.75	Esta unidad se comporta como un acuífero con buenas capacidades de transporte de agua subterránea. Tiene poca presencia de agua subterránea en superficie con 7 manantiales. Sin embargo, se considera que en profundidad es una capa acuífera interesante para ser fuente de agua subterránea.

UNIDAD GEOLÓGICA	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA	SÍMBOLO UHG	ÁREA [ha]	DESCRIPCIÓN UNIDAD
Formación Filitas y esquistos de Busbanzá	Acuífero somero meteorizado y fracturado Filitas y Esquistos de Busbanzá	AQ-efb	2619.11	Esta unidad se comporta como un acuífero en superficie por efecto de espesor meteorizado. En profundidad se comporta como un acuífugo por las características de porosidad y permeabilidad primarias de la roca.
Formación Girón	Acuífero Girón	AQ-J3g	1507.49	Esta unidad se comporta como un acuífero de baja producción por efecto de propiedades secundarias generadas por el fracturamiento y fallamiento generado por el intenso tectonismo de la zona.
Formación Tibasosa	Acuífero Tibasosa	AQ-K1b3t	1367.83	Esta unidad se comporta como un acuífero de porosidad secundaria por disolución. Tiene gran presencia de agua subterránea con cerca de 33 manantiales. Se presenta el fenómeno de disolución de calizas que se hace manifiesta con conductividades eléctricas entre 400 µS/cm y 1100 µS/cm.
Formación Une	Acuífero Une	AQ-K2k1u	350.26	Esta unidad se comporta como un acuífero por efecto de propiedades secundarias generadas por el fracturamiento y fallamiento generado por el intenso tectonismo de la zona.
Formación Chipaque	Acuitardo Chipaque	Aq-K2k3c	470.49	Esta unidad se comporta como un acuitardo por efecto de meteorización y fracturamiento. Se identificaron 15 manantiales en esta unidad asociados con el anticlinal del Chicamocha.
Formación Plaeners	Acuitardo Plaeners	Aq-K2k5gp	447.11	Esta unidad se comporta como un acuitardo. La unidad es afectada por fracturamiento, lo que genera propiedades secundarias que permiten flujos locales manifestados por manantiales con bajo grado de mineralización.
Formación Guaduas	Acuitardo Guaduas	Aq-K2k6gg	885.49	Esta unidad se comporta como un acuitardo. Tiene flujos locales de agua subterránea a través de zonas afectadas por fracturamiento presente en la formación y puede albergar flujos en profundidad a través de intercalaciones de arenas de grano fino.
Formación Labor y Tierna	Acuífero Labor y Tierna	AQ-K2k5lt	228.58	Esta unidad se comporta como un acuífero de baja producción. El efecto del tectonismo de la zona ha generado propiedades secundarias que permiten flujos locales de agua subterránea, estos se evidencian con 8 manantiales.
Formación Los Pinos	Acuitardo Los Pinos	Aq-K2k5lp	323.93	Esta unidad se comporta como un acuitardo, ya que a pesar de tener materiales en general finos a muy finos, el tectonismo ha generado propiedades secundarias que permiten algunos flujos de agua subterránea evidenciados por 3 manantiales.

UNIDAD GEOLÓGICA	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA	SÍMBOLO UHG	ÁREA [ha]	DESCRIPCIÓN UNIDAD
Depósito Fluvial Neógeno	Acuífero Depósito Fluvial Neógeno	AQ-Naa	95.12	Esta unidad se comporta como un acuífero baja productividad debido a la matriz de tamaño medio a fino muy cementada. Se identifican 6 manantiales con muy baja mineralización, relacionados con flujos cortos recargados por aguas meteóricas.
Stock de Otengá	Acuífero somero meteorizado y fracturado Stock de Otengá	AQ-Oso	1197.54	Esta unidad se comporta como un acuífero en superficie por efecto de espesor meteorizado y fracturas. En profundidad se comporta como un acuífugo por las pobres características hidráulicas de la roca sana.
Depósito Cuaternario Aluvial	Acuífero Depósitos Aluviales	AQ-Qal	569.01	Esta unidad se comporta como un acuífero libre con porosidad primaria. Su comportamiento hidráulico está soportado en el tamaño de los materiales depositados: predominantemente de grano medio a grueso. Tiene una gran presencia de puntos hidrogeológicos compuestos por pozos, aljibes y manantiales.
Depósito Cuaternario Coluvial	Acuífero Depósitos Coluviales	AQ-Qc	206.44	Esta unidad se comporta como un acuífero de baja producción. El tamaño de grano de los clastos de grueso a fino permite el flujo de agua en condiciones normales, lo que se evidencia con la presencia de 7 puntos de agua subterránea.
Depósitos Fluvio – Lacustres	Acuífero Depósitos Fluvio – Lacustres	AQ-Qpl	403.16	Esta unidad se comporta como un acuífero, con flujo preferencia en las capas de conglomerados. Las capas finas limo-arcillosas tienen propiedades hidráulicas pobres.

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

5.1.6.6 Inventario de puntos de agua subterránea

Se tiene información de puntos de agua subterránea a partir de dos fuentes: las concesiones de agua subterránea otorgadas en el AI por CORPOBOYACÁ, y el trabajo de reconocimiento de puntos de agua subterránea en campo.

Se encontraron concesiones en cuatro pozos en el municipio de Busbanzá. Sus coordenadas se encuentran en la **Tabla 5-39**.

Tabla 5-39 Concesiones de pozos profundos en el AI del APE COR 15

EXPEDIENTE CORPOBOYACÁ	COORDENADAS ORIGEN BOGOTÁ MAGNA SIRGAS		MUNICIPIO	VEREDA	FECHA PERFORADO	PROF.	CAUDAL DE EXPLOTACIÓN [l/s]	CAPTACIÓN [h]	No. USUARIOS	USOS*
	ESTE	NORTE								
OOCA-0074/2012	1131918	1136416	BUSBANZÁ	Quebradas	2003	34 m	3.5	8h/día	238	D - A
OOCA-0074/2012	1132276	1137229	BUSBANZÁ	Quebradas	2003	27 m	5.5	8h/día	105	D - A
OOCA-0090/2004	1132230	1136522	BUSBANZÁ	Centro	1995	40m	3.5	6h/día	32 familias	D
OOCA-0090/2004	1132416	1136484	BUSBANZÁ	Tonemí	1995	24 m	3.5	5h/día	32 familias	D

**D: Doméstico, A: Agropecuario.*

Fuente: Base de datos CORPOBOYACÁ, 2012

El inventario de puntos de agua subterránea en campo se realizó con el fin de caracterizar la existencia y distribución de las manifestaciones de agua subterránea. Esto se basa en la identificación de puntos de agua subterránea en superficie tales como: manantiales, aljibes, pozos y piezómetros. Para ello, se utiliza el formulario único de inventario de puntos de agua subterránea (FUNIAS) desarrollado por el IDEAM, INGEOMINAS – actualmente Servicio Geológico Colombiano y el MAVDT – actualmente MADS (2009). El trabajo de recolección y procesado de información se tuvo en cuenta lo consignado en el Instructivo para diligenciar el FUNIAS del IDEAM, INGEOMINAS, MAVDT (2009).

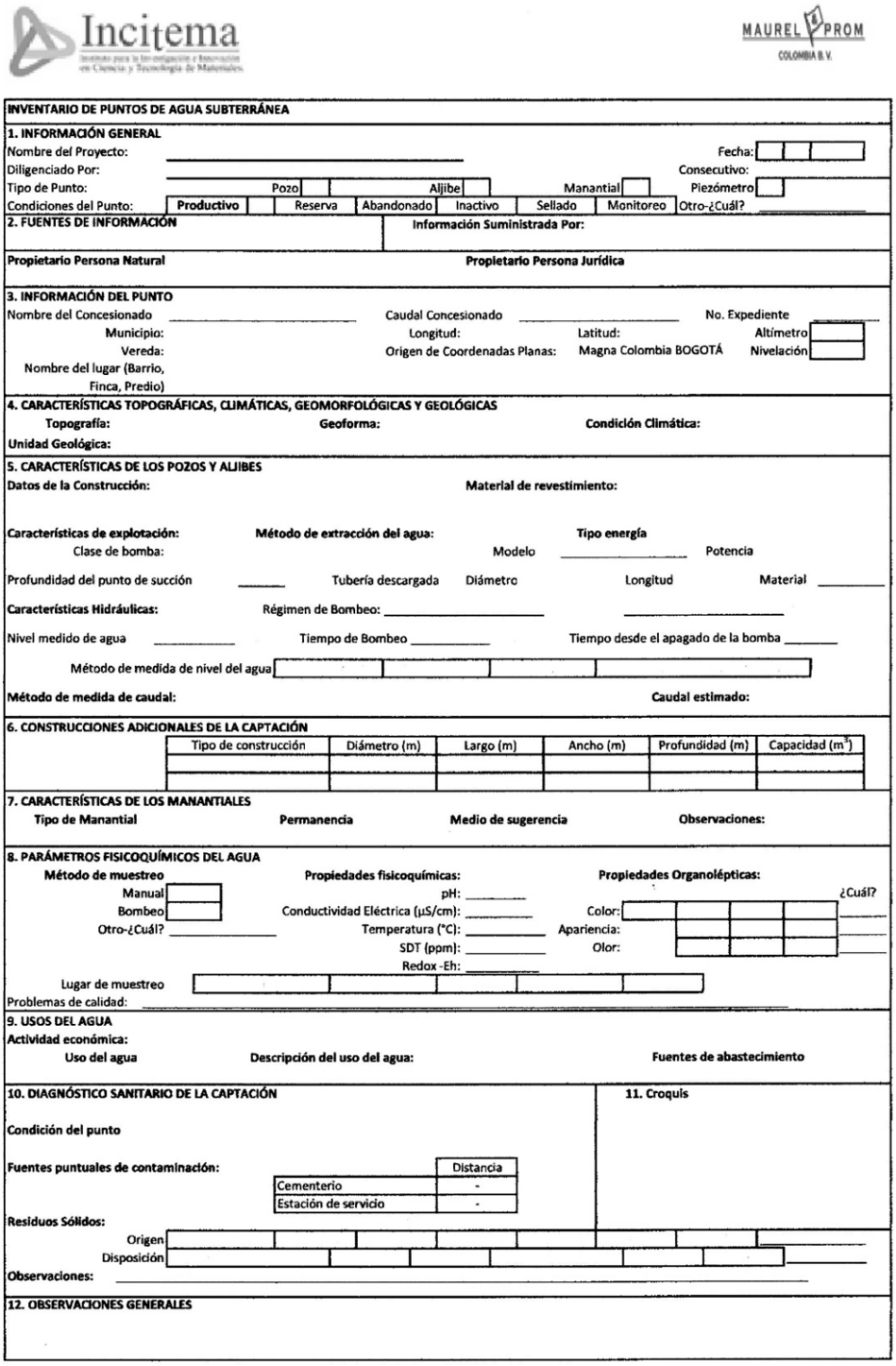
En líneas gruesas, la información registrada sigue las siguientes líneas:

- Información general: se consigna información del nombre del proyecto, quién diligenció, fecha de registro, consecutivo del punto, tipo de punto (pozo, aljibe, manantial, piezómetro) y condición del punto.
- Fuentes de información: se registra la procedencia de la información, quién suministró la información y los datos de propietario.
- Información del punto: se presenta el estado de legalización del punto, la identificación del punto en la plancha 1:25.000 del IGAC y las coordenadas y cota del punto.
- Características topográficas, climáticas, geomorfológicas y geológicas: se registra el tipo de topografía, la geoforma, la condición climática, la litología y la unidad geológica.
- Características de pozos y aljibes: esta información se colecta solamente para pozos y aljibes. Los datos son fecha de construcción, perforador, diámetro exterior, interior y de la perforación, profundidad del pozo o aljibe, largo y ancho de aljibes no redondos, si está colapsado o no, si está colmatado o no, el material de revestimiento, características de explotación, características hidráulicas, método de medida de niveles y medición de caudales.
- Construcciones adicionales de la captación: se toma información de tipo de construcciones adicionales al punto como embalse, tanque y alberca.
- Características de los manantiales: se registra el tipo de manantial, la permanencia y el medio de surgencia.
- Parámetros fisicoquímicos: se toma pH, conductividad eléctrica en µS/cm, temperatura en °C, sólidos totales disueltos en ppm y las propiedades organolépticas.
- Usos del agua: se registran los usos entre abastecimiento, doméstico, agrícola, pecuario, industrial, recreativo y transporte.
- Diagnóstico sanitario de la captación: se identifica la existencia de residuos sólidos y líquidos, y la disposición de residuos sólidos.

La metodología empleada para la adquisición del inventario de puntos de agua subterránea fue la siguiente:

- Se diseñó un formato para adquisición de puntos de agua subterránea, que es una versión comprimida del FUNIAS. Esto se realizó para agilizar el proceso de registro en campo (ver Figura 5-31).
- Se establecieron cuatro grupos de trabajo para realizar el control de campo de puntos de agua subterránea. Cada grupo contaba con equipos GPS, cámara fotográfica y téster de parámetros fisicoquímicos in situ, adelante se presenta la descripción de los equipos utilizados.
- Se realizaron recorridos a lo largo y ancho del AI por las vías hasta llegar a zonas con viviendas o con indicios de puntos de agua entregados por los guías de la zona. Allí se realizaba acercamiento con la comunidad y se accedía hasta los puntos de agua subterránea.

- Al reconocer el punto se tomaba registro fotográfico y se anotaba la coordenada y cota del punto. El nombre del punto se definió concatenando el número de waypoint del GPS (ver **Fotografía 5-1)** y la inicial del encargado del grupo de trabajo (A: Ángel, D: David, H: Henry y J: José). Se diligenciaban los campos del formato a partir de la información que se podía observar y de las referencias entregadas por los guías de campo y encargados de la propiedad, según fuera el caso.
- Se medían parámetros fisicoquímicos in situ por los profesionales y técnicos encargados del inventario, y se registraban los valores obtenidos (ver **Fotografía 5-2**).
- Para el caso de aljibes y pozos se tomaba la profundidad al nivel de agua a partir de observación, referencia de los encargados del punto o se medía con una sonda eléctrica de nivel, en el caso que esta estuviera disponible para el equipo de trabajo (ver **Fotografía 5-3**).
- Se aseguraba el formato diligenciado y se continuaba con la misma metodología ya descrita (ver **Fotografía 5-4**).



INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA

1. INFORMACIÓN GENERAL

Nombre del Proyecto: _____ Fecha: ___ ___ ___

Diligenciado Por: _____ Consecutivo: ___

Tipo de Punto: Pozo ___ Aljibe ___ Manantial ___ Piezómetro ___

Condiciones del Punto: **Productivo** ___ Reserva | Abandonado | Inactivo | Sellado | Monitoreo | Otro-¿Cuál? _____

2. FUENTES DE INFORMACIÓN — **Información Suministrada Por:**

Propietario Persona Natural — **Propietario Persona Jurídica**

3. INFORMACIÓN DEL PUNTO

Nombre del Concesionado _____ Caudal Concesionado _____ No. Expediente _____

Municipio: Longitud: Latitud: Altímetro ___

Vereda: Origen de Coordenadas Planas: Magna Colombia BOGOTÁ Nivelación ___

Nombre del lugar (Barrio, Finca, Predio)

4. CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS, CLIMÁTICAS, GEOMORFOLÓGICAS Y GEOLÓGICAS

Topografía: **Geoforma:** **Condición Climática:**

Unidad Geológica:

5. CARACTERÍSTICAS DE LOS POZOS Y ALJIBES

Datos de la Construcción: **Material de revestimiento:**

Características de explotación: **Método de extracción del agua:** **Tipo energía**

Clase de bomba: Modelo _____ Potencia

Profundidad del punto de succión _____ Tubería descargada Diámetro Longitud Material _____

Características Hidráulicas: Régimen de Bombeo: _____ _____

Nivel medido de agua _____ Tiempo de Bombeo _____ Tiempo desde el apagado de la bomba _____

Método de medida de nivel del agua ___ ___ ___ ___

Método de medida de caudal: **Caudal estimado:**

6. CONSTRUCCIONES ADICIONALES DE LA CAPTACIÓN

Tipo de construcción	Diámetro (m)	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	Capacidad (m^3)

7. CARACTERÍSTICAS DE LOS MANANTIALES

Tipo de Manantial **Permanencia** **Medio de sugerencia** **Observaciones:**

8. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DEL AGUA

Método de muestreo

Manual ___

Bombeo ___

Otro-¿Cuál? _____

Propiedades fisicoquímicas:

pH: _____

Conductividad Eléctrica (µS/cm): _____

Temperatura (°C): _____

SDT (ppm): _____

Redox -Eh: _____

Propiedades Organolépticas:

Color: ___ ___ ___ ___ ¿Cuál? _____

Apariencia: ___ ___ ___ ___ _____

Olor: ___ ___ ___ ___ _____

Lugar de muestreo ___ ___ ___ ___ ___

Problemas de calidad: _____

9. USOS DEL AGUA

Actividad económica:

Uso del agua **Descripción del uso del agua:** **Fuentes de abastecimiento**

10. DIAGNÓSTICO SANITARIO DE LA CAPTACIÓN

Condición del punto

Fuentes puntuales de contaminación:

	Distancia
Cementerio	-
Estación de servicio	-

Residuos Sólidos:

Origen ___ ___ ___ ___ ___ ___ ___ _____

Disposición ___ ___ ___ ___ ___ ___ _____

Observaciones: _____

11. Croquis

12. OBSERVACIONES GENERALES

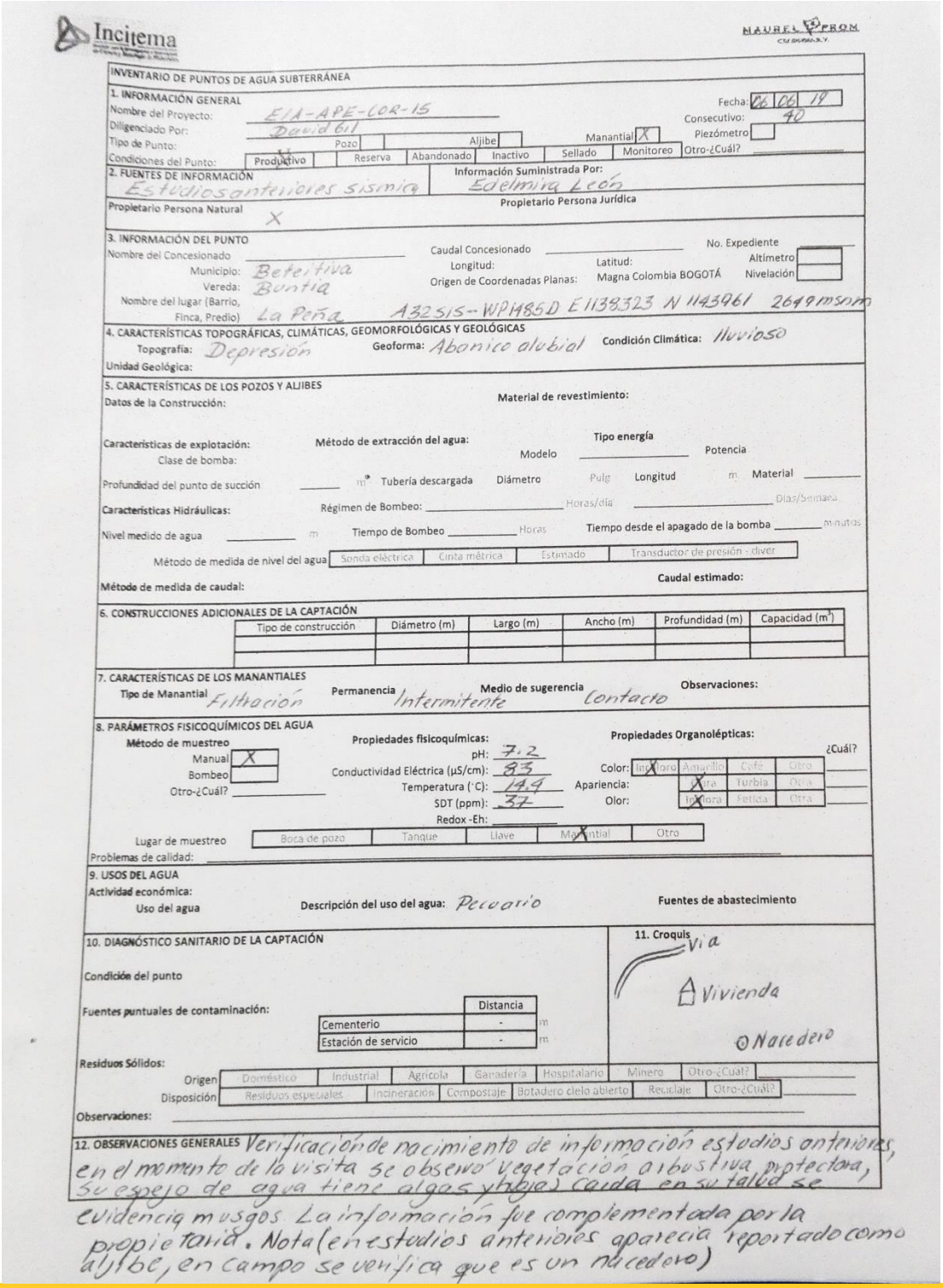
Figura 5-31 Formato de campo para el levantamiento de puntos de agua subterránea en el AI del APE COR-15

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

Fotografía 5-1 Toma de coordenadas con equipo GPS
Fuente: UPTC- INCITEMA, 2019

Fotografía 5-2 Medición de parámetros fisicoquímicos InSitu
Fuente: UPTC- INCITEMA, 2019

Fotografía 5-3 Medición de nivel estático con sonda eléctrica de nivel
Fuente: UPTC- INCITEMA, 2019



Incitema — MAUREL & PROM COLOMBIA B.V.

INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA

1. INFORMACIÓN GENERAL
Nombre del Proyecto: EIA-APE-COR-15
Diligenciado Por: David G.
Fecha: 06 06 19
Consecutivo: 40
Tipo de Punto: Pozo | Aljibe | Manantial X | Piezómetro | Otro-¿Cuál?
Condiciones del Punto: Productivo | Reserva | Abandonado | Inactivo | Sellado | Monitoreo

2. FUENTES DE INFORMACIÓN
Estudios anteriores sísmica
Información Suministrada Por: Edelmira León
Propietario Persona Natural: X
Propietario Persona Jurídica

3. INFORMACIÓN DEL PUNTO
Nombre del Concesionado:
Caudal Concesionado:
No. Expediente:
Municipio: Beteitiva
Vereda: Buntia
Longitud:
Latitud:
Altímetro:
Origen de Coordenadas Planas: Magna Colombia BOGOTÁ
Nivelación:
Nombre del lugar (Barrio, Finca, Predio): La Peña
A32515-WP1485D E1138323 N1143961 2649msnm

4. CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS, CLIMÁTICAS, GEOMORFOLÓGICAS Y GEOLÓGICAS
Topografía: Depresión
Geoforma: Abanico aluvial
Condición Climática: lluvioso
Unidad Geológica:

5. CARACTERÍSTICAS DE LOS POZOS Y ALJIBES
Datos de la Construcción:
Material de revestimiento:
Características de explotación:
Método de extracción del agua:
Tipo energía
Clase de bomba:
Modelo
Potencia
Profundidad del punto de succión: m
Tubería descargada
Diámetro: Pulg
Longitud: m
Material
Características Hidráulicas:
Régimen de Bombeo: Horas/día Días/Semana
Nivel medido de agua: m
Tiempo de Bombeo: Horas
Tiempo desde el apagado de la bomba: minutos
Método de medida de nivel del agua: Sonda eléctrica | Cinta métrica | Estimado | Transductor de presión - diver
Método de medida de caudal:
Caudal estimado:

6. CONSTRUCCIONES ADICIONALES DE LA CAPTACIÓN

Tipo de construcción	Diámetro (m)	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	Capacidad (m³)

7. CARACTERÍSTICAS DE LOS MANANTIALES
Tipo de Manantial: Filtración
Permanencia: Intermitente
Medio de sugerencia: Contacto
Observaciones:

8. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DEL AGUA
Método de muestreo: Manual X | Bombeo | Otro-¿Cuál?
Propiedades fisicoquímicas:
pH: 7.2
Conductividad Eléctrica (µS/cm): 83
Temperatura (°C): 14.9
SDT (ppm): 37
Redox -Eh:
Propiedades Organolépticas:
Color: Incoloro X | Amarillo | Café | Otro | ¿Cuál?
Apariencia: Clara X | Turbia | Otra
Olor: Inodora X | Fétida | Otra
Lugar de muestreo: Boca de pozo | Tanque | Llave | Manantial X | Otro
Problemas de calidad:

9. USOS DEL AGUA
Actividad económica:
Uso del agua
Descripción del uso del agua: Pecuario
Fuentes de abastecimiento

10. DIAGNÓSTICO SANITARIO DE LA CAPTACIÓN
Condición del punto
Fuentes puntuales de contaminación:

	Distancia
Cementerio	- m
Estación de servicio	- m

Residuos Sólidos:
Origen: Doméstico | Industrial | Agrícola | Ganadería | Hospitalario | Minero | Otro-¿Cuál?
Disposición: Residuos especiales | Incineración | Compostaje | Botadero cielo abierto | Reciclaje | Otro-¿Cuál?
Observaciones:

11. Croquis
Vía
Vivienda
Nacedero

12. OBSERVACIONES GENERALES Verificación de nacimiento de información estudios anteriores, en el momento de la visita se observó vegetación arbustiva protectora, su espejo de agua tiene algas y hojas caída en su talud se evidencia musgos. La información fue complementada por la propietaria. Nota (en estudios anteriores aparecía reportado como aljibe, en campo se verifica que es un nacedero)

Fotografía 5-4 Aseguramiento de la información registrada en el formato de campo
Fuente: UPTC- INCITEMA, 2019

Los equipos utilizados fueron los siguientes:

- GPS: se usaron cuatro (4) equipos GPS Garmin para la adquisición de coordenadas y cotas.
- Cámaras fotográficas: se usaron cuatro (4) cámaras para tomar el registro del punto y copia de seguridad de los formatos diligenciados.
- Téster de pH, electro conductividad, temperatura y sólidos totales disueltos: se utilizaron tres (3) equipos de la marca Hannah Instruments que medían la totalidad de los parámetros mencionados. En el Anexo **Inventario de Puntos de Agua Subterránea** se presentan los certificados de calibración de fábrica de los equipos utilizados.
- Sonda eléctrica de nivel: se usó una (1) sonda para medir profundidad de agua en pozos y aljibes. Este aparato tiene un sensor al final de una cinta graduada, que al tener contacto con el agua prende un sensor luminoso y pita.

Los trabajos de campo se realizaron en el mes de abril, mayo y junio de 2019. El centro logístico del trabajo fue el casco urbano del municipio de Corrales.

Al finalizar el trabajo de campo se hizo la digitalización de información en oficina en los FUNIAS y en la capa geográfica Punto Hidrogeológico de la GDB temática del proyecto. De allí se hizo la compilación de la información de los 4 grupos de trabajo de campo y se realizaron los análisis y observaciones que se presentan a continuación.

Se registraron un total de 288 puntos de agua subterránea dentro del AI del medio físico (ver **Figura 5-32).** La localización de los puntos muestra un cubrimiento espacial uniforme y representativo de la mayoría de la zona, alcanzando una densidad aproximada de 2 puntos/km^2. Este cubrimiento se ve con una menor densidad hacia algunos sectores en los municipios de Betéitiva y Tasco, donde no se obtuvieron permisos para acceso a predios. Sin embargo, la cantidad de información colectada permite generar hipótesis de flujo válidas para toda el AI.

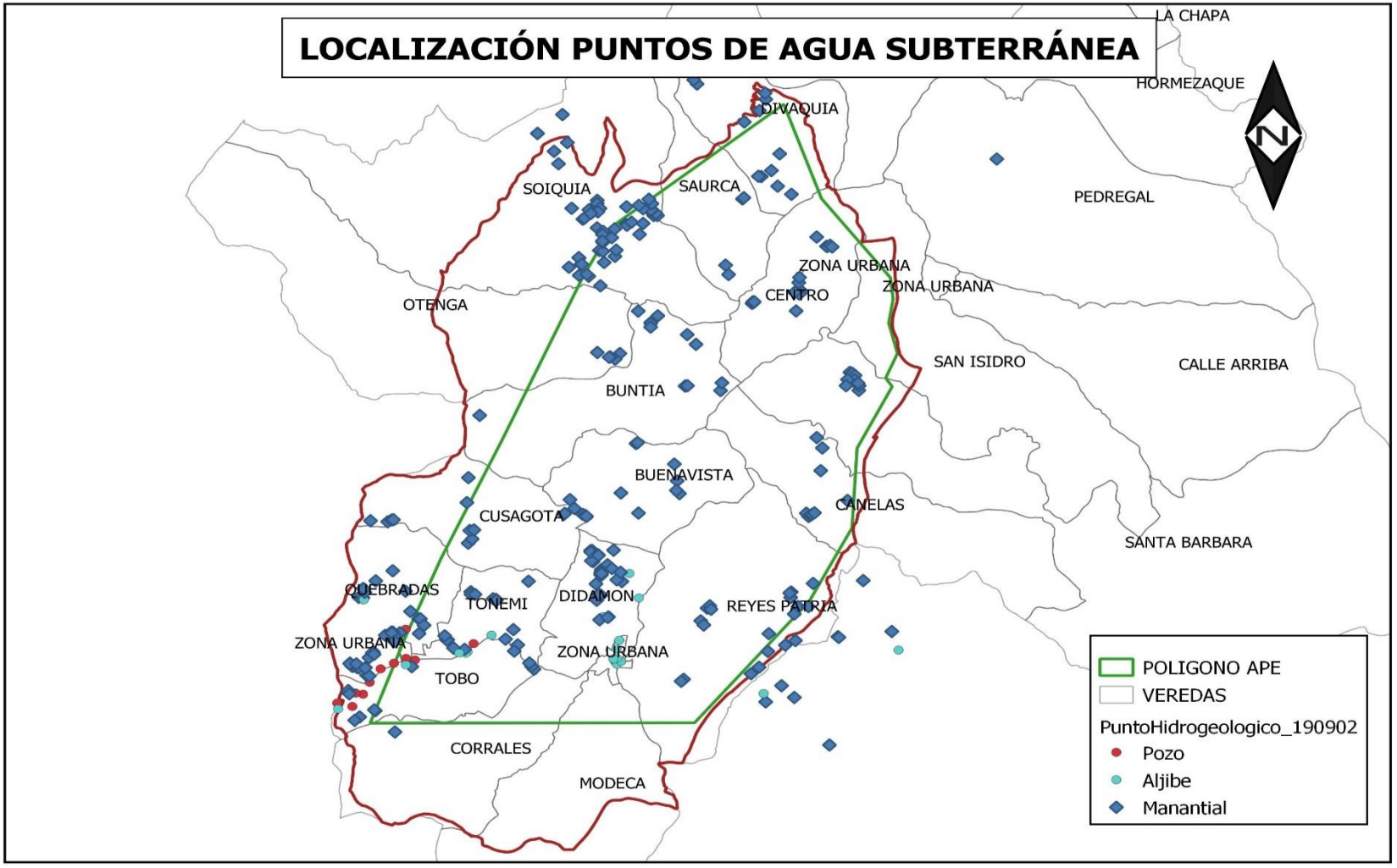


Figura 5-32 Localización de los puntos de agua subterránea en el AI del APE COR-15
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

En la **Tabla 5-40** se presentan las coordenadas, clasificación, unidad geológica y nombre de los puntos de agua subterránea.

Tabla 5-40 Puntos de agua subterránea registrados en el AI del APE COR 15

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1147J	A1	Aljibe	2410	Depósito Cuaternario Aluvial	1136588.5	1136509.1	
WP1561H	A10	Aljibe	2470.2	Depósito Cuaternario Aluvial	1133520.3	1136678.4	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1575H	A11	Aljibe	2485.3	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1132224.3	1136369.1	
WP1569H	A12	Aljibe	2478.3	Depósito Cuaternario Aluvial	1133344.1	1136649.4	
WP1577H	A12	Aljibe	2498	Depósito Cuaternario Aluvial	1132090.4	1137048.1	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1585H	A14	Aljibe	2503.5	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131994.9	1136929.8	
WP015A	A15	Aljibe	2509.4	Formación Concentración	1136368.8	1137505	
WP1189D	A16	Aljibe	2557.8	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131337.9	1137910.2	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP081A	A17	Aljibe	2396.3	Depósito Cuaternario Aluvial	1137123.7	1137952.2	
WP086A	A18	Aljibe	2468.7	Formación Concentración	1136923.8	1138532.3	
WP1498D	A19	Aljibe	2789.6	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131828.6	1139747.5	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1146J	A2	Aljibe	2404.8	Depósito Cuaternario Aluvial	1136660.4	1136522.3	
WP1499D	A20	Aljibe	2793.7	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131833.9	1139759.8	
WP1540D	A21	Aljibe	2492.1	Depósito Cuaternario Aluvial	1131439.3	1136142.6	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1145J	A3	Aljibe	2395.9	Depósito Cuaternario Aluvial	1136748.5	1136448.9	
WP004A	A4	Aljibe	2407.8	Depósito Cuaternario Aluvial	1136661.6	1136382.7	
WP003A	A5	Aljibe	2408.7	Depósito Cuaternario Aluvial	1136612.2	1136461.9	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP002A	A6	Aljibe	2402	Depósito Cuaternario Aluvial	1136711.3	1136950.7	
WP001A	A7	Aljibe	2402.8	Depósito Cuaternario Aluvial	1136649	1136748.8	
WP074´H	A8	Aljibe	2472.5	Formación Girón	1134023.6	1137072.8	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1562H	A9	Aljibe	2472.4	Depósito Cuaternario Aluvial	1133481.9	1136645.6	
WP087H	M1	Manantial	2594.7	Formación Concentración	1140501	1145545	
WP1097J	M10	Manantial	2712.3	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1135945.2	1146925.2	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1586H	M100	Manantial	2507.4	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131982.5	1136923.4	
WP1202D	M101	Manantial	2545.6	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1132215	1138112.6	
WP1197D	M102	Manantial	2582.2	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131946.9	1138597.2	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1194D	M103	Manantial	2560.7	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131589.3	1138358	
WP1192D	M104	Manantial	2578.5	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131338.8	1138169.9	
WP1191D	M105	Manantial	2582.3	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131324.6	1138177.1	
WP1190D	M106	Manantial	2562.6	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131356.1	1138086.8	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP021A	M107	Manantial	2571.1	Formación Tibasosa	1136327.2	1138572.5	
WP020A	M108	Manantial	2573.1	Formación Tibasosa	1136331.4	1138622.7	
WP018A	M109	Manantial	2496	Formación Concentración	1136468.4	1137492.2	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1108J	M11	Manantial	2902.2	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1135618.8	1148739.7	
WP017A	M110	Manantial	2494.5	Formación Concentración	1136484.8	1137503.2	
WP016A	M111	Manantial	2517.3	Formación Concentración	1136297.8	1137434.6	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP028A	M112	Manantial	2636.1	Formación Tibasosa	1136123.6	1138832	
WP027A	M113	Manantial	2625.7	Formación Tibasosa	1136159	1138814.6	
WP026A	M114	Manantial	2530	Formación Une	1136557.5	1138650.1	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP025A	M115	Manantial	2545.9	Formación Une	1136463.4	1138740.2	
WP024A	M116	Manantial	2574.9	Formación Tibasosa	1136336.7	1138531.3	
WP023A	M117	Manantial	2574.5	Formación Tibasosa	1136321.5	1138549.7	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP022A	M118	Manantial	2569.9	Formación Tibasosa	1136339.7	1138562.3	
WP1188D	M119	Manantial	2560.7	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131319.5	1137957.6	
WP1105J	M12	Manantial	2748.2	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1135709.6	1147184.5	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1187D	M120	Manantial	2572.8	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131232	1137967.1	
WP029A	M121	Manantial	2619.2	Formación Tibasosa	1136137.1	1139080.8	
WP044A	M122	Manantial	2791.9	Formación Girón	1135769	1140072.2	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP043A	M123	Manantial	2773.3	Formación Girón	1135674.3	1140281.7	
WP041A	M124	Manantial	2740.7	Formación Girón	1135565.2	1139956.1	
WP040A	M125	Manantial	2743	Formación Girón	1135549.5	1139935.5	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP033A	M126	Manantial	2643	Formación Tibasosa	1136111.1	1139043.4	
WP032A	M127	Manantial	2624.6	Formación Tibasosa	1136107.5	1139073.7	
WP031A	M128	Manantial	2622.8	Formación Tibasosa	1136109.2	1139066.6	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP030A	M129	Manantial	2621.3	Formación Tibasosa	1136125.4	1139075.3	
WP1117J	M13	Manantial	2687.1	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1136073	1147148	
WP050A	M130	Manantial	2545	Formación Tibasosa	1137095.2	1141629.1	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP049A	M131	Manantial	2553.4	Formación Tibasosa	1137062.4	1141609.6	
WP048A	M132	Manantial	2776.4	Formación Girón	1136021.1	1139886.5	
WP047A	M133	Manantial	2778.2	Formación Girón	1135995.3	1139909.7	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP046A	M134	Manantial	2780.2	Formación Girón	1135941.8	1139933.7	
WP1457D	M135	Manantial	2608.5	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1135859.6	1146015.9	
WP1456D	M136	Manantial	2608.8	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1135866.5	1146003.2	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1455D	M137	Manantial	2595.6	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1135906.7	1145860.8	
WP1454D	M138	Manantial	2602.1	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1136366.1	1146164.1	
WP1453D	M139	Manantial	2620.7	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1136291.4	1146184.8	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1116J	M14	Manantial	2812	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1135432.5	1148238	
WP1452D	M140	Manantial	2595.2	Formación Girón	1136619.5	1146045.4	
WP1451D	M141	Manantial	2602.1	Stock de Otengá	1136393.1	1145900.3	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1466D	M142	Manantial	2596.8	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1135924.2	1145856.9	
WP1464D	M143	Manantial	2557.4	Depósito Cuaternario Aluvial	1136314.4	1145347.6	
WP1461D	M144	Manantial	2575	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1136028	1145618.3	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1460D	M145	Manantial	2576.2	Depósito Cuaternario Aluvial	1136069.9	1145573.4	
WP1459D	M146	Manantial	2571	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1135867.5	1145595.6	
WP1458D	M147	Manantial	2614.1	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1135653.7	1145788	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1468D	M148	Manantial	2616.9	Formación Girón	1137522.2	1144637	
WP1467D	M149	Manantial	2539.5	Formación Girón	1137109.6	1144748.3	
WP1115J	M15	Manantial	2873.8	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1135339.2	1148533	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1484D	M150	Manantial	2651.7	Stock de Otengá	1136250.1	1143767.5	
WP1483D	M151	Manantial	2725	Stock de Otengá	1136497.5	1143655.6	
WP1482D	M152	Manantial	2721.3	Stock de Otengá	1136522	1143662.3	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1481D	M153	Manantial	2719.1	Stock de Otengá	1136624.1	1143609.5	
WP1480D	M154	Manantial	2677	Stock de Otengá	1136723.5	1143744	
WP1473D	M155	Manantial	2641.7	Formación Girón	1137370.4	1144368.9	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1472D	M156	Manantial	2641.6	Formación Girón	1137372.5	1144457.2	
WP1471D	M157	Manantial	2635.6	Formación Girón	1137372.9	1144477	
WP078A	M158	Manantial	2605.8	Formación Tibasosa	1136273.2	1138962.5	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP077A	M159	Manantial	2607.9	Formación Tibasosa	1136257.9	1138984	
WP1125J	M16	Manantial	2668.3	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1136114.2	1147060.6	
WP083A	M160	Manantial	2490.8	Formación Concentración	1136660.3	1138382.5	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP082A	M161	Manantial	2479.1	Formación Concentración	1136765.4	1138342.5	
WP074H	M162	Manantial	2471.3	Formación Concentración	1140486.2	1145423.2	
WP072H	M163	Manantial	2571	Formación Concentración	1140397.6	1145193.3	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP071H	M164	Manantial	2492.9	Formación Concentración	1140494.9	1145154.2	
WP070H	M165	Manantial	2498.2	Formación Concentración	1140554	1145208.6	
WP068H	M166	Manantial	2708.2	Formación Picacho	1140430.4	1144751.9	

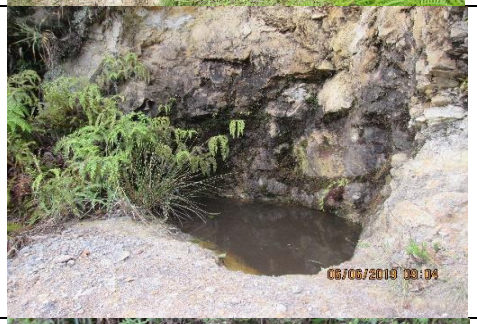
NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP063H	M167	Manantial	2595.5	Formación Concentración	1140466.1	1145211.4	
WP091A	M168	Manantial	2573	Formación Concentración	1137928.4	1140727.1	
WP090A	M169	Manantial	2528.3	Formación Concentración	1137115.3	1139963.3	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1124J	M17	Manantial	2627.4	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1136261.9	1147101	
WP087A	M170	Manantial	2499.5	Formación Concentración	1136739.1	1138560.9	
WP085A	M171	Manantial	2538.4	Formación Une	1136325.1	1138016.2	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP084A	M172	Manantial	2713.4	Formación Tibasosa	1136745.7	1140440.5	
WP099A	M173	Manantial	2514.3	Formación Une	1136591.3	1139083.6	
WP094A	M174	Manantial	2556.7	Formación Concentración	1137868.7	1141124.2	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP093A	M175	Manantial	2501.4	Depósito Cuaternario Coluvial	1137912	1140500.3	
WP092A	M176	Manantial	2490.9	Depósito Cuaternario Coluvial	1137977.1	1140424.5	
WP085H	M177	Manantial	2389.3	Formación Picacho	1140331.5	1147515.4	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP084H	M178	Manantial	2459	Formación Concentración	1140862.7	1146502.4	
WP082H	M179	Manantial	2488.6	Formación Arcillas de Socha	1141188.3	1146267.9	
WP1123J	M18	Manantial	2619.7	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1136304.1	1147179.7	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP081H	M180	Manantial	2455.9	Formación Picacho	1141144.2	1146308.1	
WP080H	M181	Manantial	2565	Formación Picacho	1141085.4	1146279.2	
WP079H	M182	Manantial	2568.6	Formación Picacho	1141069.2	1146283.9	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1495D	M183	Manantial	2424.4	Depósito Cuaternario Coluvial	1138870	1143049.6	
WP1494D	M184	Manantial	2405.8	Depósito Cuaternario Coluvial	1138841.3	1142865.8	
WP1493D	M185	Manantial	2534.2	Depósito Cuaternario Coluvial	1138144.5	1142980	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1492D	M186	Manantial	2536.7	Depósito Cuaternario Coluvial	1138095.5	1142972.2	
WP1486D	M187	Manantial	2648.6	Formación Une	1138139.7	1144190.9	
WP1485D	M188	Manantial	2648.3	Formación Une	1138324	1143960.7	

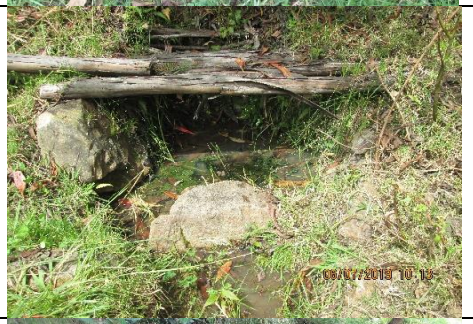
NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP118A	M189	Manantial	3007.8	Formación Guaduas	1139855.9	1137106.4	
WP1120J	M19	Manantial	2629.4	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1136246.6	1147297.6	
WP112A	M190	Manantial	2766.8	Formación Guaduas	1138615	1137767.1	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP111A	M191	Manantial	2755	Formación Guaduas	1138558.8	1137711.5	
WP110A	M192	Manantial	2531.4	Formación Guaduas	1138424.3	1137411.1	
WP123A	M193	Manantial	3034	Formación Labor y Tierna	1139836.3	1136687.1	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP122A	M194	Manantial	3007	Formación Labor y Tierna	1139650.3	1136312.3	
WP121A	M195	Manantial	2962.1	Formación Labor y Tierna	1139481.4	1136157.2	
WP091H	M196	Manantial	2605.9	Formación Plaeners	1139698.1	1147935.4	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP090H	M197	Manantial	2496.5	Formación Plaeners	1140042.2	1147707.3	
WP101H	M198	Manantial	2844.3	Formación Girón	1139778.4	1149913.9	
WP100H	M199	Manantial	2841.1	Formación Girón	1139792.8	1149765.2	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP128A	M2	Manantial	2781.1	Formación Areniscas de Socha	1138487.5	1137311.2	
WP1119J	M20	Manantial	2644.7	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1136247.7	1147372.6	
WP098H	M200	Manantial	2820	Formación Girón	1139660.5	1149497.9	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP097H	M201	Manantial	2925.7	Formación Girón	1139340.7	1149228.7	
WP095H	M202	Manantial	2681.8	Formación Tibasosa	1140084.5	1148473.7	
WP093H	M203	Manantial	2618.1	Formación Plaeners	1139910	1148077.4	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP092H	M204	Manantial	2611.1	Formación Tibasosa	1139637.8	1147941.9	
WP1497D	M205	Manantial	2745.5	Formación Girón	1134802.3	1138348.4	
WP1507D	M206	Manantial	2660.3	Stock de Otengá	1133676.3	1138036.5	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1506D	M207	Manantial	2645.9	Stock de Otengá	1133593	1138036.9	
WP1505D	M208	Manantial	2659.1	Stock de Otengá	1133588.6	1138100	
WP1503D	M209	Manantial	2843.1	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131479	1139781.5	

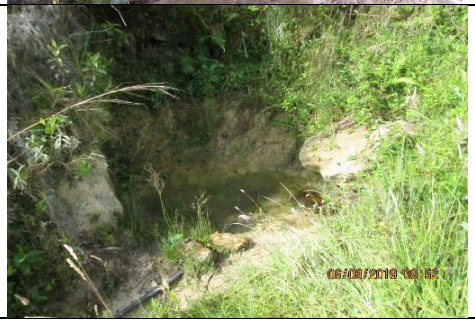
NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1130J	M21	Manantial	2548.7	Formación Tibasosa	1136284.9	1138029.1	
WP1502D	M210	Manantial	2784.8	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131960.2	1139807	
WP1501D	M211	Manantial	2790	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131919.5	1139798.1	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1500D	M212	Manantial	2792.5	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131841.5	1139758.4	
WP1511D	M213	Manantial	2552.2	Formación Tibasosa	1134484.5	1137203	
WP1510D	M214	Manantial	2597.7	Formación Girón	1134123.7	1137892.9	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1509D	M215	Manantial	2605.5	Formación Girón	1134121.2	1137919.1	
WP1508D	M216	Manantial	2628.4	Stock de Otengá	1134057.7	1137933.7	
WP136A	M217	Manantial	2565.7	Formación Chipaque	1140692.7	1139882.9	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP135A	M218	Manantial	2551.3	Formación Plaeners	1140644.7	1139960.5	
WP105H	M219	Manantial	2472.5	Formación Concentración	1139502.2	1144930	
WP1129J	M22	Manantial	2549.4	Formación Tibasosa	1136284.7	1138043.7	
WP118H	M220	Manantial	2542.2	Formación Tibasosa	1139302.4	1147405	No hay registro fotográfico

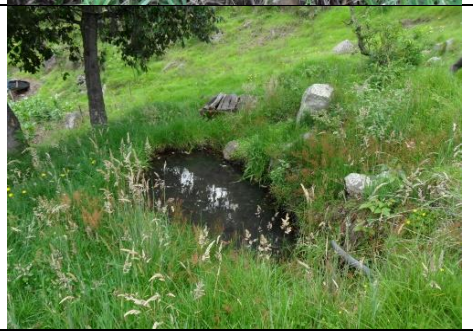
NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP113H	M221	Manantial	2595.8	Formación Guaduas	1138946	1145836.1	
WP112H	M222	Manantial	2576.8	Formación Guaduas	1139010.4	1145614.3	
WP110H	M223	Manantial	2476.1	Formación Concentración	1139548.2	1144970.6	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP109H	M224	Manantial	2479.7	Formación Concentración	1139523.7	1144972.9	
WP108H	M225	Manantial	2478.5	Formación Concentración	1139541.7	1144962.1	
WP107H	M226	Manantial	2478.5	Formación Concentración	1139540.1	1144953.9	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP106H	M227	Manantial	2476.3	Formación Concentración	1139522.6	1144946.2	
WP119H	M228	Manantial	2549.6	Formación Tibasosa	1139331.4	1147435	No hay registro fotográfico
WP1518D	M229	Manantial	2568.4	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131146.8	1135053.8	
WP1148J	M23	Manantial	2579.6	Formación Girón	1136553.5	1146489.1	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1517D	M230	Manantial	2544.6	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131251.8	1135134.6	
WP1532D	M231	Manantial	2522.7	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131012	1135759.4	
WP1531D	M232	Manantial	2512.4	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131008.8	1135719.5	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1521D	M233	Manantial	2630.8	Formación Cuche	1131993.4	1134778.1	
WP1520D	M234	Manantial	2563.4	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131559.5	1135302.6	
WP1519D	M235	Manantial	2568.4	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131580.5	1135281	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1534D	M236	Manantial	2502.6	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131033.2	1135682.9	
WP142A	M237	Manantial	2865.3	Formación Chipaque	1140948	1140968.6	
WP140A	M238	Manantial	2857	Formación Labor y Tierna	1141510.1	1140263	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP139A	M239	Manantial	2607.3	Formación Chipaque	1140816.1	1139969.9	
WP1158J	M24	Manantial	2888	Formación Girón	1137514	1147011.3	
WP138A	M240	Manantial	2587.1	Formación Chipaque	1140763.8	1139933.1	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP137A	M241	Manantial	2577.1	Formación Chipaque	1140732.7	1139910.3	
WP146A	M242	Manantial	2520	Formación Chipaque	1141561.2	1143297.5	
WP145A	M243	Manantial	2866.8	Formación Plaeners	1140864.3	1141751.9	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP143A	M244	Manantial	2861.8	Formación Chipaque	1140981.4	1141506	
WP154A	M245	Manantial	2568.1	Formación Chipaque	1141733.1	1143041	
WP153A	M246	Manantial	2580.7	Formación Chipaque	1141755.5	1142980.1	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP152A	M247	Manantial	2583.4	Formación Chipaque	1141480.3	1142980.8	
WP151A	M248	Manantial	2566.2	Formación Chipaque	1141512.7	1143126.5	
WP150A	M249	Manantial	2598.9	Formación Chipaque	1141748.8	1142870.4	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1156J	M25	Manantial	2848.7	Formación Girón	1137435.8	1147012.1	
WP149A	M250	Manantial	2549.8	Formación Chipaque	1141660.2	1143118.3	
WP148A	M251	Manantial	2530.9	Formación Chipaque	1141669.2	1143224.8	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP147A	M252	Manantial	2522.5	Formación Chipaque	1141613.4	1143274.2	
WP1542D	M253	Manantial	2489.9	Depósito Cuaternario Aluvial	1131453.4	1136105.9	
WP1541D	M254	Manantial	2493.6	Depósito Cuaternario Aluvial	1131396.6	1136122.1	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1537D	M255	Manantial	2739	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1133538	1140802.2	
WP1536D	M256	Manantial	2662.7	Stock de Otengá	1133506.2	1140212.1	
WP1535D	M257	Manantial	2916.8	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1133774.9	1142278.2	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1155J	M26	Manantial	2780.9	Formación Girón	1137137.2	1146564.9	
WP1153J	M27	Manantial	2752.4	Formación Girón	1137211.6	1146825.1	
WP1152J	M28	Manantial	2670.1	Formación Girón	1136968.8	1146855.8	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1151J	M29	Manantial	2648.3	Formación Girón	1136871.9	1146781.1	
WP126A	M3	Manantial	2749.3	Formación Guaduas	1138640.8	1137684.3	
WP1150J	M30	Manantial	2629.9	Formación Girón	1136847	1146807	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1149J	M31	Manantial	2586.1	Depósito Cuaternario Aluvial	1136614.2	1146695.9	
WP1169J	M32	Manantial	2673.9	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1136863.3	1147220.4	
WP1167J	M33	Manantial	2702.9	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1137122.8	1147252.5	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1166J	M34	Manantial	2743.9	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1137212.5	1147172.7	
WP1164J	M35	Manantial	2782.7	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1137334.2	1147399	
WP1163J	M36	Manantial	2792.2	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1137397.7	1147292	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1162J	M37	Manantial	2798.9	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1137377.9	1147145.6	
WP1161J	M38	Manantial	2793.4	Formación Girón	1137365.9	1147117.4	
WP1159J	M39	Manantial	2879.7	Formación Girón	1137481.6	1147064	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1104J	M4	Manantial	2616.5	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1136354.6	1146408.4	
WP1172J	M40	Manantial	2600.6	Formación Girón	1136647.8	1146192.7	
WP1096J	M41	Manantial	2630.8	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1136244.3	1146719.8	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1185D	M42	Manantial	2695.9	Stock de Otengá	1133654.8	1139564.1	
WP1183D	M43	Manantial	2698.6	Stock de Otengá	1133567	1139550.1	
WP1182D	M44	Manantial	2670.2	Stock de Otengá	1133616.7	1139349.7	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1181D	M45	Manantial	2685.4	Stock de Otengá	1133533.3	1139249.9	
WP010A	M46	Manantial	2572.5	Formación Tibasosa	1136329.7	1138505.7	
WP009A	M47	Manantial	2571.8	Formación Tibasosa	1136220.6	1138285.6	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP007A	M48	Manantial	2552.2	Formación Tibasosa	1136237.7	1137897.8	
WP005A	M49	Manantial	2549.3	Formación Tibasosa	1136273.6	1138027.5	
WP1103J	M5	Manantial	2614.7	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1136365.1	1146375.3	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP012A	M50	Manantial	2572.6	Formación Tibasosa	1136333.3	1138493.2	
WP011A	M51	Manantial	2572.5	Formación Tibasosa	1136317.1	1138503.7	
WP167A	M52	Manantial	3013.3	Formación Los Pinos	1140689.8	1137748.6	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP065H	M53	Manantial	2454	Formación Tibasosa	1134502	1136694.2	
WP064H	M54	Manantial	2491.2	Formación Tibasosa	1134575.9	1136840.2	
WP060H	M55	Manantial	2437.1	Formación Tibasosa	1134821.6	1136412.5	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP059H	M56	Manantial	2434	Formación Une	1134864.4	1136332.5	
WP058H	M57	Manantial	2439.1	Formación Une	1134917	1136266	
WP073H	M58	Manantial	2466	Depósito Cuaternario Aluvial	1134319.2	1136977.7	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1550D	M59	Manantial	2534.3	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131181.5	1136391	
WP1100J	M6	Manantial	2605.7	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1136357.1	1146563.1	
WP1549D	M60	Manantial	2540.3	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131042.9	1136395.5	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1548D	M61	Manantial	2541.7	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131047.6	1136409.5	
WP1547D	M62	Manantial	2537.1	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131061.3	1136382.4	
WP1546D	M63	Manantial	2530	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131085.9	1136340	

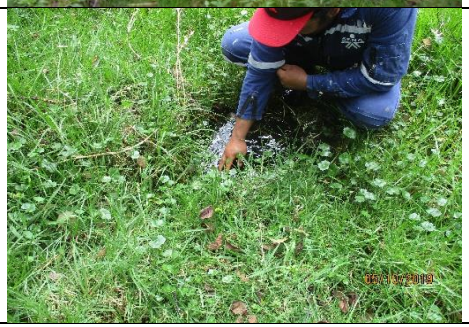
NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1545D	M64	Manantial	2526.1	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131112.3	1136331.9	
WP1544D	M65	Manantial	2512.8	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131224.7	1136298.6	
WP1543D	M66	Manantial	2510.7	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131193.2	1136307.6	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1557D	M67	Manantial	2502.1	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131555.4	1136617.9	
WP1556D	M68	Manantial	2502.4	Depósito Cuaternario Aluvial	1131516.7	1136650.3	
WP1555D	M69	Manantial	2503.4	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131538.7	1136674.1	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1102J	M7	Manantial	2603.5	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1136370.7	1146636.6	
WP1553D	M70	Manantial	2500.2	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131447.5	1136539	
WP1552D	M71	Manantial	2507.2	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131366.5	1136294.5	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1551D	M72	Manantial	2507.1	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131371.6	1136302.8	
WP166A	M73	Manantial	3061.6	Formación Labor y Tierna	1140390	1137570.8	
WP165A	M74	Manantial	2892.8	Formación Labor y Tierna	1140787.9	1138297.2	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP164A	M75	Manantial	3015.4	Formación Labor y Tierna	1140473.3	1137748.1	
WP163A	M76	Manantial	2983.7	Formación Los Pinos	1140295.8	1138069.3	
WP162A	M77	Manantial	2979.6	Formación Labor y Tierna	1140327.1	1138094.2	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP161A	M78	Manantial	3008.1	Formación Los Pinos	1140315.1	1137962.2	
WP159A	M79	Manantial	2616.3	Formación Guaduas	1138012.2	1135980.3	
WP1101J	M8	Manantial	2607.6	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1136369.3	1146574.4	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP158A	M80	Manantial	2644.7	Formación Guaduas	1138064.3	1136026.1	
WP1563H	M81	Manantial	2472.9	Depósito Cuaternario Aluvial	1133458.4	1136735.1	
WP1574H	M82	Manantial	2502.9	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1132347.3	1136324.5	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1568H	M83	Manantial	2568.2	Stock de Otengá	1133039.6	1137055	
WP1567H	M84	Manantial	2542.9	Stock de Otengá	1133083.4	1136957.2	
WP1566H	M85	Manantial	2538.6	Stock de Otengá	1133102.9	1136963.2	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1565H	M86	Manantial	2495.3	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1133223	1136770.3	
WP1564H	M87	Manantial	2493	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1133229.1	1136762	
WP1579H	M88	Manantial	2506.4	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131987.4	1137062.1	

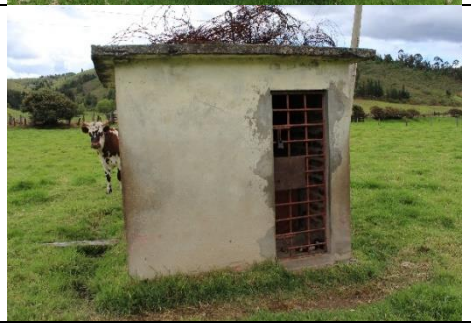
NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1578H	M89	Manantial	2503	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1132097.8	1137129.1	
WP1098J	M9	Manantial	2705.7	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1135980.3	1146951.3	
WP1584H	M90	Manantial	2511.2	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131925.9	1137124.2	

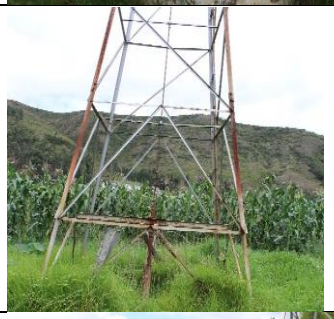
NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1583H	M91	Manantial	2510.6	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131947	1137142.1	
WP1582H	M92	Manantial	2516.2	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131941.1	1137147.7	
WP1581H	M93	Manantial	2514.6	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131919.8	1137146.8	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1580H	M94	Manantial	2522	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1131789.1	1137068.9	
WP1593H	M95	Manantial	2540.7	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1132500.6	1137108.9	
WP1592H	M96	Manantial	2569.4	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1132605	1137305.3	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1591H	M97	Manantial	2532.7	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1132526.8	1137459	
WP1590H	M98	Manantial	2528.9	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1132494.3	1137457.5	
WP1587H	M99	Manantial	2538.4	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1132320.2	1137634	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1448D	P1	Pozo	2489.8	Depósito Cuaternario Aluvial	1132227.5	1136520.3	
WP1539D	P10	Pozo	2487.2	Depósito Cuaternario Aluvial	1131461.5	1135954.9	
WP1447D	P2	Pozo	2490.9	Depósito Cuaternario Aluvial	1132414.1	1136483.1	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1450D	P3	Pozo	2479.7	Depósito Cuaternario Aluvial	1133646.2	1136870.3	
WP1559D	P4	Pozo	2486.9	Depósito Cuaternario Aluvial	1131970.5	1136406.6	
WP1558D	P5	Pozo	2487.5	Depósito Cuaternario Aluvial	1131691.9	1136273.6	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1560D	P6	Pozo	2502.7	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1132219.7	1137214.8	
WP1530D	P7	Pozo	2496	Depósito Cuaternario Aluvial	1131167.7	1135697.8	
WP1527D	P8	Pozo	2496.8	Depósito Cuaternario Aluvial	1131097	1135383.4	

NOMBRE	ID PUNTO	TIPO PUNTO	COTA [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	ESTE m	NORTE m	FOTOGRAFÍA
WP1525D	P9	Pozo	2494.1	Depósito Cuaternario Aluvial	1131322.6	1135673.4	

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

Los puntos se distribuyen altitudinalmente entre los 2389 msnm y los 3062 msnm. En la **Figura 5-33** se presenta la distribución altitudinal de los puntos de agua subterránea. Casi un 60 % de los puntos se localizan en la franja altitudinal del 2450 msnm y 2650 msnm, un 5 % por debajo de 2450 msnm y el 35 % restante sobre los 2650 msnm

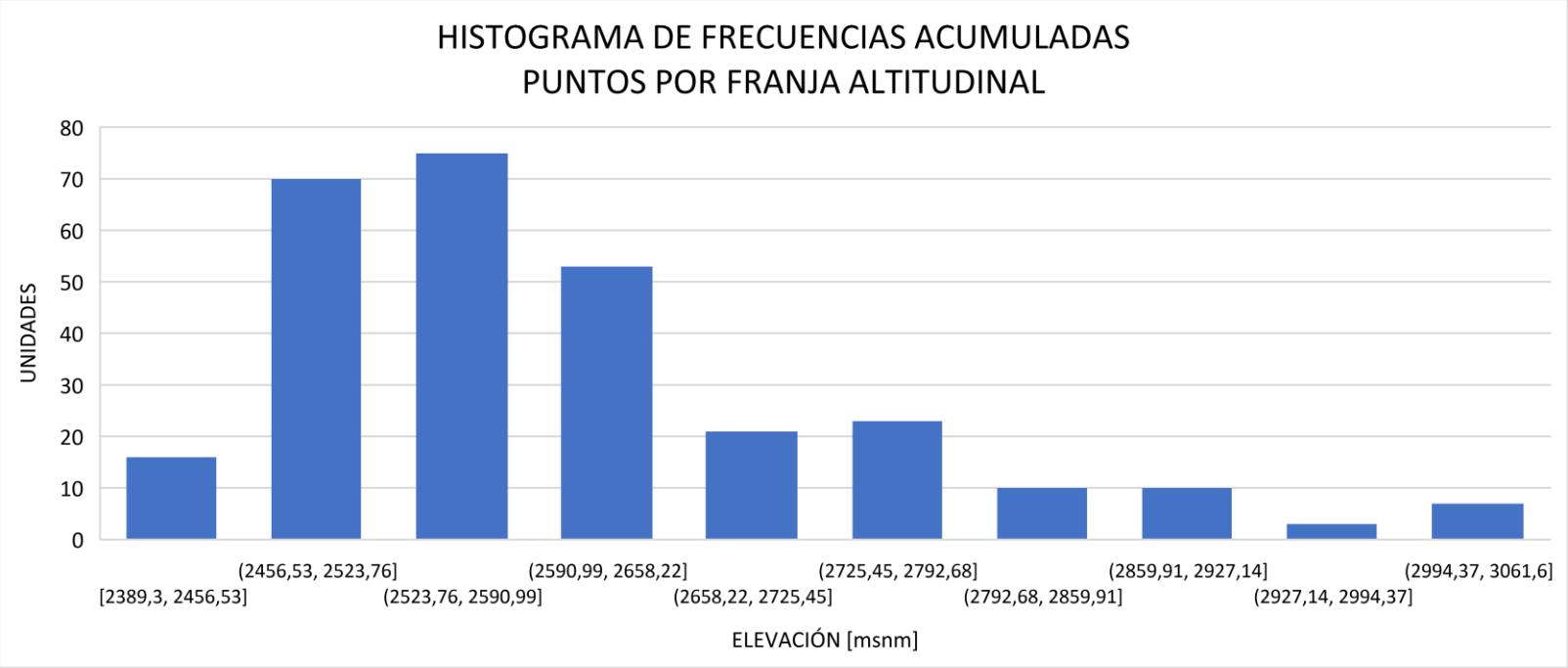


Figura 5-33 Distribución altitudinal de los puntos de agua subterránea registrados en el AI del APE COR-15
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

Los puntos son clasificados así: 10 pozos (3.5 %), 21 aljibes (7.3 %) y 257 manantiales (89.2 %). De allí se nota que casi un 90 % de los puntos de agua son manifestaciones naturales, mientras que poco más del 10 % son obras realizadas por el hombre en busca del agua subterránea. Esta observación da cuenta que, al englobar todo el AI, el uso y desarrollo de infraestructura para el aprovechamiento de agua subterránea es incipiente y que es más común usar fuentes de agua subterránea que surgen de manera natural por el comportamiento propio del sistema hídrico subterráneo. Sin embargo, este comportamiento es disparejo entre los municipios. En la **Tabla 5-41** se presenta la cantidad de puntos de agua subterránea que se registraron en cada municipio, haciendo la discriminación entre tipo de punto.

Tabla 5-41 Puntos de agua subterránea por municipio

MUNICIPIO	ALJIBE	POZO	MANANTIAL	TOTAL
Betéitiva			98	98
Busbanzá	11	10	81	102
Corrales	10		60	70
Tasco			18	18

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

Los pozos se reportaron únicamente en el municipio de Busbanzá, con un total de 10. En este municipio es donde más existen obras para el aprovechamiento de agua (aljibes y pozos), incluso hay tres pozos propiedad del municipio, de los que se abastece el casco urbano. En el municipio de Corrales también se encuentran aljibes excavados (10), asociados a los depósitos aluviales del cuaternario presentes en el valle del río Chicamocha. Se construyó la **Tabla 5-42** para reconocer la distribución de los puntos en las veredas del AI y así tener una idea de la riqueza hídrica subterránea actual.

Tabla 5-42 Puntos de agua subterránea por vereda

MUNICIPIO	VEREDA	POZO	ALJIBE	MANANTIAL	TOTAL GENERAL
BETÉITIVA	Buntia			12	12
	Centro			17	17
	Divaquía			10	10
	Otengá			5	5
	Saurca			4	4
	Soiquía			49	49
	Zona Urbana			1	1
BUSBANZÁ	Cusagota		2	16	18
	Quebradas	3	4	37	44
	Tobo	6	3	12	21
	Tonemí	1	2	16	19
CORRALES	Buenavista			9	9
	Corrales			1	1
	Didamón		3	32	35
	Reyes Patria			18	18
	Zona Urbana		7		7
TASCO	Canelas			9	9
	Santa Bárbara			9	9

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

Las veredas con mayor presencia de manifestaciones de agua subterránea son: Soiquía de Betéitiva con 49 manantiales, Quebradas de Busbanzá con 3 pozos, 4 aljibes y 37 manantiales para un total de 44 puntos, y Didamón de Corrales con 3 aljibes y 32 manantiales.

Los puntos hidrogeológicos se encontraron en 17 de las 23 unidades geológicas presentes en el AI.; en la **Tabla 5-43** se presenta la distribución de los puntos de agua subterránea por unidad geológica captada. Las formaciones con mayor presencia de manifestaciones de agua subterránea son: Filitas y Esquistos de Busbanzá con 1 pozo, 5 aljibes y 83 manantiales, para un total de 89 puntos, Depósito Cuaternario Aluvial con 9 pozos, 13 aljibes y 8 manantiales, para un total de 30 puntos, Tibasosa con 33 manantiales, Girón con 1 aljibe y 31 manantiales, para 32 puntos.

Se encontró que los pozos están en un 90 % en Depósito Cuaternario Aluvial y un 10 % en el espesor meteorizado de las Filitas y Esquistos de Busbanzá. Los aljibes se presentan principalmente en el Depósito Cuaternario Aluvial con un 62 %, seguido por Filitas y Esquistos de Busbanzá con 24 %, Concentración con 9 %, por último, Girón con 5 %. Los manantiales se encontraron en mayor proporción en las Filitas y Esquistos de Busbanzá con 32 %, Tibasosa con 13%, Girón con 12 %, Concentración con 9 %, Depósito Cuaternario Aluvial con 3 % y Depósito Cuaternario Coluvial 2 %.

Tabla 5-43 Puntos de agua subterránea por unidad geológica

UNIDAD GEOLÓGICA	POZO	ALJIBE	MANANTIAL	TOTAL
Depósito Cuaternario Aluvial	9	13	8	30
Depósito Cuaternario Coluvial			6	6
Formación Arcillas de Socha			1	1
Formación Areniscas de Socha			1	1
Formación Chipaque			15	15
Formación Concentración		2	22	24
Formación Cuche			1	1
Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	1	5	83	89
Formación Girón		1	31	32
Formación Guaduas			9	9
Formación Labor y Tierna			8	8
Formación Los Pinos			3	3
Formación Picacho			5	5
Formación Plaeners			5	5
Formación Tibasosa			33	33
Formación Une			8	8
Stock de Otengá			18	18

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

La profundidad al nivel freático fue medida con sonda eléctrica de nivel en tres aljibes en Depósito Cuaternario Aluvial en el casco urbano de Corrales, los valores medidos van entre 1.7 m y 2.3 m. El nivel freático estaba entre 2407 msnm y 2397 msnm. El nivel disminuye en dirección al río Chicamocha, por lo que se estima que el flujo de agua subterránea va hacia el río.

- **Parámetros fisicoquímicos in situ**

Se midieron los parámetros pH, conductividad eléctrica, temperatura y sólidos totales disueltos a 257 puntos de los 288 puntos inventariados, que representan cerca de 90 % del total. En la **Tabla 5-44**, **Tabla 5-45** y **Tabla 5-46** se presentan los resultados obtenidos para pozos, aljibes y manantiales, respectivamente.

Tabla 5-44 Parámetros fisicoquímicos de pozos inventariados

NOMBRE	ELEVACIÓN [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	CE [µS/cm]	Temperatura [°C]	STD [ppm]	pH
WP1525D	2494.1	Depósito Cuaternario Aluvial	492	22.5	249	7.28
WP1527D	2496.8	Depósito Cuaternario Aluvial	290	22.5	149	7.52

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

Tabla 5-45 Parámetros fisicoquímicos de aljibes inventariados

NOMBRE	ELEVACIÓN [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	CE [µS/cm]	Temperatura [°C]	STD [ppm]	pH
WP003A	2408.7	Depósito Cuaternario Aluvial	1124	16.3	576	7.1
WP004A	2407.8	Depósito Cuaternario Aluvial	1696	18.2	847	7.2
WP074´H	2472.5	Formación Girón	470	17.5	230	7.34
WP1498D	2789.6	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	143	17.5	87	7.2
WP1499D	2793.7	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	183	16.5	93	6.6
WP1561H	2470.2	Depósito Cuaternario Aluvial	890	17.2	440	6.84
WP1562H	2472.4	Depósito Cuaternario Aluvial	830	17	410	7.14
WP1569H	2478.3	Depósito Cuaternario Aluvial	1090	16	550	6.29
WP1575H	2485.3	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	250	19.5	130	6.94
WP1577H	2498	Depósito Cuaternario Aluvial	370	17	180	7
WP1585H	2503.5	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	190	17.7	90	6.86

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

Tabla 5-46 Parámetros fisicoquímicos de manantiales inventariados

NOMBRE	ELEVACIÓN [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	CE [µS/cm]	Temperatura [°C]	STD [ppm]	pH
WP005A	2549.3	Formación Tibasosa	992	16.4	501	7.42
WP007A	2552.2	Formación Tibasosa	586	17.3	293	7.98
WP009A	2571.8	Formación Tibasosa	827	16.7	412	8.01
WP010A	2572.5	Formación Tibasosa	780	16.9	389	7.82
WP011A	2572.5	Formación Tibasosa	803	17.4	401	7.37
WP012A	2572.6	Formación Tibasosa	785	17	393	7.84
WP016A	2517.3	Formación Concentración	1012	14.3	513	7.82
WP017A	2494.5	Formación Concentración	1129	17.8	571	7.45
WP018A	2496	Formación Concentración	1049	17.7	516	7.94
WP020A	2573.1	Formación Tibasosa	726	21.9	370	8.16
WP021A	2571.1	Formación Tibasosa	713	22.3	355	7.84
WP022A	2569.9	Formación Tibasosa	584	19.3	290	8.16
WP023A	2574.5	Formación Tibasosa	769	19.1	384	7.82
WP024A	2574.9	Formación Tibasosa	811	16.8	408	7.85
WP025A	2545.9	Formación Une	1080	22.5	542	8.13
WP026A	2530	Formación Une	1335	17.8	658	7.67
WP027A	2625.7	Formación Tibasosa	798	17.6	393	7.64
WP028A	2636.1	Formación Tibasosa	748	21.8	373	7.98
WP029A	2619.2	Formación Tibasosa	522	15.1	258	7.33
WP030A	2621.3	Formación Tibasosa	557	14.4	283	7.8
WP031A	2622.8	Formación Tibasosa	416	14.7	207	6.56
WP032A	2624.6	Formación Tibasosa	466	15.4	232	7.48

NOMBRE	ELEVACIÓN [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	CE [µS/cm]	Temperatura [°C]	STD [ppm]	pH
WP033A	2643	Formación Tibasosa	586	14.6	301	7.52
WP040A	2743	Formación Girón	54	16.8	27	7.48
WP041A	2740.7	Formación Girón	53	15.8	27	7.44
WP043A	2773.3	Formación Girón	108	16.4	56	6.93
WP044A	2791.9	Formación Girón	32	17.5	16	7.22
WP046A	2780.2	Formación Girón	47	18.6	23	7.2
WP047A	2778.2	Formación Girón	55	15.7	27	7.1
WP048A	2776.4	Formación Girón	62	16.6	30	7.13
WP049A	2553.4	Formación Tibasosa	96	15.5	49	6.69
WP050A	2545	Formación Tibasosa	820	15.7	402	6.62
WP058H	2439.1	Formación Une	200	15.9	100	7.52
WP059H	2434	Formación Une	320	16	160	7.01
WP060H	2437.1	Formación Tibasosa	430	14	210	7
WP063H	2595.5	Formación Concentración	210	15.3	140	6.6
WP064H	2491.2	Formación Tibasosa	680	16.2	340	7.18
WP065H	2454	Formación Tibasosa	710	15	350	7.27
WP068H	2708.2	Formación Picacho	120	18	60	5.37
WP070H	2498.2	Formación Concentración	170	16	80	5.71
WP071H	2492.9	Formación Concentración	240	15.5	120	6.17
WP072H	2571	Formación Concentración	270	21	140	8.38
WP073H	2466	Depósito Cuaternario Aluvial	390	16.5	190	7.73
WP074H	2471.3	Formación Concentración	220	17	120	8.04
WP077A	2607.9	Formación Tibasosa	740	19.6	440	7.08
WP078A	2605.8	Formación Tibasosa	810	16.6	400	7.8
WP079H	2568.6	Formación Picacho	80	15	40	4.78
WP080H	2565	Formación Picacho	30	15	30	4.54
WP081H	2455.9	Formación Picacho	250	16	130	3.37
WP082A	2479.1	Formación Concentración	1710	20.1	870	7.44
WP082H	2488.6	Formación Arcillas de Socha	200	18	100	6.2
WP083A	2490.8	Formación Concentración	2650	19.1	1310	7.08
WP084A	2713.4	Formación Tibasosa	770	14.5	370	7.69
WP084H	2459	Formación Concentración	50	15	20	6.13
WP085A	2538.4	Formación Une	1130	15.1	560	7.94
WP085H	2389.3	Formación Picacho	1060	16	530	6.99
WP087A	2499.5	Formación Concentración	1760	16.1	880	7.78
WP087H	2594.7	Formación Concentración	550	19	280	7.26
WP090A	2528.3	Formación Concentración	170	17.8	60	8.77
WP090H	2496.5	Formación Plaeners	510	17	260	7.22
WP091A	2573	Formación Concentración	140	17.4	70	8.13
WP091H	2605.9	Formación Plaeners	110	14	50	7.01
WP092A	2490.9	Depósito Cuaternario Coluvial	1280	18.4	640	4.59
WP092H	2611.1	Formación Tibasosa	200	14	100	6.73
WP093A	2501.4	Depósito Cuaternario Coluvial	450	21	230	7.97
WP093H	2618.1	Formación Plaeners	190	19.6	90	7.06
WP094A	2556.7	Formación Concentración	60	21.2	30	8.35
WP095H	2681.8	Formación Tibasosa	100	17	50	6.78

NOMBRE	ELEVACIÓN [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	CE [µS/cm]	Temperatura [°C]	STD [ppm]	pH
WP097H	2925.7	Formación Girón	10	14	10	7.5
WP098H	2820	Formación Girón	80	16	50	6.55
WP099A	2514.3	Formación Une	1140	20.1	570	7.32
WP100H	2841.1	Formación Girón	40	16	20	5.87
WP101H	2844.3	Formación Girón	30	17	20	6.12
WP105H	2472.5	Formación Concentración	160	16	80	7.3
WP106H	2476.3	Formación Concentración	110	17	50	7.57
WP107H	2478.5	Formación Concentración	160	16	70	7.18
WP108H	2478.5	Formación Concentración	110	16	50	6.84
WP1096J	2630.8	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	118	20	59	6.76
WP1097J	2712.3	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	69	17.1	35	6.31
WP1098J	2705.7	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	81	16.8	40	6.13
WP109H	2479.7	Formación Concentración	150	18	70	6.67
WP1100J	2605.7	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	283	15.2	141	6.49
WP1101J	2607.6	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	202	16.4	102	6.57
WP1102J	2603.5	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	152	15.2	75	6.19
WP1103J	2614.7	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	78	20		6.06
WP1104J	2616.5	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	93	16.6	47	5.94
WP1105J	2748.2	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	92	18.6	47	6.21
WP1108J	2902.2	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	43	15.4	21	5.93
WP110A	2531.4	Formación Guaduas	220	14.7	110	7.8
WP110H	2476.1	Formación Concentración	130	17	70	6.73
WP1115J	2873.8	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	80	13.9	40	6.57
WP1116J	2812	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	41	15.8	21	6.85
WP1117J	2687.1	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	88	17.4	45	6.77
WP1119J	2644.7	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	124	17.1	62	6.21
WP111A	2755	Formación Guaduas	510	14.8	250	7.78
WP1120J	2629.4	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	97	16.8	48	6.49
WP1123J	2619.7	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	102	17.3	51	6.1
WP1124J	2627.4	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	132	19.8	66	6.54
WP1125J	2668.3	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	109	18.8	54	7.42
WP1129J	2549.4	Formación Tibasosa	1217	15.3	604	7.49
WP112A	2766.8	Formación Guaduas	60	15.4	40	7.78
WP112H	2576.8	Formación Guaduas	300	17	140	6.72
WP1130J	2548.7	Formación Tibasosa	1104	15	551	7.23
WP113H	2595.8	Formación Guaduas	770	17.2	380	6.97
WP1148J	2579.6	Formación Girón	63	14.3	31	6.04
WP1149J	2586.1	Depósito Cuaternario Aluvial	346	16.3	173	6.45
WP1150J	2629.9	Formación Girón	105	15.3	54	5.86
WP1151J	2648.3	Formación Girón	85	15.3	42	6.16
WP1152J	2670.1	Formación Girón	171	15.9	85	6.53
WP1153J	2752.4	Formación Girón	30	14	15	6.27
WP1155J	2780.9	Formación Girón	77	14.5	38	6.27
WP1156J	2848.7	Formación Girón	27	14.7	14	6.29
WP1158J	2888	Formación Girón	17	14.4	8	6.12
WP1159J	2879.7	Formación Girón	31	14.9	15	5.72

NOMBRE	ELEVACIÓN [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	CE [µS/cm]	Temperatura [°C]	STD [ppm]	pH
WP1161J	2793.4	Formación Girón	15	15.8	7	5.88
WP1162J	2798.9	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	29	14.5	14	5.96
WP1164J	2782.7	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	53	15.1	26	5.61
WP1166J	2743.9	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	59	17	29	5.68
WP1167J	2702.9	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	246	16	123	6.62
WP1169J	2673.9	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	87	16.5	42	6.14
WP1172J	2600.6	Formación Girón	43	14.6	22	6.16
WP1181D	2685.4	Stock de Otengá	162	15.1	80	6.65
WP1182D	2670.2	Stock de Otengá	210	12.8	106	6.52
WP1183D	2698.6	Stock de Otengá	85	14.1	43	6.98
WP1185D	2695.9	Stock de Otengá	41	14.3	18	7.38
WP1187D	2572.8	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	123	18.3	63	6.70
WP1188D	2560.7	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	127	18.0	63	6.88
WP118A	3007.8	Formación Guaduas	80	17.4	40	8.33
WP1190D	2562.6	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	130	20.3	65	6.94
WP1191D	2582.3	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	132	16.6	68	6.88
WP1192D	2578.5	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	113	16.6	58	6.94
WP1194D	2560.7	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	179	17.1	88	7.03
WP1197D	2582.2	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	192	16.9	97	6.63
WP1202D	2545.6	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	208	16.8	104	6.76
WP121A	2962.1	Formación Labor y Tierna	20	14.7	10	7.95
WP122A	3007	Formación Labor y Tierna	170	16.7	90	7.45
WP123A	3034	Formación Labor y Tierna	60	16.7	30	7.52
WP126A	2749.3	Formación Guaduas	80	14.3	40	8.33
WP128A	2781.1	Formación Areniscas de Socha	30	14.1	20	8.3
WP135A	2551.3	Formación Plaeners	500	16.4	250	7.24
WP136A	2565.7	Formación Chipaque	880	17.3	440	7.18
WP137A	2577.1	Formación Chipaque	700	16.2	350	7.67
WP138A	2587.1	Formación Chipaque	690	16.3	350	7.19
WP139A	2607.3	Formación Chipaque	550	17.5	260	7.7
WP140A	2857	Formación Labor y Tierna	130	17	70	8.32
WP142A	2865.3	Formación Chipaque	100	18.4	50	6.78
WP143A	2861.8	Formación Chipaque	130	14.8	70	6.75
WP1451D	2602.1	Stock de Otengá	129	13.8	64	6.26
WP1452D	2595.2	Formación Girón	77	13.7	31	6.25
WP1453D	2620.7	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	102	16.4	50	6.13
WP1454D	2602.1	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	127	20	63	6.4
WP1455D	2595.6	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	78	19.8	38	6.4
WP1456D	2608.8	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	118	21	62	6.42
WP1457D	2608.5	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	126	23.3	65	6.6
WP1458D	2614.1	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	33	16.8	16	7.9
WP1459D	2571	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	137	17.2	72	6.4
WP145A	2866.8	Formación Plaeners	310	16.6	160	7.01
WP1460D	2576.2	Depósito Cuaternario Aluvial	117	25.7	57	6.4
WP1461D	2575	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	114	18.8	58	6.6
WP1464D	2557.4	Depósito Cuaternario Aluvial	237	21.6	121	6.19

NOMBRE	ELEVACIÓN [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	CE [µS/cm]	Temperatura [°C]	STD [ppm]	pH
WP1466D	2596.8	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	113	17.7	50	6.3
WP1467D	2539.5	Formación Girón	64	17.5	37	6.7
WP1468D	2616.9	Formación Girón	93	19.6	45	5.6
WP146A	2520	Formación Chipaque	2230	16.4	1120	6.96
WP1471D	2635.6	Formación Girón	89	19	44	6.0
WP1472D	2641.6	Formación Girón	116	19.1	60	6.0
WP1473D	2641.7	Formación Girón	114	18.3	56	6.49
WP147A	2522.5	Formación Chipaque	1330	16.8	660	7.49
WP1480D	2677	Stock de Otengá	183	19	91	6.4
WP1481D	2719.1	Stock de Otengá	70	20	36	6.9
WP1482D	2721.3	Stock de Otengá	123	19	60	6.74
WP1483D	2725	Stock de Otengá	136	19.5	67	6.8
WP1484D	2651.7	Stock de Otengá	157	18.5	79	6.95
WP1485D	2648.3	Formación Une	83	14.4	37	7.2
WP1486D	2648.6	Formación Une	16	14.4	4	6.5
WP148A	2530.9	Formación Chipaque	1560	16.7	780	7.51
WP1492D	2536.7	Depósito Cuaternario Coluvial	380	16.2	190	6.3
WP1493D	2534.2	Depósito Cuaternario Coluvial	117	16.1	34	6.8
WP1494D	2405.8	Depósito Cuaternario Coluvial	2434	21.2	1219	7.05
WP1495D	2424.4	Depósito Cuaternario Coluvial	3999	22.8	2000	6.86
WP1497D	2745.5	Formación Girón	84	14.2	42	8.0
WP149A	2549.8	Formación Chipaque	2620	17.6	1300	7.52
WP1500D	2792.5	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	190	17.9	95	6.39
WP1501D	2790	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	122	18.3	65	6.8
WP1502D	2784.8	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	155	18.8	74	6.89
WP1503D	2843.1	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	106	18.6	52	7.09
WP1505D	2659.1	Stock de Otengá	267	16.2	146	7.1
WP1506D	2645.9	Stock de Otengá	261	15.6	130	7.3
WP1507D	2660.3	Stock de Otengá	267	15.1	133	7.5
WP1508D	2628.4	Stock de Otengá	89	20.2	47	7.6
WP1509D	2605.5	Formación Girón	131	20.8	63	6.7
WP150A	2598.9	Formación Chipaque	930	18.5	470	7.58
WP1510D	2597.7	Formación Girón	111	18.7	50	6.7
WP1511D	2552.2	Formación Tibasosa	453	18.7	228	6.6
WP1517D	2544.6	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	73	16.3	33	7.6
WP1518D	2568.4	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	82	16.5	40	7.16
WP1519D	2568.4	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	49	14.3	26	7.2
WP1520D	2563.4	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	65	14.8	31	7.21
WP1521D	2630.8	Formación Cuche	82	19.0	40	7.0
WP152A	2583.4	Formación Chipaque	1360	19.2	680	7.43
WP1531D	2512.4	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	142	19.5	69	7.10
WP1532D	2522.7	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	113	22.4	57	7.29
WP1534D	2502.6	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	167	18.4	85	7.2
WP1535D	2916.8	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	99	15.3	45	7.6
WP1536D	2662.7	Stock de Otengá	120	13.1	60	7.3
WP1537D	2739	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	110	16.5	56	7.11

NOMBRE	ELEVACIÓN [msnm]	UNIDAD GEOLÓGICA	CE [µS/cm]	Temperatura [°C]	STD [ppm]	pH
WP153A	2580.7	Formación Chipaque	1000	17.3	490	7.44
WP1542D	2489.9	Depósito Cuaternario Aluvial	438	21.4	215	6.66
WP1543D	2510.7	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	169	18.2	83	7.68
WP1544D	2512.8	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	174	16.0	89	7.45
WP1545D	2526.1	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	348	17.3	170	6.83
WP1546D	2530	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	146	16.4	73	7.25
WP1547D	2537.1	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	220	18.2	111	7.16
WP1548D	2541.7	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	145	17.2	70	7.37
WP1549D	2540.3	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	144	17.5	71	7.40
WP154A	2568.1	Formación Chipaque	1060	17.3	530	8.02
WP1550D	2534.3	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	79	16.5	41	7.32
WP1551D	2507.1	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	159	18.9	79	7.11
WP1552D	2507.2	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	150	20.2	74	6.98
WP1553D	2500.2	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	136	21.2	68	7.10
WP1555D	2503.4	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	174	17.9	85	7.15
WP1556D	2502.4	Depósito Cuaternario Aluvial	168	17.9	60	7.27
WP1557D	2502.1	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	426	18.3	171	6.75
WP1563H	2472.9	Depósito Cuaternario Aluvial	160	16	80	7.44
WP1564H	2493	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	50	16.5	30	7.54
WP1565H	2495.3	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	80	16.4	40	7.04
WP1566H	2538.6	Stock de Otengá	180	16.2	90	7.05
WP1567H	2542.9	Stock de Otengá	120	17	60	7.29
WP1568H	2568.2	Stock de Otengá	130	14.8	60	7.12
WP1574H	2502.9	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	250	14.5	130	6.71
WP1578H	2503	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	480	16.5	240	6.69
WP1579H	2506.4	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	220	22	110	6.76
WP1580H	2522	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	250	15.3	130	6.87
WP1581H	2514.6	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	130	17.4	130	7.17
WP1582H	2516.2	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	130	15.9	70	7.32
WP1583H	2510.6	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	250	17	130	7.12
WP1584H	2511.2	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	170	15.8	90	6.95
WP1586H	2507.4	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	180	18.5	90	7.32
WP1587H	2538.4	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	250	15.7	130	7.12
WP158A	2644.7	Formación Guaduas	1280	15.5	650	7.32
WP1590H	2528.9	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	170	15	90	6.96
WP1591H	2532.7	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	350	16.8	180	6.94
WP1592H	2569.4	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	170	18	80	7.48
WP1593H	2540.7	Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	190	16.5	100	7.03
WP159A	2616.3	Formación Guaduas	600	15.5	300	7.68
WP162A	2979.6	Formación Labor y Tierna	30	15.6	10	8.87
WP163A	2983.7	Formación Los Pinos	30	15.1	20	8.64
WP164A	3015.4	Formación Labor y Tierna	340	16.1	170	7.43
WP165A	2892.8	Formación Labor y Tierna	30	14	10	8.44
WP166A	3061.6	Formación Labor y Tierna	50	15.3	20	8.08
WP167A	3013.3	Formación Los Pinos	190	19.5	90	7.31

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

A partir de los parámetros fisicoquímicos se pueden realizar análisis de correlación con variables tales como la ubicación geográfica, elevación y la unidad geológica. Esto con el objetivo de identificar comportamientos medios, grupos de datos similares, variabilidad espacial, anomalías y entre otros. El fin de estos análisis es generar elementos que aporten al entendimiento del flujo de agua subterránea en la zona.

A continuación, se describen los resultados de parámetros FQ por tipo de punto de agua subterránea.

- Parámetros fisicoquímicos medidos en pozos

El pH encontrado en los pozos es neutro con una pequeña tendencia a básico en los dos puntos encontrados, con valores entre 7.28 y 7.52 unidades de pH. En cuanto a la temperatura, los valores son iguales en ambos pozos, con 22.5 °C, y son superiores a la temperatura media anual del ambiente en la zona, que ronda los 15 °C. En cuanto a las conductividades eléctricas, los valores van entre 290 µS/cm y 492 µS/cm, que están relacionadas con algún grado de mineralización o de aporte de sustancias, con respecto a las aguas meteóricas, esto puede estar relacionado al hecho que los pozos tienen profundidades de 80 m y 60 m, el valor de CE más elevado es del pozo más profundo. El comportamiento de los STD es análogo al de la CE debido a que su medida se da en función del valor de CE. Los puntos se localizan en depósitos aluviales asociados a la quebrada La Floresta, perforados a profundidades entre 60 m y 80 m.

- Parámetros fisicoquímicos medidos en aljibe

Los puntos se localizan a lo largo del valle de la quebrada La Floresta en inmediaciones del casco urbano de Busbanzá en Depósito Cuaternario Aluvial, y Filitas y Esquistos de Busbanzá, en la vereda Cusagota en Filitas y Esquistos de Busbanzá, y en Depósito Cuaternario Aluvial en el valle del río Chicamocha.

El pH encontrado en los aljibes es neutro y va entre 6.29 hasta 7.34, con 5 puntos por debajo de 7, 1 punto con 7 y 5 puntos por arriba de 7.

En cuanto a la temperatura, se encontraron valores entre 16 °C y 19.5 °C, siendo registros ligeramente superiores a la temperatura media anual de la zona, que es cercana a los 15.5 °C.

La conductividad eléctrica tiene datos entre 40 µS/cm y 1696 µS/cm, por lo que todas se consideran aguas subterráneas frescas según el texto Aguas Subterráneas: Un Enfoque Práctico (UNAL, INGEOMINAS, s.f.), al tener valores siempre menores que 2000 µS/cm. Los valores más bajos, menores que 250 µS/cm, se encuentran en las formaciones Arcillas de Socha, Filitas y Esquistos de Busbanzá y en Depósito Cuaternario Aluvial. Con esto se infiere que son flujos cortos los que alimentan estos aljibes, y que están muy influenciados por la precipitación. Los valores intermedios de CE, menor que 500 µS/cm, están entre la Formación Girón y Depósito Cuaternario Aluvial. Con CE de 500 µS/cm en adelante solo se encontraron puntos sobre Depósito Cuaternario Aluvial en el valle de la quebrada La Floresta y el río Chicamocha, estas aguas se consideran con mayor distancia de viaje o con mayor aporte de sustancias de actividades económicas.

- Manantiales

El pH medido en los manantiales es muy heterogéneo, y va desde aguas extremadamente ácidas con 3.37 unidades de pH hasta básicas con 8.87 unidades de pH. Los puntos con pH menor que 5 se encuentran en la formación Picacho al nororiente de la zona de estudio en la vereda centro de Betéitiva. Los valores de pH entre 5 y 7 se encuentran las formaciones Picacho, Filitas y Esquistos

de Busbanzá, Concentración, Girón, Tibasosa, Guaduas y Chipaque, y Depósito Cuaternario Aluvial y Depósito Cuaternario Coluvial, localizadas más comúnmente en la parte alta y media de los flancos oriental y occidental de la cuenca de aporte del río Chicamocha, y en menor proporción en la parte central de esta. Mientras que los valores de pH mayores que 7 se presentan en las Formaciones, Tibasosa, Une, Plaeners, Filitas y Esquistos de Busbanzá, Stock de Otengá, Concentración, Girón, Chipaque, y en Depósito Cuaternario Aluvial, se localizan hacia el centro de la cuenca de aporte del Chicamocha y de manera dispersa en los flancos de esta. El pH se ve influenciado por las interacciones que tiene el agua con las rocas por las que fluye, así como por los aportes de actividades antrópicas. En las rocas, la acidez puede ser aportada por la disolución de sales ácidas del hidrógeno, tales como las formadas por los sulfatos, cloruros y nitratos (Donado, 1999). Sin embargo, en la zona de estudio no se referencian rocas con grandes cantidades de estos elementos que puedan explicar los valores de pH extremadamente ácidos encontrados. Además, la acidez también puede ser aportada por minas de carbón, según lo referenciado en el documento Principios básicos para el conocimiento y monitoreo de las aguas subterráneas en Colombia (MADS, IDEAM, 2015). Esta es una actividad que existe en la zona de manera extendida, pero no se encontró una relación directa entre la localización de las aguas con pH bajo y la existencia de minas en la cartografía del EIA.

La temperatura en los manantiales tiene un rango amplio, que va desde 13.9 °C hasta 25.7 °C. Los valores de temperatura menores que 16 °C se localizan preferentemente en las partes altas y en menor proporción en las partes bajas cercanas al valle del Chicamocha, mientras que los valores mayores que 16 °C se presentan en mayor proporción hacia el valle del Chicamocha, donde hay elevaciones menores, y en menor proporción en las zonas altas en los flancos de la cuenca de aporte del río Chicamocha.

Se evidenció que es posible la existencia de una relación entre el pH, la temperatura y la elevación. Por esto se realizó la gráfica de pH contra temperatura (ver **Figura 5-34**) y temperatura contra elevación. Encontrando que hay una relación directa, con cierta dispersión, entre la temperatura y el pH. Por el contrario, se encontró una relación inversa, con cierta dispersión, entre la temperatura y la elevación (ver **Figura 5-35**).

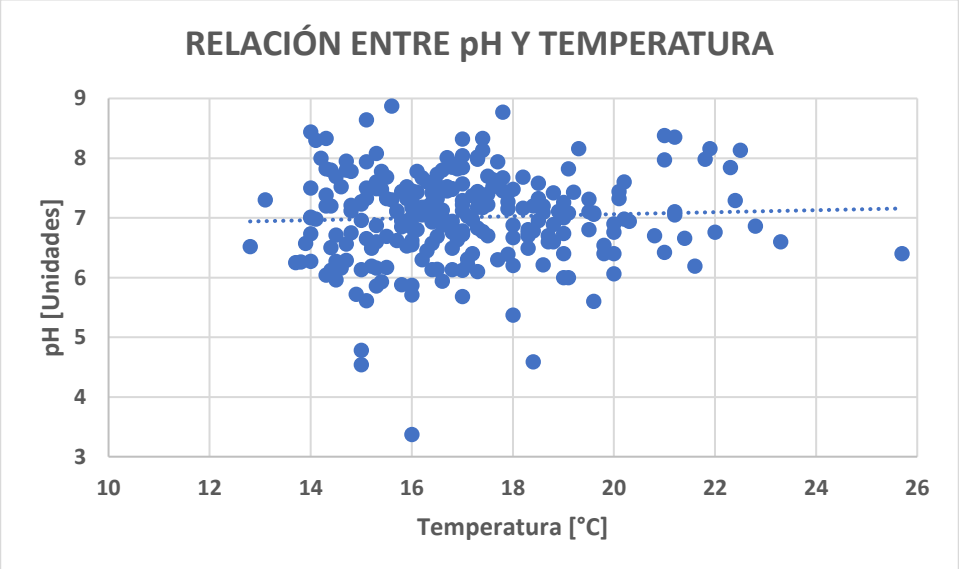


Figura 5-34 Relación entre pH y temperatura en los manantiales inventariados
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

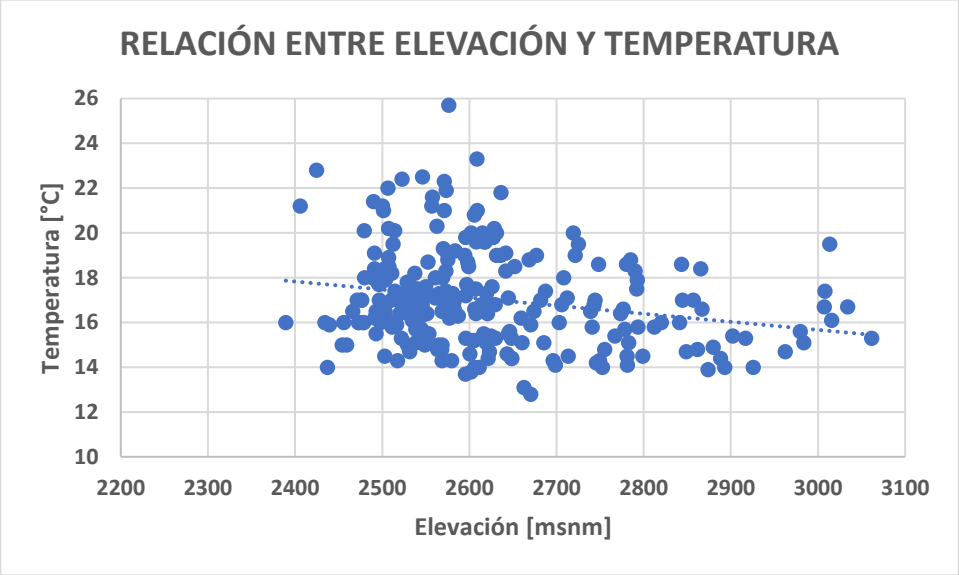


Figura 5-35 Relación entre elevación y temperatura en los manantiales inventariados
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

Los valores de conductividad eléctrica son bastante dispersos, con un mínimo de 10 40 µS/cm y un máximo de 3999 40 µS/cm. Los valores menores que 30 40 µS/cm se localizan en las partes altas al noroccidente en Betéitiva y al suroriente en Corrales (2560 msnm – 2983 msnm), en Formaciones Girón, Une, Labor y Tierna, Filitas y Esquistos de Busbanzá, Picacho, Los Pinos y Areniscas de Socha. Estos valores son de aguas meteóricas que tienen un recorrido en el subsuelo muy corto entre su zona de recarga y descarga. Esta señal de CE es la misma que se tiene en las aguas de lluvia (5 µS/cm – 30 µS/cm) según el texto Aguas Subterráneas: Un Enfoque Práctico (UNAL, INGEOMINAS, s.f.). Las aguas con CE entre 30 µS/cm y 1000 µS/cm se encuentran más dispersas hasta alturas más bajas (2437 msnm – 3037 msnm), en las formaciones Girón, Filitas y Esquistos de Busbanzá, Concentración, Picacho, Cuche, Tibasosa, Chipaque, Plaeners, en Stock de Otengá y en Depósito Cuaternario Coluvial y Aluvial. Los manantiales con valores superiores que 1000 µS/cm se presentan en las Formaciones Concentración, Picacho, Chipaque, Une, Tibasosa, Guaduas y Cuaternario Aluvial y Coluvial, de manera preferente hacia el centro de la zona de estudio y de manera aislada en la formación Chipaque en el eje del anticlinal del Chicamocha. Además, se encontraron manantiales con valores de conductividad eléctrica mayor que 1000 µS/cm cerca de fallas geológicas, en la falla de Soapagá al sur en la vereda Didamón de Corrales un grupo de manantiales en la formación Concentración y en la falla de Otengá al norte en la vereda Divaquía de Betéitiva en un manantial en la formación Picacho.

- **Mecanismos de flujo evidenciados a partir de inventario de puntos de agua subterránea**

El reconocimiento de la existencia de agua subterránea y su caracterización tienen vastas implicaciones en el entendimiento de los mecanismos de flujo, almacenamiento, recarga y descarga de agua subterránea en un área de estudio.

Los mecanismos de flujo de agua subterránea fueron analizados con la localización de los puntos de agua subterránea, relacionados con la ubicación de fallas y contactos geológicos. En la **Figura 5-36** se presenta un mapa para verificar la relación entre los elementos descritos.

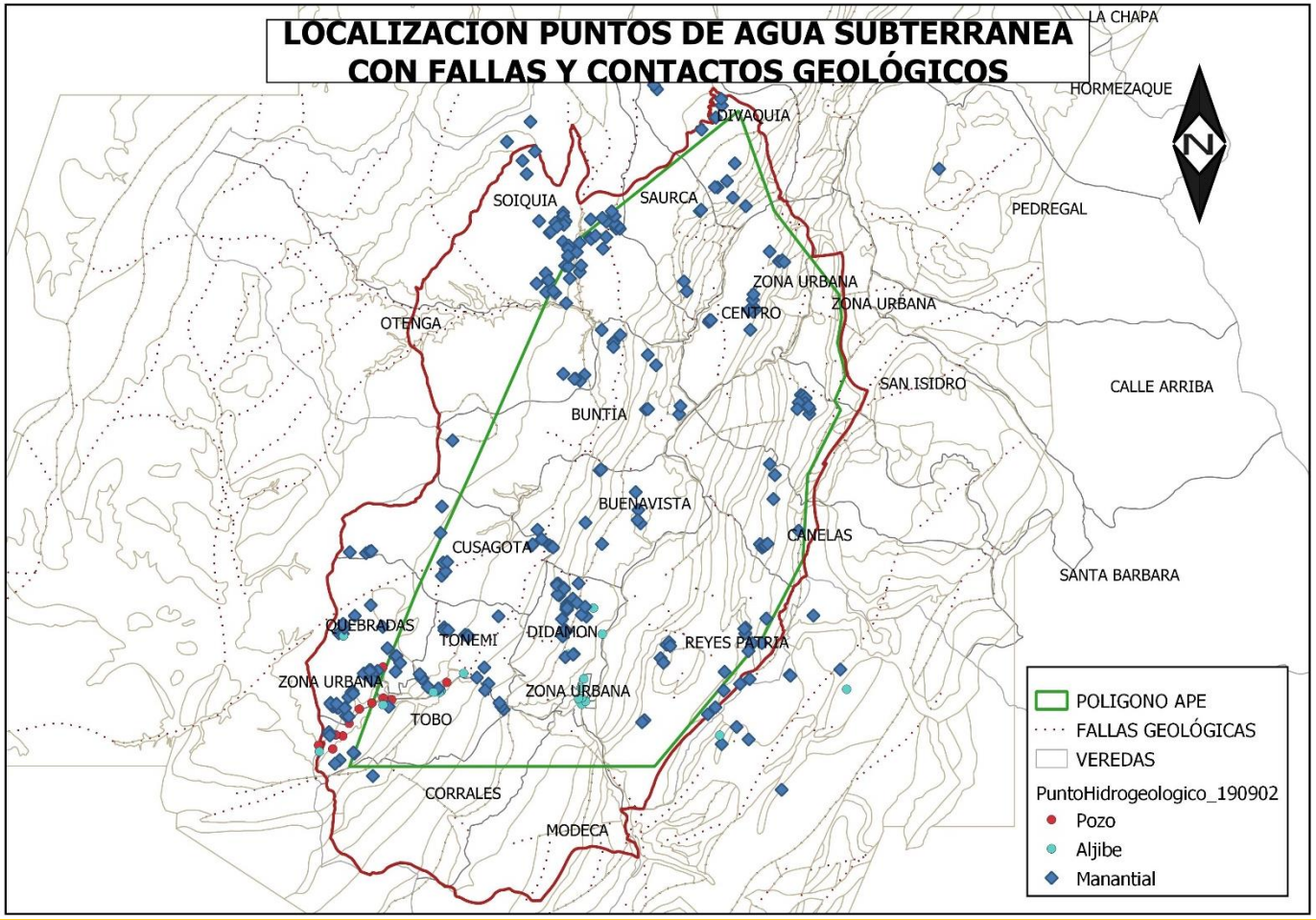


Figura 5-36 Relación entre manantiales, fallas y contactos geológicos en el AI del APE COR-15

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

Se reconocieron dos mecanismos de flujo a partir de la figura y se adiciona uno más que fue evidenciado en el trabajo de campo. Los mecanismos son los siguientes:

- Fallas geológicas: estas estructuras son focos de aumento de propiedades hidráulicas secundarias, por lo que el flujo y almacenamiento de agua subterránea es potenciado. Este tipo de flujo se evidenció en las rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas que afloran en el AI del componente físico. Existen flujos longitudinales, y verticales ascendentes y descendentes.
- Contactos geológicos: este elemento genera surgencias de agua subterránea por cambios en la permeabilidad de los materiales. Es decir, si una formación permeable en la que se está transportando agua subterránea la infrayace una formación con menor permeabilidad, se generan descargas de agua por diferencias de capacidad de flujo de agua. Esto también se relaciona con cambios de pendientes en el terreno, ya que las geoformas del terreno también se ven influenciadas por las rocas aflorantes, por lo tanto, al estar dos litologías en contacto, las formas y pendiente del terreno suele cambiar. Este mecanismo de flujo se evidenció en rocas sedimentarias, metamórficas e ígneas.
- Parteaguas: estos elementos marcan altos topográficos. Se encontraron puntos de agua a lado y lado de los filos topográficos, dando a entender que existen flujos a lo largo de las divisorias de agua que descargan agua a lo largo de su recorrido (ver **Figura 5-37**). Este mecanismo se encontró en rocas ígneas y metamórficas en el AI. Este tipo de flujo fue reportado por Rueda (2013) en el Macizo de Santander también en rocas ígneas y metamórficas (ver **Figura 5-38**). Además, Gómez en su texto Aguas Subterráneas en Zonas de Montaña y Trazadores Ambientales (2014) describe que este tipo de flujo está relacionado con espesores meteorizados de las rocas duras. Aquí se encuentra coincidencia con la caracterización de la zona, ya que las tomografías realizadas sobre el Stock de Otengá y las Filitas y Esquistos de Busbanzá mostraron espesores meteorizados que pueden llegar a ser hasta de 30 m. Este es un tipo de flujo de corta distancia.

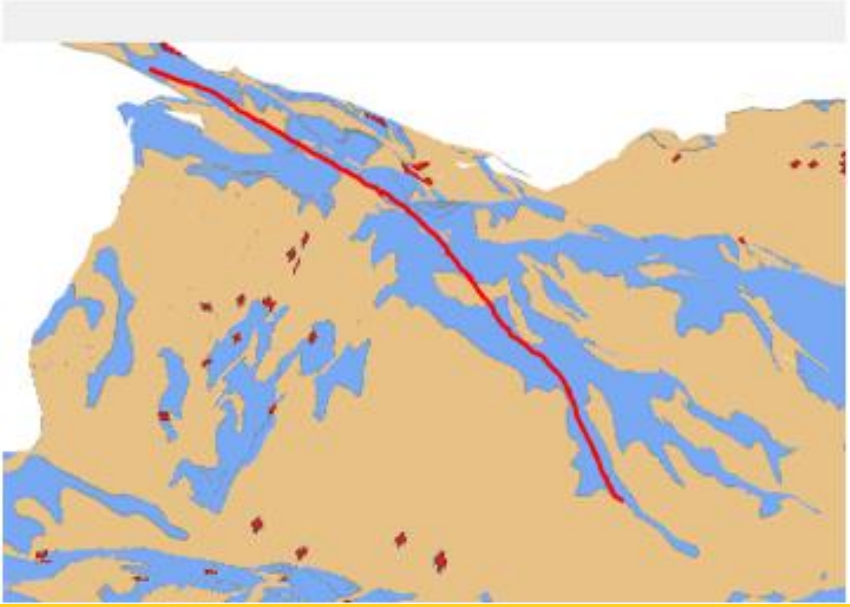


Figura 5-37 Vista 3D de ocurrencia de manantiales cercanos a parteaguas
**Punto rojo: manantiales; zonas azules: recarga, zonas café: zonas tránsito; línea roja: parteaguas*
Fuente: Rueda, 2013

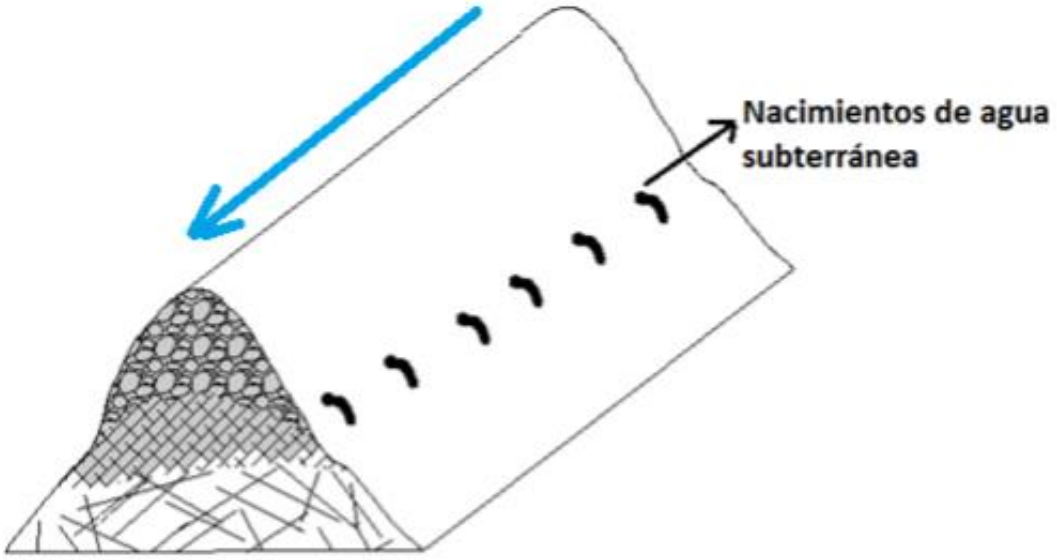


Figura 5-38 Mecanismo de flujo a lo largo de parteaguas
**El perfil muestra roca meteorizada cerca de la superficie y roca sana en profundidad*
Fuente: Rueda, 2013

- **Usos del agua subterránea**

Se encontraron diversos usos del agua subterránea en la zona de estudio, en los que se encuentran consumo humano colectivo, necesidades domésticas individuales, usos agropecuarios comunitarios y uso agropecuario individual. En la **Tabla 5-47** se presenta el consolidado de usos para todos los puntos.

Tabla 5-47 Usos del agua subterránea identificados con el inventario por tipo de punto de agua

TIPO PUNTO	USOS			
	Consumo humano colectivo	Necesidades domésticas individuales	Usos agropecuarios comunitarios	Uso agropecuario individual
Pozo	3	7	0	5
Aljibe	0	6	0	9
Manantial	6	43	1	193
Total general	9	56	1	207

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

El uso más extendido es el agropecuario individual con 207 puntos, seguido por las necesidades domésticas individuales. Se encontró que 248 puntos de los 288 identificados son usados, lo que indica que el recurso hídrico subterráneo es ampliamente usado en el AI del APE COR-15.

Las unidades geológicas que actualmente están en uso se presentan en la **Tabla 5-48**.

Tabla 5-48 Usos del agua subterránea identificados con el inventario por unidad geológica captada

UNIDAD GEOLÓGICA	USOS				PUNTOS EN USO
	Consumo humano colectivo	Necesidades domésticas individuales	Usos agropecuarios comunitarios	Uso agropecuario individual	
Depósito Cuaternario Aluvial y Coluvial	4	12	0	18	36
Formación Arcillas de Socha	0	0	0	1	1
Formación Areniscas de Socha	1	0	0	0	1
Formación Chipaque	0	0	1	13	15
Formación Concentración	1	4	0	20	24
Formación Cuche	0	0	0	1	1
Formación Filitas y Esquistos de Busbanzá	0	23	0	62	89
Formación Girón	0	7	0	19	32
Formación Guaduas	1	1	0	8	9
Formación Labor y Tierna	2	0	0	8	8
Formación Los Pinos	0	0	0	2	3
Formación Picacho	0	0	0	5	5
Formación Plaeners	0	1	0	5	5
Formación Tibasosa	0	3	0	23	33
Formación Une	0	1	0	7	8
Stock de Otengá	0	4	0	15	18

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

Se encontró que la unidad con mayor cantidad de puntos en uso son las Filitas y Esquistos de Busbanzá con 89 puntos, seguido por los Depósitos Cuaternarios con 36 puntos, Tibasosa con 33 puntos, Girón con 32 puntos, Concentración con 24 puntos, Stock de Otengá con 18 puntos y Chipaque con 15 puntos. Las unidades Guaduas, Labor y Tierna, Une, Picacho, Plaeners, Los Pinos, Cuche y Areniscas de Socha tienen menos de 10 puntos con uso. De todos estos puntos la gran mayoría son manantiales, con excepción los aljibes y pozos que se encontraron en los depósitos localizados en el valle de la quebrada la Floresta en Busbanzá y el río Chicamocha en Corrales. Siendo estos depósitos

5.1.6.7 Hidrogeoquímica

La Hidrogeoquímica es una herramienta potente que se utiliza en la hidrogeología para clasificar las aguas subterráneas de acuerdo con su contenido de iones y así contrastar y verificar las hipótesis de flujo de agua subterránea. En este enfoque de la hidrogeología se tiene en cuenta la interacción entre el agua y el medio hidrogeológico por el que fluye.

- **Definición red de monitoreo de agua subterránea**

Se propuso una red de monitoreo de agua subterránea con criterios de representatividad geoestadística, aplicando un muestreo estratificado a partir del inventario de puntos de agua subterránea. Las variables de estratificación fueron las condiciones físicas que intervienen en el sistema hidrogeológico, tal como: unidad hidrogeológica, altitud, tipo de surgencia y tipo de punto.

Para definir la cantidad necesaria de puntos se acudió a listar aquellas condiciones que deben ser cubiertas por la red de monitoreo, con el fin de asegurar su representatividad:

Altitud: se tienen elevaciones en el AI entre 2294 msnm y 3112 msnm. Se dividieron rangos altitudinales de 200 m y se procuró localizar puntos en cada rango altitudinal, siempre y cuando existieran puntos susceptibles a ser monitoreados.

Unidad hidrogeológica: se tienen unidades 17 hidrogeológicas del tipo acuífero y acuitardo con manifestaciones de agua subterránea. Se escogieron 10 para ser caracterizadas con hidrogeoquímica por ser las más representativas del área de estudio. Los acuíferos Tibasosa, Picacho, depósitos aluviales, depósitos coluviales, somero de las Filitas y Esquistos de Busbanzá y somero del Stock de Otengá, por ser los acuíferos más representativos espacialmente y en manifestaciones de agua subterránea. Por otro lado, se seleccionaron los acuitardos: Plaeners, Concentración, y Guaduas, porque a pesar de ser unidades con propiedades hidráulicas pobres, tienen surgencias de agua subterránea, y por lo tanto son un objetivo importante de caracterización.

Tipo de punto hidrogeológico: se encontraron un total de 288 puntos de agua subterránea, compuestos según el tipo de punto por: 257 manantiales (89.3 %), 21 aljibes (7.3 %) y 10 pozos profundos (3.4 %). Se procuró mantener una proporción de puntos de monitoreo guardando semejanza en las proporciones relativas por tipo de punto.

Tipo de surgencia: se encontraron 4 tipos de surgencia en el inventario de puntos de agua subterránea: falla, contacto, otro (flujo de corta distancia o subsuperficial) y antrópico (aljibes y pozos). Se procuró tener puntos en todos los tipos de surgencia. Se dio especial esfuerzo de caracterización a la surgencia de fallas y contactos geológicos para reconocer la procedencia de estas aguas, mientras que los flujos cortos o subsuperficiales tuvieron una menor cantidad de puntos por haber sido reconocidos como aguas meteóricas frescas desde el análisis fisicoquímico in situ del inventario de puntos de agua subterránea.
Rezumaderos:

Para definir el tamaño de la red se utilizó una expresión propuesta en la Guía Práctica para la Construcción de Muestras (UTCE, 2012), basada en la distribución normal. Es la siguiente:

$$n = \frac{N \times {Z_{1-\alpha}}^2 \times \varepsilon \times (1-\varepsilon)}{(N-1) \times \beta^2 + {Z_{1-\alpha}}^2 \times \varepsilon \times (1-\varepsilon)}$$

Donde:

n: tamaño de muestra,
N: tamaño población,
$Z_{1-\alpha}$: variable estandarizada de la serie normal para el nivel de significancia,
α: nivel de significancia,
ε: error, y
β: precisión.

Los valores de los parámetros para el cálculo de tamaño de muestra son los siguientes:

N = 288
$\alpha = 0.10$
$\varepsilon = 0.10$
$\beta = 0.10$

Con estos valores se procede a calcular la variable estándar de la distribución normal:

$$Z_{0.90} = 1.28$$

Aplicando la ecuación de tamaño de muestra se tiene:

$$n = \frac{288 \times 1.28^2 \times 0.10 \times (1 - 0.10)}{(288 - 1) \times 0.10^2 + 1.28^2 \times 0.10 \times (1 - 0.10)} \cong 14$$

Ahora bien, se realizó la selección de puntos de monitoreo con los criterios presentados con anterioridad para cumplir con el mínimo de 14 puntos. En la **Tabla 5-49**, **Tabla 5-50**, **Tabla 5-51** y **Tabla 5-52** se presentan los puntos escogidos.

Tabla 5-49 Puntos de monitoreo de agua subterránea con el criterio altitudinal en el AI APE COR-15

RANGO ALTITUDINAL [msnm]	PUNTOS	CANTIDAD
2294 - 2400	ASUB_4 [A6], M177	2
2400 - 2500	ASUB_3 [P3], A5, M160, M197	4
2500 - 2600	A14, M218, M169, M186	4
2600 - 2700	ASUB_6 [M196], M28, M13, M44	4
2700 - 2800	M172, M166, M191, M27, M3	5
2800 - 2900	ASUB_7 [M243]	1
2900 - 3000	M11	1

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

Tabla 5-50 Puntos de monitoreo de agua subterránea con el criterio unidad hidrogeológica en el AI APE COR-15

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA	PUNTOS	CANTIDAD
AQ-K1b3t	ASUB_6 [M196], M172	2
Aq-K2k5gp	ASUB_7 [M243], M218, M197	3
AQ-E2p	M177, M166	2
Aq-E2c	M160, M169	2
AQ-Qal	ASUB_3 [P3], ASUB_4 [A6], A5	3
AQ-Qc	M186	1
AQ-efb	A14, M13, M11	3
AQ-Oso	M44	1
AQ-J3g	M28, M27	2
Aq-K2k6gg	M191, M3	2

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

Tabla 5-51 Puntos de monitoreo de agua subterránea con el criterio tipo de punto en el AI APE COR-15

TIPO PUNTO	PUNTOS	CANTIDAD
Manantial	ASUB_6 [M196], ASUB_7 [M243], M218, M172, M28, M177, M166, M160, M169, M191, M27, M13, M11, M44, M186, M197, M3	17

TIPO PUNTO	PUNTOS	CANTIDAD
Pozo	ASUB_3 [P3]	1
Aljibe	A5, A14, ASUB_4 [A6]	3

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

Tabla 5-52 Puntos de monitoreo de agua subterránea con el criterio de surgencia en el Al APE COR-15

SURGENCIA	PUNTOS	CANTIDAD
Falla	M160, M169, M191, M27, M44, M197, M3	7
Contacto	ASUB_6 [M196], ASUB_7 [M243], M218, M172, M28, M177, M166, M186	8
Antrópico	A5, ASUB_4 [A6], ASUB_3 [P3], A14	4
Otro	M11, M13	2

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

En total fueron seleccionados 21 puntos de monitoreo, con lo que se cumple con la cantidad mínima de puntos (14) y la representatividad geoespacial. En la Tabla 5-53 se presentan las coordenadas de los puntos, el reporte de resultados del laboratorio y la época climática en la que se hicieron los muestreos, y en la **Figura 5-39** se presenta la localización de los puntos de monitoreo de agua subterránea.

Tabla 5-53 Coordenadas puntos de muestreo agua subterránea COR-15

REPORTE	CÓDIGO MCS	NOMBRE	COORDENADAS				ALTURA (m.s.n.m)	HORA	FECHA (DD/MM/AAAA)	ÉPOCA CLIMÁTICA
			PLANAS*		GEOGRÁFICAS					
			ESTE	NORTE	LONGITUD (O)	LATITUD (N)				
1902219	9733	P3 [ASUB_3]	1133642	1136895	72°52'15.11"	5°49'58.23"	2459	14:00	4/24/2019	Primera época húmeda del año hidrológico
	9734	A6 [ASUB_4]	1136701	1136977	72°50'35.69"	5°50'0.68"	2397	15:00		
1902281	9825	M196 [ASUB_6]	1139695	1147943	72°48'57.58"	5°55'57.36"	2609	12:30	4/25/2019	
1902312	10071	M243 [ASUB_7]	1140862	1141756	72°48'20.11"	5°52'35.91"	2873	9:15	4/26/2019	
1908627	32096	M11 - WP1108J	1135618	1148739	72°51'10,05"	5°56'23,57"	2992	10:00	22/11/2019	Segunda época seca del año hidrológico
	32097	M13 - WP1117J	1135618	1147145	72°50'55,4"	5°55'31,65"	2682	12:00		
1908632	32098	M28	1136968	1146855	72°50'26,3"	5°55'22,15"	2680	9:00	23/11/2019	
	32099	M27	1137211	1146825	72°50'18,4"	5°55'21,16"	2763	10:30		
	32100	M177	1140331	1147515	72°48'36,94"	5°55'43,38"	2444	11:40		
	32101	M197	1140042	1147707	72°48'46,32"	5°55'49,66"	2521	12:30		
1908727	32543	A14	1131994	1136929	72°53'8,66"	5°49'59,45"	2525	7:50	24/11/2019	
	32544	M44	1133616	1139349	72°52'15,78"	5°51'18,1"	2674	9:00		
	32546	M172	1136745	1140440	72°50'34,01"	5°51'53,38"	2600	10:00		
	32547	M160	1136650	1138382	72°50'37,24"	5°50'46,41"	2500	11:00		
	32548	M169	1137115	1139963	72°50'22,02"	5°51'37,83"	2500	12:00		
	32549	A5	1136612	1136461	72°50'38,62"	5°49'43,89"	2420	13:00		
	32550	M191	1138558	1137711	72°49'35,28"	5°50'24,43"	2730	14:30		
1908725	32545	M166	1140430	1144571	72°48'33,94"	5°54'7,56"	2710	9:30	25/11/2019	
	32551	M218	1140644	1139960	72°48'27,33"	5°51'37,48"	2565	11:45		
	32552	M3	1138640	1137684	72°49'32,62"	5°50'23,55"	2887	13:15		
1908892	32789	M186 **	1138095	1142972	72°49'49,95"	5°53'15,69"	2532	10:45	25/11/2019	

**Sistema de coordenadas: Origen: Bogotá **No fue posible la toma de muestra por condiciones de acceso.*

Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S., 2019

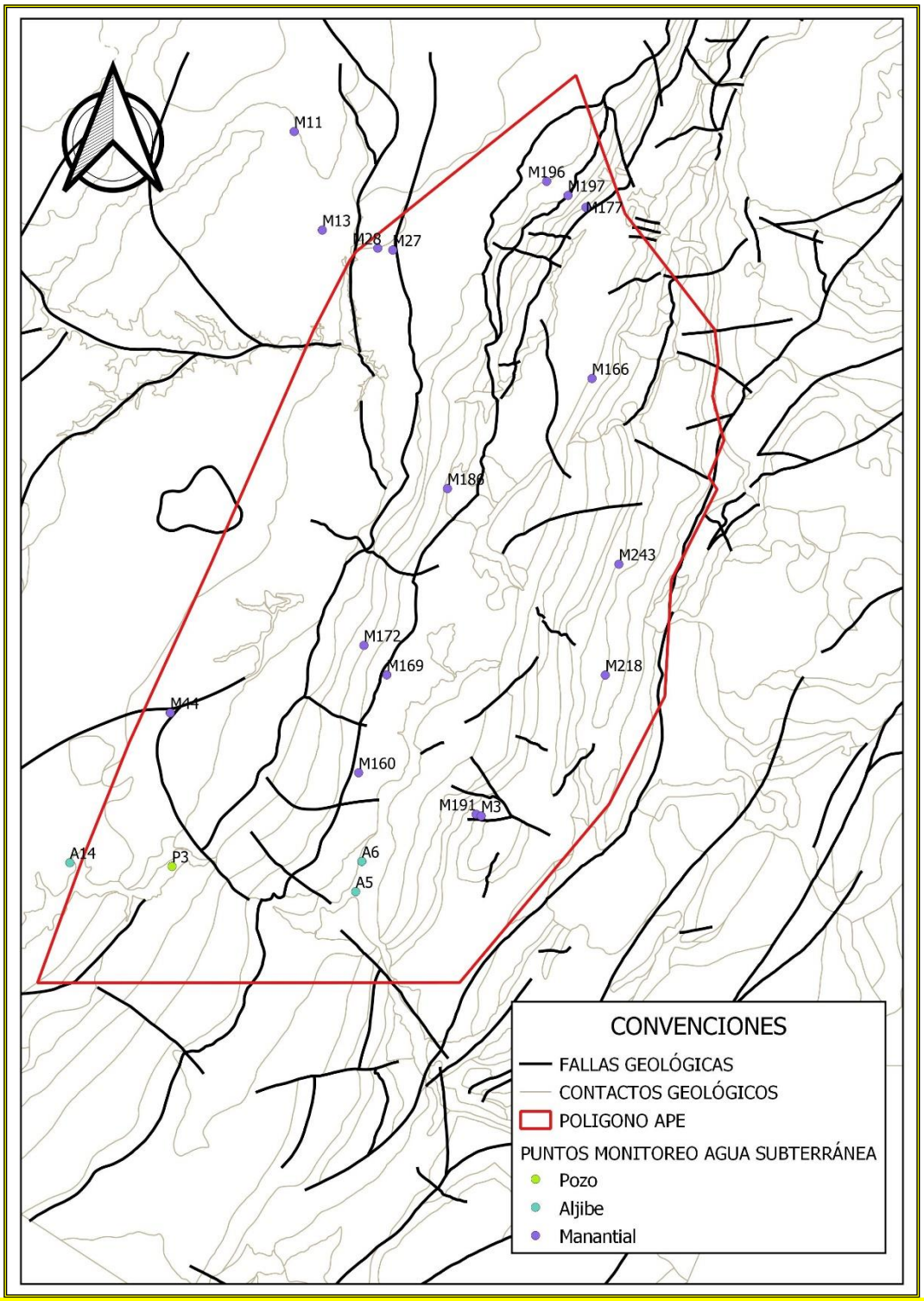


Figura 5-39 Localización puntos de monitoreo de agua subterránea EIA APE COR-15
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2020

- **Análisis de resultados**

Se llevó a cabo un muestreo de puntos de agua subterránea en el AI del componente físico del APE COR 15 por parte del laboratorio MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental (laboratorio acreditado IDEAM). Se realizó el análisis de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y de iones de 20 puntos de los 21 puntos de la red de monitoreo propuesta, ya que no se obtuvo permiso en 1 de los puntos (M186). Los puntos muestreados fueron: 1 pozo profundo, 3 aljibes y 16 manantiales. En el *Anexo* ***Monitoreo Agua Subterránea*** documento INF_0744_ASUB_PM_481_V0 y MCS_19_30036_ASUB_COR 15 EIA-V0 se presentan los informes de laboratorio de toma de muestras y análisis químicos de laboratorio. La información de iones fue tabulada para ser analizada de manera ágil y sencilla (ver Tabla 5-54).

Tabla 5-54 Resultados de iones mayoritarios y parámetros fisicoquímicos de puntos de agua subterránea en el AI APE COR-15

NOMBRE	CE	p H	Ca2+	Mg2+	Na+	K+	HCO3-	Cl-	SO42-	NO3-	UHG	NOMBRE UG
P3 [ASUB_3]	574.00	6.40	35.10	9.22	66.20	4.30	179.00	52.20	45.10	0.21	AQ-Qal	Depósitos aluviales
A6 [ASUB_4]	930.00	6.80	45.20	11.20	84.20	10.10	180.00	77.30	70.40	0.42	AQ-Qal	Depósitos aluviales
M196 [ASUB_6]	70	7.1	4.1	1.09	6	1.94	25.5	4.6	<5	0.214	AQ-K1b3t	Tibasosa
M243 [ASUB_7]	270	6.8	13.2	3.51	25.3	2.21	113	<4	<5	0.184	Aq-K2k5gp	Plaeners
M172	550	8	53	<0.12	40	4.5	234	<4	50	0.126	AQ-K1b3t	Tibasosa
M218	469	7.2	42	10.5	36	4.5	172	<4	60	0.142	Aq-K2k5gp	Plaeners
A14	143	6.8	8.65	4.95	10.5	1	76	<4	<5	0.992	AQ-efb	Picacho
M166	39.6	5	2.85	0.51	3	0.355	<2	<4	15	0.125	AQ-E2p	Filitas y Esquistos Busbanzá
M13	64.5	7.1	4.11	2.24	6.9	1.6	33.3	<4	<5	0.215	AQ-efb	Filitas y Esquistos Busbanzá
M11	25.2	7.2	1.52	1.12	2.33	<0.27	4.21	<4	<5	0.203	AQ-efb	Filitas y Esquistos Busbanzá
M44	134	6.4	7	6	12	1.5	65.7	<4	<5	0.625	AQ-Oso	Stock Otengá
M28	132	7.1	11	7.42	9.21	2.2	68.3	<4	<5	0.285	AQ-J3g	Girón
M27	16.7	5.2	1.24	0.912	1.33	0.512	3.63	<2	<5	0.234	AQ-J3g	Girón
M3	100	7.2	14	1.05	8.5	0.7	49.9	<4	<5	0.224	Aq-K2k6gg	Guaduas
M160	4158	7.2	280	6	390	40	328	20.7	1250	0.134	Aq-E2c	Concentración
M169	84	7.3	6.35	4.15	7.5	0.745	37.5	<4	<5	0.142	Aq-E2c	Concentración
A5	1213	7.3	110	26	91	8.45	219	94.5	203	0.895	AQ-Qal	Depósitos aluviales

NOMBRE	CE	p H	Ca2+	Mg2+	Na+	K+	HCO3-	Cl-	SO42-	NO3-	UHG	NOMBRE UG
M191	416	6.8	25	11.4	35	3.1	73.1	24.2	85	1.013	Aq-K2k6gg	Guaduas
M177	596	7.2	40.2	39.2	22.3	5.12	187	8.26	97.8	0.224	AQ-E2p	Picacho
M197	453	7.5	47.4	1.1	37.2	5.7	210	<4	29.1	0.124	AQ-K2k5lt	Plaeners

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

Posteriormente, se hizo la verificación del balance iónico, con el umbral de error de 10% según requerimientos que se presentan en la literatura (Appelo y Postma, 1993) y en la normatividad del licenciamiento ambiental colombiano. En la **Figura 5-40** se presenta el chequeo del balance realizado en el software libre Diagrammes de la universidad de Avignon. Se encontró que la 19 de los 20 puntos de los análisis de agua subterránea cumplen con el criterio verificación del error del balance iónico, M166 tiene error de 17 % y no cumple. Esto significa que el 95 % de los puntos cumplen con el criterio, siendo por lo tanto un grupo de resultados adecuado para ser analizado e incorporado en el estudio.

n	Nom	Balance
1	P3 [ASUB_3]	+1%
2	A6 [ASUB_4]	+4%
3	M196 [ASUB_6]	-4%
4	M243 [ASUB_7]	+1%
5	M172	-5%
6	M218	+5%
7	M166	-17%
8	A14	-6%
9	M13	-2%
10	M11	-2%
11	M44	+4%
12	M28	+9%
13	M27	-4%
14	M3	+6%
15	M160	+1%
16	M169	+9%
17	A5	+6%
18	M191	+2%
19	M177	+9%
20	M197	+1%

Figura 5-40 Chequeo balance iónico de muestras de puntos de agua subterránea EIA APE COR-15

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

- **Elaboración diagramas de Piper, Stiff y Schöeller - Berkaloff**

Se procedió con el análisis y clasificación de las aguas subterráneas muestreadas en el estudio. Para esto se construyó el diagrama de Piper (ver **Figura 5-41**), Schöeller – Berkaloff (ver **Figura 5-43** y **Figura 5-44)** y Stiff (ver **Figura 5-45, Figura 5-46** y **Figura 5-47**).

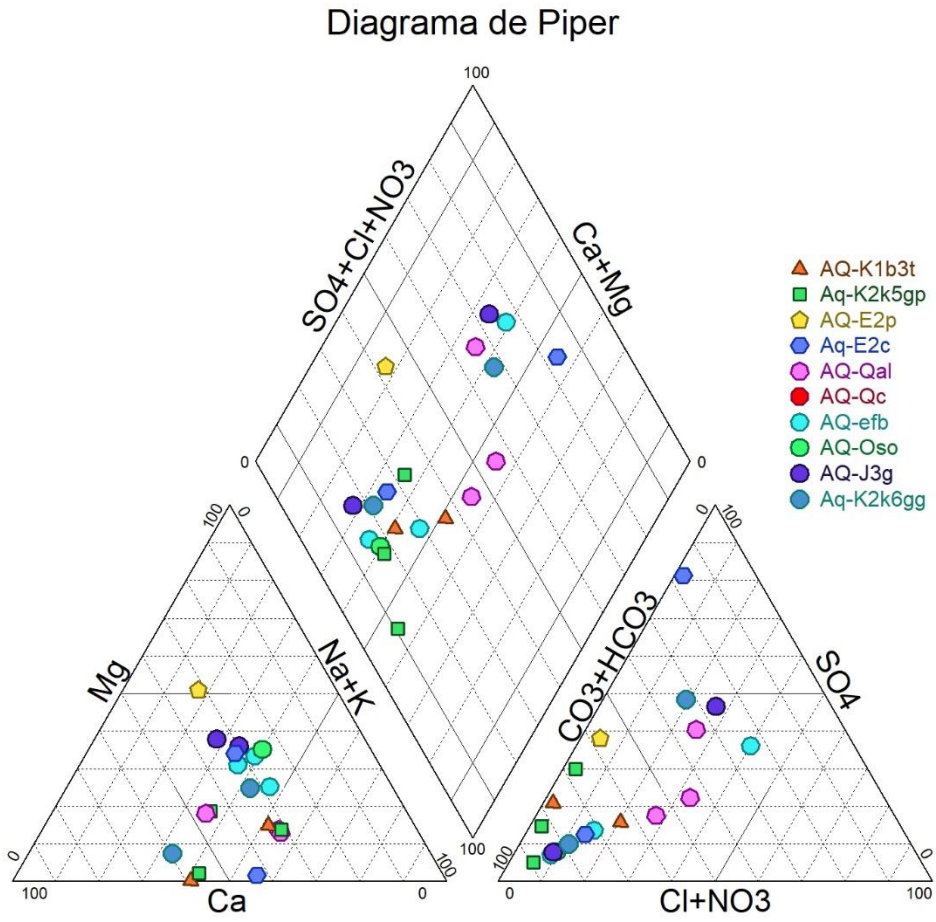


Figura 5-41 Diagrama de Piper de puntos de agua subterránea EIA APE COR-15
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

El diagrama de Piper se presenta con agrupación de los puntos por la unidad hidrogeológica. Se reconocen principalmente aguas bicarbonatadas cálcicas – magnésicas propias de recursos hídricos con poca evolución hidrogeoquímica. También se reconocen aguas, en una baja proporción, que predomina la facie sulfatada cálcica – sódica, que se relaciona con algo más de evolución que las ya mencionadas. En la **Tabla 5-55** se presenta la clasificación hidrogeoquímica de las aguas analizadas.

Tabla 5-55 Clasificación de aguas subterráneas en el AI APE COR-15

NOMBRE	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA	TIPO
P3 [ASUB_3]	AQ-Qal	Bicarbonatada Sódica
A6 [ASUB_4]	AQ-Qal	Bicarbonatada Clorurada – Sódica

NOMBRE	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA	TIPO
M196 [ASUB_6]	AQ-K1b3t	Bicarbonatada Sódica – Cálcica
M243 [ASUB_7]	Aq-K2k5gp	Bicarbonatada Sódica
M172	AQ-K1b3t	Bicarbonatada Cálcica
M218	Aq-K2k5gp	Bicarbonatada Cálcica – Sódica
A14	AQ-efb	Bicarbonatada Sódica – Cálcica
M13	AQ-efb	Bicarbonatada Sódica – Cálcica
M11	AQ-efb	Clorurada – Sulfatada Sódica – Magnésica
M44	AQ-Oso	Bicarbonatada Sódica – Magnésica
M28	AQ-J3g	Bicarbonatada Magnésica – Cálcica
M27	AQ-J3g	Sulfatada – Clorurada Magnésica – Sódica
M3	Aq-K2k6gg	Bicarbonatada Cálcica
M160	Aq-E2c	Sulfatada Sódica
M169	Aq-E2c	Bicarbonatada Sódica - Magnésica
A5	AQ-Qal	Sulfatada – Bicarbonatada Cálcica - Sódica
M191	Aq-K2k6gg	Sulfatada – Bicarbonatada Sódica - Cálcica
M177	AQ-E2p	Bicarbonatada Magnésica
M197	AQ-K2k5lt	Bicarbonatada Sódica - Cálcica

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

Al observas espacialmente la clasificación hidrogeoquímica de las aguas (ver **Figura 5-42**) se reconoce que en general las aguas bicarbonatadas y bicarbonatadas a magnésicas y sódicas se diseminados por toda el área de estudio. También se observan aguas sulfatadas asociadas a algunas fallas geológicas (M27, M191 y M160) y en un contacto geológico (A5).

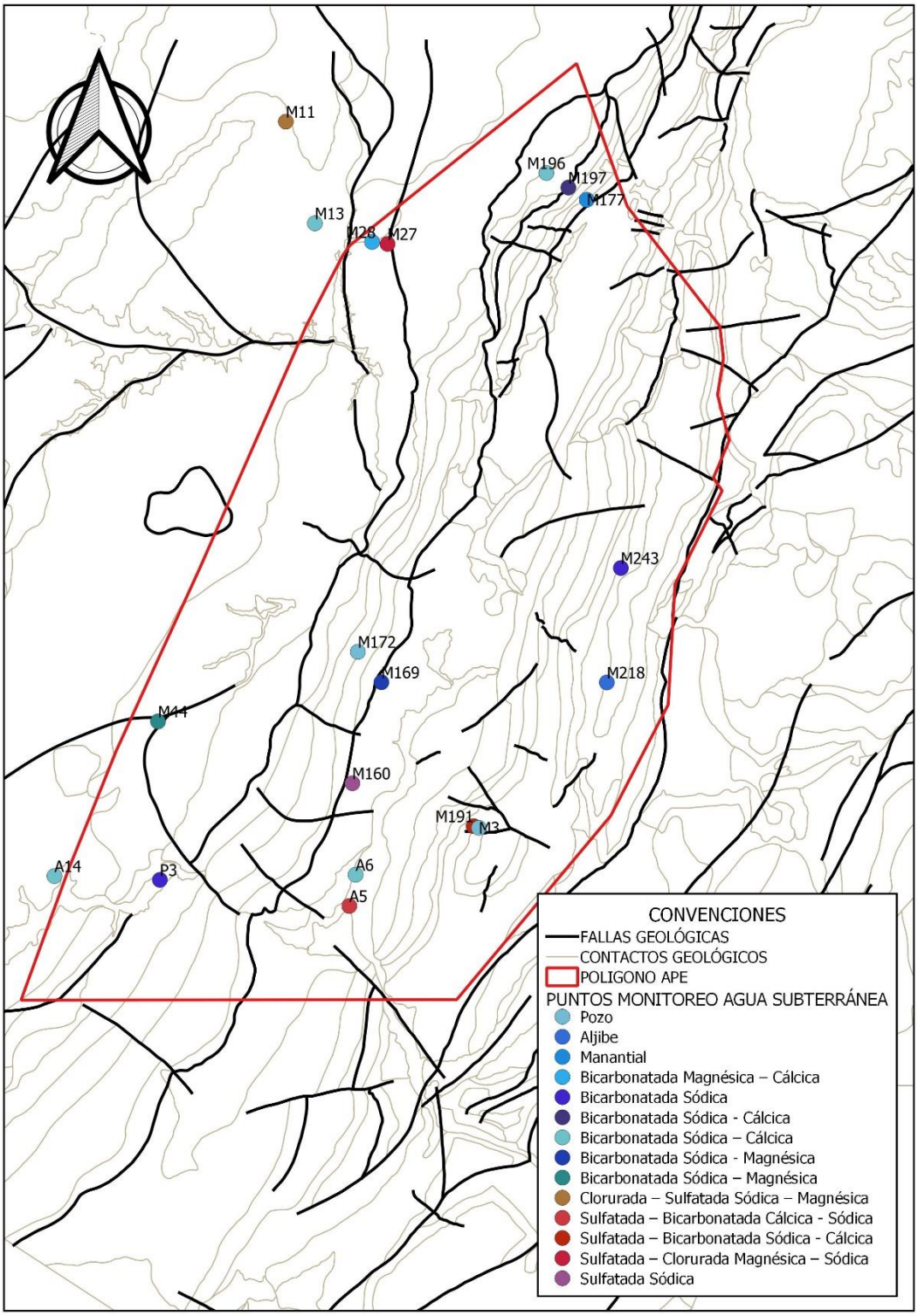


Figura 5-42 Diagrama de Piper de puntos de agua subterránea EIA APE COR-15
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

El diagrama de Schöeller - Berkaloff para las aguas en acuíferos (**Figura 5-43**) muestra que los cationes más abundantes son, en orden de persistencia: sodio, magnesio y calcio. Por los aniones, se tienen mayores concentraciones, en orden de persistencia: bicarbonatos y sulfatos; en ningún caso los cloruros llegan a presentar las mayores concentraciones entre los aniones.

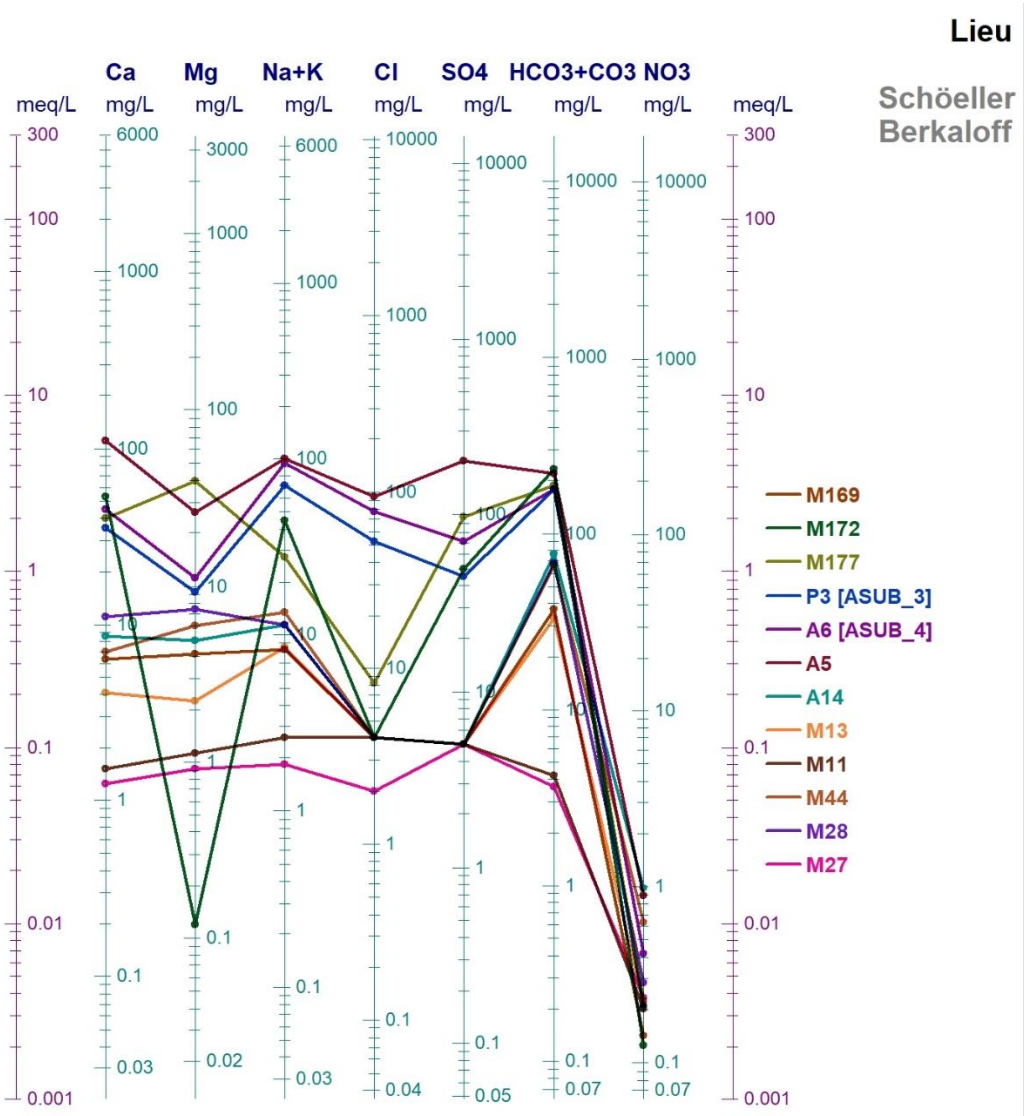


Figura 5-43 Diagrama de Schöeller – Berkaloff de puntos de agua subterránea en acuíferos en el APE COR-15

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

El diagrama de Schöeller – Berkaloff para las aguas muestreadas en acuitardos (**Figura 5-44**) permitió evidenciar un comportamiento diferencial de las aguas en los cationes con respecto a las aguas provenientes de unidades acuíferas (se observó menor cantidad de magnesio); la serie de cationes más abundantes en orden de persistencia es: sodio, calcio y magnesio. Los aniones de mayores concentraciones en orden de persistencia son: bicarbonatos y sulfatos; en ningún caso los cloruros son el anión de mayor concentración. Los minerales o sales mencionados anteriormente son sustancias que se encuentran naturalmente en el agua y que se generan por la interacción

entre la roca y el agua. Hay que tener en cuenta que concentraciones elevadas de ciertos minerales pueden tener efectos nocivos para la salud, de acuerdo con lo expresado por Appelo y Postma (1993) una concentración de más de 50 mg/l de Magnesio (Mg^{+2}) o de más de 250 mg/l de sulfatos (SO_4^{2-}) puede generar diarrea, o una concentración de cloruros (Cl^-) de más de 250 mg/l afecta el sabor del agua. El punto M160 tiene una concentración de sulfatos muy superior al valor de referencia mencionado, y en la actualidad representa un riesgo para el consumo de esta agua.

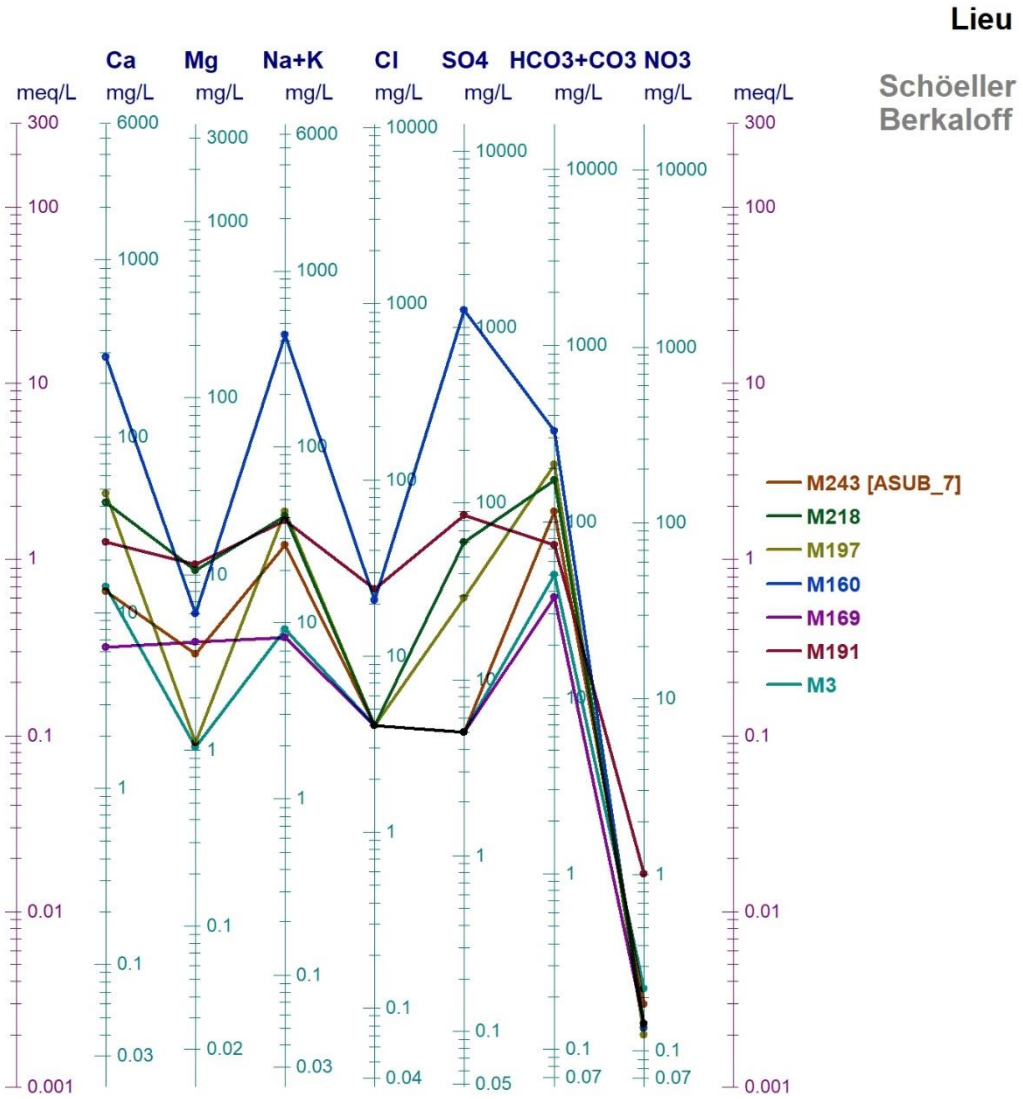


Figura 5-44 Diagrama de Schöeller – Berkaloff de puntos de agua subterránea en acuitardos en el APE COR-15
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

El diagrama de Stiff permite reconocer aguas principalmente con bajo grado de mineralización o evolución hidrogeoquímica, algunos puntos con un poco más de evolución representados por varios aljibes, un pozo profundo y algunos manantiales. Existe tan solo un punto que tiene una alta mineralización (M160), el cual se localiza en el acuitardo Concentración próximo a la falla de Soapagá, ver **Figura 5-45**).

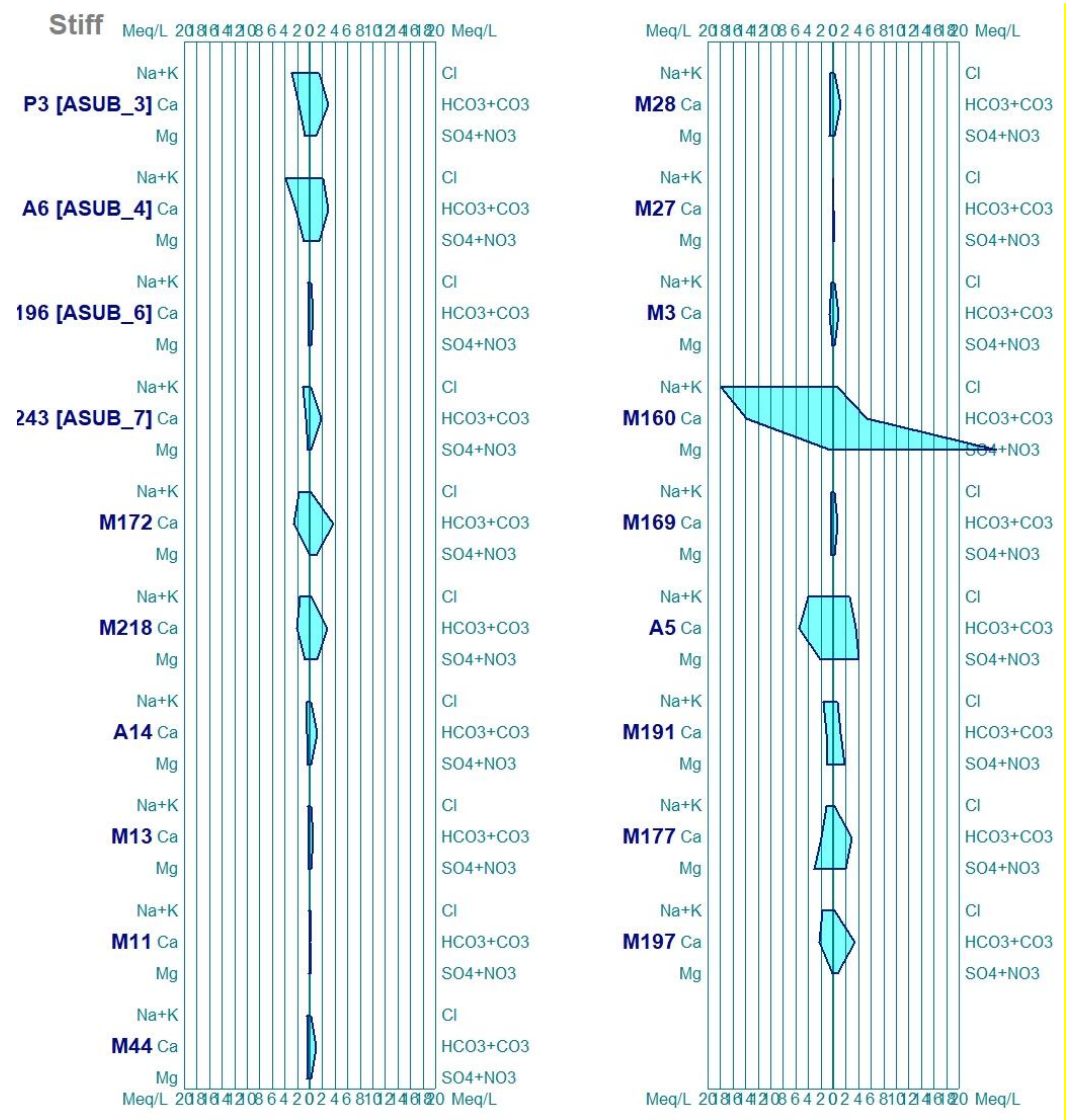


Figura 5-45 Diagrama de Stiff de puntos de agua subterránea EIA APE COR-15
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

Para los diagramas de Stiff de puntos antrópicos se reconoce que son aguas semejantes entre P3 y A6, mientras que A14 es un agua poco evolucionada muy influenciada por aguas meteóricas, lo que está plenamente relacionado con el acuífero somero en el que se localiza. El punto A5 muestra una forma diferente, lo que indica aguas con diferentes aportes evolución que pueden ser por evolución o aportes antrópicos, ver **Figura 5-46**).

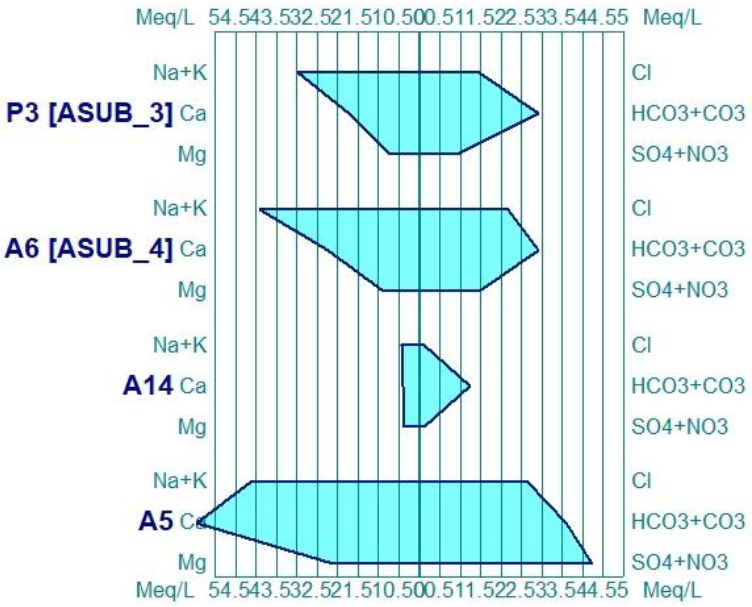


Figura 5-46 Diagrama de Stiff de puntos de agua subterránea antrópicos (pozo y aljibes) EIA APE COR-15
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

Para los diagramas de Stiff de manantiales se identifican aguas de poca mineralización muy similares entre ellas para las surgencias de flujos cortos o subsuperficiales (M11 y M13), mientras que se observa en la mayoría de los casos que las aguas que surgen por contacto y fallas geológicas tienen mayor grado de mineralización o evolución Hidrogeoquímica, ver **Figura 5-47**.

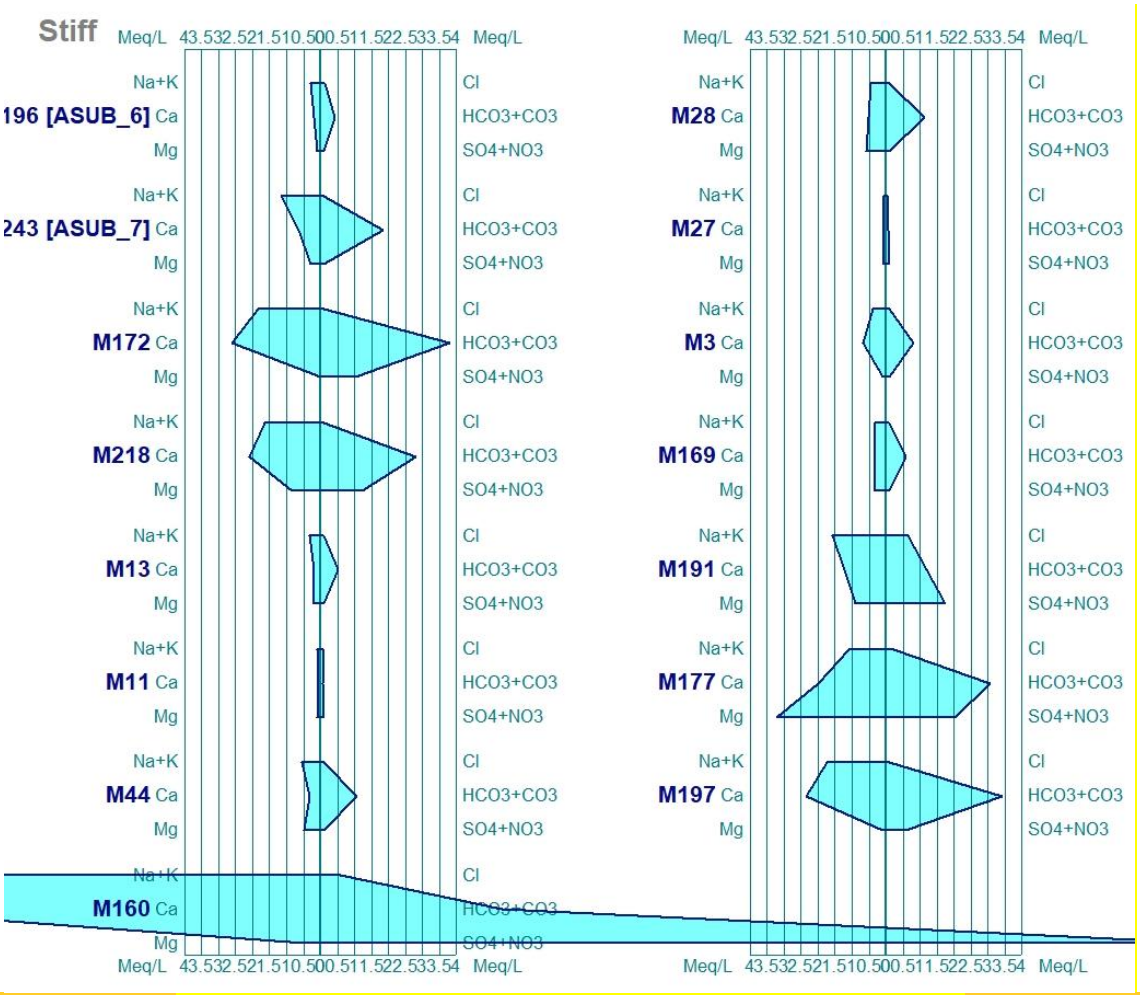


Figura 5-47 Diagrama de Stiff de manantiales EIA APE COR-15

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

- **Aportes de la hidrogeoquímica al entendimiento del sistema hidrogeológico**

La caracterización hidrogeoquímica de las aguas subterráneas en el APE COR-15 tiene los siguientes aportes al entendimiento del sistema hidrogeológico:

- Las aguas subterráneas en general son poco evolucionadas hidrogeoquímicamente. Con esto se infiere que las manifestaciones de agua subterránea son muy dependientes de la precipitación, haciendo de este un sistema dinámico que cambia de manera rápida de acuerdo con los pulsos de precipitación – recarga.
- Se identifican aguas con características hidrogeoquímicas diferenciales en zonas de falla geológica (M160, M191), lo que da indicios de mezclas, mayor evolución o aportes de aguas profundas.
- El punto M160 asociado a la falla de Soapagá muestra un comportamiento anómalo diferencial del resto de puntos analizados, con una mineralización muy elevada representada por altas concentraciones de sulfatos, sodio y calcio. Este resultado permite inferir un flujo ascendente de agua subterránea de mayor mineralización a través de la falla geológica. Además, teniendo en cuenta que hay manaderos de hidrocarburos asociados a

la falla de Soapagá, es posible este punto tenga aporte de hidrocarburos o aguas previamente en contacto con hidrocarburos (en profundidad).

- Las anomalías de los sulfatos identificadas en algunos puntos de fallas y contacto geológicos, unido con la ocurrencia de manaderos de hidrocarburos en ese mismo de características geológicas, permite plantear la hipótesis de aportes de agua ascendentes con mayor grado de mineralización o posiblemente con aporte de hidrocarburos.
- No se identificó una continuidad en la falla de Soapagá de los posibles aportes de flujos profundos, por lo que se plantea la hipótesis de aportes discontinuos provenientes de profundidad, y que el caso identificado está asociado a un foco de alta concentración de sales que fue identificado en primera instancia en el análisis de la conductividad eléctrica.

5.1.6.8 Balance hídrico superficial de largo plazo

Se realizó un balance hídrico de largo plazo para estimar la variación espacial de la oferta hídrica total disponible. Este es un indicador de la posibilidad de recarga de acuíferos en la zona y de su localización más probable. La ecuación que describe el balance de largo plazo es la siguiente:

OH = P - ETR

Donde:

OH: Oferta hídrica total superficial anual [mm],
P: precipitación total anual [mm], y
ETR: Evapotranspiración real [mm]

La precipitación espacial se calculó a partir de la información de precipitación de las estaciones del IDEAM disponibles para el estudio (ver **Figura 5-48)**. Para el AI, se encontraron valores de P entre 754.1 mm y 964.9 mm, con un valor promedio de 846 mm.

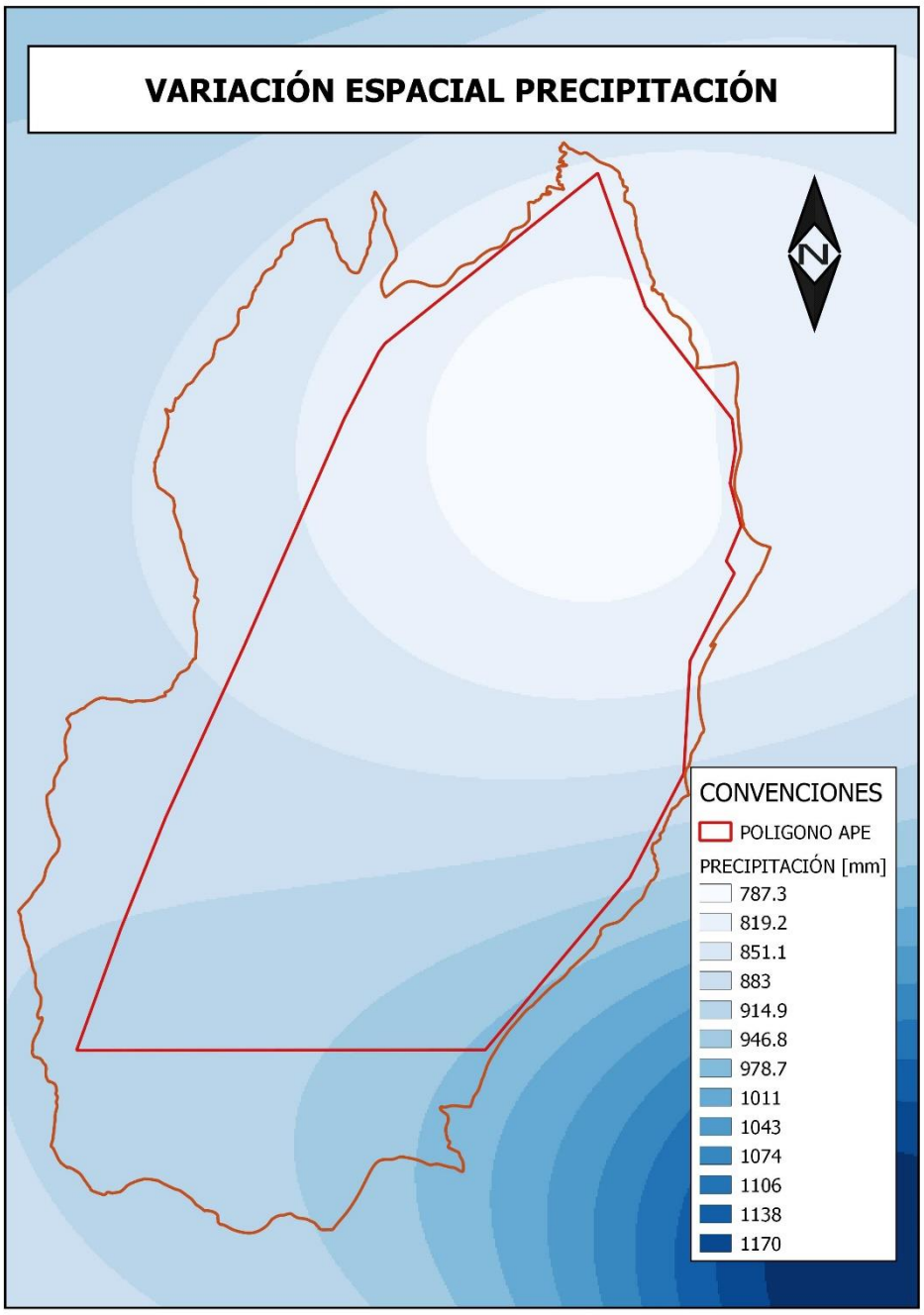


Figura 5-48 Variación espacial de la precipitación total anual en el AI del APE COR-15
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

La evapotranspiración se calculó a partir de la metodología Thorntwaite (Chow et al, 1988) que se aplica de la siguiente manera:

Se determina el índice de calor mensual (i) a partir de la temperatura media mensual (t):

$$\mathrm{i} = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514}$$

Luego se calcula el índice de calor Anual (I) sumando los 12 valores de i:

$$\mathrm{I} = \sum i$$

Se calcula el factor a:

$$a = 675 * 10^{-9} * I^3 - 771 * 10^{-7} * I^2 + 1792 * 10^{-5} * I + 0.49239$$

Se sigue con la estimación de la evapotranspiración mensual "sin corregir" mediante la fórmula:

$$ETP(sin\ Corregir) = 16\left(\frac{10 * t}{I}\right)^{a}$$

Y por último se hace la corrección para el número de días del mes y el número de horas de sol.

$$ETP = ETP(Sin\ corregir) * \frac{N}{12} * \frac{D}{30}$$

Dónde:

$ETP(sin\ Corregir)$: Evapotranspiración potencial a nivel mensual en mm/mes, para meses de 30 días y 12 horas de sol teóricas.

t : Temperatura Media Mensual [°C]. Se utilizó la relación orográfica T = -0.0055*H+15.16 tomada del POMCA Cuenca Media Río Chicamocha (CORPOBOYACA, 2007),

I : Índice de Calor Anual.

ETP: Evapotranspiración corregida [mm].

N : Número máximo de horas de sol, depende del mes y de la Latitud.

D: Número de días del mes.

De este paso a paso se calculó la ETP anual (ver **Figura 5-49**). Para el AI, se encontraron valores de ETP entre 619.2 mm y 768.4 mm, con un valor promedio de 695.4 mm.

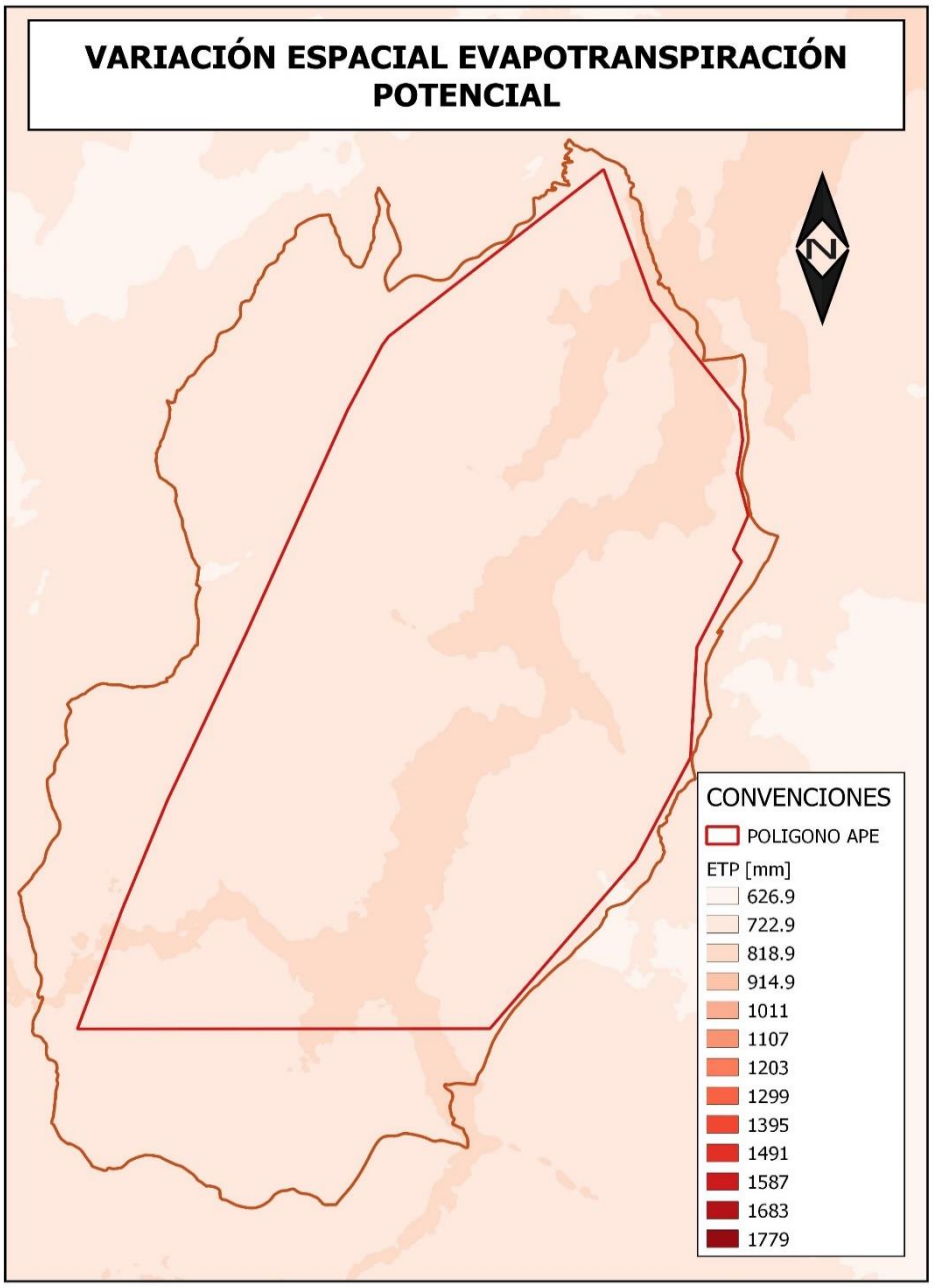


Figura 5-49 Variación espacial de la evapotranspiración potencial total anual en el AI del APE COR-15
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

La evapotranspiración real representa la cantidad real de agua que sale de la cuenca por evaporación y transpiración, teniendo en cuenta las condiciones de humedad, imperantes en la zona. En este proyecto se seleccionó la metodología Budyko, ya que es ampliamente utilizada y ha sido probada en un sin número de estudios en todo el mundo, entre ellos el ENA 2010 (IDEAM, 2010) y el ENA 2014 (IDEAM, 2015).

El método Budyko para el cálculo de la evapotranspiración real, consiste en la siguiente expresión:

$$\text{ETR} = \sqrt{\left[\left(ETP \times P \times Tanh\left(\frac{P}{ETP}\right)\right) \times \left(1 - Cosh\left(\frac{ETP}{P}\right) + Senh\left(\frac{ETP}{P}\right)\right)\right]}$$

Donde:

ETR: Evapotranspiración real [mm]
ETP: Evapotranspiración potencial [mm]
P: Precipitación total [mm]

La ETR espacial fue calculada a partir de la metodología descrita y en la **Figura 5-50** se presentan los resultados. Para el AI, se encontraron valores de ETR entre 483.2 mm y 575.1 mm, con un valor promedio de 524.8 mm.

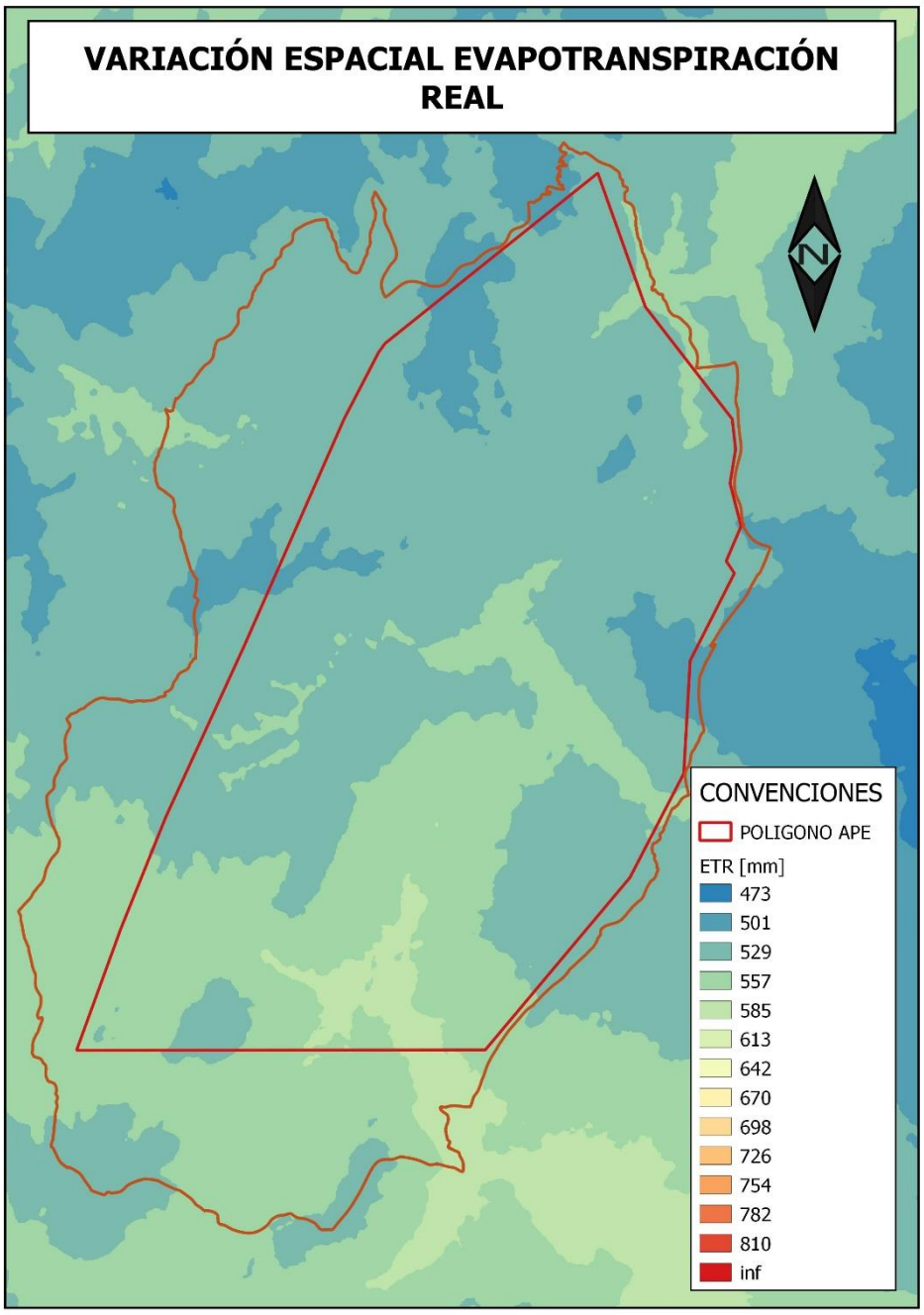


Figura 5-50 Variación espacial de la evapotranspiración real total anual en el AI del APE COR-15
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

Por último, se calculó la OH anual como la sustracción de ETR a P. En la **Figura 5-51** se ve la variación espacial de la oferta hídrica. Para el AI, se encontraron valores de OH entre 235.7 mm y 436.9 mm, con un valor promedio de 321.2 mm. Hay que tener en cuenta que estos valores son solamente indicativos de la posibilidad de recarga y que la proporción real de recarga puede llegar a ser bastante menor, teniendo en cuenta las altas pendientes de la zona y el uso actual del suelo.

Para tener una idea, asumiendo que una proporción del 10 % de la OH llega a los acuíferos, la recarga media sería de cerca de 32 mm al año.

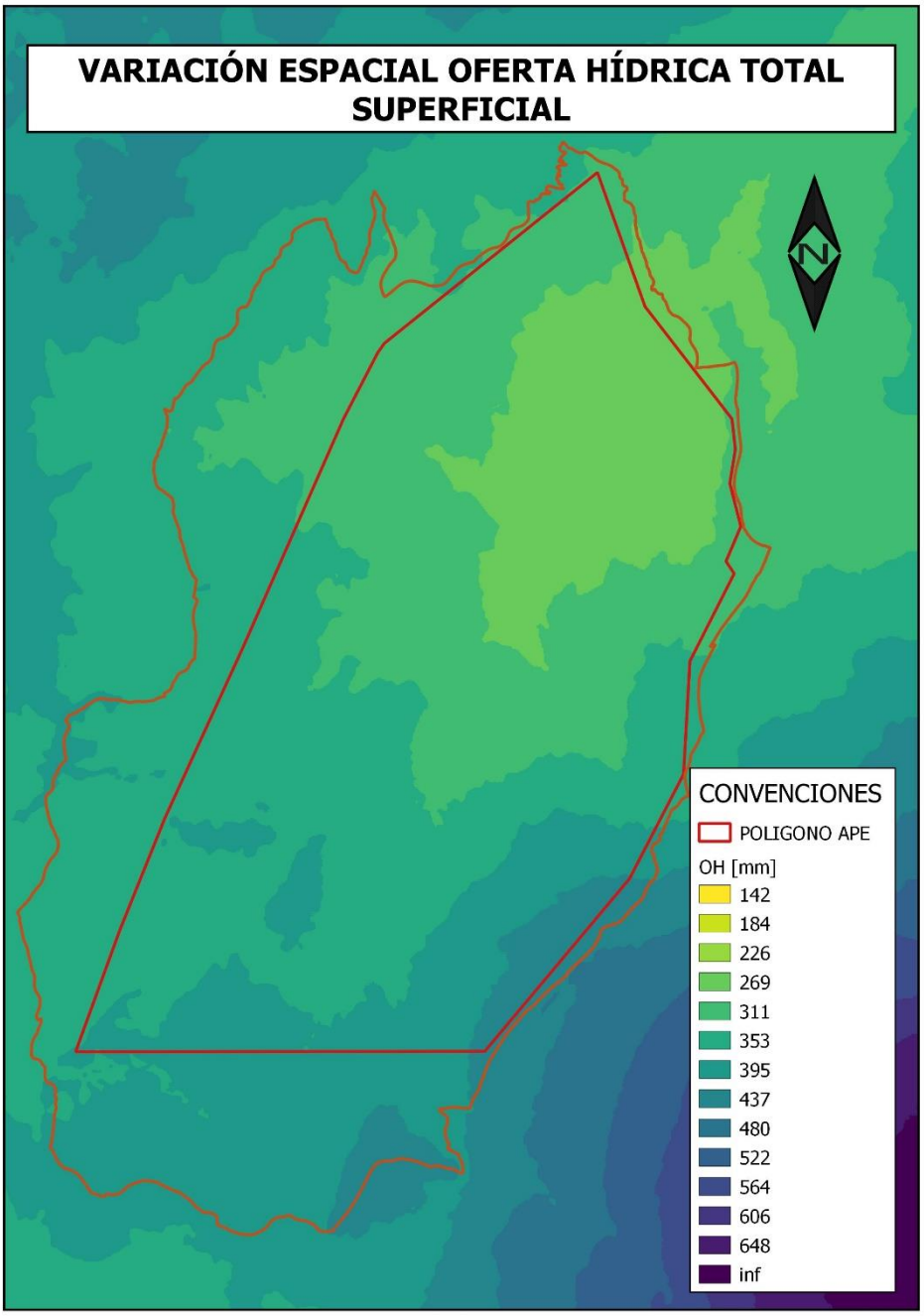


Figura 5-51 Variación espacial de la OH total superficial en el AI del APE COR-15
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

Los sectores más elevados topográficamente hacia el oriente y el occidente del valle del Chicamocha tienen valores mayores de oferta, lo que está relacionado con mayores precipitaciones y menores valores de ETR por la disminución en la temperatura. Esto indica que

estas zonas más altas tienen mayor disponibilidad de agua para generar recarga de acuíferos (ver **Figura 5-52**).

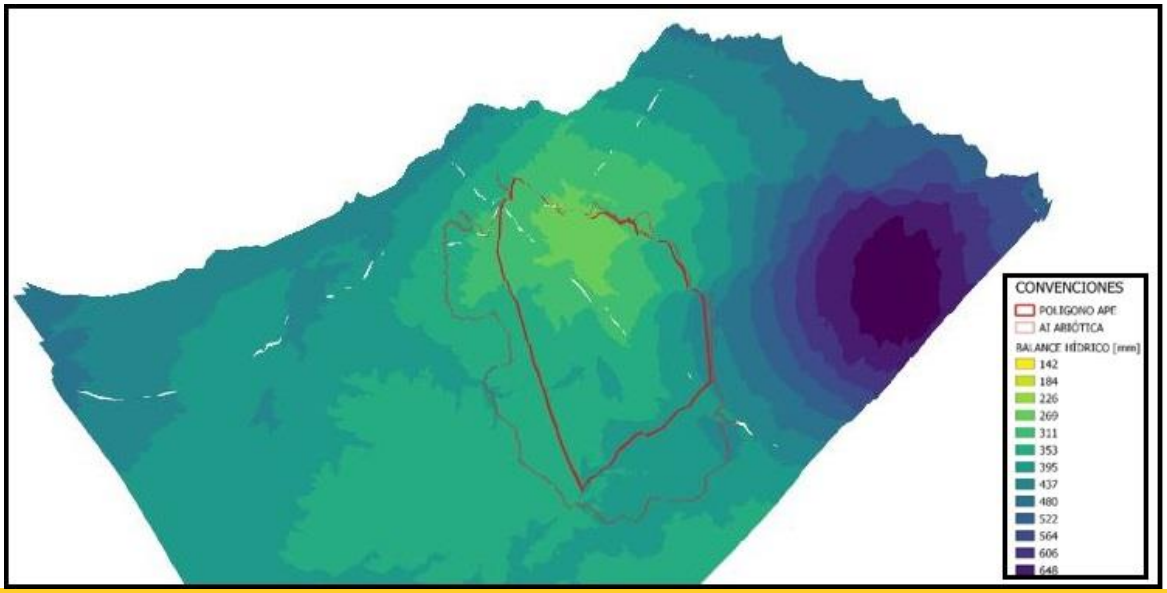


Figura 5-52 Vista 3D desde el occidente de la variación espacial de la OH total superficial en el AI del APE COR-15
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

5.1.6.9 Balance hídrico de suelos

Se propuso un balance hídrico de suelos en busca de una mayor certidumbre en la recarga de acuíferos de la zona de estudio, ya que según el documento Aguas Subterráneas: Un Enfoque Práctico (UNAL, INGEOMINAS, s.f.) es una herramienta que se utiliza para el cálculo de la recarga. Se aplica a partir de información de precipitación, evapotranspiración potencial y suelos. La discretización temporal del balance es mensual, mientras que la discretización espacial es de 25 m. El método seleccionado para la implementación del balance hídrico es Thorntwaite, tal como se muestra en Montaner, Sánchez-Almohalla (1988) con la diferencia que se realiza en un entorno SIG. A continuación, se describe la metodología de implementación espacial del método.

- Se estiman los campos de precipitación total mensual promedio multianual (P) a partir de la red de estaciones hidroclimáticas disponible. Para este insumo se guarda congruencia con la información generada en el capítulo 5.1.5 Hidrología.
- Se calcula la evapotranspiración potencial mensual (ETP) por el método Thorntwaite (descrito en el numeral 5.1.6.8 Balance hídrico). Para esto se utiliza como base la temperatura media mensual disponible en las estaciones hidroclimáticas.
- Se identifica el primer mes del año hidrológico, siendo este el primero que cumple la condición: P>ETP. Para la zona de estudio este mes es abril.
- Se define la reserva útil disponible del suelo (RU) como 0 mm para ese mes (abril).
- Se calcula la ETR con las siguientes condiciones:
- Sí P > ETP, entonces ETR = ETP,
- Sí P < ETP, verificar P + RU >= ETP, entonces ETR = ETP,
- Sí P < ETP, y P + RU < ETP, entonces ETR = P.
- Se calcula la reserva útil del suelo para el mes subsiguiente como P – ETR + RU. Si este valor es mayor que la reserva útil máxima del suelo (RUmax) se pone el valor de RUmax

para la RU del mes subsiguiente. Si el valor es menor que 0 se pone 0 para la RU del mes subsiguiente.

- Se calcula el déficit hídrico del mes (DEF) como ETR – ETR.
- Se calcula el superávit del mes (SUP) como P – ETR + DRU. Si este valor es menor que 0 se pone 0 para el SUP del mes.
- Se calcula la recarga del mes (R) como el 25 % del superávit del mes, teniendo en cuenta la poca disponibilidad de agua en la zona, las altas pendientes y la línea conceptual propuesta por Montaner, Sánchez-Almohalla (1988).
- Se reinicia el cálculo el mes siguiente hasta completar todo el año hidrológico.
- Por último, se totalizan los flujos de humedad calculados para tener el valor anual representativo.

La precipitación que se utilizó como base para la espacialización mensual se presenta en la Tabla 5-56. Mientras que los valores de temperatura media mensual utilizados para la espacialización están en la Tabla 5-57.

Tabla 5-56 Precipitación total mensual media multianual [mm] usada en el balance hídrico de suelos

CÓDIGO	NOMBRE	ESTE [m]	NORTE [m]	ALTURA [msnm]	ENE	FEB	MAR	ABR	MAYO	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
24030350	Duitama	1,114,397	1,136,552	2540	25	43	72.5	127	118.7	61	51	54.9	70.7	135	92.5	52
24035120	Surbata_bonza	1,111,095	1,133,489	2485	23	43	75.7	130	113.8	64.1	49.9	51	76.1	117	90.5	44
24030640	Nimicia_esc_rural	1,144,849	1,131,336	3200	22	36	65	107	126.9	162	201	159	100	113	85.4	38
24030560	Mongua	1,142,120	1,128,678	2900	19	29	64.7	97.2	101.8	91.9	109	99	75.4	92.4	78	31
24030190	Monguí	1136215.9	1,124,923	2970	19	36	63.6	113	100.8	51.4	64.9	51.9	50.7	92.8	84.5	28
24030790	Nobsa	1,125,969	1,130,306	2500	27	42	73	113	100.9	52.1	50.6	43.8	59.7	109	98.1	41
24035150	Belencito	1,131,057	1,131,220	2530	31	41	74.7	118	100.4	52.3	46	46.2	58.9	102	91.4	42
24030400	Sta_rosa_viterbo	1,120,905	1,140,838	2690	27	41	84.9	137	130.2	57.2	51.6	54.2	73.3	145	109	51
24030670	Sta_rosita	1,144,623	1170856.07	3240	34	57	77.4	139	110.5	55.5	54.3	55.1	91	134	115	44
24030570	Aposentos	1,159,667	1,162,315	2328	27	39	58.1	111	98.5	35	32.3	40.1	53.2	109	104	43
24030690	Curital	1,158,722	1,154,182	3052	34	42	72.2	139	114.9	66.1	70.2	69.5	74.9	125	106	44
24030940	Sena	1,129,558	1,128,393	2500	26	37	60.4	111	88.9	45.1	40.5	39.8	54.5	86.6	80	32
24030160	Tasco	1,143,169	1,139,960	2486	23	39	74.6	120	82.7	43.5	40.5	39.5	53.1	84.1	81.5	36
24030410	Tibasosa	1,118,812	1,127,020	2500	23	31	62.3	100	93.9	49.2	75.7	46.6	49.5	103	78.1	41
24030650	Tutasa	1,135,283	1,159,106	2833	35	57	91.6	151	112.1	50.4	51.5	60.4	83	119	93.6	43
24030860	La_capilla	1,134,042	1,166,527	2800	34	61	95.4	148	127.5	54.3	46.8	61.4	86.2	137	95	54

Fuente: *UPTC - INCITEMA, 2019*

Tabla 5-57 Temperatura media mensual [°C] multianual usada en el balance hídrico de suelos

CÓDIGO	NOMBRE	ESTE [m]	NORTE [m]	ALTURA [msnm]	ENE	FEB	MAR	ABR	MAYO	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
24035120	Surbata_bonza	1111094.73	1133488.93	2485	14.5	14.7	15	15.1	14.8	14.2	13.9	13.9	13.9	14.2	14.4	14.2
24035150	Belencito	1131057.12	1131220.00	2530	16	16.2	16.3	16.1	15.8	15.5	15.1	15.1	15.2	15.5	15.8	15.7

CÓDIGO	NOMBRE	ESTE [m]	NORTE [m]	ALTURA [msnm]	ENE	FEB	MAR	ABR	MAYO	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
24035170	Tunguavita	1106465.30	1127228.87	2470	14.9	15.1	15.4	15.3	15.1	14.5	14.1	14.2	14.3	14.6	14.9	14.6
24035320	Sativanorte	1151955.54	1168354.76	2594	15.5	15.5	15.5	15.4	15.4	15.2	15	15.1	15.2	15.2	15.2	15.3

Fuente: *UPTC- INCITEMA , 2019*

La reserva útil máxima del suelo se calculó con base en los resultados de capacidad de campo y punto de marchitez permanente obtenidos en los análisis de laboratorio de suelos desarrollados en el estudio de impacto ambiental. Los resultados de RUmax se presentan en la **Tabla 5-58.**

Tabla 5-58 RU máx. por unidad de suelos

UNIDAD SUELO	RESERVA ÚTIL MÁXIMA [mm]
MHE	170
MHV	357
MLV	87
MMA	200
MMC	216
MME	255
MMH	243
MMX	224
VMA	231

Fuente: *UPTC - INCITEMA, 2019*

El balance hídrico de suelos espacial se llevó a cabo en el software QGis ® con la herramienta Processing Modeler. En el Anexo Balance Hídrico de Suelos se presentan los ráster base de P, T, ETP, así como los valores de ETR, DEF, SUP y R generados para cada mes y acumulado anual.

En la **Figura 5-53** se presenta el resultado de recarga anual obtenido al aplicar el balance hídrico de suelos.

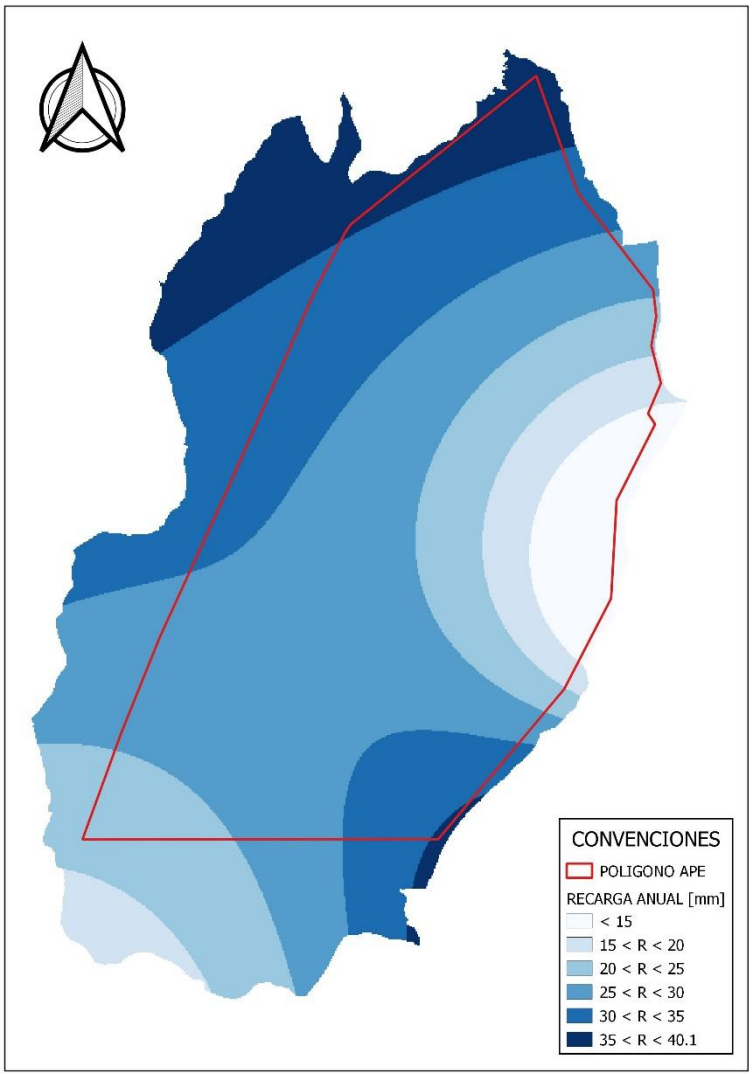


Figura 5-53 Recarga calculada a partir de balance hídrico de suelos
Fuente: *UPTC - INCITEMA, 2019*

Se identifican rangos de recarga de acuíferos que van aproximadamente desde 3 mm hasta 40 mm, con un valor medio de 27.4 mm que representa el 8.5 % de la OHTS[1], esta condición da cuenta de la poca recarga de acuíferos que se genera en la zona, por cuenta de la baja pluviosidad del valle medio del Chicamocha. Los resultados son congruentes con las observaciones de campo, donde se observa un paisaje en general muy seco en el área de estudio, con algunos sectores un poco más reverdecidos hacia el noroccidente en Betéitiva.

5.1.6.10 Identificación de zonas de recarga, descarga y tránsito de agua subterránea

El proceso de recarga de acuíferos versa de la entrada de agua al sistema hídrico subterráneo. Esta puede proceder del agua infiltrada procedente de la precipitación, entrada desde otras

[1] Nótese la cercanía a la aproximación de recarga como el 10 % de la oferta hídrica total superficial (OHTS) hecha en el numeral 5.1.6.8. contra el 8.5 % estimado a partir del balance hídrico de suelos.

cuencas y goteos y migraciones ascendentes. Para los fines de este estudio se estimará la ubicación de las zonas de recarga en superficie proveniente de la lluvia, teniendo en cuenta que en los sistemas tropicales esta es la fuente más significativa.

La delimitación de las zonas de recarga en la zona de estudio se realizó a partir de la metodología APLIS ((B. Andreo, J.A López-Geta, J. Vías, J.J Durán, F. Carrasco y P. Jiménez, 2004) en conjunto con los resultados del balance hídrico de suelos. El método APLIS determina la probabilidad de recarga, evaluando las zonas donde las condiciones del terreno permiten la acumulación de flujo, expresada como porcentaje de la precipitación, a partir de las siguientes variables: Altitud (A), Pendiente (P), Litología (L), áreas de absorción-Infiltración preferencial (I) y Suelo (S). A cada variable se ha asignado categorías o intervalos, entre 1 (mínima influencia en la recarga) y 10 (máxima influencia) y se han almacenado en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Esta metodología fue adaptada en el marco del proyecto APE-COR 15 “Prospección de recursos hídricos subterráneos en el área COR-15, departamento de Boyacá”, siendo también aplicada y desarrollada en trabajos posteriores (Andreo et al, 2004).

La aplicación del método APLIS[2] permite estimar la probabilidad de recarga mediante la superposición en el SIG de las capas de información correspondientes a las variables (altitud, pendientes, litología, infiltración y suelos). Cabe aclarar que en la susceptibilidad a inundación la probabilidad de recarga es inversamente proporcional a la acumulación del flujo en superficie.
La expresión para calcular la probabilidad de recarga es la siguiente:

$$R = (A + P + 3 \cdot L + 2 \cdot I + S) / 0.9$$

Donde:

R: Probabilidad de recarga
A: Altitud
P: Pendientes
L: Litología
I: Infiltración
S: Suelos
Adicionalmente, la probabilidad de recarga se encuentra agrupada en cinco intervalos, a los cuales se le asigna una categoría según el porcentaje de lluvia, como se presenta en la **Tabla 5-59**.

Tabla 5-59 Categorías de la probabilidad de recarga según el método APLIS

INTERVALOS DE RECARGA (%R) MÉTODO APLIS	CLASE DE RECARGA
≤ 20	Muy Baja
20-40	Baja
40-60	Moderada
60-80	Alta
>80	Muy Alta

Fuente: Modificado de la Aproximación Metodológica para Evaluar la Recarga en Acuíferos carbonaticos. Boletín Geológico y Minero (Andreo et al, 2004)

[2] En el Anexo **Modelo APLIS para zonificación de recarga** se presenta la GDB con los insumos y la aplicación del método.

Los rangos de clasificación y características de los parámetros: Altitud (A), Pendiente (P), Litología (L), áreas de absorción-Infiltración preferencial (I) y Suelo (S), necesarios para realizar el cálculo de la recarga en el proyecto EIA APE COR-15; se describe a continuación.

- **Altitud (A)**

Dentro de la metodología APLIS se genera una salida cartográfica de la variable altitud, para esto se toma como insumo principal el DEM de la zona APE COR 15 con una resolución espacial de 12.5 m, al cual se realiza un proceso de reclasificación según los valores de la **Tabla 5-60**, la puntuación se ha agrupado en intervalos de 300 m y mayores a 2700 m, asumiendo que conforme aumente la altitud, aumenta la tasa de precipitación y la recarga.

Tabla 5-60 Calificación de la variable Altitud (A)

ALTITUD (m)	VALOR
-	1
-	2
1900-2100	3
2100-2400	4
2400-2700	5
2700-3000	6
3000-3300	7
3300-3600	8
3600-3900	9
3900-4200	10

Fuente: Modificado de Andreo et al, 2004

Aplicando esta calificación al área de interés, se obtiene la siguiente salida cartográfica.

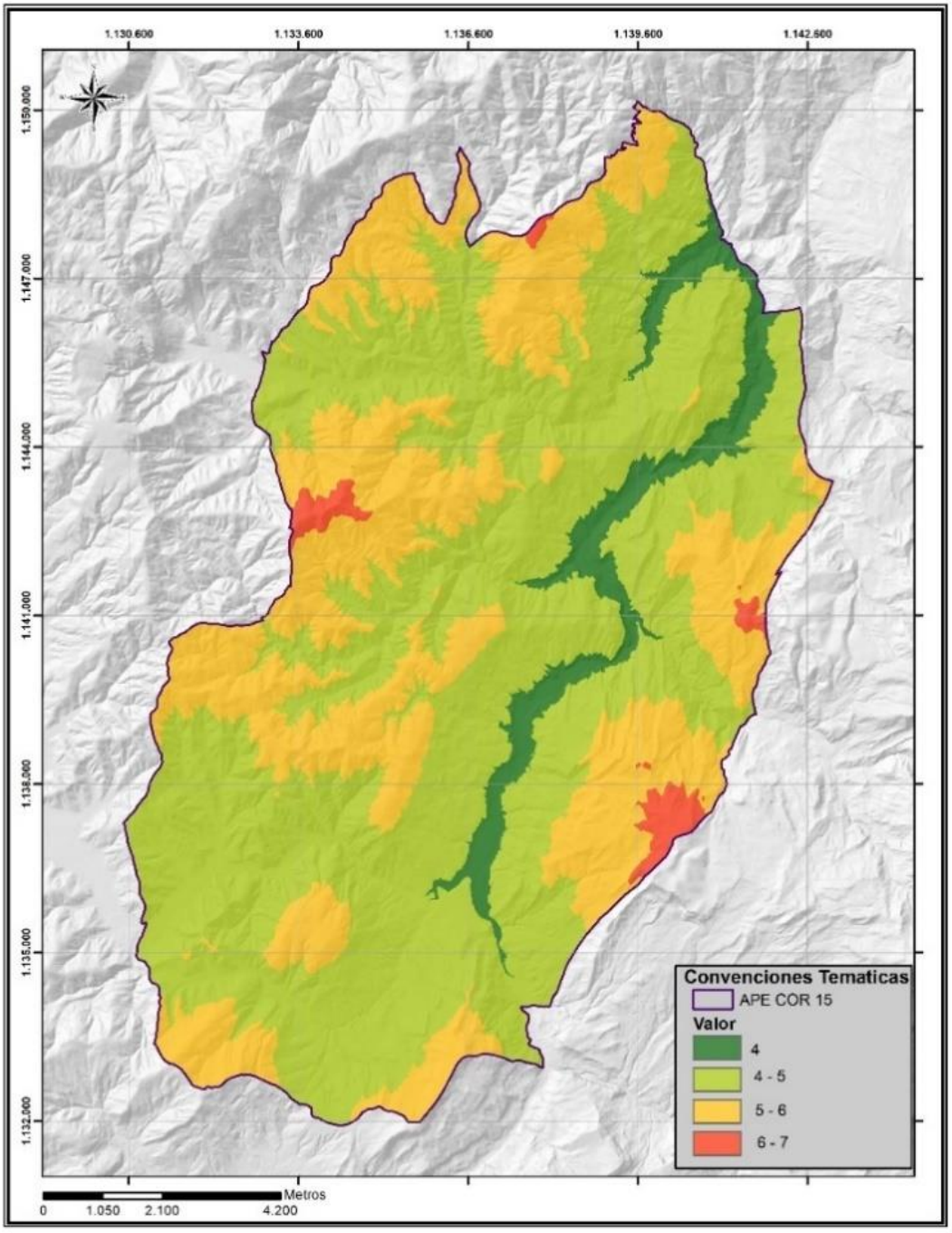


Figura 5-54 Variable altitud APLIS
Fuente: *UPTC - INCITEMA, 2019*

- **Pendientes (P)**

Dentro de la metodología APLIS, los valores de pendiente se han agrupado en nueve clases irregulares expresadas en porcentaje, donde los valores bajos de pendiente son las más propensas

a la acumulación de agua, es decir la probabilidad de recarga es mayor (10), mientras que para valores altos de pendientes la probabilidad es mínima (1). Estos valores son determinados por la relación entre zonas planas de acumulación de agua y zonas escarpadas. A mayor pendiente, más velocidad de las aguas de escorrentía y menor retención de agua en superficie. El campo pendiente se originó a partir de la caracterización de los parámetros de relieve, entre ellos la pendiente, determinadas por el análisis espacial de un modelo digital de elevación.

Las puntuaciones varían entre 1 y 10, siguiendo una progresión aritmética de diferencia 1, con el objetivo de que se puedan equiparar fácilmente a porcentajes de recarga del acuífero. Su cálculo se realizó a través del uso de la herramienta Reclassify, agrupándose en intervalos irregulares, estos valores fueron tomados como se indica en **Tabla 5-61**.

Tabla 5-61 Calificación de la variable Pendientes

PENDIENTE (%)	VALOR
≤ 3	10
3-8	9
8-16	8
16-21	7
21-31	5
31-46	4
46-76	3
76-100	2
>100	1

Fuente: Modificado de Andreo et al, 2004

Una vez clasificadas las pendientes se obtiene el mapa mostrado en la **Figura 5-55**.

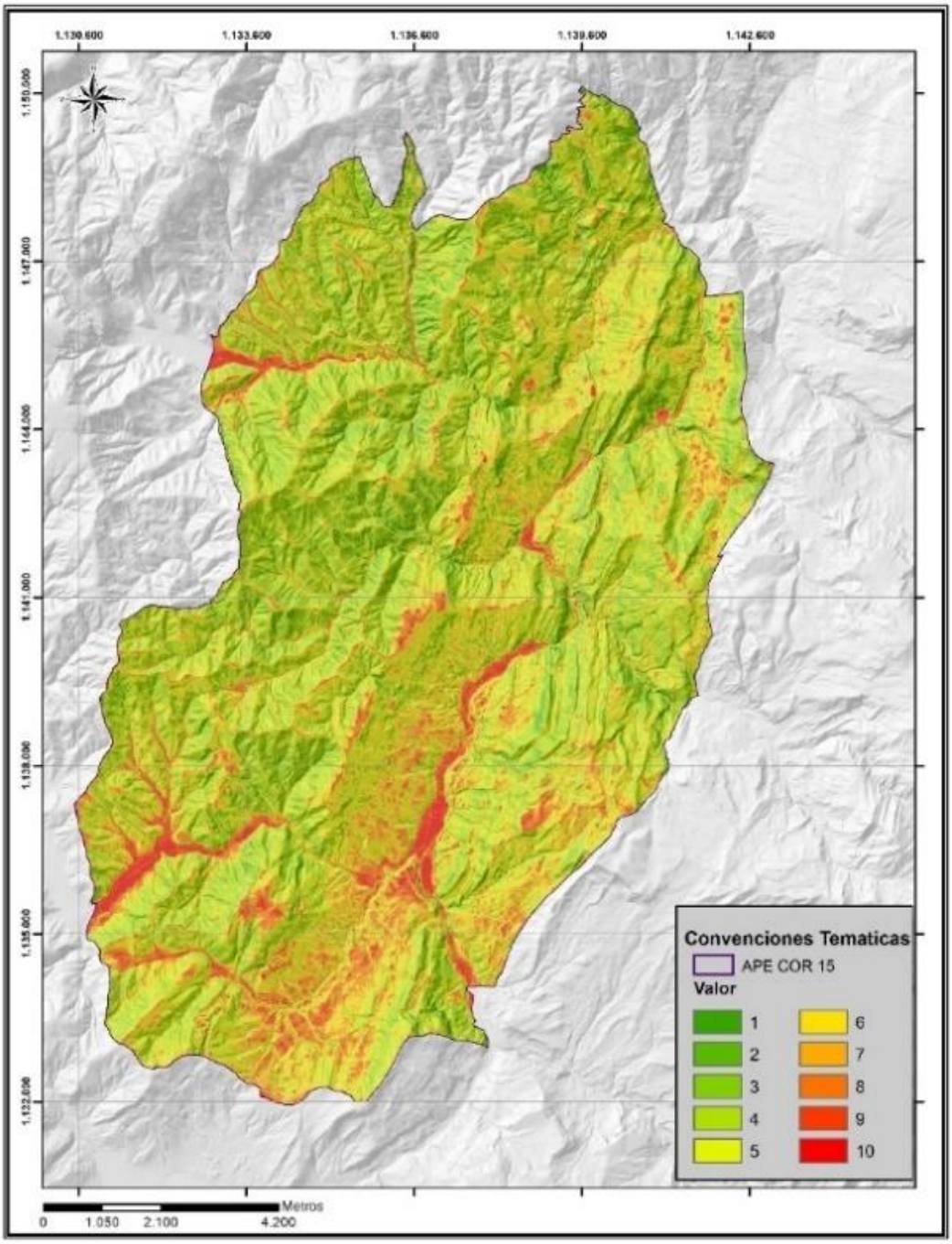


Figura 5-55 Variable Pendientes APLIS
Fuente: *UPTC - INCITEMA, 2019*

- **Litología (L)**

Para obtener la variable litología se tomó como insumo la cartografía geológica a escala 1:25.000 generada en el EIA APE COR-15, la cual cuenta con información litológica y grado de fracturamiento de los diferentes tipos de rocas que afloran en los municipios de Corrales,

Busbanzá, Betéitiva y Tasco, encontrando una relación directamente proporcional entre el aumento del grado de fisuración y la capacidad de retención hídrica de la roca, variables que se clasifican en función del comportamiento hidrológico como se indica en la **Tabla 5-62**.

Tabla 5-62 Calificación de la variable Litología

LITOLOGÍA	VALOR
Calizas y dolomías	10-9
Calizas y dolomías fracturadas	8-7
Calizas y Dolomías Fisuradas	6-5
Arenas, gravas, coluviones	4
Brechas y conglomerados	3
Rocas plutónicas y metamórficas	2
Esquistos, Pizarra, Limos, Arcilla	1

Fuente: Modificado de Andreo et al, 2004

Partiendo de la metodología descrita, se obtiene la salida cartográfica presentada en la Figura 5-56

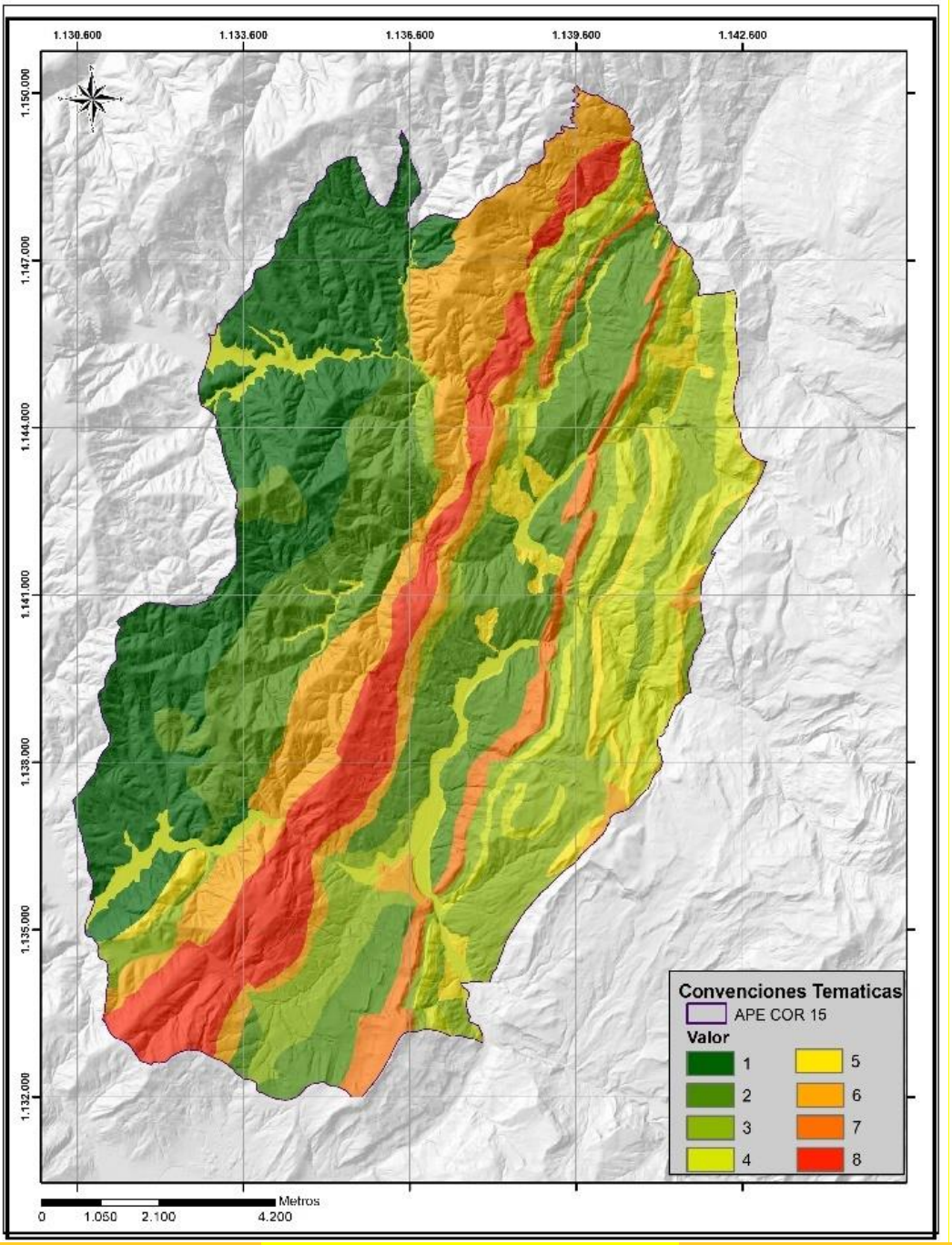


Figura 5-56 Variable Litología APLIS
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

Para el resultado se determinó diferentes tipos de zonas litológicas lo que demuestra un gran contraste en la geología de la zona. En el área predominan filitas, esquistos, areniscas lodosas y areniscas por lo que se asume que es probable una inundación en función del grado de fisuramiento local de las rocas y sus propiedades de permeabilidad. Se asigna una calificación de

1,2 y 3 en las zonas de menor infiltración correspondientes a rocas arcillosas y alta densidad de las litologías que componen las Formaciones Filitas y esquistos de Busbanzá (? o?efb), Neis de Quebradas (?o?nq), Floresta (D2f) y areniscas de Socha (E1ars).

- **Infiltración (I)**

Para la variable infiltración se analiza la composición litológica, estructural (pliegues y fallas) o el grado de fracturamiento de las diferentes unidades geológicas aflorantes en los municipios de Corrales, Busbanzá, Betéitiva y Tasco. Se determinó que existe una relación directamente proporcional entre el aumento de la densidad de fracturamiento y la probabilidad de infiltración. Según los autores se asignaron diez clases según el porcentaje de fracturamiento.

Los porcentajes de fracturamiento fueron determinados y modificados del método utilizado para calcular la densidad de fracturamiento en el documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000. Esta metodología se realiza mediante el algoritmo line Density de ArcInfo, el cual es expresado en metros por kilómetro cuadrado, este método calcula la densidad de líneas en la vecindad de cada píxel definida por un radio de búsqueda, para esto a partir de cada centro se dibuja un círculo de radio R, se toma la longitud de la línea de falla que cae dentro de este círculo y se multiplica por el peso de la actividad. (Servicio, 2013, pág. 46).

Los valores quedaron consignados en la **Tabla 5-63**, como se infiere a continuación.

Tabla 5-63 Calificación de la variable Infiltración

FRACTURAMIENTO (%)	VALOR
0,000261	1
0,000712	2
0,00106	3
0,00139	4
0,00172	5
0,002033	6
0,002346	7
0,002728	8
0,003249	9
0,004448	10

Fuente: *UPTC - INCITEMA, 2019*

Finalmente, la representación de la variable infiltración en el área de estudio se presenta en la **Figura 5-57**.

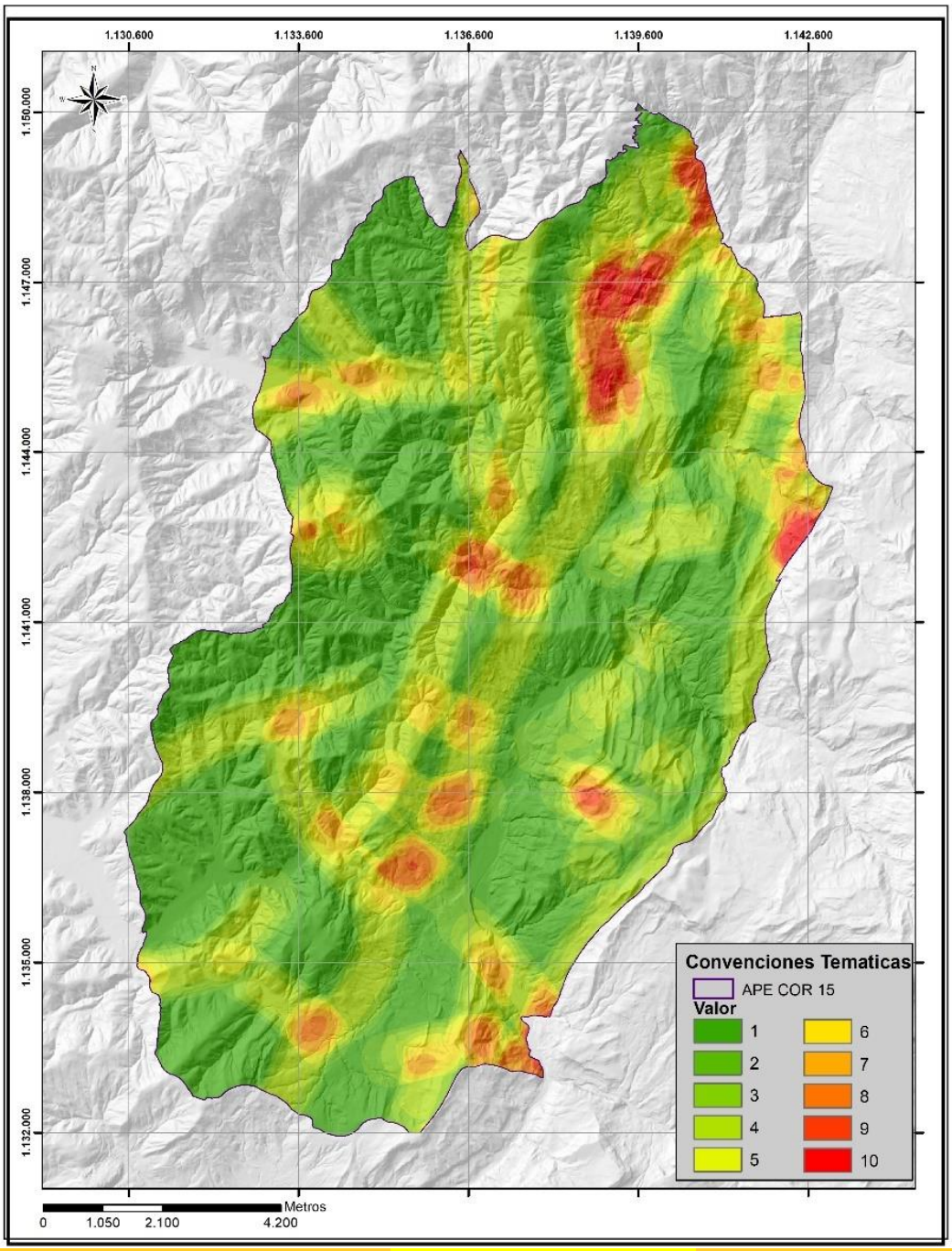


Figura 5-57 Variable Infiltración APLIS
Fuente: UPTC - INCITEMA, 2019

- **Suelos (S)**

Las unidades de suelo caracterizadas para el presente estudio han sido clasificadas de acuerdo a los grupos hidrológicos propuestos por el SCS (Soil Conservation Service), estos grupos van desde A hasta D, representando el grupo A un potencial de escurrimiento mínimo, y el Grupo D un

potencial de escurrimiento alto, que en relación a la capacidad de infiltración se comporta de manera inversa, es decir a mayor potencial de escurrimiento, la capacidad de infiltración disminuye.

Se describe a continuación, las características de los grupos hidrológicos.

Suelo tipo A: Potencial de escurrimiento bajo. Suelos con altas capacidades de infiltración cuando están completamente húmedos, principalmente arenas y gravas muy bien drenadas. Suelos con alta transmisión de agua.

Suelo Tipo B: Suelos con capacidades de infiltración moderadas cuando están completamente húmedos, principalmente suelos medianamente profundos y drenados, con textura de sus agregados variando entre moderada y muy fina. Tiene velocidades medias de transmisión de agua.

Suelo tipo C: Suelos con capacidades de infiltración baja cuando están completamente húmedos, principalmente suelos que contiene una capa que impide el movimiento hacia abajo o suelos con textura fina o moderadamente fina. Estos suelos tienen baja transmisión de agua.

Suelos tipo D: Suelos con capacidades de infiltración muy bajas cuando están completamente húmedos. Suelos que expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos. Suelos con transmisión del agua muy baja.

Con el objetivo de equiparar los porcentajes de recarga de acuífero y mantener la relación en los rangos de calificación en todas las variables del método APLIS, se propone los siguientes valores señalados en la **Tabla 5-64**.

Tabla 5-64 Calificación de la variable Suelos

GRUPO DE SUELO HIDROLÓGICO	CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN	VALOR
Suelo Tipo A	Alta	10
Suelo Tipo B	Moderada	8
Suelo Tipo C	Baja	6
Suelo Tipo D	Muy Baja	3

Fuente: *UPTC - INCITEMA, 2019*

Finalmente, la representación de la variable suelos desde la clasificación hidrológica para el área de estudio se presenta en la **Figura 5-58**.

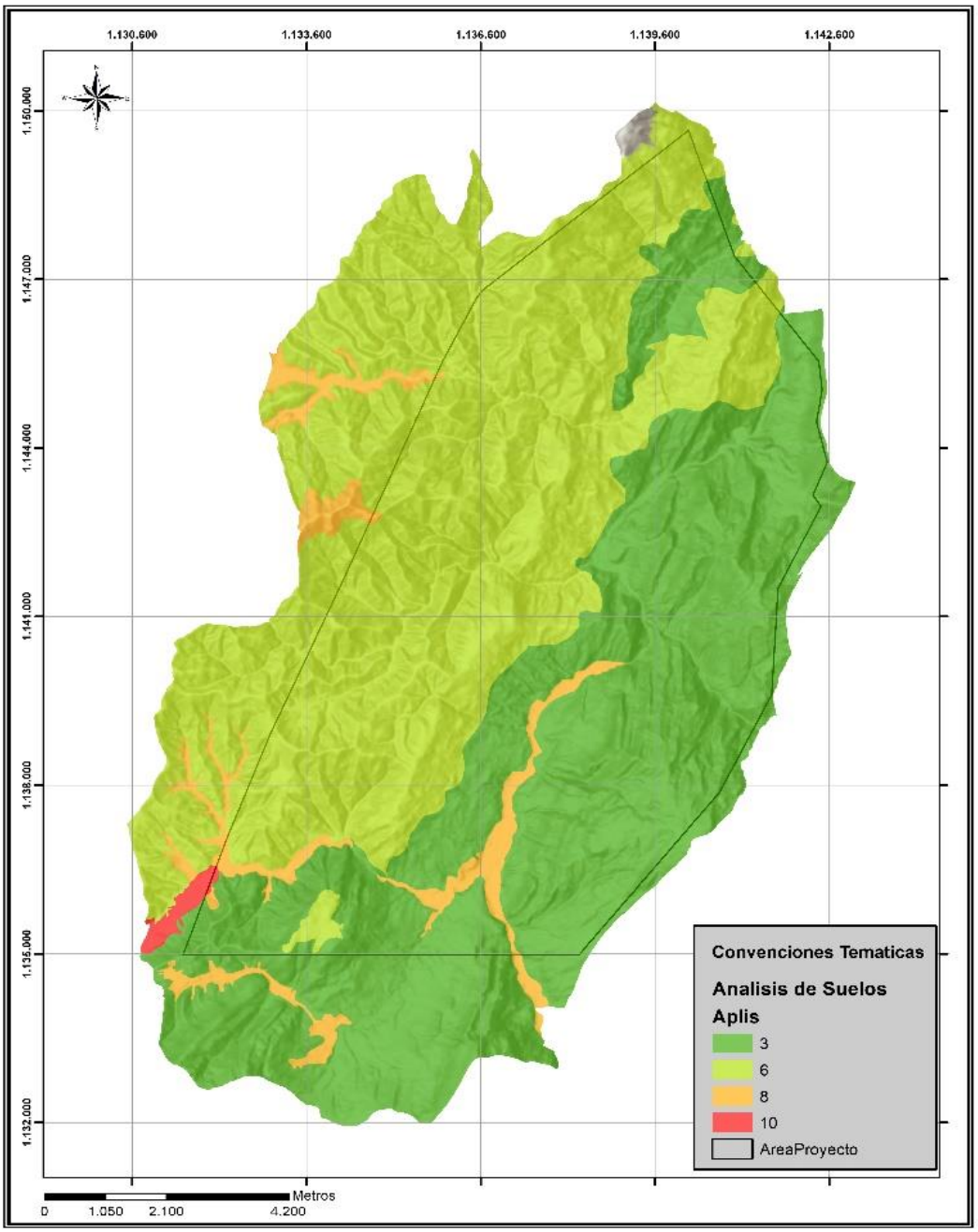


Figura 5-58 Variable Suelos APLIS
Fuente: UPTC - INCITEMA, 2019

- **Probabilidad de recarga**

Realizados los cruces temáticos a partir de los mapas índices producto de la calificación multi criterio para las variables anteriormente descritas se obtuvo en distribución de los valores calculados, en predominancia de áreas con muy baja a baja recarga y una franja media que se extiende en dirección noreste.

La probabilidad de recarga por el método APLIS para el área del proyecto APE COR-15, se muestra a continuación.

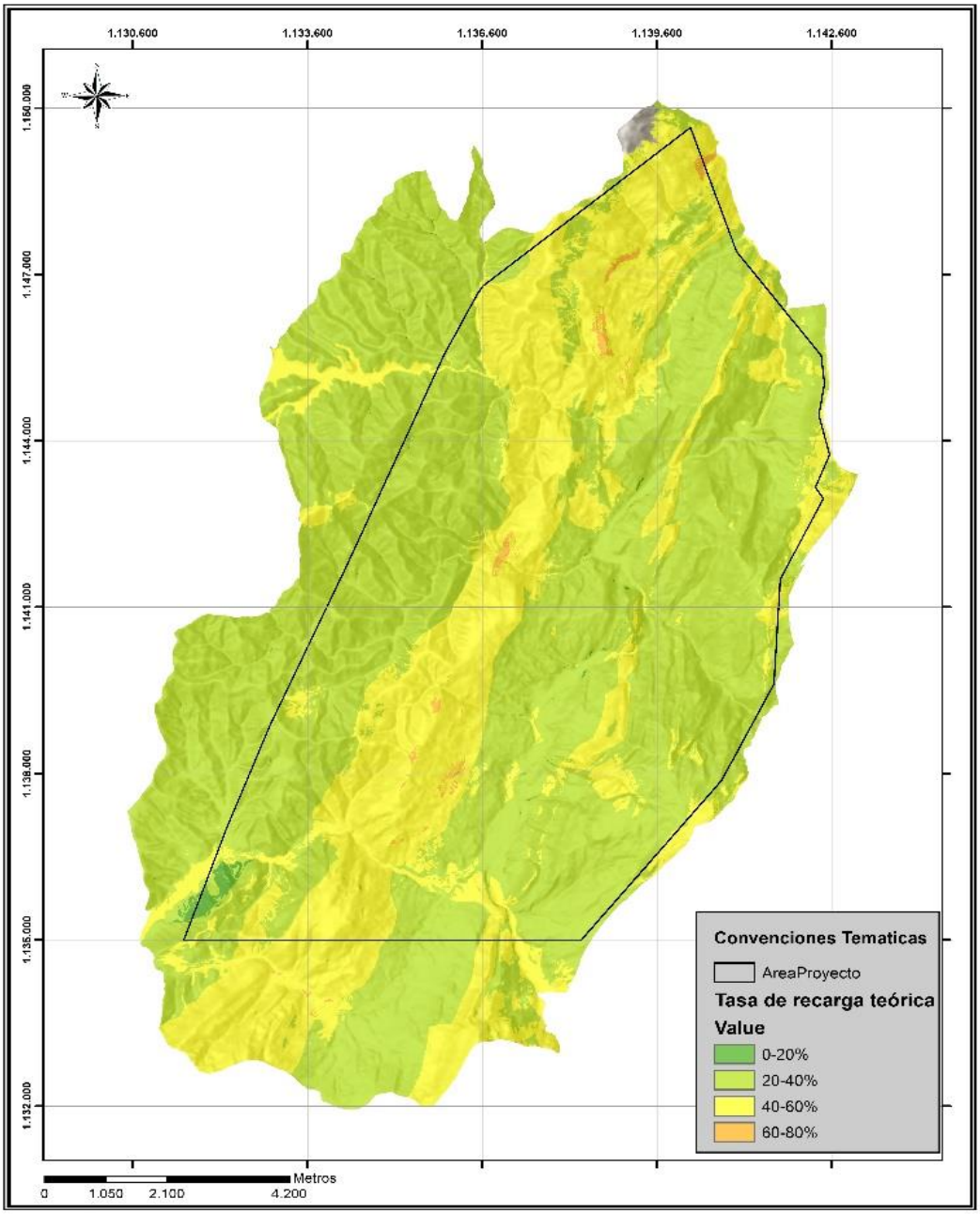


Figura 5-59 Probabilidad de recarga de acuíferos método APLIS
Fuente: UPTC - INCITEMA, 2019

La metodología de delimitación de zonas de recarga tuvo en cuenta las clases de zonas propuestas en la GDB para la capa espacial ZonasRecarga: recarga, descarga y tránsito.

Conceptualmente el flujo de agua ingresa por las zonas de recarga, se mueve por las zonas de tránsito y surge en las zonas de descarga. Los pasos y criterios aplicados para la zonificación de la recarga son como sigue:

- Las zonas de recarga: conceptualmente son aquellas zonas que tienen las características físicas superficiales (según modelo APLIS) y subterráneas (acuíferos aflorantes) para que se dé el proceso de recarga de acuíferos y además tienen disponibilidad de agua en superficie para ser recargada (R > 30 mm). Llevado esto a la realidad del proyecto, las zonas de recarga son aquellas que áreas que tienen probabilidad muy alta, alta y moderada de recarga (según el modelo APLIS, ver **Figura 5-60**), donde afloran acuíferos (ver **Figura 5-62**) y que además tienen una lámina de recarga estimada en el balance hídrico de suelos superior que 30 mm (ver **Figura 5-61**) tal que pueda generar un aporte sustancial a los acuíferos en profundidad.
- Las zonas de descarga: con base en el modelo hidrogeológico conceptual, dentro de estas zonas se encuentra: la franja más próxima (buffer de 20 m) a los manantiales identificados en el inventario; el río Chicamocha, debido a que los niveles freáticos en el valle aluvial del río son someros, sumado a que el río es perenne y recibe flujo base en temporadas de estiaje; una franja de 100 m a lado y lado de las fallas geológicas según la hipótesis de flujo en fallas; y una franja de 50 m a lado y lado de los contactos geológicos.
- Zonas de tránsito: son todas aquellas zonas que no se clasificaron en recarga o descarga. Esto no implica que el flujo de agua subterránea se de en la unidad geológica que está aflorando en esta zona, tan solo significa que en algún sitio en profundidad pueden existir flujos subterráneos que conecten las zonas de recarga y descarga.
- Si en un sector se cumple con los criterios de zona de recarga y a su vez se tiene una zona de descarga, prevalece la zona de recarga en la zonificación y se dejaba esa clasificación en la capa espacial de recarga.

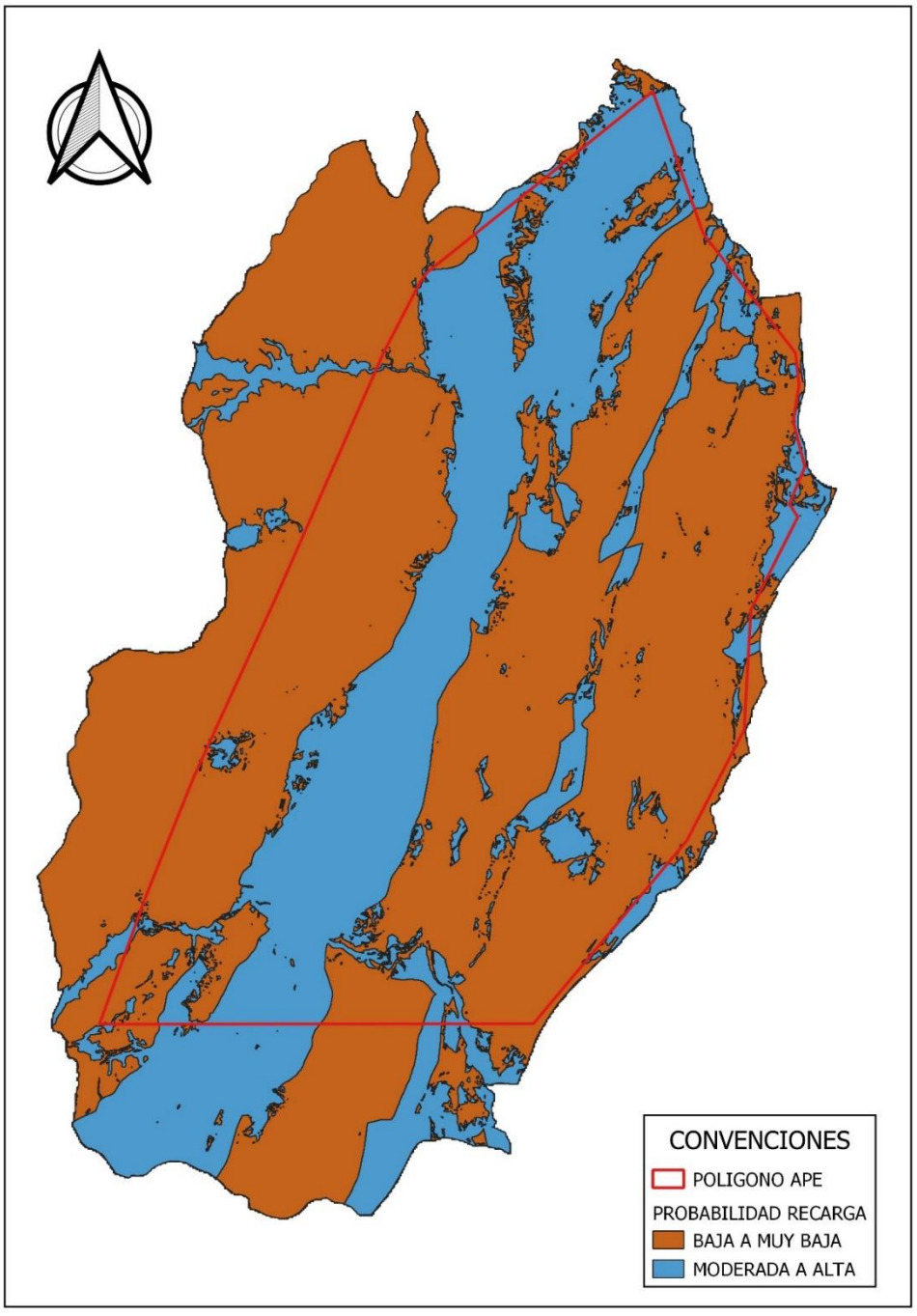


Figura 5-60 Zonas con moderada a muy alta probabilidad de recarga en el AI del APE COR-15
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

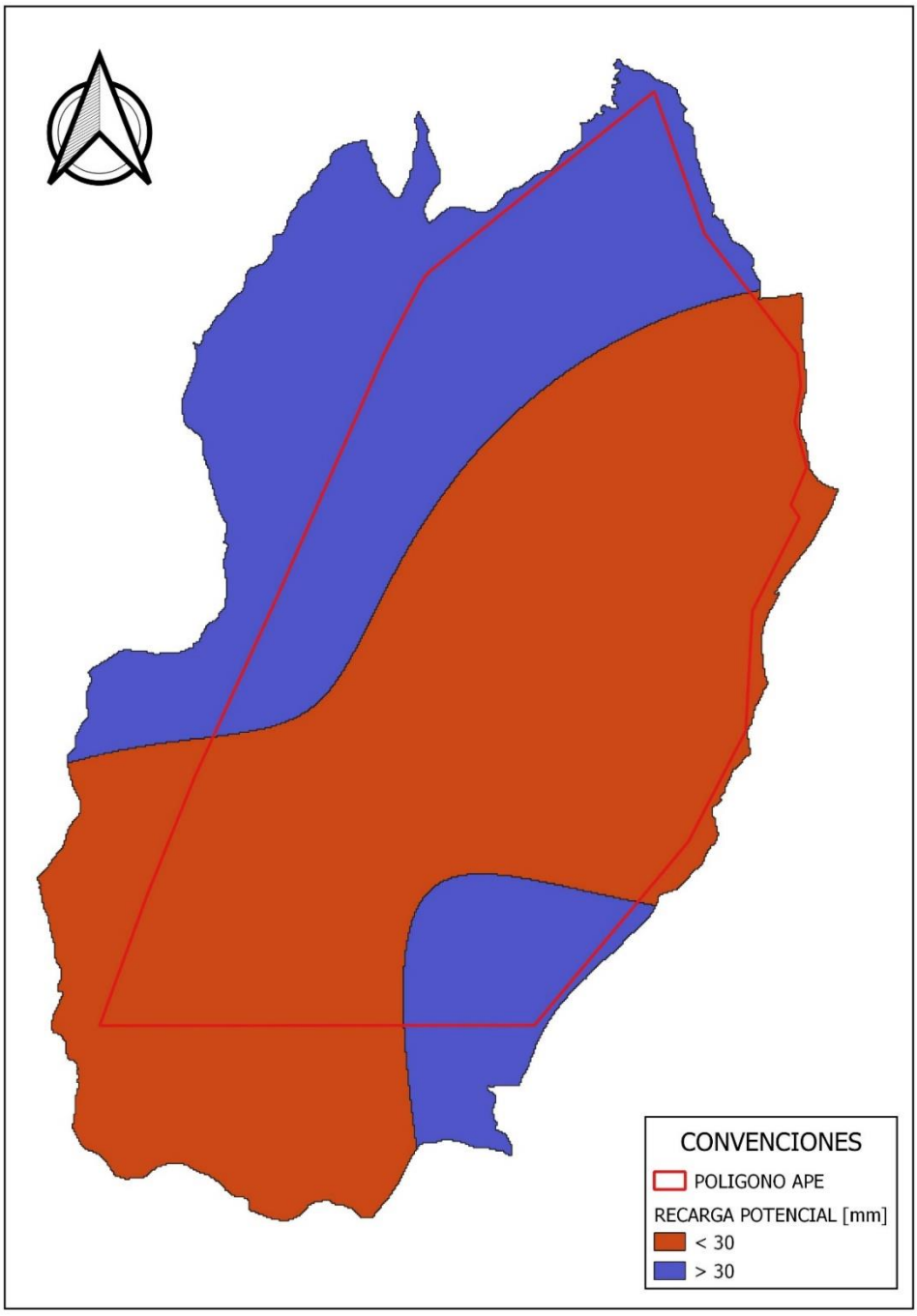


Figura 5-61 Zonas con lámina de recarga superior que 30 mm en el AI del APE COR-15
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

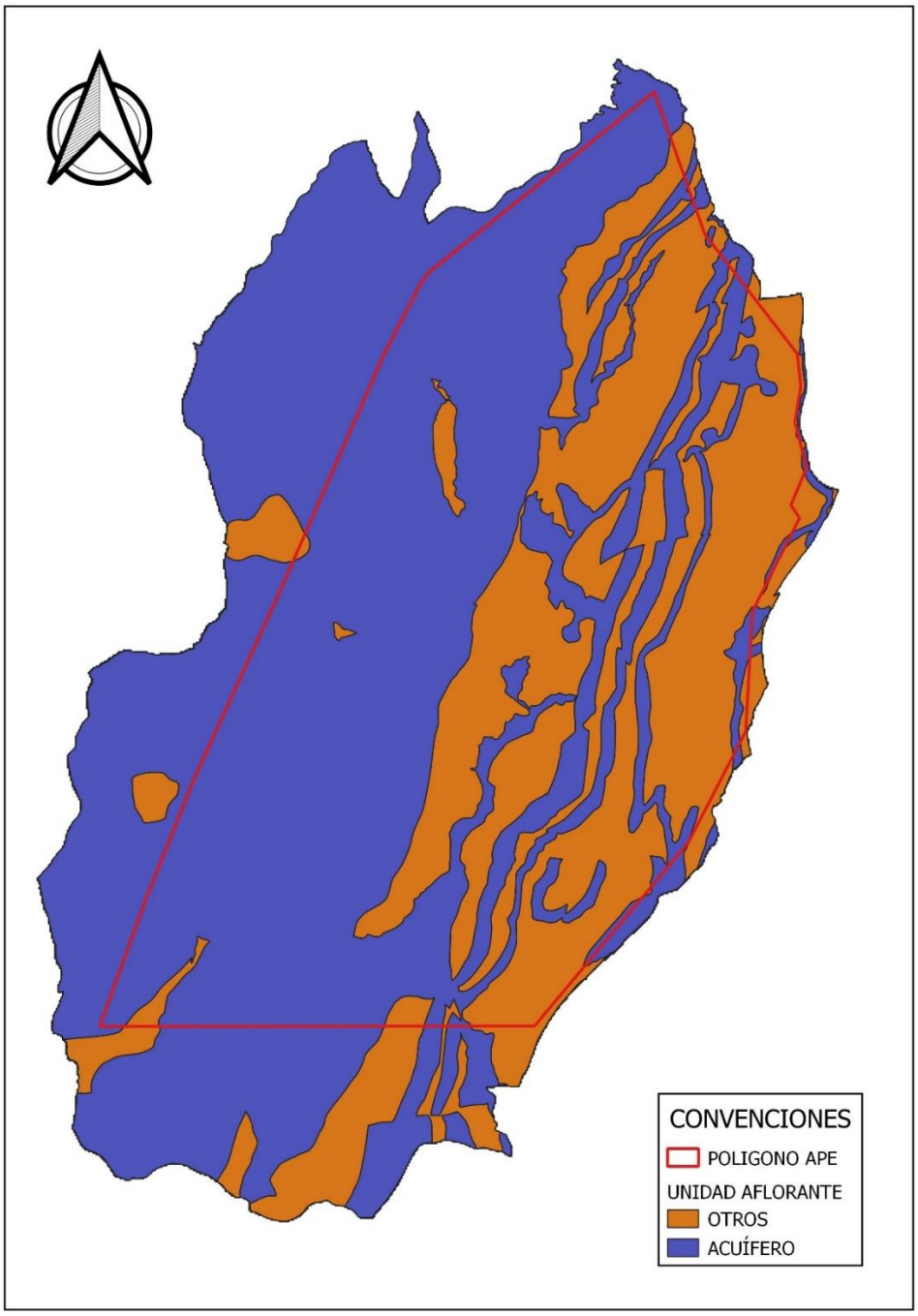


Figura 5-62 Zonas donde afloran acuíferos en el AI del APE COR-15
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

En la **Figura 5-63** se presenta la delimitación de zonas de recarga, descarga y tránsito de agua subterránea en el AI del APE COR 15.

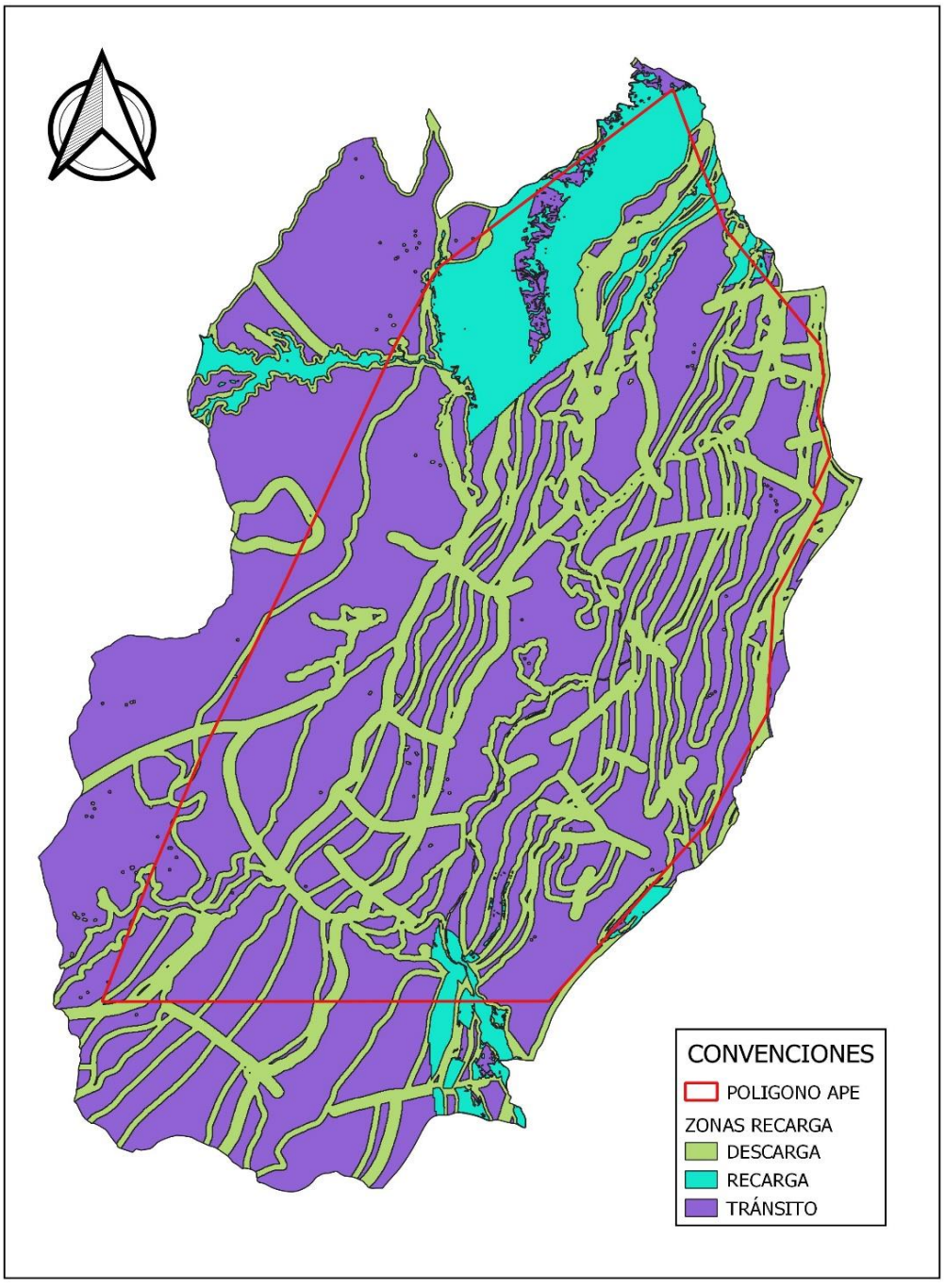


Figura 5-63 Zonas de recarga, descarga y tránsito de agua subterránea en el AI del APE COR-15
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

En la **Tabla 5-65** se presenta la discriminación de las áreas delimitadas, haciendo la claridad en aspectos como la unidad geológica que recarga y tipo de zona de descarga.

Tabla 5-65 Áreas de recarga, descarga y tránsito de agua subterránea

NOMBRE	NOMENCLATURA	ÁREA [ha]	PROPORCIÓN [%]
DESCARGA	D	4629.4	32.8
RECARGA	R	1239.4	8.8
TRÁNSITO	T	8238.0	58.4

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

De esta clasificación se obtiene que, con respecto al área total del AI, las zonas de recarga representan un 8.8 % (ubicándose al noroccidente y suroriente del AI), las zonas de descarga un 32.8 % y las zonas de tránsito un 58.4 %. En la Figura 5-64 se presenta una vista 3D del AI donde se muestra la localización de las zonas de recarga, descarga y tránsito.

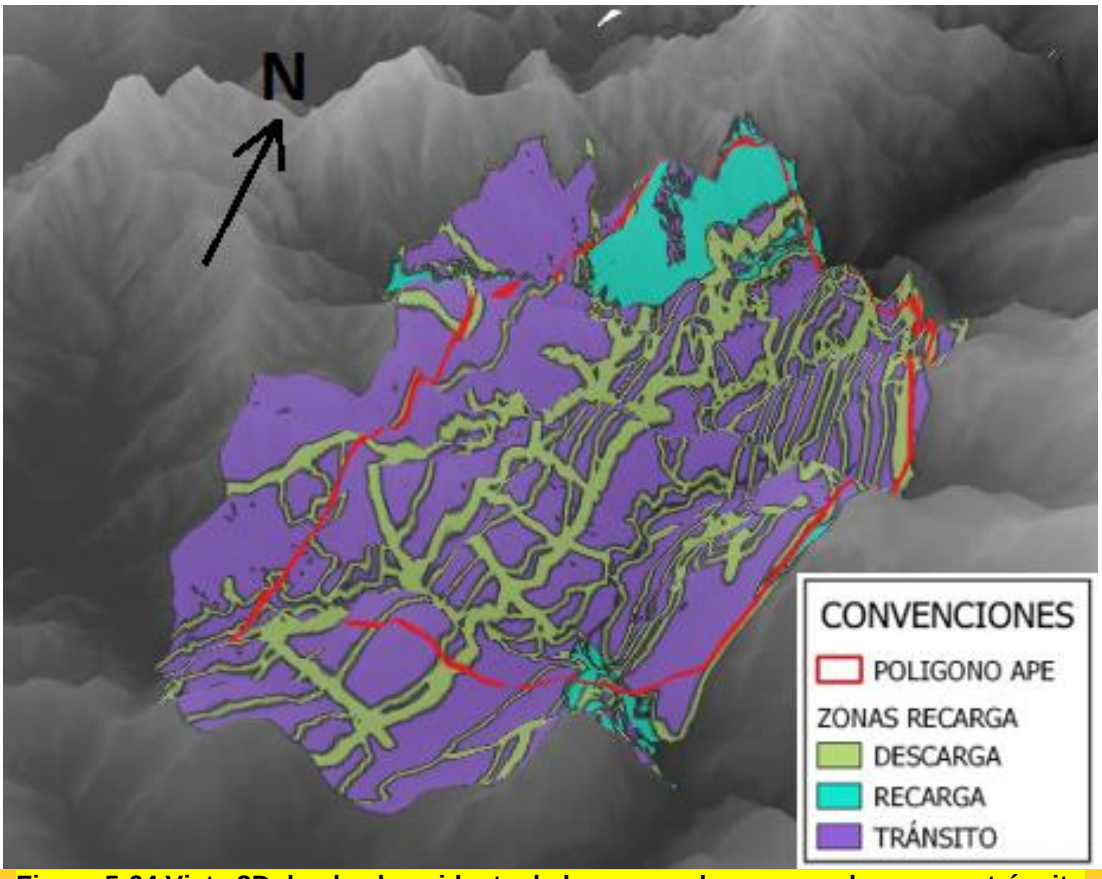


Figura 5-64 Vista 3D desde el occidente de las zonas de recarga, descarga y tránsito de agua subterránea en el AI del APE COR-15

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

5.1.6.11 Modelo hidrogeológico conceptual

El modelo hidrogeológico conceptual (MHC) es una idea básica del funcionamiento de un sistema hidrogeológico. En un conocimiento monolítico que entrelaza diversos elementos del sistema

natural y que intenta explicar dónde, cómo y cuándo se dan los procesos de almacenamiento, flujo y descarga de agua subterránea. En este documento, el MHC se plantea siguiendo los conceptos esbozados en el texto Aguas Subterráneas: Un Enfoque Práctico (UNAL, INGEOMINAS, s.f.), los resultados se presentan a continuación.

- **Unidades hidroestratigráficas**

El comportamiento hidrogeológico de la zona de estudio está fuertemente influenciado por la existencia de dos bloques geológicos que tienen características litológicas y estructurales bien diferentes. Estos bloques están divididos por la falla de Soapaga que tiene un rumbo aproximado NE – SW. Al oriente se tiene el bloque sedimentario del terciario al cuaternario y al occidente un bloque ígneo-metamórfico en contacto con rocas sedimentarias. En general se tienen acuíferos que afloran en franjas alargadas en sentido sur – norte, con anchos de algunos cientos de metros. La continuidad a lo largo de estas franjas se ve afectada por la existencia de fallas geológicas E-W y plegamientos, por lo que se configuran bloques, como en el caso del anticlinal del Bujío, Anticlinal del Chicamocha y el sinclinal de Betéitiva. Además, las rocas ígneas y metamórficas tienen capas meteorizadas que permiten el almacenamiento y flujo somero de agua subterránea, y se comportan como acuífugos en profundidad.

La descripción de las unidades hidroestratigráficas se clasifica con base en el tipo de roca y la existencia de meteorización y fracturamiento.

- Acuíferos en rocas ígneas y metamórficas

Las rocas ígneas y metamórficas suelen tener propiedades hidráulicas de poco o nulo interés hidrogeológico. Sin embargo, cuando son afectadas por procesos de meteorización y fracturamiento, su comportamiento puede cambiar y configuras zonas de interés hidrogeológico. En este caso, se pueden configurar acuíferos someros que tienen una capacidad de almacenamiento restringida, pero que por su extensión que asciende a cerca de 27.08 % del AI, pueden aportar flujo base y mantener cuerpos de agua superficiales (UNAL, INGEOMINAS, s.f.). En seguida se describen las dos unidades hidroestratigráficas identificadas con este comportamiento.

  - ✓ Acuífero somero meteorizado y fracturado Stock de Otengá (AQ-Oso)

Esta unidad se ubica al occidente del APE COR-15 (ver **Figura 5-65**). El Stock de Otengá es un cuerpo intrusivo que ha sido afectado por la meteorización en superficie. Se evidenciaron espesores meteorizados de 30 m en el sector suroccidental del APE en la vereda Tonemí. Por consiguiente, se definió esta unidad hidroestratigráficas como un acuífero somero meteorizado y fracturado con espesor de 30 m. En área representa el 8.49 % del AI. En esta unidad se identificaron 20 manantiales en las veredas Otengá, Soiquía, Cusagota y Tonemí. Estos manantiales en general son permanentes, pero tienen caudales bajos que no pudieron ser medidos. Sin embargo, son un aporte que sostiene el recurso hídrico en temporadas de no lluvias.

Este acuífero tiene porosidad secundaria, es del tipo libre y se clasifica como B2 por capacidad específica.

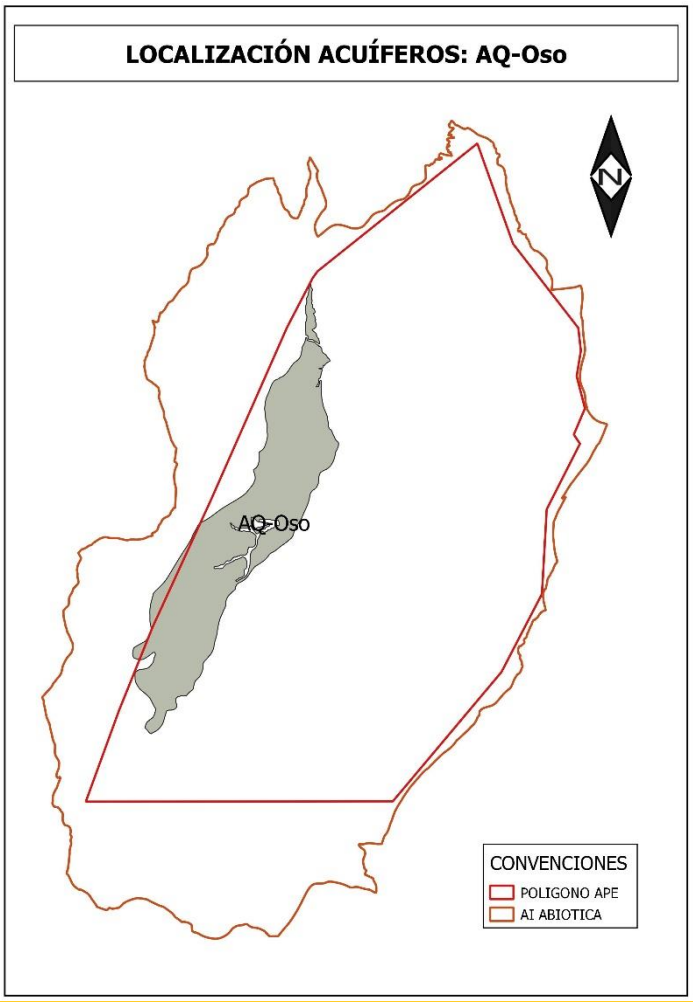


Figura 5-65 Localización del acuífero AQ-Oso en el AI del APE COR-15
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

- ✓ Acuífero somero meteorizado y fracturado Esquistos y Filitas de Busbanzá (AQ-efb)

Esta unidad se ubica en el límite occidental del APE hasta el límite definido del AI (ver Figura 5-66). Esta roca metamórfica presenta espesores meteorizados entre 20m y 50 m, reconocidos en la LTE-34 en la vereda Quebradas de Busbanzá., por lo tanto, se estableció la unidad hidroestratigráficas somera meteorizada y fracturada con un espesor medio de 30 m. En área representa el 18.59 % del AI. Esta unidad tiene asociados 91 puntos de agua subterránea, representados en 1 pozo, 5 aljibes y 85 manantiales. Estos se localizan en las veredas Tobo, Tonemí, Quebradas, Cusagota, Buntia y Soiquía.

Este acuífero tiene porosidad secundaria, es del tipo libre y se clasifica como B2 por capacidad específica.

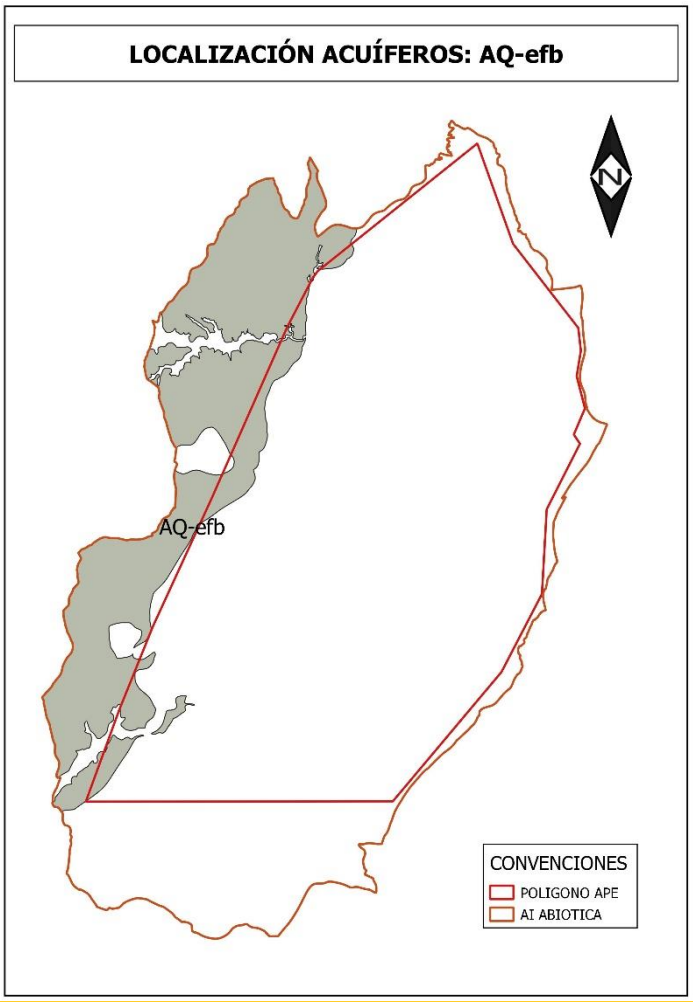


Figura 5-66 Localización del acuífero AQ-efb en el AI del APE COR-15
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

- Acuíferos en rocas sedimentarias

Los acuíferos en rocas sedimentarias representan un 31.77 % del AI. En general estas unidades afloran como franjas alargadas en dirección norte – sur. El flujo de agua subterránea se da en la mayoría de los casos por porosidad secundaria generada por fracturamiento o disolución, y en una menor proporción porosidad primaria.

✓ Acuífero Tíbet (AQ-D1d3t)

Este acuífero aflora al sur del APE en la vereda El Tobo (ver **Figura 5-67**). Está compuesto por tres niveles de areniscas que cuentan intercalaciones de lodolitas y limolitas. Su extensión dentro del AI representa el 0.45 % y no tiene puntos de agua subterránea en el AI. El espesor de esta unidad se estableció en 400 m en concordancia con lo presentado en el numeral de Geología del presente EIA. Se comporta como un acuífero libre, por porosidad secundaria y se clasifica como B1 según capacidad específica.

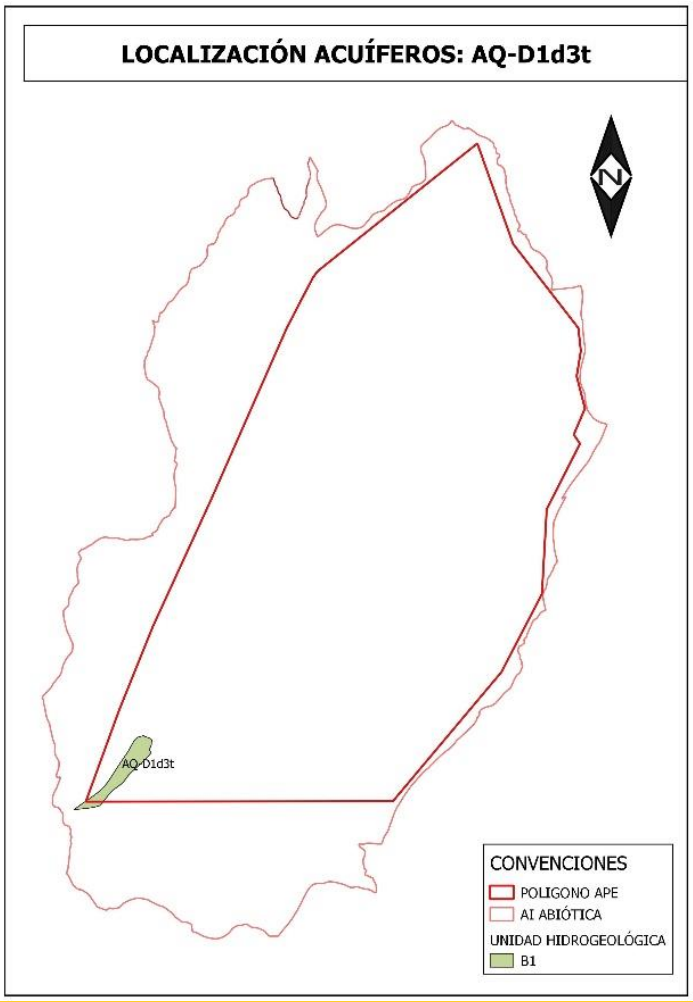


Figura 5-67 Localización del acuífero AQ-D1d3t en el AI del APE COR-15
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

- ✓ Acuífero Areniscas de Socha (AQ-E1ars)

Este acuífero aflora en una franja con un ancho promedio de 200 m, con dirección norte - sur al oriente del río Chicamocha, por los municipios de Corrales y Tasco. También se encuentra en la vereda Reyes Patria en el anticlinal del Bujío y en las veredas Divaquía y Saurca del municipio de Betéitiva, en el flanco occidental del sinclinal de Betéitiva (ver **Figura 5-68**). Está compuesto por cuarzo arenitas de grano fino a medio, con cemento silíceo y esporádicas intercalaciones de arcillolitas. Su extensión dentro del AI representa el 3 %. Se encontró 1 manantial aflorando en esta unidad en el anticlinal del Bujío. El espesor se definió en 145 m en concordancia con el componente geológico del EIA. Esta unidad se comporta como un acuífero por porosidad primaria y secundaria, de carácter libre donde aflora a semiconfinado cuando está cubierto por el acuitardo Arcillas de Socha en la franja centran del AI a lo largo del valle del río Chicamocha.

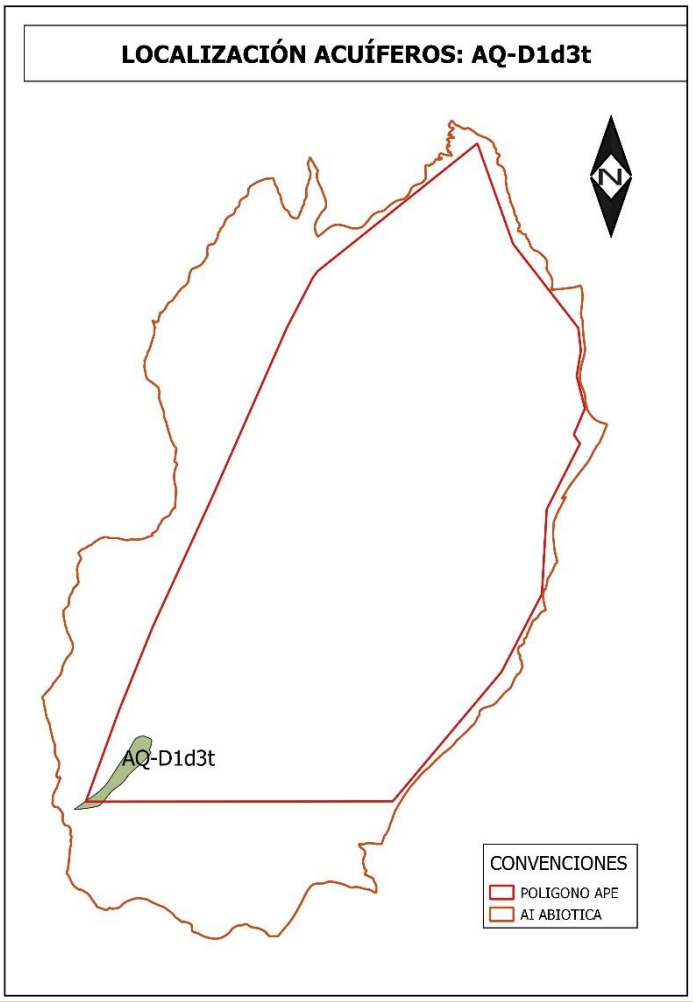


Figura 5-68 Localización del acuífero AQ-E1ars en el AI del APE COR-15
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

- ✓ Acuífero Picacho (AQ-E2p)

Este acuífero aflora en una franja con un ancho promedio de 300 m, con dirección norte - sur al oriente del río Chicamocha, por los municipios de Corrales y Tasco (ver **Figura 5-69)**. También se encuentra en las veredas Divaquía y Saurca del municipio de Betéitiva, en el flanco occidental del sinclinal de Betéitiva. Está compuesto por cuarzo arenitas de grano fino a medio, con cemento silíceo y esporádicas intercalaciones de arcillolitas. Su extensión dentro del AI representa el 4.06 %. Se encontraron 7 manantiales aflorando en esta unidad en ambos flancos del sinclinal de Betéitiva. El espesor se definió en 200 m en concordancia con el componente geológico del EIA. Esta unidad se comporta como un acuífero por porosidad primaria, de carácter libre donde aflora a semiconfinado cuando está cubierto por el acuitardo Concentración en la franja centran del AI a lo largo del valle del río Chicamocha.

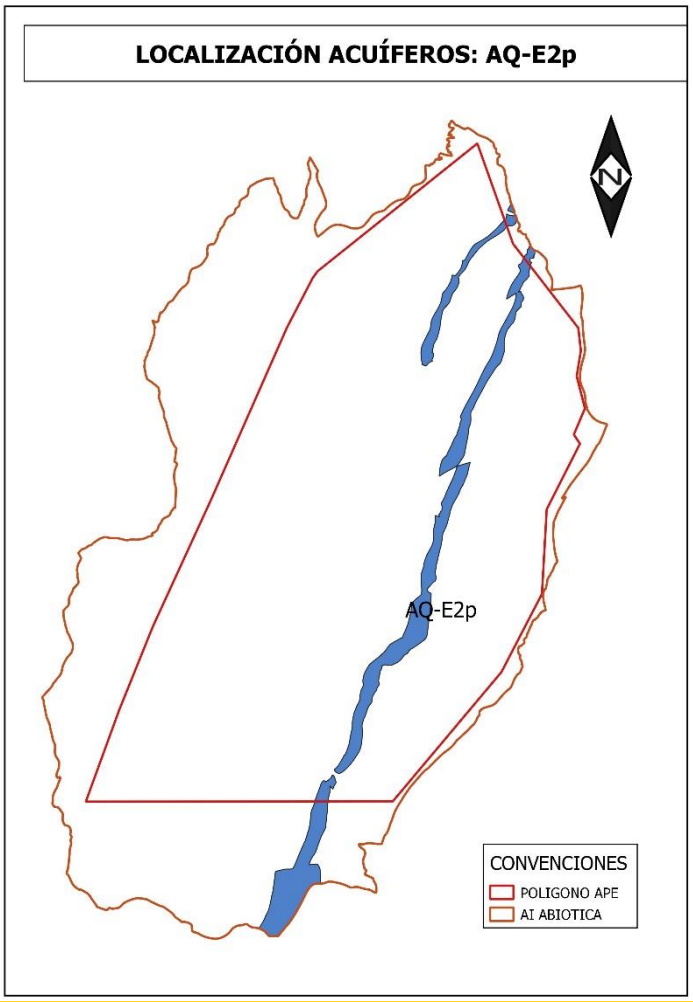


Figura 5-69 Localización del acuífero AQ-E2p en el AI del APE COR-15
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

- ✓ Acuífero Girón (AQ-J3g)

Ese acuífero aflora en una franja continua con dirección norte - sur con un ancho entre 100 m y 2000 m, al occidente de la falla de Soapaga y del río Chicamocha, por los municipios Busbanzá, Corrales y Tasco (ver **Figura 5-70**). Está compuesto por capas tabulares medias a gruesas de areniscas de grano grueso, areniscas conglomeráticas intercaladas con capas gruesas de lodolitas y areniscas con intraclastos de arcillolitas; Paraconglomerados intraformacionales con guijarros de cuarcita, cuarzo, lodolitas y arenisca de grano fino (hacia la base). Su extensión dentro del AI representa el 10.44 %. Se encontraron 32 puntos en esta unidad, representados por 1 aljibe y 31 manantiales, localizados en las veredas Divaquía, Soiquía, Buntia, Buenavista, Cusagota y Tonemí. El espesor se definió en 400 m en concordancia con el componente geológico del EIA. Esta unidad se comporta como un acuífero por porosidad secundaria principalmente donde es afectado por fallas geológicas. Es del tipo libre y se clasifica como B1 por su capacidad específica.

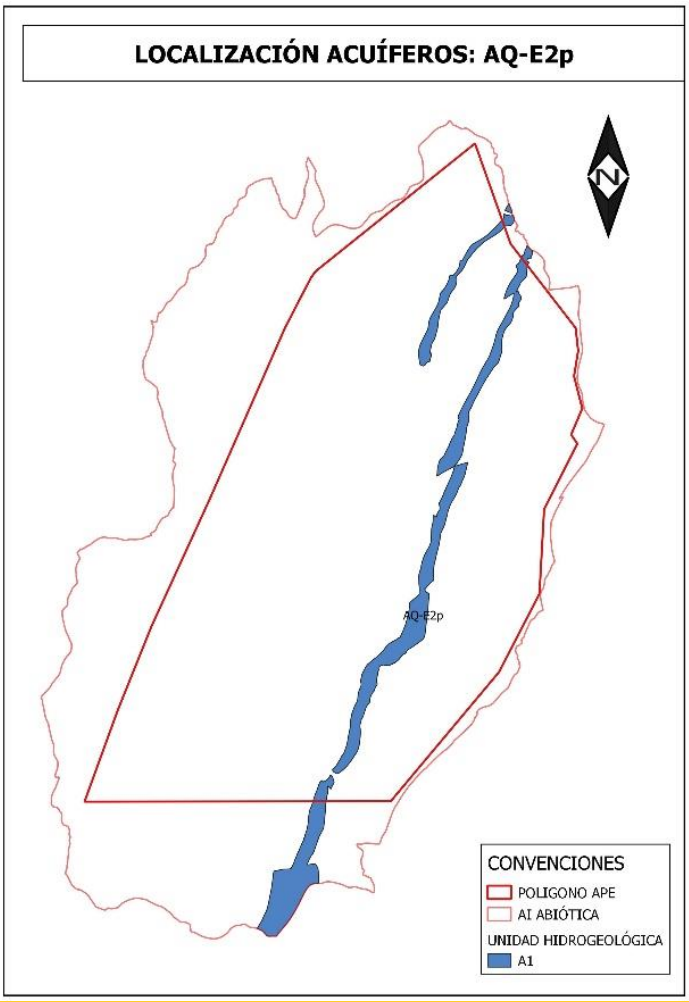


Figura 5-70 Localización del acuífero AQ-J3g en el AI del APE COR-15
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

- ✓ Acuífero Tibasosa (AQ-K1b3t)

Esta unidad tiene dos miembros, uno arenoso y otro calcáreo. Aflora en una franja discontinua con dirección norte – sur con un ancho entre 150 m y 1300 m, en los municipios Busbanzá, Corrales y Tasco, al occidente del río Chicamocha y la falla de Soapaga (ver **Figura 5-71**). Su extensión dentro del AI representa el 9.71 %. Se encontraron 33 manantiales en las veredas Tobo, Tonemí, Didamón, Buenavista, Buntia, Saurca y Divaquía. El espesor se definió en 110 m en concordancia con el componente geológico del EIA. Esta unidad se comporta como un acuífero por porosidad secundaria por fracturamiento en el miembro arenoso y por disolución en el miembro calcáreo, esto último genera aumento del aporte de minerales y conductividad eléctrica del agua subterránea. El acuífero se clasifica como B2 por su capacidad específica.

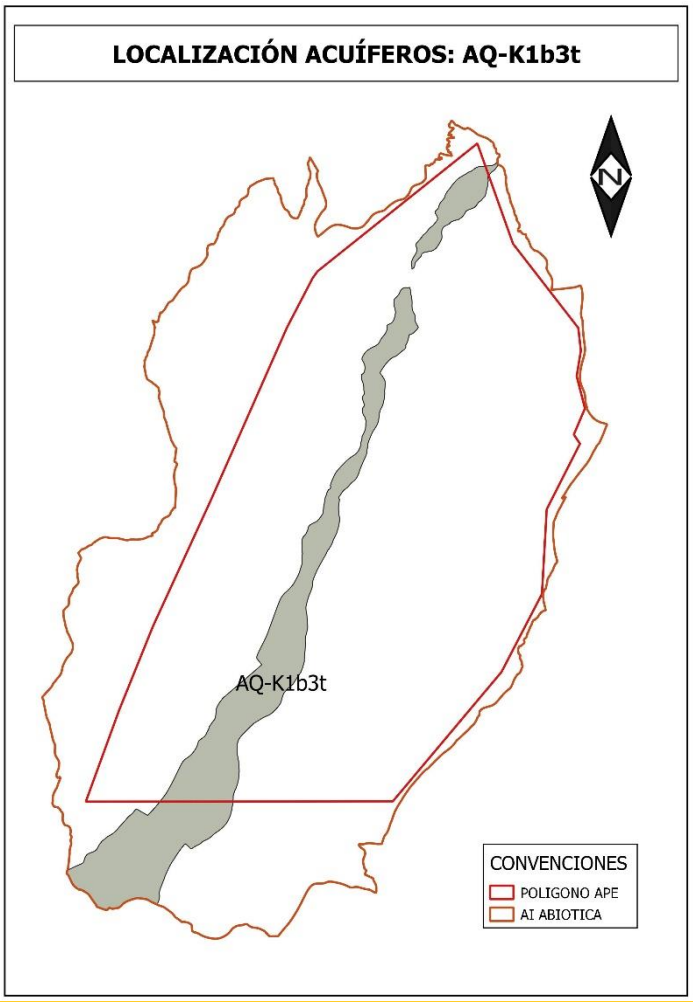


Figura 5-71 Localización del acuífero AQ-K1b3t en el AI del APE COR-15
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

- ✓ Acuífero Une (AQ-K2k1u)

Esta unidad aflora en una franja alargada con un ancho medio de 200 m, en dirección norte – sur, al occidente de la falla de Soapaga y del río Chicamocha, en los municipios Busbanzá, Corrales y Betéitiva (ver **Figura 5-72**). Compuesta por capas medias a gruesas de areniscas cuarzosas de grano fino a medio (muy compactas), con cemento silíceo e intercaladas con capas gruesas de lodolitas. Su extensión dentro del AI represente el 2.49 %. Se encontraron 8 manantiales en las veredas Tobo, Didamón, Buenavista y Buntia. El espesor se definió en 800 m en concordancia con el componente geológico del EIA. Esta unidad se comporta como un acuífero libre con porosidad secundaria, se clasifica como B1 según capacidad específica.

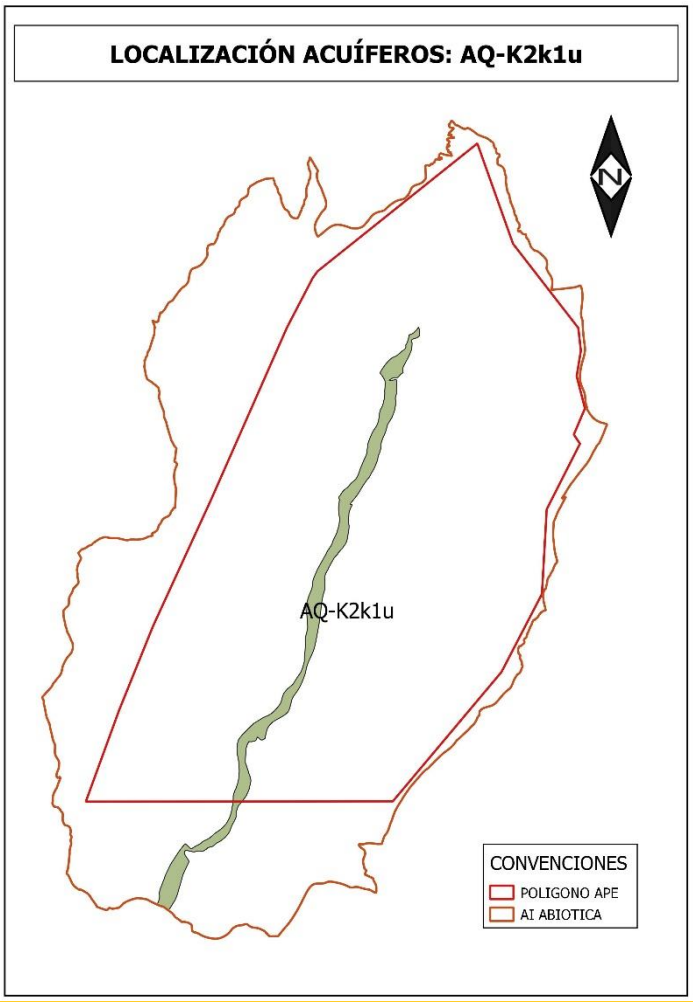


Figura 5-72 Localización del acuífero AQ-K2k1u en el AI del APE COR-15
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

- ✓ Acuífero Labor y Tierna (AQ-K2k5lt)

Esta unidad aflora en franjas discontinuas en ambos flancos del anticlinal del Chicamocha y al sur de este pliegue, al oriente del río Chicamocha en los municipios Corrales y Tasco (ver **Figura 5-73)**. Compuesta por cuarzo arenitas de grano fino a grueso, en estratos delgados a gruesos. Su extensión dentro del AI representa el 1.62 %. Se encontraron 8 manantiales en las veredas Reyes Patria y Canelas. El espesor se definió en 100 m en concordancia con el componente geológico del EIA. Esta unidad tiene porosidad secundaria y se comporta como un acuífero libre donde aflora y como acuífero semiconfinado cuando está cubierto por el acuitardo Guaduas. Se clasifica como B1 por capacidad específica.

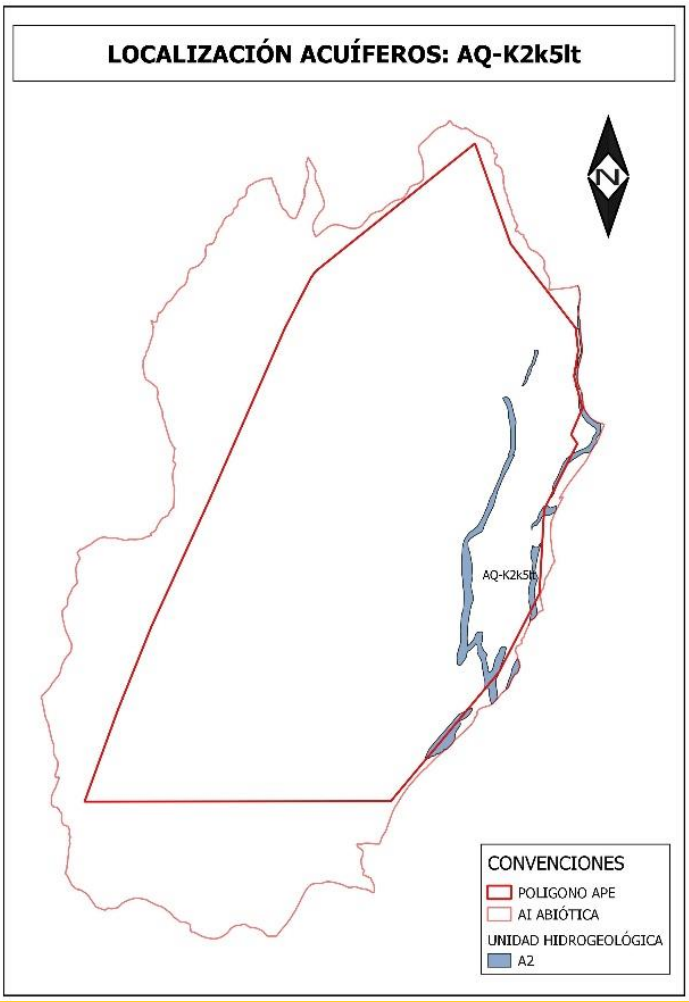


Figura 5-73 Localización del acuífero AQ-K2k5lt en el AI del APE COR-15
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

- Acuíferos en depósitos

Los acuíferos de este tipo tienen flujo esencialmente intergranular, influenciado directamente por el tamaño de los clastos que componen los depósitos. El área de estos acuíferos dentro del AI representa el 9.05 %.

✓ Acuífero Depósito Fluvial Neógeno (AQ-Naa)

Estos depósitos están dispuestos en grandes conos de deyección y depósitos aluviales en Corrales y Tasco, al oriente del río Chicamocha (ver **Figura 5-74**). Está compuesto por cantos redondeados de limolitas, cuarcitas y areniscas en matriz limo-arenosa muy cementada. Su extensión dentro del AI representa el 0.68 %. No se encontraron puntos de agua subterránea dentro del AI, pero se reconoce la existencia de 6 manantiales en este acuífero fuera del AI en el *Anexo* ***Análisis Hidrogeológico Relación COR-15 y Zonas de Páramos***. No se tiene conocimiento del espesor de estos depósitos. Su comportamiento es el de un acuífero libre con porosidad primaria, clasificado según su capacidad específica como A2.

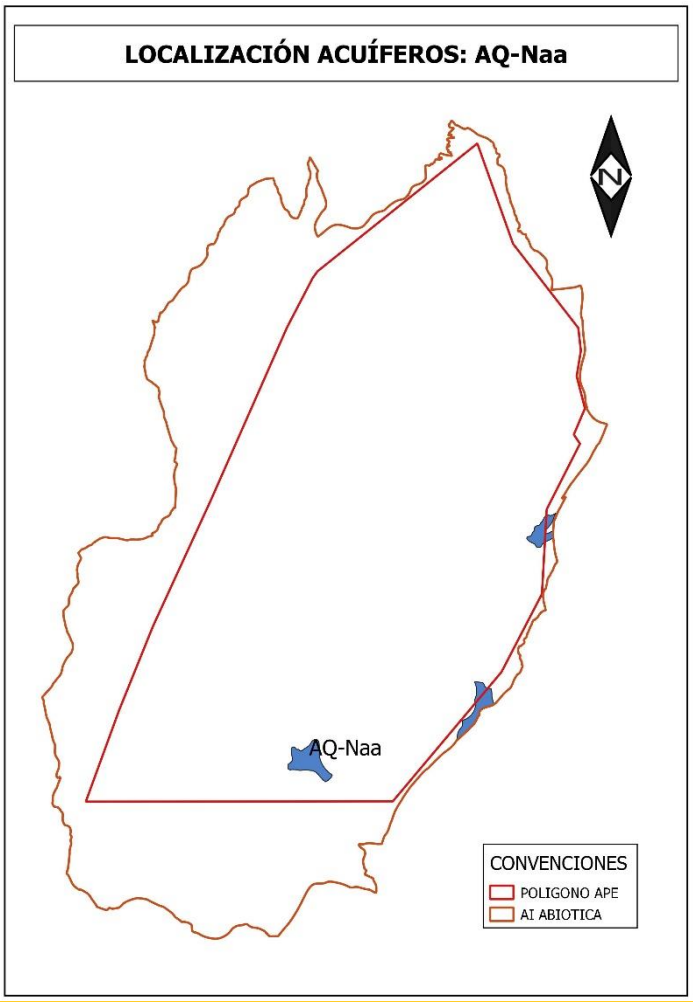


Figura 5-74 Localización del acuífero AQ-Naa en el AI del APE COR-15
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

- ✓ Acuífero Depósitos Coluviales (AQ-Qc)

Estos depósitos están dispuestos en áreas heteromorfas en Corrales, Betéitiva y Tasco, preferentemente a lo largo del río Chicamocha en ambas márgenes (ver **Figura 5-75)**. Está compuesto por materiales mixtos entre gravas, arenas y limos, producto de deslizamientos. Su extensión dentro del AI representa el 1.47 %. Se identificaron 7 puntos de agua representados en 1 aljibe y seis manantiales, localizados en las veredas Buenavista y Buntia. No se tiene información del espesor de estos depósitos. Su comportamiento es el de un acuífero libre cono porosidad primaria, clasificado según su capacidad específica como A1.

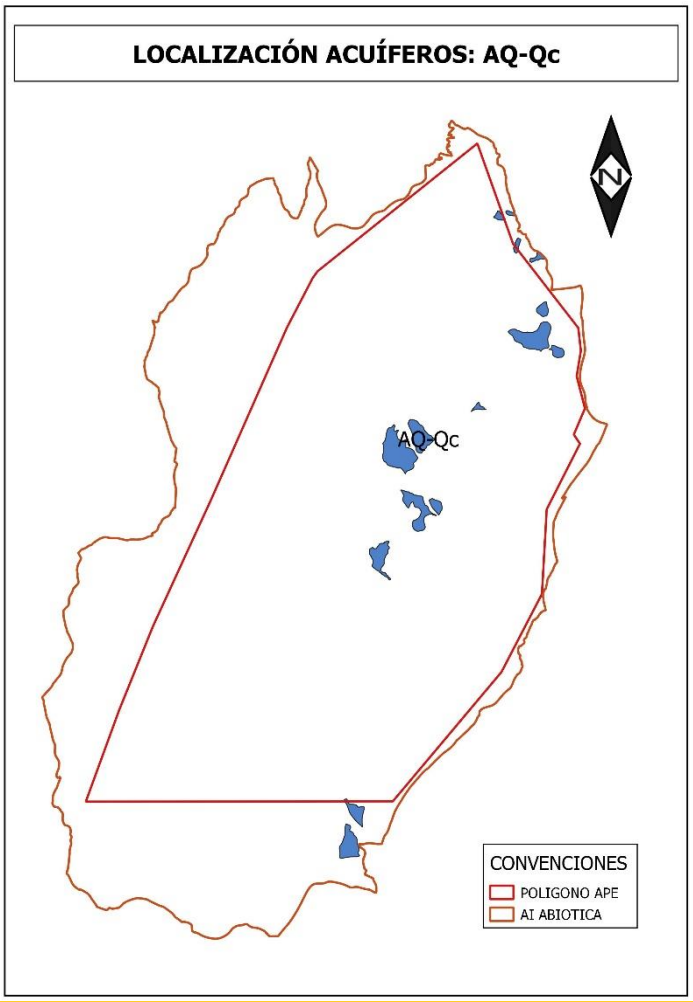


Figura 5-75 Localización del acuífero AQ-Qc en el AI del APE COR-15
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

- ✓ Acuífero Depósitos Fluvio – Lacustres (AQ-Qpl)

Estos depósitos están dispuestos a lo largo del valle de la quebrada Malsitio al sur del AI abiótica en el municipio Corrales (ver **Figura 5-76**). Están compuesto por capas de material limo – arcilloso intercaladas con capas de conglomerados, niveles de cantos y arenas fluviales. Su extensión dentro del AI representa el 2.86 %. No se identificaron puntos de agua dentro de esta unidad. En la tomografía LTE-2 se encontraron 200 m de depósitos fluvio – lacustres, por lo que se toma como espesor representativo del acuífero. Se comporta como un acuífero libre con porosidad primaria, clasificado como A2 según su capacidad específica.

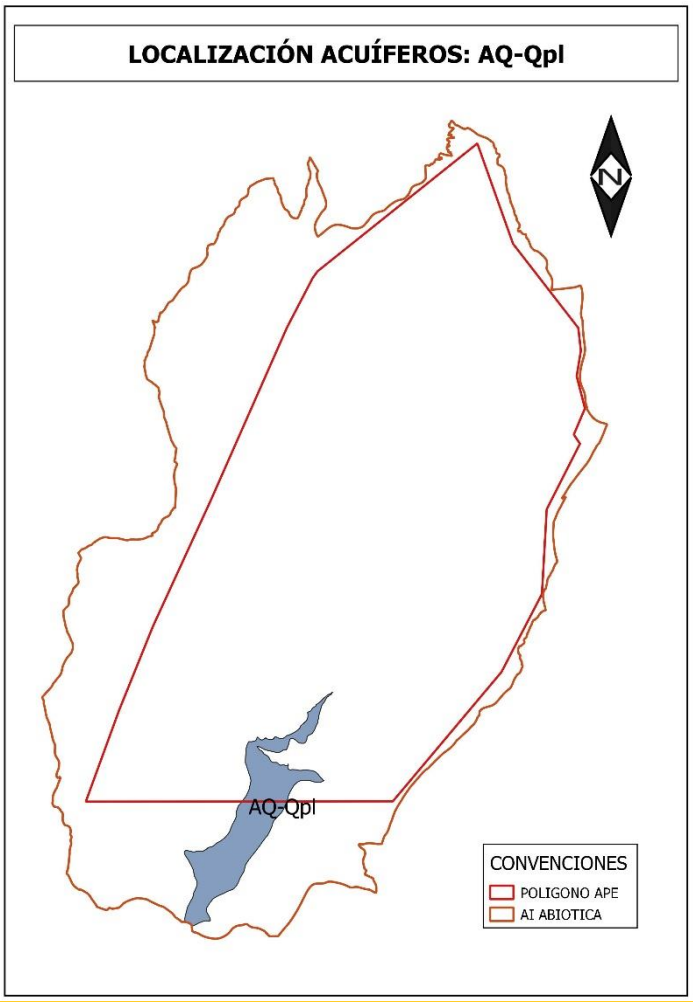


Figura 5-76 Localización del acuífero AQ-Qpl en el AI del APE COR-15
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

- ✓ Acuífero Depósito Cuaternario Aluvial (AQ-Qal)

Estos depósitos se localizan a lo largo del río Chicamocha y quebradas Floresta, Buntia, de La Rinconada (Otengá) y Soiquía, en los municipios Corrales, Busbanzá, Betéitiva y Tasco (ver **Figura 5-77**). Está compuesta por cantos y gravas redondeadas en matriz limo – arenosa y limo – arcillosa. Su extensión dentro del AI representa el 4.04%. Se encontraron 32 puntos en estos depósitos, representado por 10 pozos, 14 aljibes y 8 manantiales. El espesor de los depósitos se encontró en 5 tomografías (LTE 18, 24, 27, 28 y 33): para los depósitos de la quebrada La Floresta se encontró una profundidad de hasta 100 m, en esta zona hay pozos perforados a 80 m y 60 m; en cambio los depósitos asociados al río Chicamocha están entre 60 m y 180 m. Se estableció un valor de 100 m como referente para el espesor de este acuífero. Estos depósitos se comportan como un acuífero libre con porosidad primaria, clasificado como A1 según su capacidad específica.

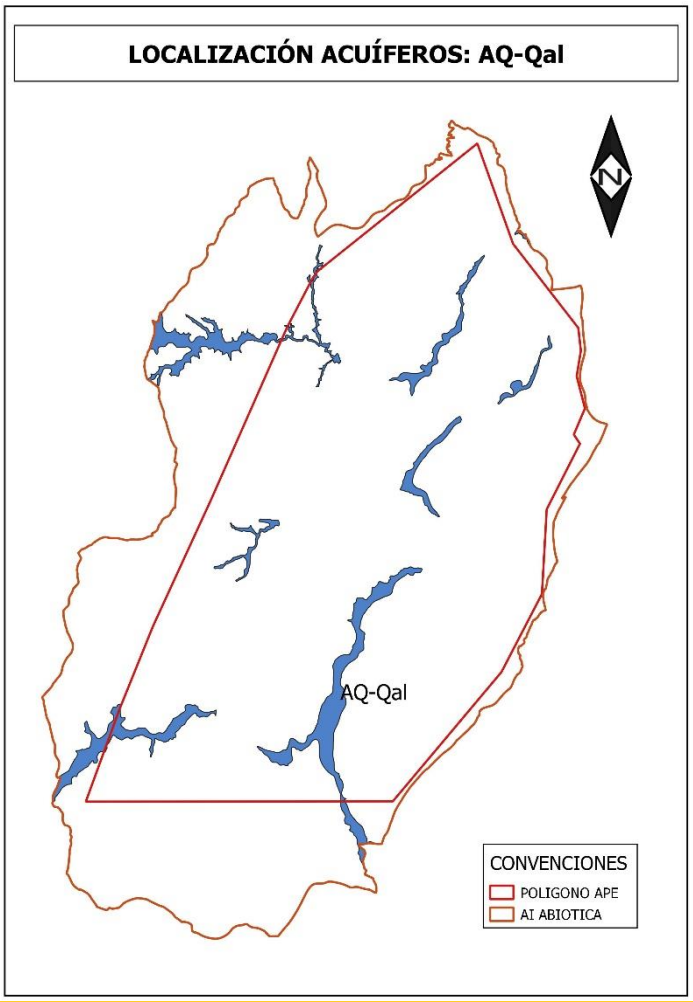


Figura 5-77 Localización del acuífero AQ-Qal en el AI del APE COR-15
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

- Formaciones con poco o nulo interés hidrogeológico

Dentro de esta categoría se agrupan los acuitardos, acuífugos y acuicludos. Se localizan en mayor proporción al oriente de la falla de Soapaga, también hay algunas unidades Betéitiva y Busbanzá (ver **Figura 5-78**). Los acuitardos son Cuche, Arcillas de Socha, Concentración, Chipaque, Plaeners, Guaduas y Los Pinos. El Acuicludo Floresta. Los acuífugos Neis de Quebradas, y Stock de Otengá y Esquistos y Filitas de Busbanzá en profundidad. El área en la que afloran estas unidades dentro del AI representa el 32.1 %.

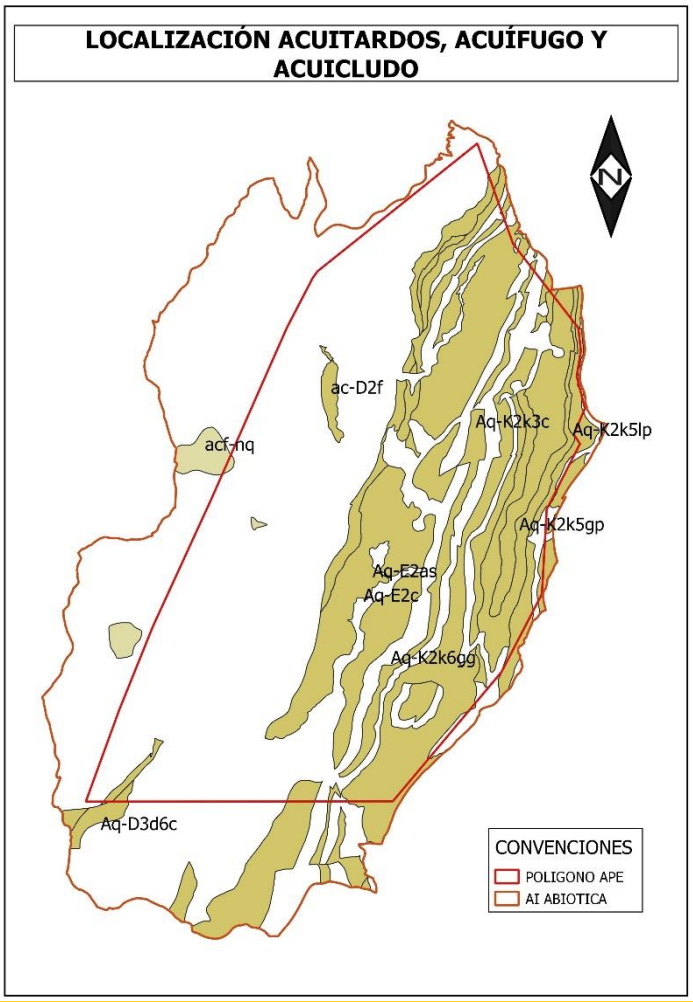


Figura 5-78 Localización de unidades con poco o nulo interés hidrogeológico en el AI del APE COR-15
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

- **Sistemas de flujo**

Acá se pretende describir los hallazgos en materia de los tipos de surgencias, las direcciones de flujo y la relación entre el agua subterránea y superficial.

- Surgencias por fallas, contactos y otras

Se analizaron tres tipos de mecanismos de surgencia de los manantiales: fallas, contactos y otros (flujos subsuperficiales o de corta distancia). Para reconocer el mecanismo de surgencia se procedió a generar franjas de acción de los elementos geológicos que afectan la surgencia de agua: para las fallas se definieron franjas de 100 m a lado y lado, y para los contactos franjas de 50 m a lado y lado. Se procedió a hacer el cruce espacial para identificar los manantiales que se encuentran dentro de estas franjas de acción de fallas y contactos, y aquellos que están por fuera que se contemplan como de corta distancia (ver **Figura 5-79**).

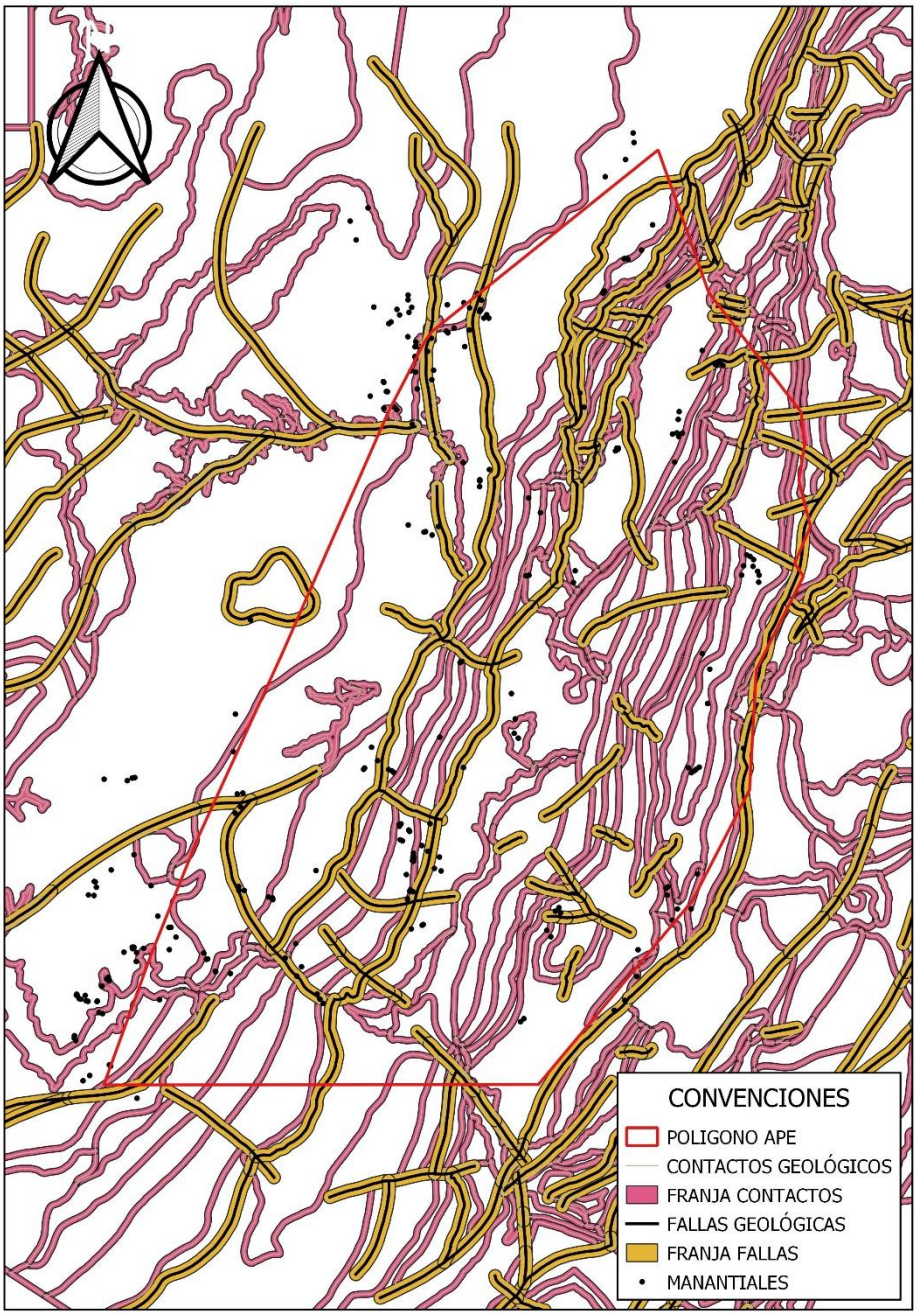


Figura 5-79 Localización manantiales con respecto a franjas de acción de fallas y contactos geológicos
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2020

Se encontraron 41 manantiales asociados a fallas geológicas (15.95 %), 58 manantiales asociados a contactos entre unidades geológicas (22.57 %) y 158 asociado a otros mecanismos de surgencia (61.48%), como por ejemplo flujos cortos o subsuperficiales. De aquí se reconoce que en la zona de estudio la surgencia manantial se da principalmente (más del 60 %) por flujos cortos o subsuperficiales, mientras que las fallas geológicas explican cerca del 23 % de los manantiales y

los contactos entre unidades de diferente permeabilidad representan cerca del 16 % de los manantiales. En conclusión, los flujos de agua que se identifican en la zona de estudio son principalmente asociados a líneas de flujo cortas o flujos subsuperficiales, alimentados por zonas de recarga aisladas, fuertemente influenciados por la geomorfología.

- Líneas de flujo subterráneas - isopiezas

Las direcciones y líneas de flujo en profundidad están gobernadas por las geoformas, la geometría de los acuíferos, la existencia de fallas geológicas y por la recarga de los acuíferos. Para esta descripción se tuvo en cuenta la clasificación de flujo según su alcance dado en la Guía Metodológica del Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos (MADS, 2014): flujo local es menor que 5 km, flujo intermedio entre 5 km y 50 km, y flujo regional mayor que 50 km (ver **Figura 5-80**).

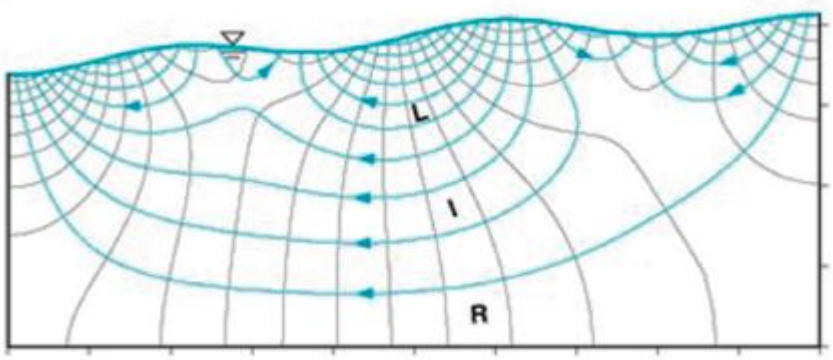


Figura 5-80 Representación líneas de flujo locales, intermedias y regionales
**L: flujo local, I: flujo intermedio, R: flujo regional*
Fuente: tomado de MADS, 2014

Se construyeron isopiezas para las unidades hidrogeológicas con ocurrencia de agua subterránea, con el fin de identificar los sistemas de flujo de agua subterránea existentes en el área de estudio. Una isopieza es una línea imaginaria con igual nivel piezométrico de agua subterránea; es una herramienta eficaz a la hora de identificar las direcciones de flujo de agua subterránea y las implicaciones de estructuras geológicas sobre el flujo de agua subterránea. Las isopiezas se construyeron con el nivel piezométrico obtenido en el inventario de puntos de agua subterránea así: la cota del terreno para el caso de los manantiales y la cota del nivel piezométrico para pozos y aljibes en los que se midió ese dato (los valores base se encuentran en el feature PuntoHidrogeologico de la GDB temática del EIA APE COR-15). Una línea de flujo de agua subterránea se obtiene al trazar una línea perpendicular a las isopiezas desde un punto de mayor potencial a uno de menor potencial.

En la unidad Chipaque (ver **Figura 5-81**) se encontró que hay evidencia de flujos al sur de la falla Tenería que se dirigen a lado y lado del eje del anticlinal de Chicamocha; no se identificaron más direcciones de flujo en esta unidad.

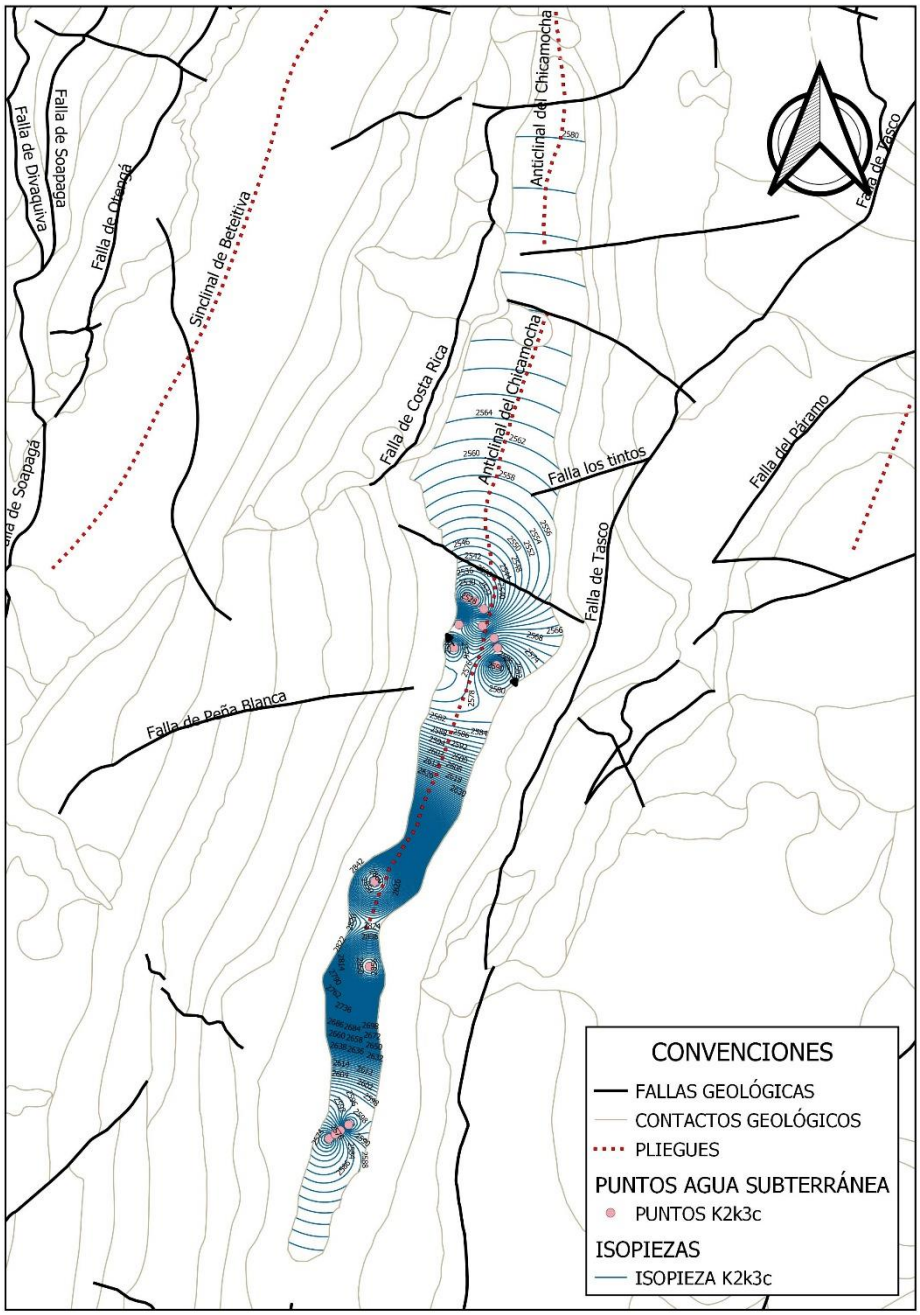


Figura 5-81 Isopiezas unidad Chipaque
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2020

En la unidad Concentración (ver **Figura 5-82**) no se identificaron evidencias de líneas regionales de flujo, ya que no se tiene un patrón global en las isopiezas. Por el contrario, se encontró que las líneas isopiezas varían fuertemente donde se ubican aglomeraciones de manantiales. Esto se relaciona con la existencia de flujos cortos.

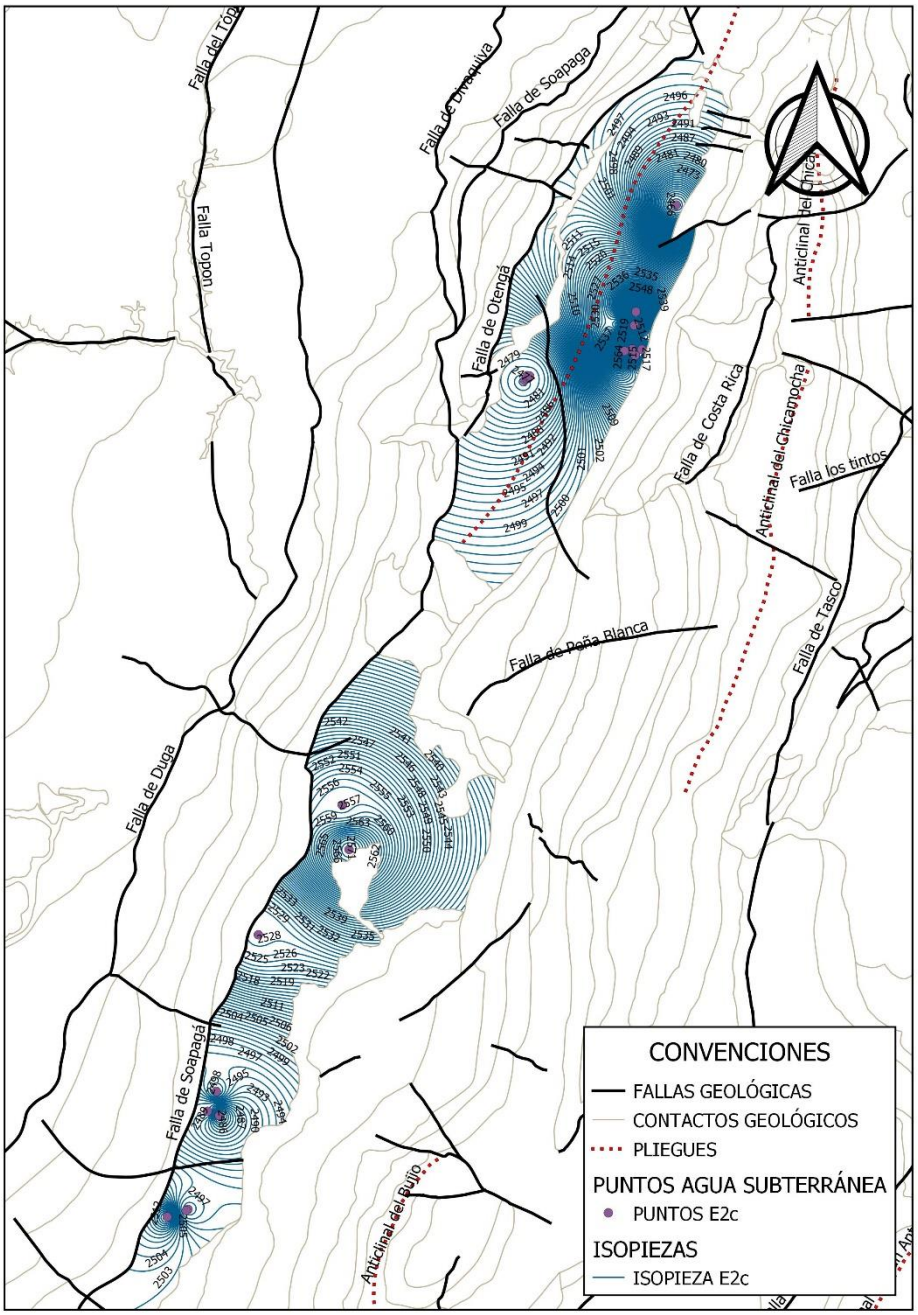


Figura 5-82 Isopiezas unidad Concentración
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2020

En la unidad Picacho (ver **Figura 5-83**) se tienen pocos puntos (4), por lo que no se identifican claramente tendencias que indiquen líneas de flujo.

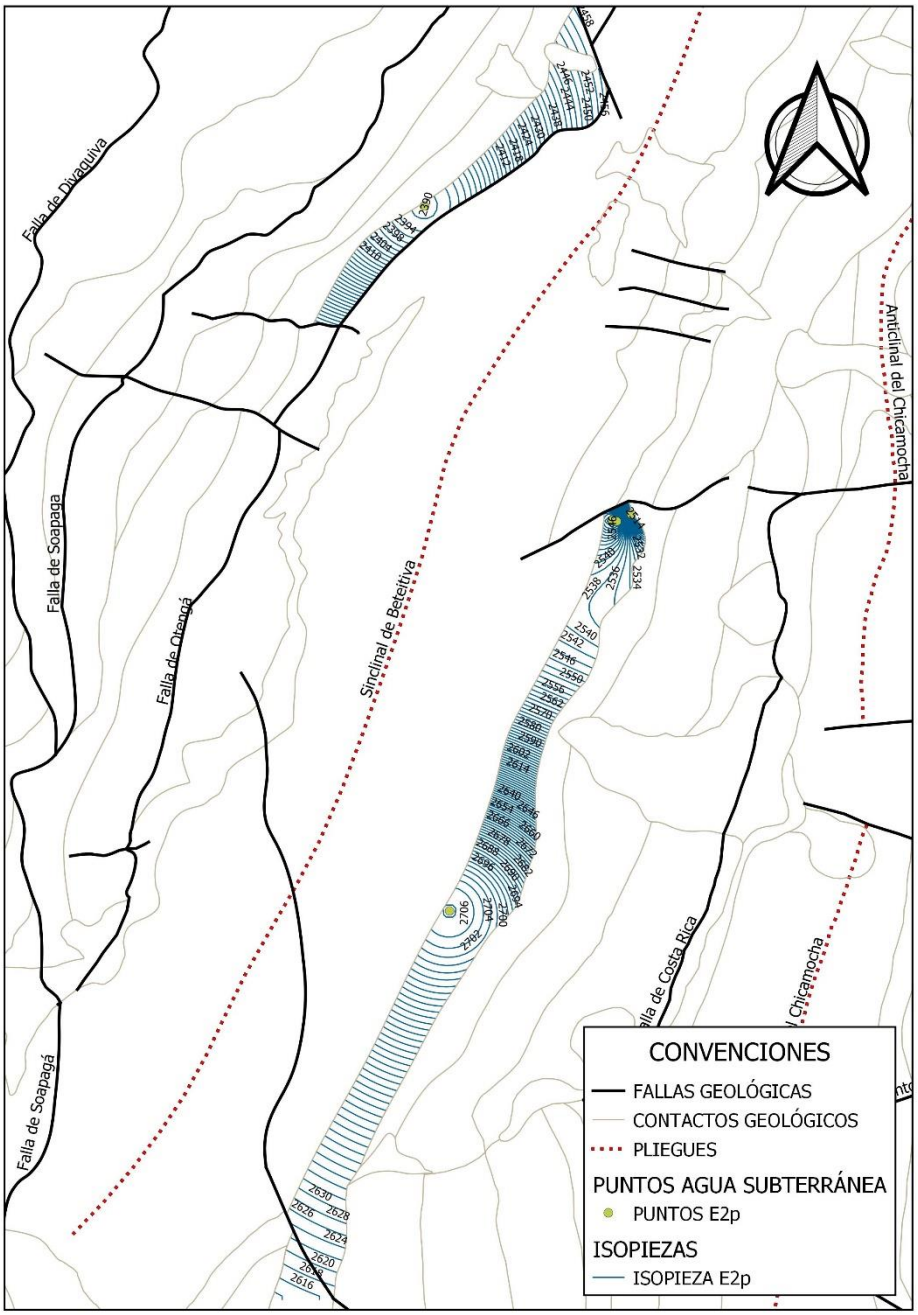


Figura 5-83 Isopiezas unidad Picacho
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2020

En el acuífero somero en los Esquistos y Filitas de Busbanzá (ver **Figura 5-84**) se observa que las isopiezas tienen tendencias propias en cada grupo de manantiales, lo que indica flujos de corta distancia aislados.

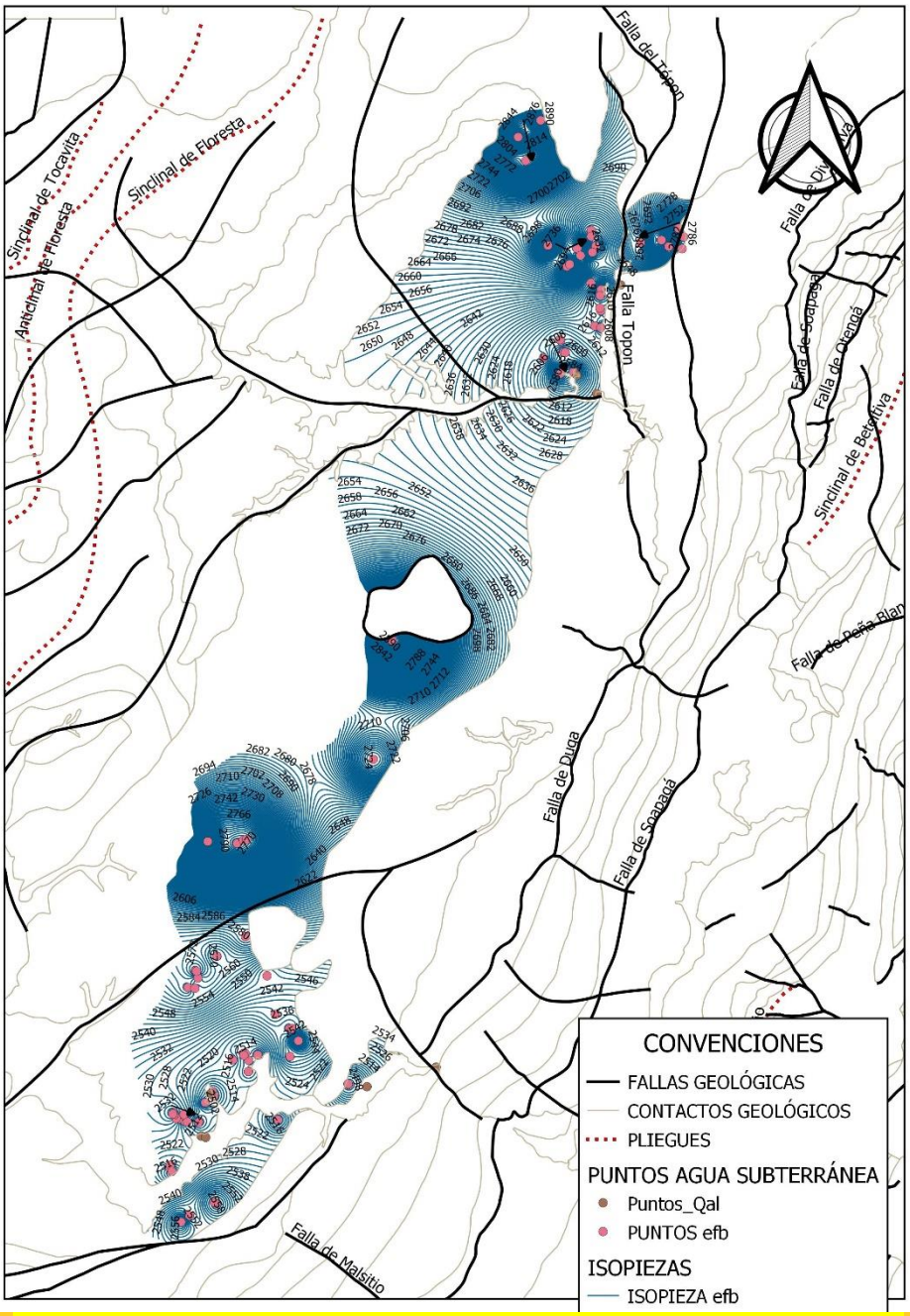


Figura 5-84 Isopiezas acuífero somero Esquistos y Filitas de Busbanzá
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2020

En la formación Girón (ver **Figura 5-85**) se encuentran posibles líneas de flujo de corta distancia con dirección al occidente, en dirección a la falla del Tapón.

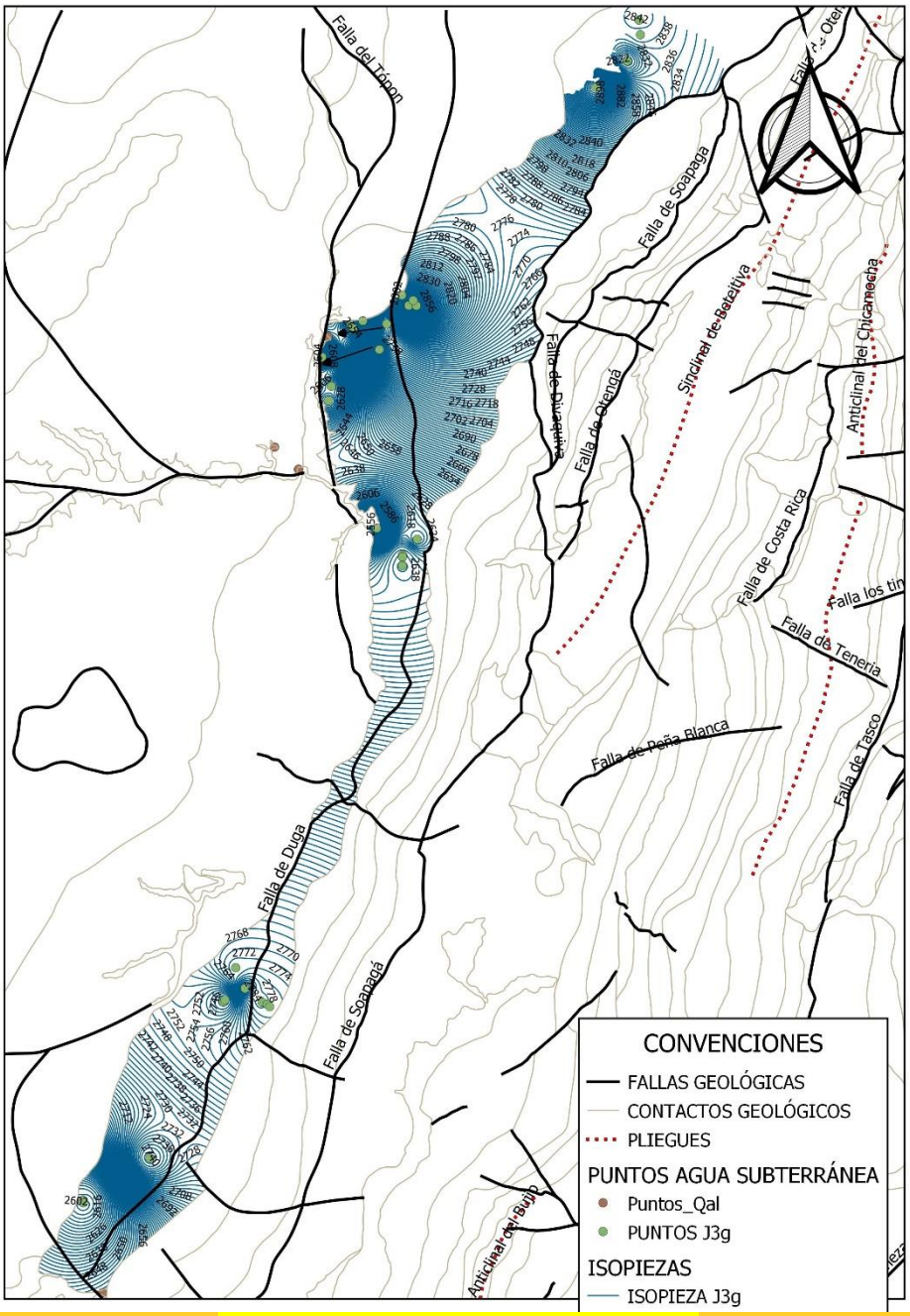


Figura 5-85 Isopiezas formación Girón
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2020

En la formación Guaduas (ver **Figura 5-86**) no se identifican flujos a partir de las isopiezas. Se tienen focos de las isopiezas aislados en cada manantial, por lo que no se reconocen patrones de flujo.

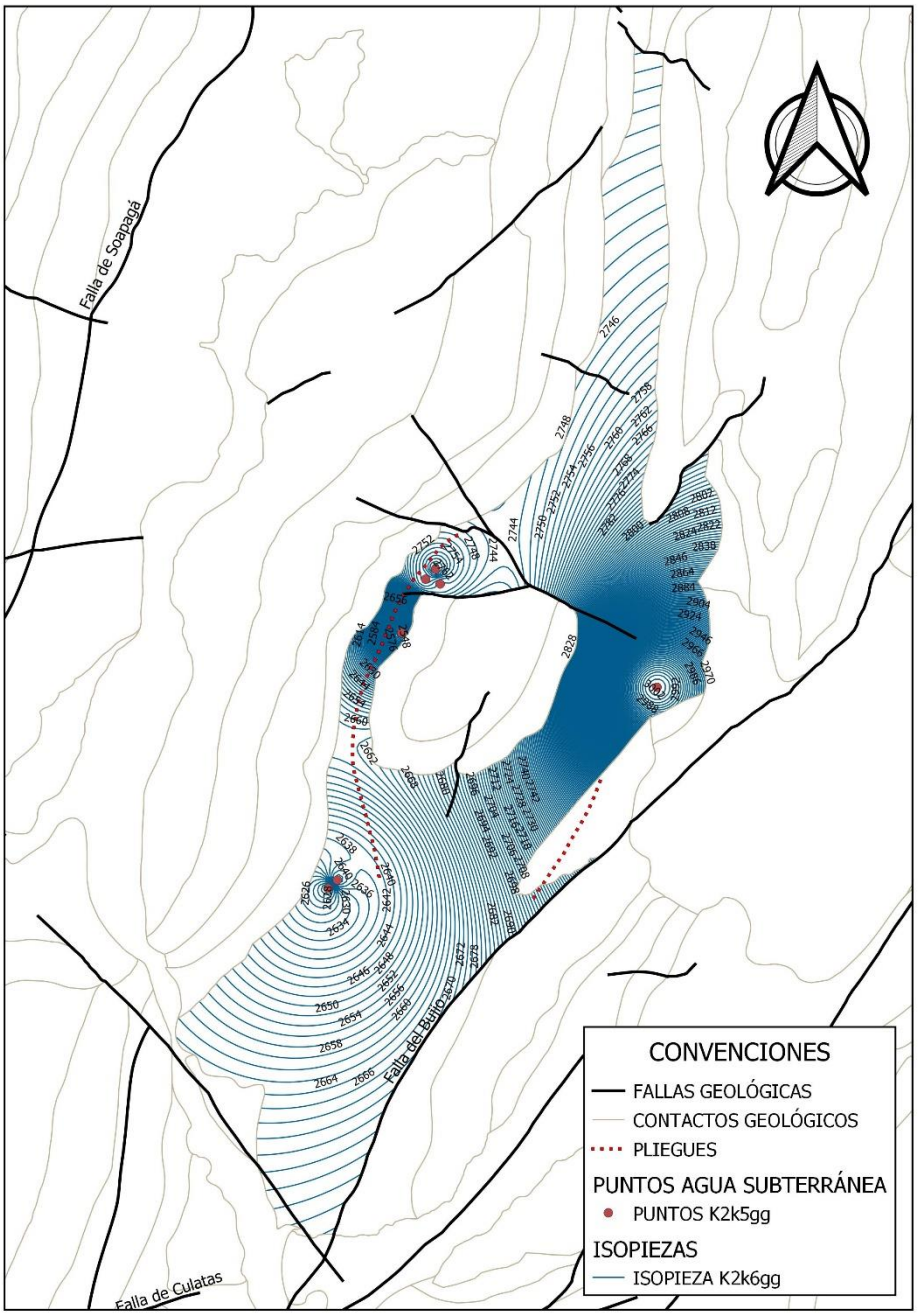


Figura 5-86 Isopiezas formación Guaduas
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2020

En la formación Labor y Tierna (ver **Figura 5-87**) se encontraron don tendencias de las isopiezas que permiten proponer líneas de flujo hacia el norte en esta unidad.

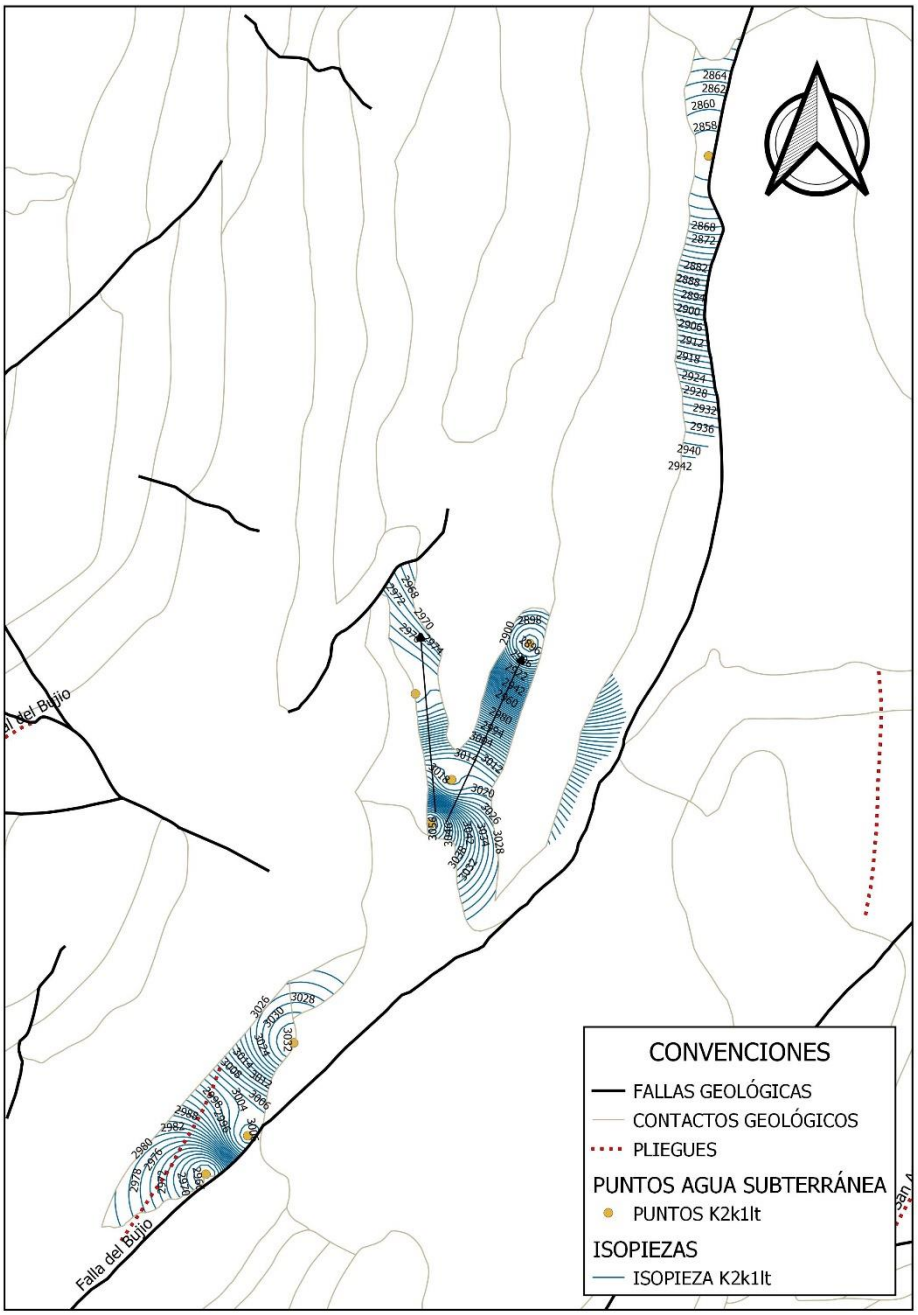


Figura 5-87 Isopiezas formación Labor y Tierna
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2020

En la formación Los Pinos (ver **Figura 5-88**) no se identifican líneas de flujo a partir de las isopiezas.

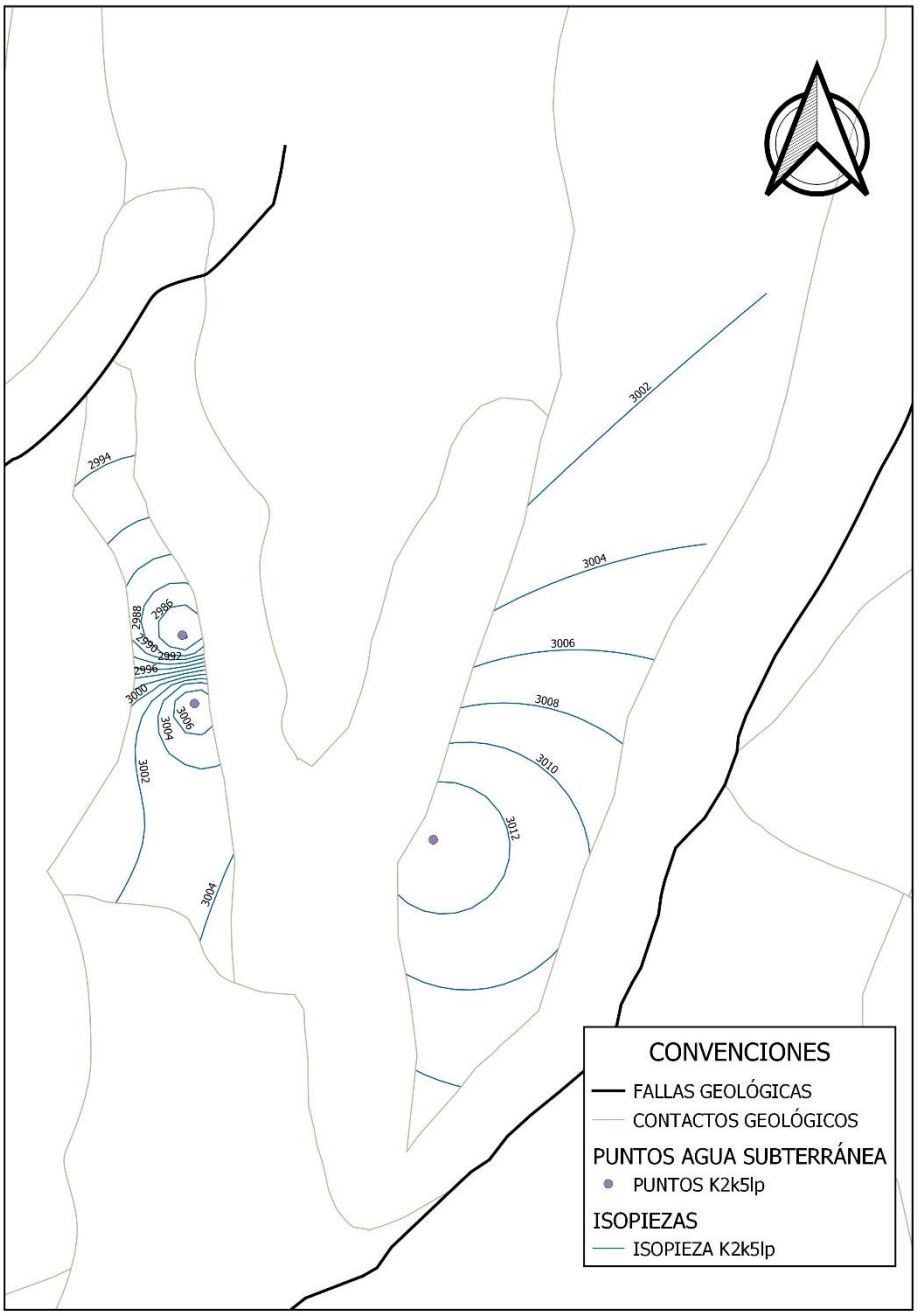


Figura 5-88 Isopiezas formación Los Pinos
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2020

En el Stock de Otengá (ver **Figura 5-89**) se encuentran posibles líneas de flujo cortos aislados en los sitios donde hay agrupación de manantiales. No se identifica un comportamiento global de flujo de agua subterránea.

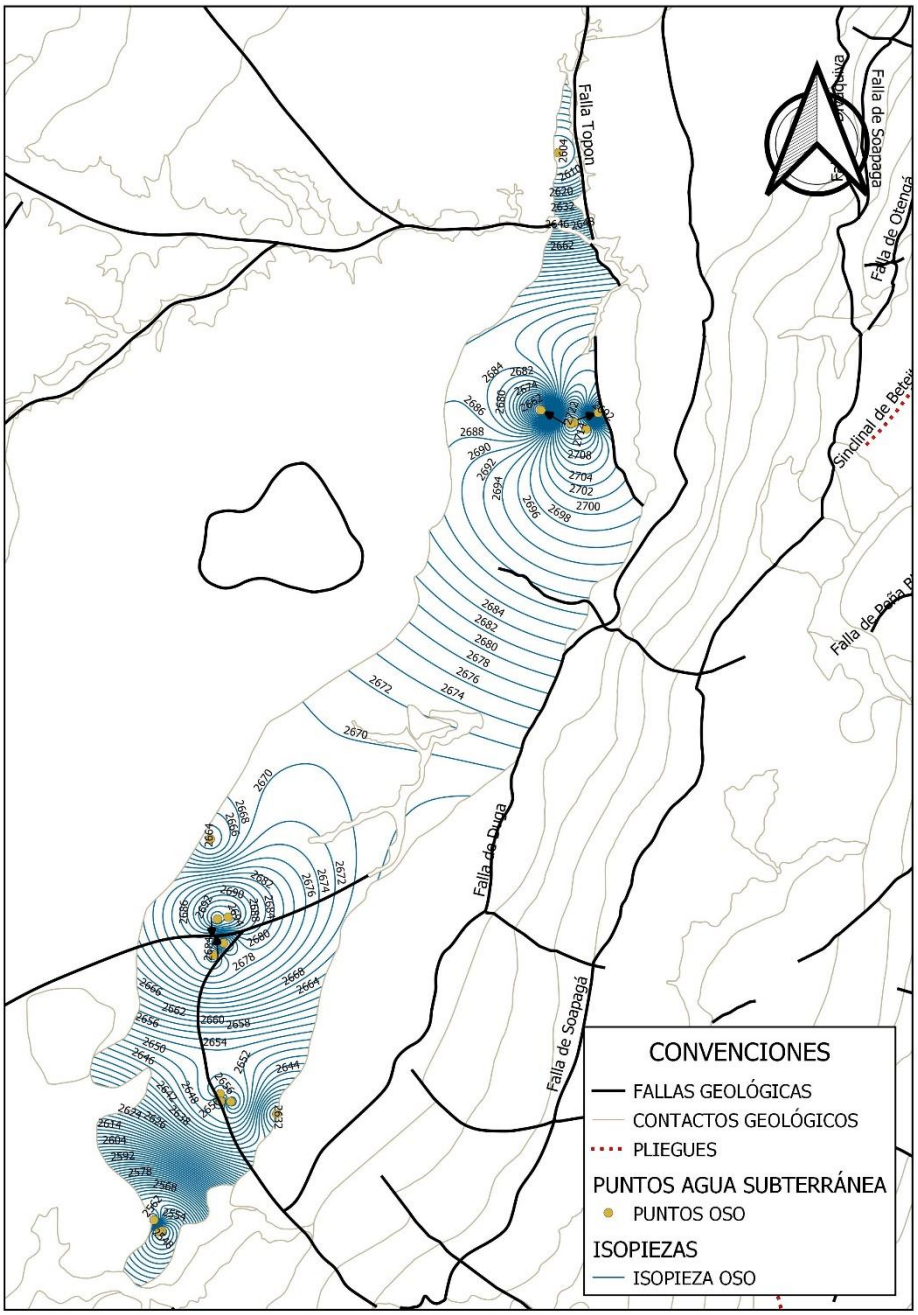


Figura 5-89 Isopiezas Stock de Otengá
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2020

En la formación Plaeners (ver **Figura 5-90**) se tienen puntos dispersos, por lo tanto, sólo se pudo identificar una posible tendencia en las isopiezas que marcaría una línea de flujo al oriente de la falla de Soapaga con dirección hacia la falla.

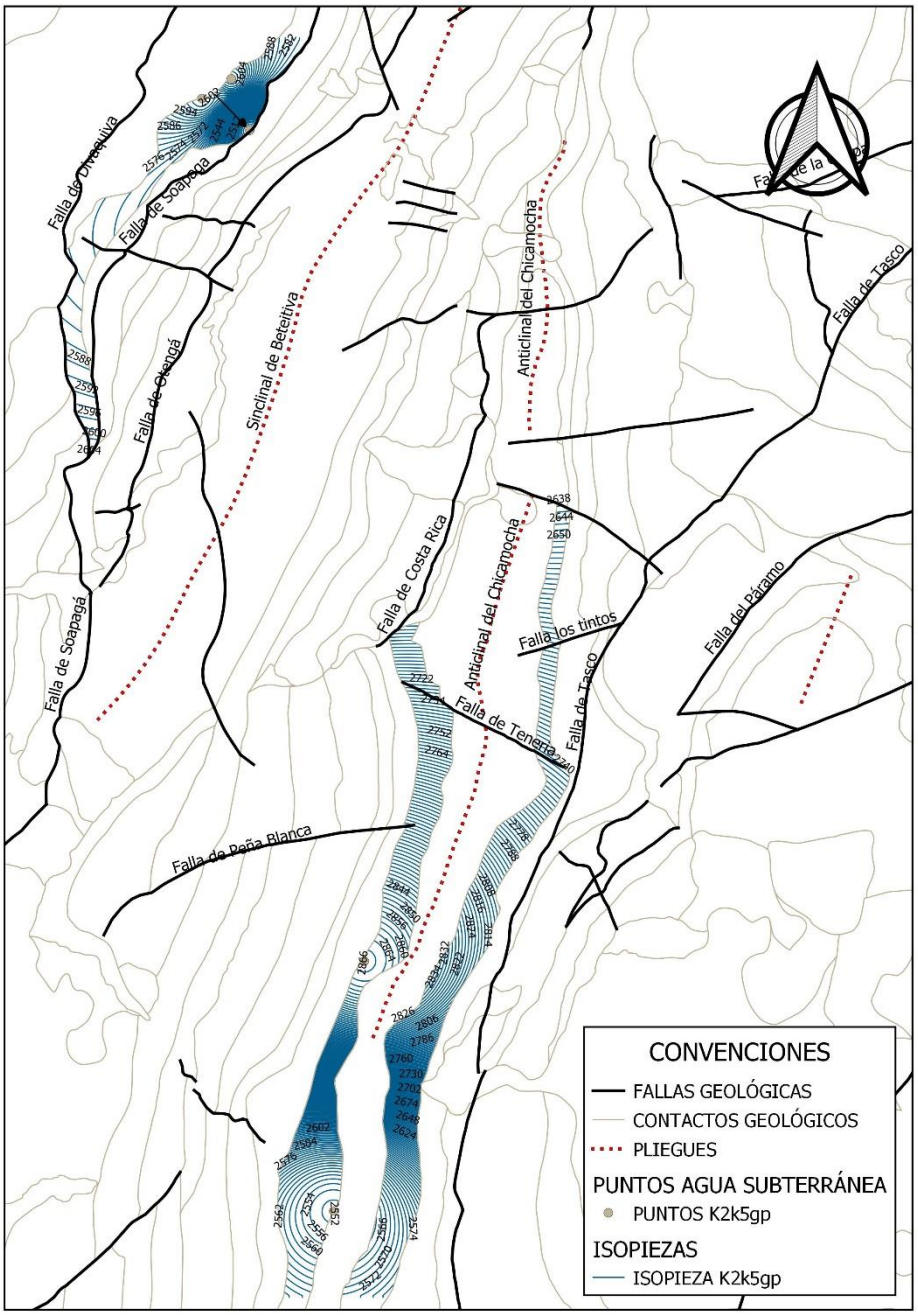


Figura 5-90 Isopiezas formación Plaeners
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2020

En los depósitos aluviales (ver **Figura 5-91**) se encontraron tendencias en las isopiezas que permiten inferir una línea de flujo a lo largo de la quebrada La Floresta desde Busbanzá a Corrales, y desde los depósitos hacia el río Chicamocha en el centro poblado de Corrales.

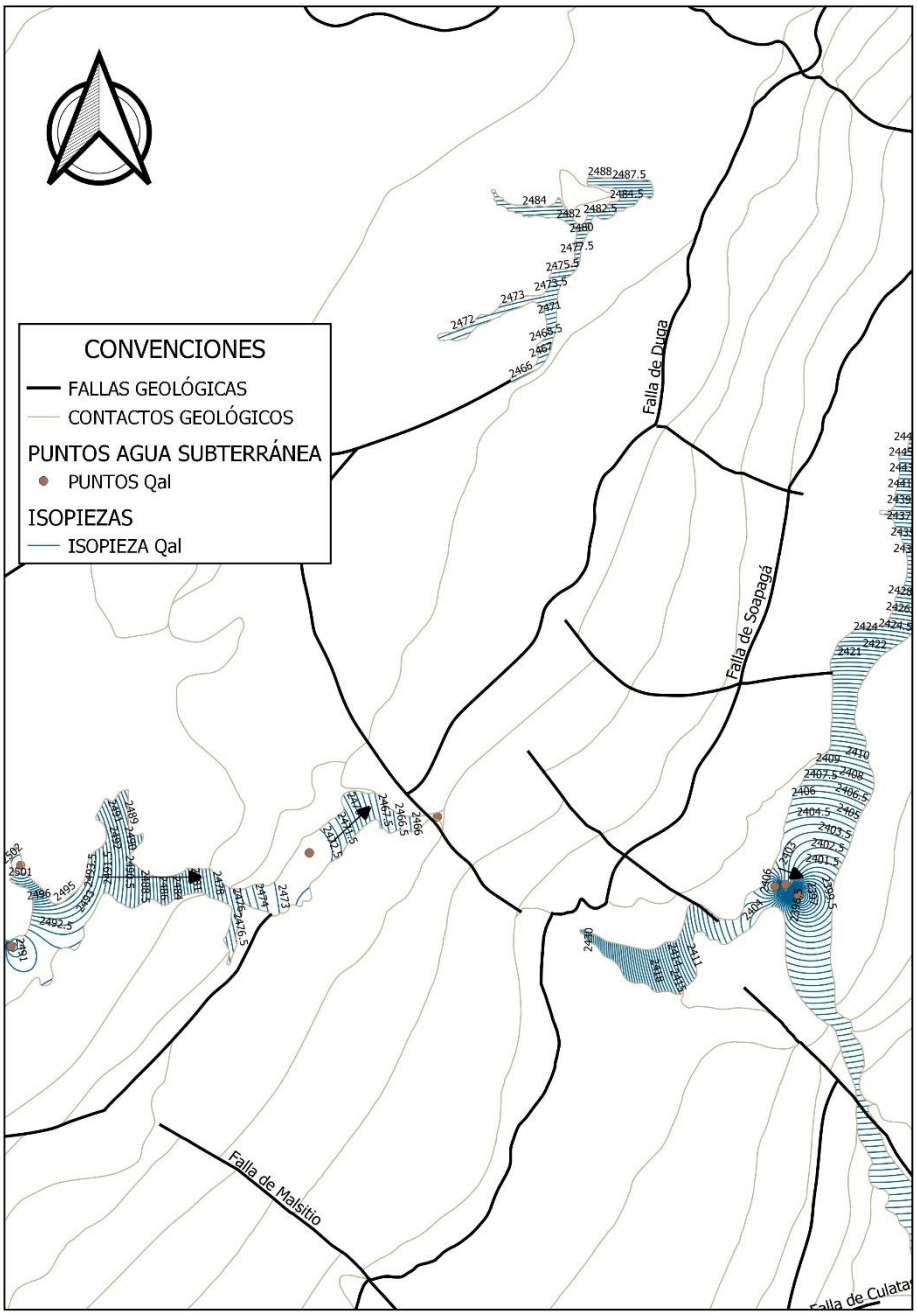


Figura 5-91 Isopiezas depósitos aluviales
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2020

En los depósitos coluviales (ver **Figura 5-92**) se encontraron indicios de flujos de agua subterránea en dirección a los depósitos aluviales del río Chicamocha al oriente.

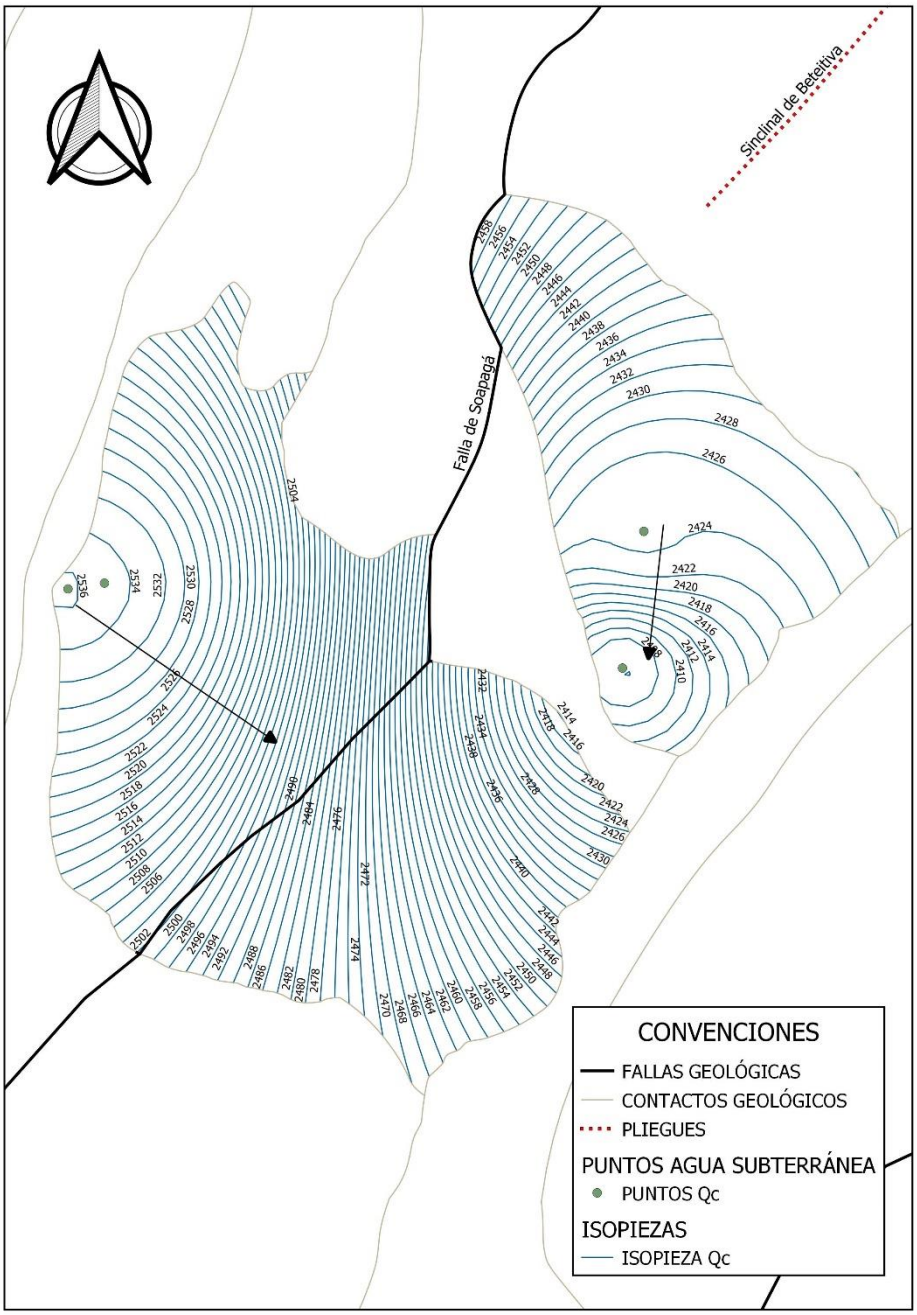


Figura 5-92 Isopiezas depósitos coluviales
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2020

En la formación Tibasosa (ver **Figura 5-93**) se identificaron flujos cortos que van hacia el oriente en dirección de la falla de Soapagá.

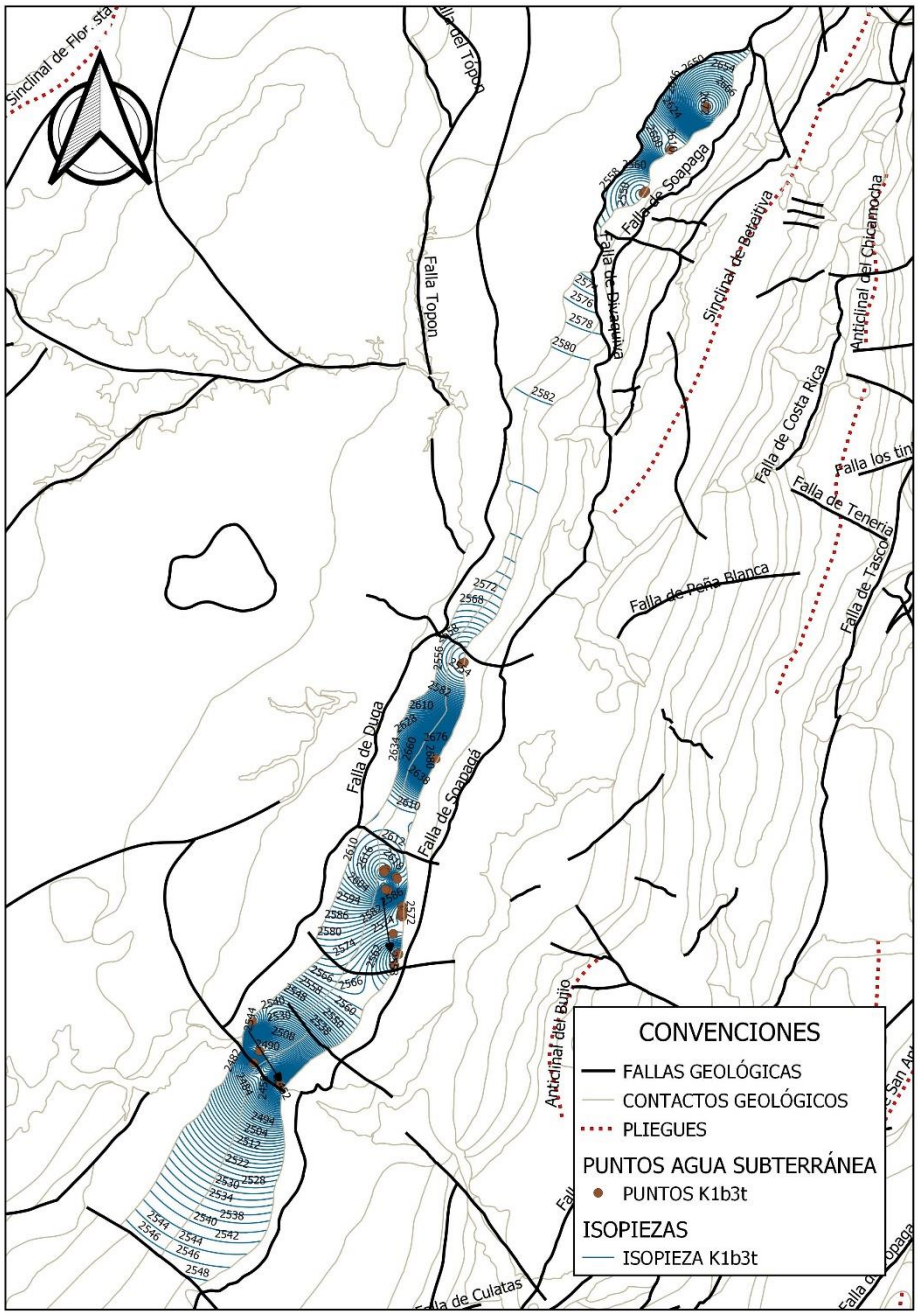


Figura 5-93 Isopiezas formación Tibasosa
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2020

En la formación Une (ver **Figura 5-94**) no se identifican patrones que permitan reconocer líneas de flujo a partir de las isopiezas.

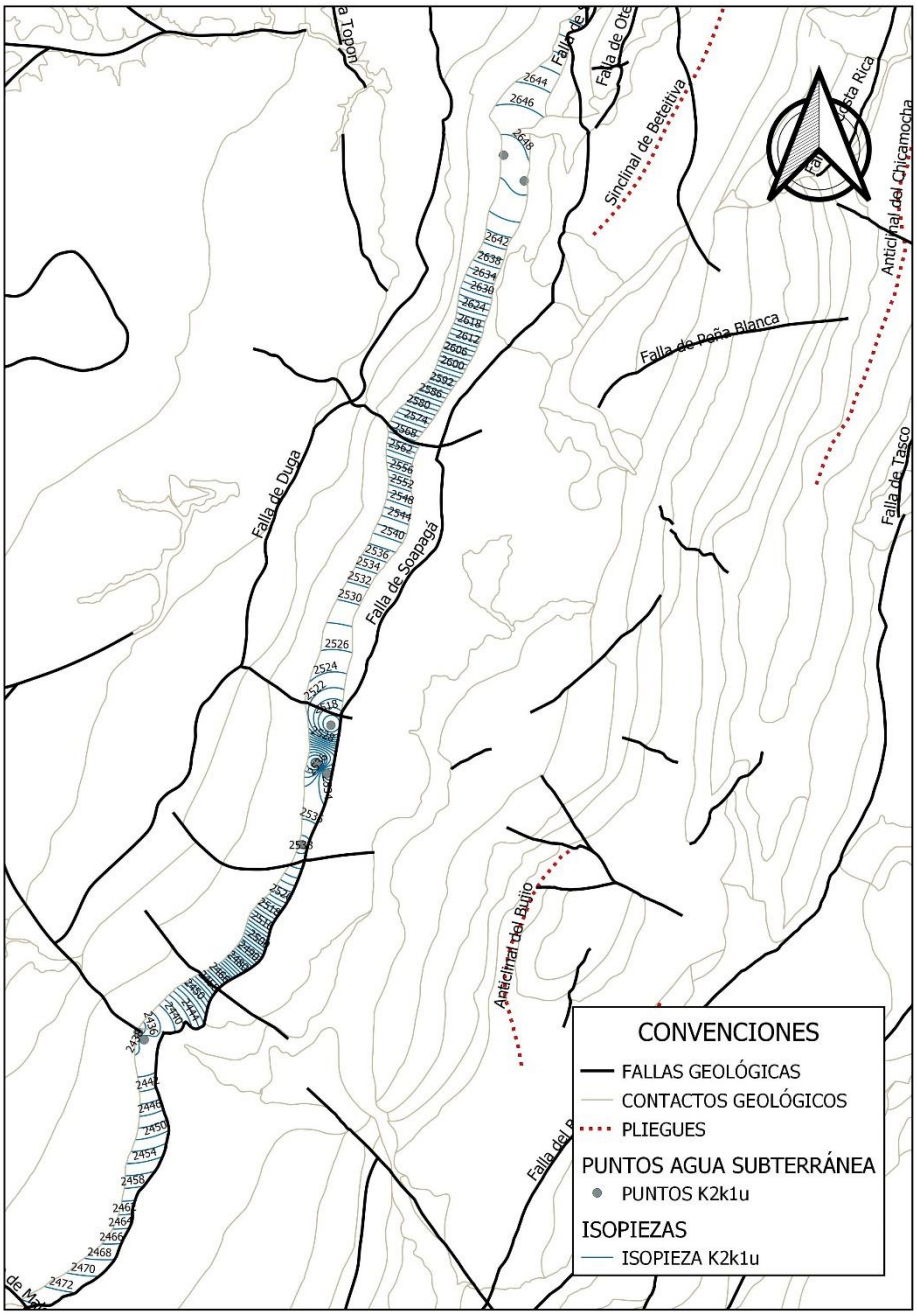


Figura 5-94 Isopiezas formación Une
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2020

A continuación, se describen los sistemas de flujo encontrados a partir del análisis de isopiezas y de la configuración geométrica de los acuíferos en la zona de estudio.

- ✓ Flujos locales en acuíferos someros: se recarga en los parteaguas que corresponden a las zonas que dividen la escorrentía superficial entre un cuerpo y otro. La descarga se da en zonas adyacentes a estos alineamientos de divisorias de agua en alturas

topográficas cercanas al filo. Por lo tanto, su distancia puede ser del orden de cientos de metros hasta algunos kilómetros.

- ✓ Flujos locales en depósitos: los depósitos presentan recarga directa, potencializada por las bajas pendientes que estos desarrollan en superficie. Los flujos están dirigidos hacia y a lo largo de los cuerpos de agua que han dado lugar a estos depósitos aluviales. Esto se evidenció en el valle del río Chicamocha con las mediciones de nivel freático realizadas en el inventario de puntos de agua subterránea.
- ✓ Flujos locales en rocas sedimentarias: se identificó este flujo con el inventario de puntos de agua subterránea, donde se reconocieron puntos con valores bajos de conductividad eléctrica, relacionados con flujos subsuperficiales que no se profundizan y se descargan en cambios de pendientes y contactos geológicos con unidades de menor permeabilidad. Este flujo está muy relacionado con las geoformas del terreno.
- ✓ Flujos intermedios en rocas sedimentarias: este flujo está influenciado por la configuración geométrica de las unidades. Los acuíferos Picacho, Areniscas de Socha y Labor y Tierna hacia el sur y parte media del APE se recargan al oriente y fluyen al occidente profundizándose. Al norte del APE en el sinclinal de Betéitiva las zonas de recarga se localizan al oriente y occidente y el flujo va en dirección hacia el eje del sinclinal. Estos acuíferos se encuentran separados por acuitardos, lo que los convierte en acuíferos semiconfinados. No se descartan flujos menores ascendentes y descendentes entre estos, dependiente de la cabeza de energía de cada acuífero y de las propiedades hidráulicas de los acuitardos. Por otra parte, los acuíferos Girón, Une y Tibasosa se profundizan y son controlados en profundidad por la existencia de acuífugos y acuitardos. La dirección de flujo es vertical hacia abajo y en dirección al norte.
- ✓ Flujos locales a intermedios en franjas de fallas geológicas: las fallas geológicas afectan los materiales de las unidades geológicas y constituyen conductos preferenciales donde se puede dar flujos longitudinales y verticales (Rueda, 2013). En la zona de estudio se identificaron flujos longitudinales que transportan agua de líneas de flujo corta distancia; se contempla la posibilidad de flujos verticales hacia abajo que constituirían líneas intermedias. Además, a partir del análisis de la conductividad eléctrica se reconoce la posibilidad de flujo ascendente en las fallas geológicas Soapagá y Otengá por la existencia de valores elevados asociados a las franjas de estas fallas.

- Relación agua subterránea – agua superficial

Los cuerpos de agua superficial son alimentados por el aporte de agua subterránea de los depósitos aluviales. El primer caso es, al occidente en Busbanzá y Betéitiva los depósitos además de su recarga vertical directa, son recargados lateralmente por los acuíferos someros presentes en el bloque ígneo metamórfico, lo que coadyuva a aumentar el almacenamiento de agua en estos depósitos y por ende mejora la capacidad de sostenimiento del recurso hídrico subterráneo. Por otra parte, en el valle del río Chicamocha, los depósitos que son recargados de manera directa por la lluvia, son una reserva que aporta caudal base al río Chicamocha, teniendo en cuenta el hallazgo de la dirección del flujo de agua subterránea en los depósitos en el casco urbano de Corrales.

- **Comportamiento hidráulico de fallas y contactos geológicos**

Se ha evidenciado a partir del inventario de puntos de agua subterránea, el modelo geológico y la presencia de manaderos de hidrocarburos, que las fallas y contactos geológicos en la zona de estudio tienen un comportamiento hidráulico específico que se entiende de la siguiente manera:

- Las fallas geológicas son permeables; esto significa que permiten el flujo de agua subterránea. Se identificaron flujos longitudinales que transportan agua fresca y joven asociada a líneas de flujo cortas; flujos verticales descendientes que alimentan acuíferos en profundidad y flujos verticales ascendentes que aportan aguas más evolucionadas y mineralizadas a la superficie. Ejemplo de este último se observó en la falla de Soapagá y en la falla Otengá.
- Los rezumaderos de hidrocarburos en el área de estudio (ver numeral 5.5 Inventario Rezumaderos) están asociados principalmente a fallas y contactos geológicos. Esto apoya la hipótesis de fallas geológicas permeables.
- En los contactos geológicos se identificaron surgencias de agua subterránea con un grado medio de mineralización, esto implica aguas con mayor evolución que han tenido mayor tiempo de residencia en las rocas. El mecanismo físico de surgencia es el del cambio de permeabilidad entre unidades geológicas, que hace que el agua viaje preferencialmente a lo largo del plano de contacto en vez de profundizarse en la unidad hidrogeológica infrayaciente de menor permeabilidad.

➢ **Condiciones de frontera regionales al oriente y occidente: páramos**

Se proponen hipótesis de relación páramos - APE gracias al conocimiento de la geología en superficie y profundidad hasta las zonas más próximas de los páramos Pisba y Guantiva – La Rusia.

- Condición de frontera al oriente: páramo de Pisba

Entre el AI del APE COR-15 y el páramo de Pisba existe una franja de terreno conformada por rocas sedimentarias afectadas por el tectonismo acusado por la existencia de fallas geológicas en sentido norte – sur y pliegues aproximadamente con la misma dirección. Por lo tanto, las capas geológicas en profundidad presentan una complejidad elevada. En superficie se identifican unidades hidrogeológicas que se comportan como acuíferos y como acuitardos; en superficie no se encuentra continuidad lateral de acuíferos entre el este (páramo Pisba) y el oeste (AI APE COR-15). En profundidad se encuentra que las capas acuíferas tienen una configuración tal que no existe aporte de agua en profundidad desde el páramo hacia el APE (ver **Figura 5-97** y **Figura 5-98**).
Retomando los resultados fisicoquímicos de los puntos de agua subterránea, se reconoce la existencia de aportes de agua subterránea al sistema hídrico superficial de flujos de agua joven o meteórica, con recorridos cortos desde su zona de recarga que, concordantemente, se localizaría en cercanías en alturas mayores, es decir en el páramo Pisba. Por lo tanto, se identifica que, con los elementos evaluados, el AI del APE COR-15 no tiene conexión directa en profundidad con flujos provenientes del páramo de Pisba; por el contrario, la conexión es más del tipo superficial a través de cuerpos de agua que drenan desde el páramo Pisba hacia el río Chicamocha que discurre a través del APE.

- Condición de frontera al occidente: páramo de Guantiva – La Rusia

Al occidente del AI existe una franja de terreno que está conformada, en su mayoría por rocas ígneas y metamórficas, y en una baja proporción por sedimentos cuaternarios asociados a la quebrada Otengá. En esta zona se identifican fallas geológicas que afectan las propiedades hidráulicas de las rocas duras del Stock de Otengá y de los Esquistos y Filitas de Busbanzá, y que permiten flujos de agua descendentes. Asimismo, se tiene una capa meteorizada que implica un comportamiento hidráulico diferencial con respecto a la roca sana del macizo ígneo-metamórfico. Los puntos de agua subterránea identificados en esta franja son de aguas meteóricas asociados a flujos cortos cercanos a la zona de recarga. La recarga hídrica de estos puntos está ubicada en

cercanías y a mayor altura, por lo que se presume que existen zonas de recarga hídrica en el páramo Guantiva – La Rusia. Con estos elementos se reconoce que en este sector al occidente el AI el flujo de agua subterránea puede tener lugar en las zonas con propiedades hidráulicas aumentadas por efecto de meteorización y fallas geológicas. Al observar los perfiles hidrogeológicos (ver **Figura 5-98** y **Figura 5-99),** se evidencia que en profundidad, por debajo de la capa meteorizada, no hay flujo de agua subterránea, por lo que la relación hidrogeológica de frontera entre el páramo Guantiva – La Rusia y el AI del APE COR-15 sería de no flujo en profundidad entre estas dos áreas; por el contrario, el aporte de agua proveniente del páramo Guantiva – La Rusia es de la forma de los cuerpos de agua superficial, que son alimentados además de la precipitación – escorrentía directa, por el flujo base de aguas jóvenes identificado al noroccidente entre el AI y el páramo.

- **Perfiles hidrogeológicos**

Se construyeron dos perfiles hidrogeológicos basados en la geometría de los cortes geológicos construidos en el capítulo de geología del presente EIA, teniendo en cuenta la clasificación de unidades hidrogeológicas, líneas de flujo, zonas de recarga y escorrentía (ver **Figura 5-95**). En la **Figura 5-96** a **Figura 5-99** se presentan los perfiles hidrogeológicos A-A', B-B', C-C' y E-E', respectivamente.

Se reconoce que en el perfil A-A' los flujos subterráneos recargados dentro del APE pueden hacer parte de flujos subsuperficiales cortos descargados a media ladera, contactos y zonas de falla, también hay posibilidad de flujos verticales descendentes que se profundizan e interiorizan en el APE, estos flujos se dan por las capas acuíferas debido a su configuración geométrica y a través de fallas geológicas. También se presenta la hipótesis de flujos verticales ascendentes en la falla de Soapagá, las demás fallas tienen únicamente la hipótesis de flujo vertical descendente. Los flujos recargados al oriente del APE tienden a fluir hacia el oriente, alejándose del APE. Al occidente, en los acuíferos someros, los flujos recargados fuera del APE alimentan el almacenamiento en el espesor meteorizado, el cual soporta el flujo base de las corrientes superficiales que fluyen hacia el APE. Al occidente se identifica en profundidad una barrera hidrogeológica generada por el cuerpo ígneo metamórfico clasificado como C2.

En el perfil B – B' se reconocen flujos subterráneos recargados dentro del APE que alimentan acuíferos en profundidad que según la configuración geométrica no trascienden el APE. Las fallas geológicas se presentan con condición de flujo longitudinal con descargas de aguas frescas, flujo vertical descendente que recargaría acuíferos en profundidad y para la falla de Soapagá un flujo vertical ascendente identificado por manantiales con alta conductividad eléctrica. Regionalmente, en el perfil B – B' se tiene al este una franja del páramo de Pisba. Entre el APE y el páramo se encuentra en superficie el acuífero Depósito Fluvial del Neógeno (AQ-Naa) que está dispuesto sobre el acuitardo Guaduas (Aq-K2k6gg). Por esta disposición se tiene que los flujos subterráneos son principalmente someros en el AQ-Naa, alimentando corrientes superficiales con flujos base. Según la disposición geométrica del corte, no se aprecia conexión lateral directa de acuíferos en profundidad entre el páramo de Pisba y el APE COR-15.

El perfil C – c' presenta al occidente recarga de acuíferos someros del Stock de Otengá y las Filitas y Esquistos de Busbanzá, mientras que en la parte central hay recarga de acuíferos en profundidad Girón, Tibasosa, Une, Picacho y Areniscas de Socha y Labor y Tierna. Se presenta flujo descendente y longitudinal en todas las fallas geológicas, mientras que la falla Soapagá también se considera con flujo ascendente. Regionalmente, en el corte C – C´ se tiene una franja del páramo Guantiva – La Rusia al oeste y el límite del páramo Pisba al este. Primero, al oeste del APE COR-15 se encuentra en profundidad el cuerpo ígneo metamórfico del Stock de Otengá y Esquistos y Filitas de Otengá, que, según la información disponible, se comporta en profundidad como una

barrera hidrogeológica alargada en sentido norte – sur, que separa el oeste (páramo Guantiva – La Rusia) y el este (APE COR-15). Por el otro lado, al este se identifica que desde el páramo Pisba existe el aporte de agua hacia el APE COR-15 por escorrentía superficial, mientras que desde el APE existe una zona de recarga delimitada para el acuífero Labor y Tierna (AQ-K2k5lt) que puede alimentar flujos regionales que se profundizan hacia el este. Así las cosas, no se reconoce conexión directa en profundidad de aporte de agua desde el páramo Pisba y el APE COR-15; en adición, los flujos recargados en el APE COR-15 entran al sistema subterráneo a elevaciones inferiores a las existentes en la zona de páramo, por lo tanto, no representan un aporte de agua al páramo Pisba. Aunque no aparece en este corte el páramo Guantiva – La Rusia, si se puede ver el cuerpo ígneo-metamórfico (unidad tipo C2) que representa la barrera hidrogeológica en profundidad entre el APE y el terreno localizado al oeste.

Se reconoce en el perfil E-E' los flujos recargados dentro del APE no trascienden los límites del polígono excepto por flujos en los límites oriental y occidental que tiende a profundizarse a través de fallas geológicas. Según la disposición geométrica alimentan los acuíferos en profundidad que hacen parte del sinclinal de Betéitiva, por lo que se configuran como capas de interés hidrogeológico de explotación de agua (a grandes profundidades), ya que están siendo recargadas de manera continua (aunque con una lámina de pocos milímetros), no tienen aprovechamiento actual y no están en contacto con cuerpos superficiales de agua. Además, el acuífero Girón en el límite occidental del APE presenta una condición propicia para el almacenamiento de agua subterránea porque está controlado litológicamente por el acuífugo Stock de Otengá, acuitardos Plaeners y Los Pinos. Las fallas geológicas tienen condiciones de flujo longitudinal con surgencias de agua muy fresca, asimismo se presenta la hipótesis de flujo vertical descendente en todos los casos y de flujo vertical ascendente en la falla de Otengá y Soapagá al occidente del sinclinal de Betéitiva dentro del APE. Regionalmente, en el corte E-E' se encuentra una franja del páramo Guantiva – La Rusia al oeste. Se reconoce el cuerpo ígneo-metamórfico de pobres características hidrogeológicas en profundidad que separan al APE del páramo Guantiva – La Rusia, este es el mismo identificado en el corte A – A', B – B' y C – C', por lo que se entiende que esta es una barrera continua que abarca todo el costado oeste del APE desde su extremo sur hasta su extremo norte. Cerca de la superficie se identifica una zona meteorizada que almacena y transporta agua subterránea en distancias cortas (según las características fisicoquímicas del agua reportadas en este documento y en el componente hidrogeológico del EIA). Estas capas meteorizadas aportan flujo base a las corrientes superficiales que drenan en dirección oeste – este. Por lo tanto, esta es la conexión que se vislumbra entre el páramo Guantiva – La Rusia y el APE COR-15; flujos cortos de agua subterránea que sostienen el recurso hídrico superficial que drena hacia el APE. No se identifican flujos de agua subterránea desde el APE hacia el páramo Guantiva – La Rusia, debido a que no se reconocen acuíferos continuos lateralmente entre estas dos zonas y a que el APE se encuentra en elevaciones topográficas menores.

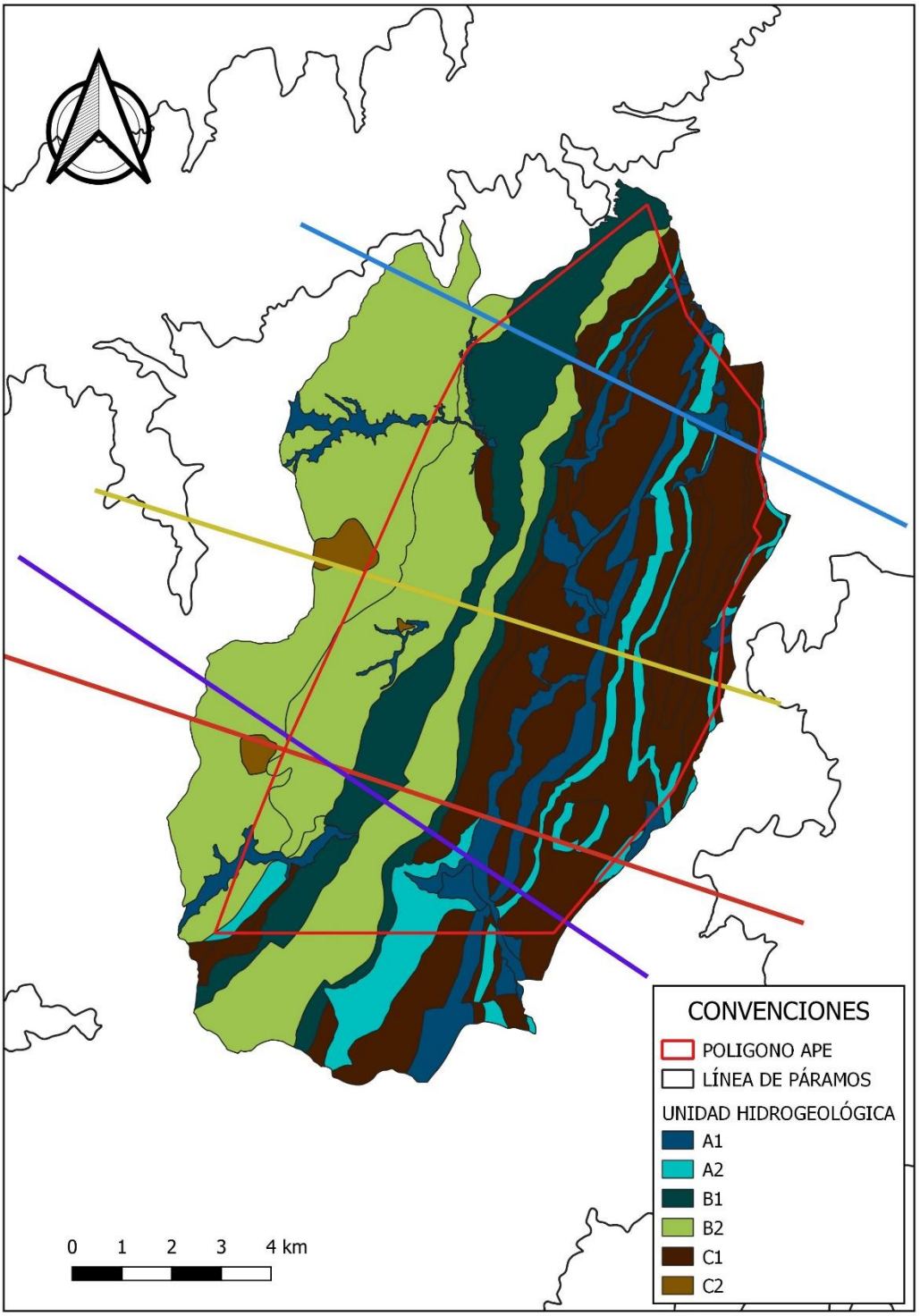


Figura 5-95 Localización perfiles hidrogeológicos
Fuente: tomado de MADS, 2014

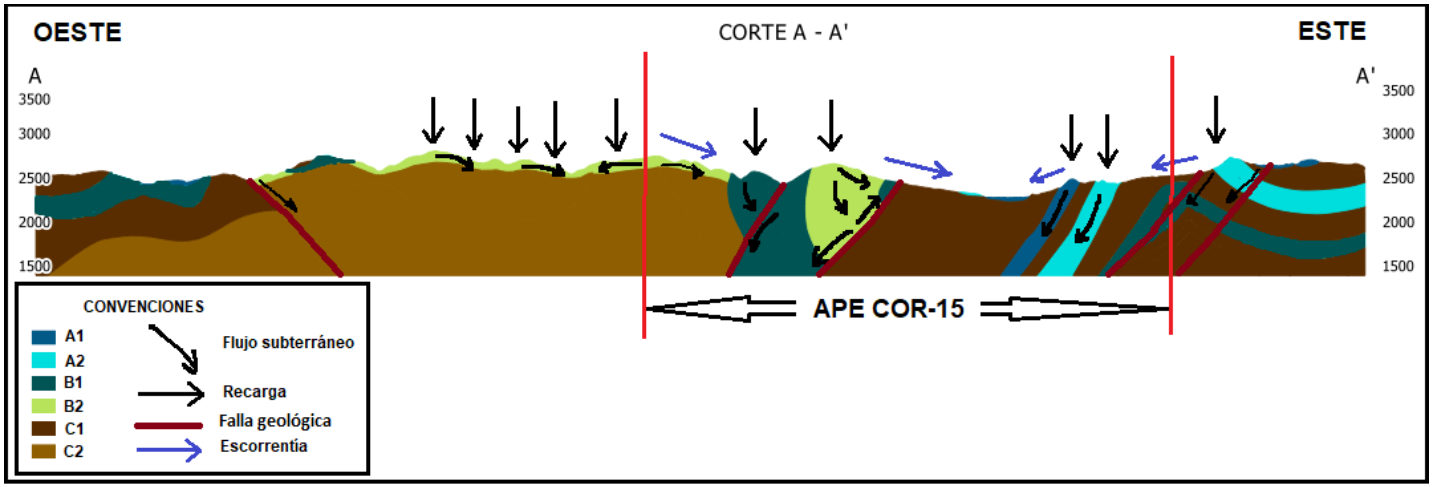


Figura 5-96 Corte hidrogeológico A-A'
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

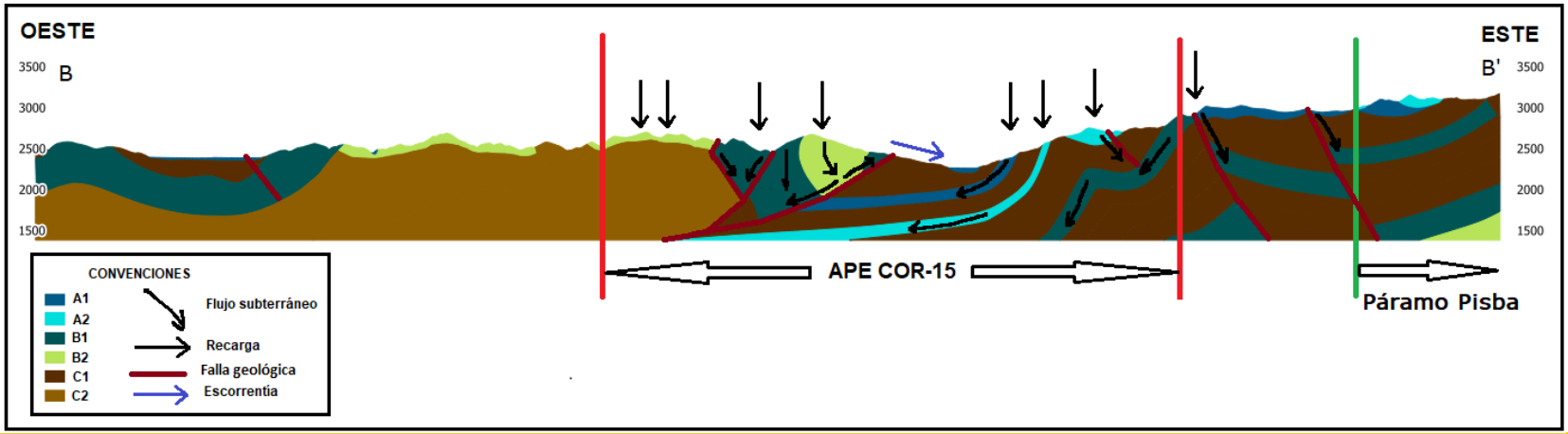


Figura 5-97 Corte hidrogeológico B-B'
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

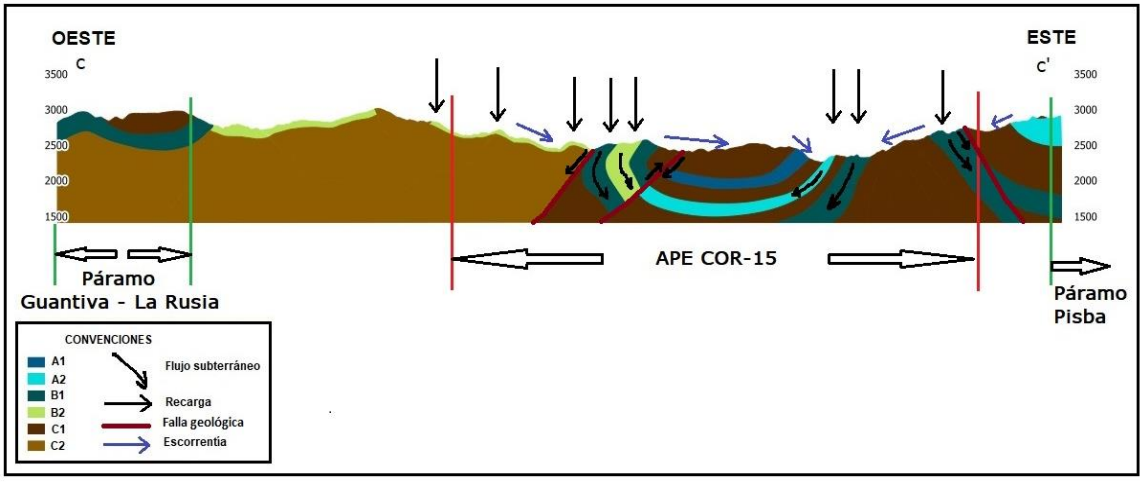


Figura 5-98 Corte hidrogeológico C-C'
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

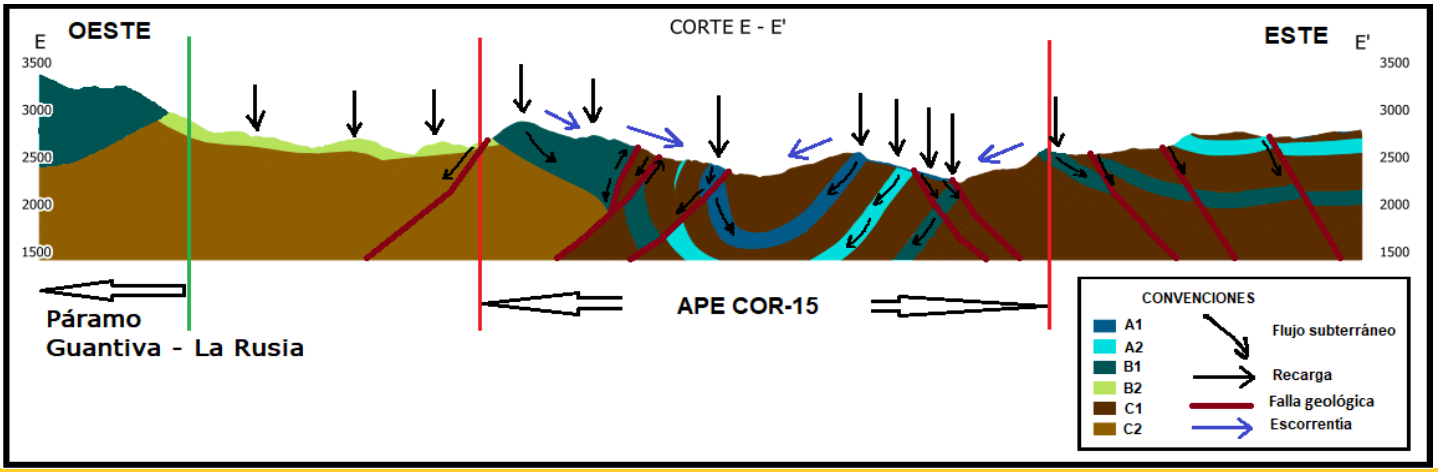


Figura 5-99 Corte hidrogeológico E-E'
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

- **Bloquediagrama**

Se construyó un bloquediagrama) a partir del conocimiento hidrogeológico del área de estudio (ver **Figura 5-101**) incluyendo unidades hidroestratigráficas, estructuras geológicas, inventario de puntos de agua subterránea, hidrografía, en el marco del APE COR-15, el área de influencia. En el Anexo **Bloquediagrama COR-15**.

SÍMBOLO	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS	CAPACIDAD ESPECÍFICA PROMEDIO [l/s/m]	DESCRIPCIÓN
A1	Sedimentos y rocas con flujo esencialmente intergranular	Alta entre 2.0 y 5.0	Acuíferos continuos de extensión regional de alta productividad, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados y rocas sedimentarias poco consolidadas de ambiente fluvial, glacifluvial, marino y vulcano clástico. Acuíferos libres y confinados con agua de buena calidad química
A2		Media entre 1.0 y 2.0	Acuíferos continuos de extensión regional de mediana productividad, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados y rocas sedimentarias terciarias poco consolidadas, de ambiente fluvial, glacifluvial, marino y vulcano clástico. Acuíferos generalmente confinados con agua de buena calidad química
A3		Baja entre 0.05 y 1.0	Acuíferos discontinuos de extensión local, de baja productividad, conformados por sedimentos cuaternarios y rocas sedimentarias terciarias poco consolidadas de ambiente aluvial, lacustre, coluvial, eólico y marino marginal. Acuíferos libres y confinados con agua de regular calidad química.
B1	Rocas con flujo esencialmente a través de fracturas (rocas y/o carstificadas).	Media entre 1.0 y 2.0	Acuíferos continuos de extensión regional de mediana productividad, conformados por rocas sedimentarias y volcánicas piroclásticas de ambiente marino y continental. Acuíferos libres y confinados con agua de buena calidad química. Con frecuencia se encuentran fuentes termales asociadas a la tectónica.
B2		Baja entre 0.05 y 1.0	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. Acuíferos generalmente confinados con agua de buena calidad química
C1	Sedimentos y rocas con limitados o ningún recurso de aguas subterráneas	Muy baja < 0.05	Complejo de sedimentos y rocas de muy baja productividad, constituidos por depósitos cuaternarios no consolidados de ambientes lacustres, deltaicos y marinos y por rocas sedimentarias terciarias a cretácicas poco consolidadas subterráneas de origen continental o marino. Almacenan aguas de regular a mala calidad química, salada en las regiones costeras.
C2		Muy baja a ninguna < 0.05	Complejo de rocas ígneos-metamórficas con muy baja a ninguna productividad, muy compactadas y en ocasiones fracturadas, terciarias a precámbricas. Almacenan aguas de buena calidad química. Con frecuencia se encuentran fuentes termales asociadas a la tectónica

Figura 5-100 Detalle convenciones unidades hidroestratigráficas bloquediagrama COR-15
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

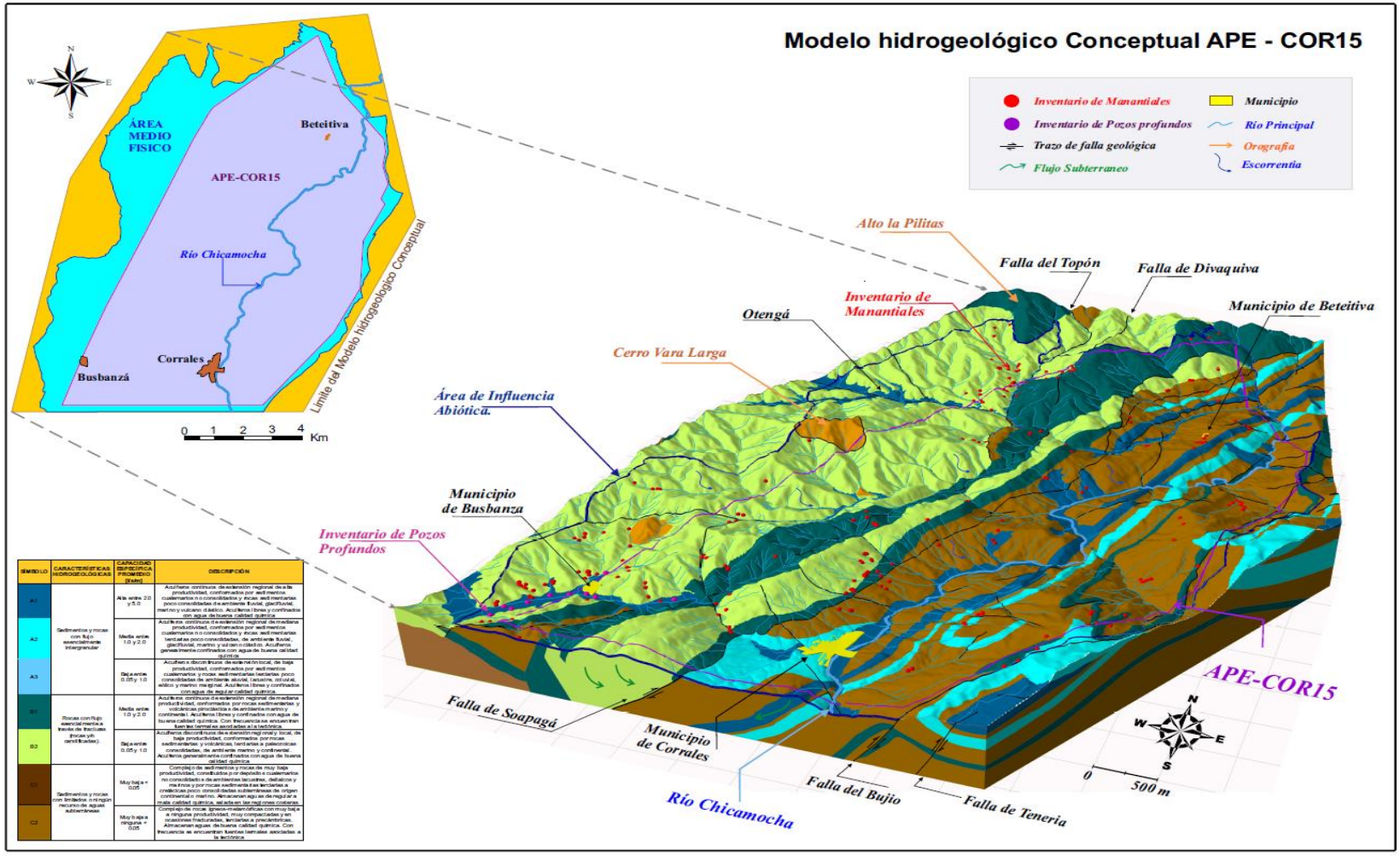


Figura 5-101 Bloquediagrama COR-15
Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

5.1.6.12 Evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea

La vulnerabilidad de acuíferos es un concepto que está relacionado con la capacidad intrínseca que tiene el medio geológico y la cubierta edafológica de atenuar el efecto de cargas contaminantes dispuestas en superficie, de origen natural y antrópico (MAVDT, 2010). Esa capacidad está relacionada con diversas variables, tales como tipo de acuífero, profundidad al nivel freático, tipo de material de zona no saturada, entre otros.

La evaluación de la vulnerabilidad se puede realizar con metodologías de diferentes tipos: modelos de simulación, métodos estadísticos, métodos de superposición e índices (o paramétricos) y ambientes hidrogeológicos (MAVDT, 2010). Los métodos de índices son los más comunes, entre los que se listan GOD, DRASTIC, EPIK, SINTACS. GALDIT. En estos métodos, cada letra significa una variable tenida en cuenta en la estimación de la vulnerabilidad (ver **Tabla 5-66**).

Tabla 5-66 Metodologías para la evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación de agua subterránea

MÉTODOS	FACTORES	ÍNDICE DE VULNERABILIDAD
**DRASTIC [7]	**D**: Profundidad del agua subterránea **R**: Recarga neta **A**: Litología del acuífero **S**: Tipo de suelo **T**: Topografía **I**: Impacto en el acuífero. Naturaleza de la zona no saturada **C**: Conductividad hidráulica del acuífero	$iV = (D_r \times D_w) + (R_r \times R_w) + (A_r \times A_w) + (S_r \times S_w) + (T_r \times T_w) + (I_r \times I_w) + (C_r \times C_w)$ *r*: Factor de clasificación o valoración *w*: Factor de ponderación
*GOD [6]	**G**: Grado de confinamiento hidráulico. Hace referencia al tipo de acuífero o modo de confinamiento u ocurrencia del agua subterránea **O**: Litología de la zona no saturada. Se evalúa teniendo en cuenta el grado de consolidación y las características litológicas y como consecuencia, de forma indirecta y relativa, la porosidad, permeabilidad y contenido o retención específica de humedad de la zona no saturada. **D**: Profundidad del agua subterránea o del techo del acuífero confinado.	$iV = G \times O \times D$ Los parámetros G y O, pueden considerarse estables a lo largo del tiempo, mientras que el parámetro "D" es variable.
**SINTACS [8]	**S**: Profundidad del agua **I**: Recarga neta **N**: Zona no saturada **T**: Topografía **A**: Medio acuífero **C**: Conductividad hidráulica **S**: Suelo	$iV = (S_r \times S_w) + (I_r \times I_w) + (N_r \times N_w) + (T_r \times T_w) + (A_r \times A_w) + (C_r \times C_w) + (S_r \times S_w)$ *r*: Puntuación (1 – 10) *w*: Peso (1 – 5)
**EPIK[1] [9]	**E**: Zona de intensa karstificación. **P**: Cobertura de protección **I**: Condiciones de infiltración **K**: Red kárstica.	$iV = (a \times E) + (b \times P) + (g \times I) + (d \times K)$ *iV*: factor de protección o índice de vulnerabilidad. *E, P, I, K*: puntuaciones de los parámetros *a, b, g, d*: factores de ponderación
**GALDIT[2]	**G**: Tipo de acuífero **A**: Conductividad hidráulica del acuífero **L**: Nivel del agua subterránea sobre el mar **D**: Distancia tierra adentro perpendicular a la línea de costa **I**: Impacto existente de la intrusión marina **T**: Espesor del acuífero	$iV = (W1 \times G) + (W2 \times A) + (W3 \times L) + (W4 \times D) + (W5 \times I) + (W6 \times T)$ W_1 a W_6 son pesos relativos asignados a los 6 factores.

[1] Método para estimar la vulnerabilidad de acuíferos kársticos
[2] Método aplicado para vulnerabilidad a la intrusión marina
* Método de puntuación –RS. ** Método de puntuación y ponderación –PSCM.. *iV* = Índice de Vulnerabilidad

Fuente: Tomado de Propuesta Metodológica para la Evaluación de la Vulnerabilidad Intrínseca de los Acuíferos a la Contaminación (MAVDT, 2010)

La selección del método de evaluación de la vulnerabilidad de acuíferos se realiza dependiente de la disponibilidad y confiabilidad de la información. Métodos como el DRASTIC y el SINTACS no están al alcance del proyecto porque no se cuenta con el cálculo de la recarga de acuíferos. Por otro lado, métodos como el EPIK y el GALDIT no son adecuados para la totalidad de la zona, ya que no se trata de un medio compuesto únicamente por acuíferos kársticos ni costeros. Entretanto, en la zona de estudio se generó información suficiente para desarrollar el método GOD, el cuál es aplicable conceptualmente al área de estudio.

En la **Figura 5-102** se presenta el detalle del desarrollo de la metodología GOD según el documento Evaluación de la Vulnerabilidad Intrínseca de los Acuíferos a la Contaminación (MAVDT, 2010).

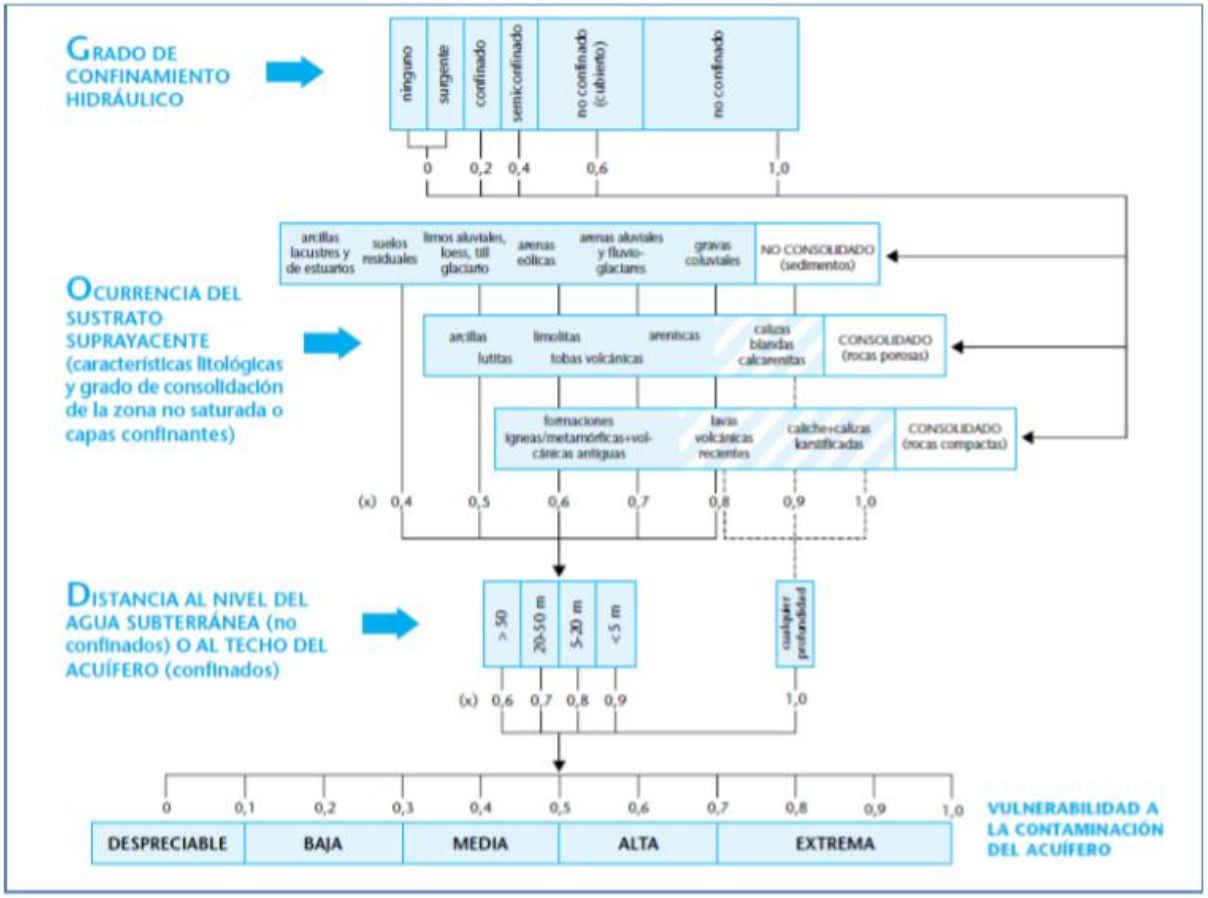


Figura 5-102 Método GOD para la evaluación de vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea

Fuente: Evaluación de la Vulnerabilidad Intrínseca de los Acuíferos a la Contaminación- MAVDT, 2010

Como se aprecia en la metodología GOD, el índice de vulnerabilidad se clasifica en cinco categorías, dependiente de cuán vulnerable es el agua subterránea ante la contaminación. A continuación, se presentan las clases de vulnerabilidad según el texto Evaluación de la Vulnerabilidad Intrínseca de los Acuíferos a la Contaminación (MAVDT, 2010).

- Extrema: vulnerable a la mayoría de los contaminantes con impacto rápido en muchos escenarios de contaminación.

- Alta: vulnerable a muchos contaminantes (excepto a los que son fuertemente absorbidos o fácilmente transformados) en muchos escenarios de contaminación.
- Moderada: Vulnerable a algunos contaminantes solo cuando son continuamente descargados o lixiviados.
- Baja: solo vulnerable a contaminantes conservativos cuando son descargados en forma amplia y continua durante largos periodos de tiempo.
- Despreciable o muy baja: presencia de capas confinantes en las que el flujo vertical (percolación) es insignificante.

El cálculo de la vulnerabilidad con el método GOD tiene que ver con tres parámetros, el grado de confinamiento hidráulico (G) y la ocurrencia del sustrato suprayacente (O) son parámetros que no cambian con el tiempo, mientras que la distancia al nivel del agua subterránea o al techo del acuífero (D) puede ser variable en diferentes épocas del año. En este orden de ideas, se realizó la evaluación de la vulnerabilidad con el método GOD para dos escenarios, el de niveles de agua elevado y niveles de agua profundizados. Estos escenarios de D son: profundidades menores que 5 m (conservador) que está relacionado con las zonas cercanas a manantiales y profundidades entre 5 m y 20 m (menos conservador) para las zonas más alejadas a los manantiales. En la **Tabla 5-67** se presenta el cálculo de la vulnerabilidad. Los valores de G y O son invariantes en ambos escenarios y sus valores se asignaron según la clasificación de tipo de acuífero por comportamiento hidráulico (ver **Tabla 5-33)** y la composición de las rocas (ver **Tabla 5-30**).

Tabla 5-67 Cálculo de vulnerabilidad en el AI del medio físico

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA	G	O	D MÁXIMO	GOD MÁXIMO	CLASE GOD MÁXIMO	D MÍNIMO	GOD MÍNIMO	CLASE GOD MÍNIMO
Acuicludo Floresta	0	0.5	0	0	Vulnerabilidad Muy Baja	0	0	Vulnerabilidad Muy Baja
Acuífero Areniscas de Socha	0.9	0.6	0.9	0.486	Vulnerabilidad Moderada	0.8	0.432	Vulnerabilidad Moderada
Acuífero Depósito Fluvial Neógeno	0.9	0.7	0.9	0.567	Vulnerabilidad Alta	0.8	0.504	Vulnerabilidad Alta
Acuífero Depósitos Aluviales	0.9	0.7	0.9	0.567	Vulnerabilidad Alta	0.8	0.504	Vulnerabilidad Alta
Acuífero Depósitos Coluviales	0.9	0.8	0.9	0.648	Vulnerabilidad Alta	0.8	0.576	Vulnerabilidad Alta
Acuífero Depósitos Fluvio - Lacustres	0.9	0.6	0.9	0.486	Vulnerabilidad Moderada	0.8	0.432	Vulnerabilidad Moderada
Acuífero Girón	0.9	0.6	0.9	0.486	Vulnerabilidad Moderada	0.8	0.432	Vulnerabilidad Moderada
Acuífero Labor y Tierna	0.9	0.6	0.9	0.486	Vulnerabilidad Moderada	0.8	0.432	Vulnerabilidad Moderada

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA	G	O	D MÁXIMO	GOD MÁXIMO	CLASE GOD MÁXIMO	D MÍNIMO	GOD MÍNIMO	CLASE GOD MÍNIMO
Acuífero Picacho	0.9	0.7	0.9	0.567	Vulnerabilidad Alta	0.8	0.504	Vulnerabilidad Alta
Acuífero Somero Meteorizado y Fracturado Filitas y Esquistos de Busbanzá	0.9	0.6	0.9	0.486	Vulnerabilidad Moderada	0.8	0.432	Vulnerabilidad Moderada
Acuífero Somero Meteorizado y Fracturado Stock de Otengá	0.9	0.6	0.9	0.486	Vulnerabilidad Moderada	0.8	0.432	Vulnerabilidad Moderada
Acuífero Tibasosa	1	1	1	1	Vulnerabilidad Extrema	0.8	0.8	Vulnerabilidad Extrema
Acuífero Tíbet	0.9	0.6	0.9	0.486	Vulnerabilidad Moderada	0.8	0.432	Vulnerabilidad Moderada
Acuífero Une	0.9	0.6	0.9	0.486	Vulnerabilidad Moderada	0.8	0.432	Vulnerabilidad Moderada
Acuífugo Neis de Quebradas	0	0.6	0	0	Vulnerabilidad Muy Baja	0.8	0	Vulnerabilidad Muy Baja
Acuitardo Arcillas de Socha	0.4	0.5	0.9	0.18	Vulnerabilidad Baja	0.8	0.16	Vulnerabilidad Baja
Acuitardo Chipaque	0.4	0.5	0.9	0.18	Vulnerabilidad Baja	0.8	0.16	Vulnerabilidad Baja
Acuitardo Concentración	0.4	0.5	0.9	0.18	Vulnerabilidad Baja	0.8	0.16	Vulnerabilidad Baja
Acuitardo Cuche	0.4	0.6	0.9	0.216	Vulnerabilidad Baja	0.8	0.192	Vulnerabilidad Baja
Acuitardo Guaduas	0.4	0.55	0.9	0.198	Vulnerabilidad Baja	0.8	0.176	Vulnerabilidad Baja
Acuitardo Los Pinos	0.4	0.55	0.9	0.198	Vulnerabilidad Baja	0.8	0.176	Vulnerabilidad Baja

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA	G	O	D MÁXIMO	GOD MÁXIMO	CLASE GOD MÁXIMO	D MÍNIMO	GOD MÍNIMO	CLASE GOD MÍNIMO
Acuitardo Plaeners	0.4	0.6	0.9	0.216	Vulnerabilidad Baja	0.8	0.192	Vulnerabilidad Baja

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

Se encontraron clases de vulnerabilidad coincidentes en ambos escenarios, al tener este resultado, se considera que las clasificaciones de vulnerabilidad son representativas para las unidades hidrogeológicas. En la **Figura 5-103** se presenta la variación espacial de la vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea. Se obtuvieron clases de vulnerabilidad desde muy baja para acuicludos y acuífugos, baja para acuitardos, y moderada hasta extrema para los acuíferos.

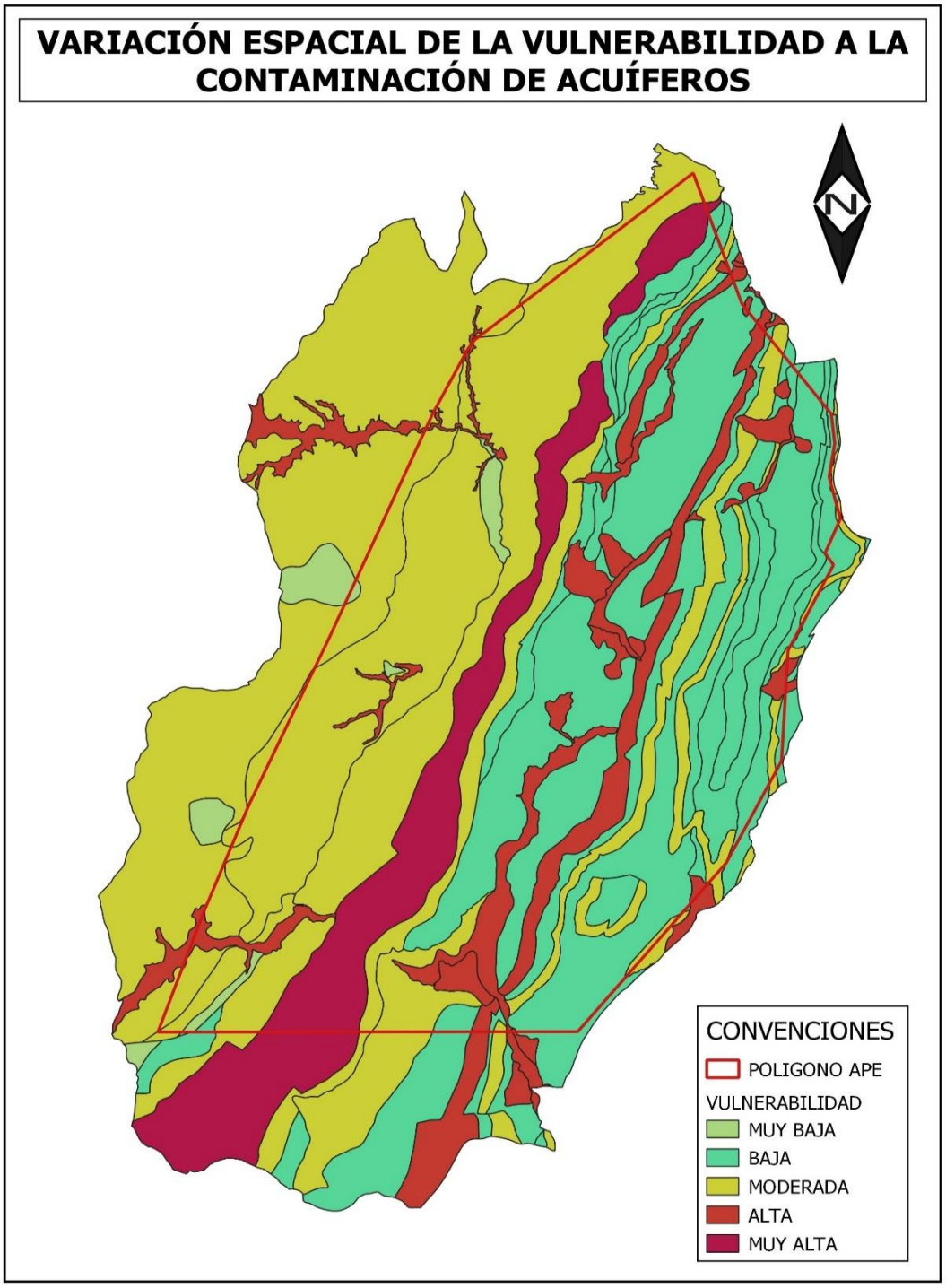


Figura 5-103 Variación espacial de la vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea en el Al del APE COR-15

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

Las proporciones del AI de cada clase de vulnerabilidad se presentan en la **Tabla 5-68**.

Tabla 5-68 Proporción del AI por clase de vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea

VULNERABILIDAD	ÁREA [ha]	PARTICIPACIÓN AI [%]
Alta	1442.3	10.25
Baja	4292.7	30.46
Extrema	1367.8	9.71
Moderada	6755.7	47.94
Muy Baja	232.4	1.64

Fuente: UPTC-INCITEMA, 2019

Las categoría de vulnerabilidad de muy baja a moderada suman cerca de un 78 % del AI, mientras que las clases alta y extrema suman poco menos del 22 % del AI. Este panorama global presenta un escenario poco restrictivo para el desarrollo del proyecto en gran parte del AI, mientras que para las clasificaciones más elevadas son tenidas en cuenta para la proposición de medidas de manejo.