EVALUACIÓN REGIONAL DEL AGUA (SUBTERRÁNEA) EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA Y ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO, APRESTAMIENTO, DIAGNÓSTICO Y FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE ACUÍFEROS (PMAA) EN EL SECTOR CENTRO, NOROCCIDENTAL Y NORORIENTAL DE LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, DE ACUERDO CON LO ESTIPULADO EN EL DECRETO 1640 DE 2012

INFORME ERA

EVALUACIÓN REGIONAL DEL AGUA SUBTERRÁNEA DEL DEPARTAMENTO DE HUILA

CONSORCIO PMAA MAGDALENA 2016

BOGOTÁ
Diciembre de 2017

CONTROL CAMBIOS

ENTREGA DE INFORMES	ENTIDAD	Unidades
Original	CAM	1
Copia No. 1	Consorcio PMAA Magdalena 2016. (Magnética)	

CAMBIOS REALIZADOS

Versión	Cambios realizados respecto a la versión anterior	Fecha
1	N/A	N/A

APROBACIÓN CAMBIOS

Versión	Realizó	Revisó	Aprobó	Observaciones	Fecha
1	FPG	JGC	FSS	N/A	18/12/17

TABLA DE CONTENIDO

1. GENERALIDADES. 30

1.1 INTRODUCCIÓN. 30

1.2 OBJETIVOS 33

1.1.1 GENERAL 33

1.1.2 ESPECÍFICOS 33

1.3 ALCANCE. 33

1.4 METODOLOGÍA CARTOGRAFÍA 34

1.5 LOCALIZACIÓN 35

1.6 DEFINICIÓN ÁREA ESTUDIO 37

1.6.1 ERA 37

1.6.2 LEVANTAMIENTO CARTOGRÁFICO 38

1.6.3 METODOLOGÍA 39

2. EVALUACIÓN GEOLÓGICA. 46

2.1 EVOLUCIÓN GEOLÓGICA REGIONAL 48

2.2 GEOLOGÍA LOCAL. 52

2.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL. 72

2.3.1 FALLAS Y PLIEGUES 72

2.4 MODELO GEOLÓGICO SECTOR CENTRO, NOROCCIDENTAL Y NORORIENTAL DE LA CUENCA DEL VALLE SUPERIOR DEL RÍO MAGDALENA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA. 76

2.4.1 CORTE GEOLÓGICO A- A´ 78

2.4.2 CORTE GEOLÓGICO B- B´ 81

2.4.3 CORTE GEOLÓGICO C- C´ 83

2.4.4 CORTE GEOLÓGICO D - D´. 85

2.4.5 CORTE GEOLÓGICO E - E´ 87

2.4.6 CORTE GEOLÓGICO F - F´. 89

2.4.7 CORTE GEOLÓGICO G - G´ 92

2.4 EXPLORACIÓN GEOFÍSICA 94

2.4.1 LOCALIZACIÓN DE LA EXPLORACIÓN GEOFÍSICA..... 94

2.4.2 PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES (SEV´S).106

2.4.3 RESULTADOS. 109

3. INVENTARIO PUNTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA.....225

4. EVALUACIÓN HIDRÁULICA 229

4.1 PUNTOS DE CAPTACIÓN TIPO ALJIBE.....230

4.1.1 PROFUNDIDAD 230

4.1.2 CAUDAL (Q)..... 231

4.1.3 TRANSMISIVIDAD (T)..... 232

4.1.4 CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA (K)..... 233

4.1.5 CAPACIDAD ESPECÍFICA (CE) 234

4.1.6 COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO (SS)..... 235

4.2 SISTEMA DE CAPTACIÓN TIPO POZO PROFUNDO 237

4.2.1 PROFUNDIDAD 237

4.2.2 CAUDAL (Q)..... 238

4.2.3 TRANSMISIVIDAD (T)..... 239

4.2.4 CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA (K)..... 240

4.2.5 CAPACIDAD ESPECÍFICA (CE) 241

4.2.6 COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO (SS)..... 242

4.3 PUNTOS SUPERFICIALES DE AGUA TIPO MANANTIALES. 244

4.3.1 UBICACIÓN ESPACIAL 244

4.3.2 CAUDAL (Q). 244

4.4 DETERMINACIÓN DE LOS SISTEMAS DE FLUJO SUBTERRÁNEO 247

4.4.1 ELABORACIÓN MAPA ISOPIEZAS. 247

4.4.2 DIRECCIÓN DE FLUJO REGIONAL 249

4.4.3 DIRECCIÓN DE FLUJO LOCAL 251

5. EVALUACIÓN HIDROLÓGICA 252

5.1 CARACTERIZACIÓN DE LA RED METEOROLÓGICA EXISTENTE 252

5.1.1 ESTACIONES MEDIDORAS DE PRECIPITACIÓN 252

5.1.2 ESTACIONES MEDIDORAS DE TEMPERATURA..... 252

5.2 CARACTERIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE LAS VARIABLES CLIMATOLÓGICAS.....260

5.2.1 SELECCIÓN DE LAS ESTACIONES SEGÚN EL ÁREA DE INFLUENCIA MEDIANTE POLÍGONOS DE THIESSEN..... 260

5.2.2 SELECCIÓN DE LAS ESTACIONES SEGÚN PERIODO DE REGISTRO Y TIPO DE ESTACIÓN. 260

5.2.3 COMPLEMENTACIÓN DE DATOS A NIVEL DIARIO..... 262

5.2.4 ANÁLISIS DE HOMOGENEIDAD Y CONSISTENCIA 270

5.3 COMPORTAMIENTO PARÁMETROS CLIMATOLÓGICOS. 282

5.3.1 PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL AÑO PROMEDIO. 282

5.3.2 PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL AÑO SECO. 283

5.3.3 PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL AÑO HÚMEDO. 284

5.3.4 TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE AÑO PROMEDIO..... 286

5.3.5 TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE AÑO SECO. 289

5.3.6 TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE AÑO HÚMEDO. 293

5.3.7 EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL A NIVEL ANUAL Y MENSUAL AÑO PROMEDIO. 297

5.3.8 EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL A NIVEL ANUAL Y MENSUAL AÑO SECO. 299

5.3.9 EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL A NIVEL ANUAL Y MENSUAL AÑO HÚMEDO. 300

5.4 RECARGA DE ACUÍFEROS Y BALANCE HÍDRICO. 301

5.4.1 BALANCE HÍDRICO. 302

6. EVALUACIÓN HIDROGEOQUÍMICA Y DE CALIDAD DE AGUA.....310

6.1 HIDROGEOQUÍMICA 316

6.1.1 BALANCE IÓNICO 323

6.1.2 DIAGRAMA DE STIFF 328

6.1.3 DIAGRAMA DE PIPER 336

6.1.4 DIAGRAMA SCHÖELLER-BERKALOFF 340

6.1.5 CONSIDERACIONES 348

6.2 CALIDAD DEL AGUA 349

6.2.1 PARÁMETROS A EVALUAR CON RESPECTO A LA CALIDAD DEL AGUA349

6.2.2 VALLE DEL RÍO MAGDALENA 353

6.2.3 SINCLINAL DE SAN ANTONIO 385

6.2.4 SINCLINAL DE TIVOLI 385

6.2.5 SINCLINAL DE CABAÑA 387

6.2.6 SINCLINAL DE TESALIA 387

6.2.7 SINCLINAL DE GARZÓN 388

6.2.8 DEPÓSITOS DE PITALITO 388

6.2.9 SINCLINAL DE TARQUI 398

6.2.10 DEPÓSITOS DE LA PLATA 398

6.2.11 CONSIDERACIONES 399

7. HIDROGEOLOGÍA 400

7.1.1 Clasificación de Unidades Hidrogeológicas Según la porosidad 403

7.1.2 Clasificación de las formaciones geológicas desde el punto de vista hidrogeológico: 404

7.1.3 Tipos de acuíferos y su comportamiento 405

7.1.4 Clasificación de Unidades Hidrogeológica 407

7.1.5 Modelo Hidrogeológico Conceptual En Sector Centro, Noroccidental Y Nororiental De La Cuenca Del Valle Superior Del Río Magdalena En El Departamento Del Huila412

7.2 DEPÓSITOS CUATERNARIOS (Q) 438

7.2.1 1 – 20 METROS DE PROFUNDIDAD 438

7.2.2 MAYORES A 20- METROS DE PROFUNDIDAD 440

7.3 DEPÓSITOS FLUVIOLACUSTRES (Q1fl) 443

7.4 FORMACIÓN GIGANTE (N2gii) 443

7.4.1 1 – 20 METROS DE PROFUNDIDAD 443

7.4.2 MAYORES A 20 METROS DE PROFUNDIDAD 444

7.5 GRUPO HONDA (N1h) 447

7.5.1 1 – 20 METROS DE PROFUNDIDAD 447

7.5.2 MAYORES A 20 METROS DE PROFUNDIDAD 448

8. ANÁLISIS DE LA OFERTA Y LA DEMANDA DEL AGUA SUBTERRÁNEA 451

8.1.1 ANÁLISIS DE LA OFERTA DEL AGUA SUBTERRÁNEA 451

8.1.2 DEMANDA DEL AGUA SUBTERRÁNEA 464

9. INDICADORES DE NATURALES Y DE INTERVENCIÓN ANTRÓPICA EN EL AGUA SUBTERRÁNEA 468

9.1 INDICE A VULNERABLES INTRÍNSECA A LA CONTAMINACIÓN. 468

9.1.1 METODOLOGÍA 468

9.1.2 PONDERACIÓN DE DATOS 470

9.1.3 MAPAS DE VULNERABILIDAD 473

9.1 ÍNDICE DE AGUA SUBTERRÁNEA PARA ABASTECIMIENTO PÚBLICO CON RESPECTO AL NÚMERO DE HABITANTES (IASAP) 478

9.2 ÍNDICE DE EXTRACCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA (IEAS) 479

10. CONCLUSIONES 480

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 485

LISTADO DE TABLAS

TABLA 1 ÁREA Y UBICACIÓN DE LOS MUNICIPIOS DEL DEPARTAMENTO DEL HUILA. 37
TABLA 2 PLANCHAS SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO 39
TABLA 3 SIGLAS REPRESENTATIVAS DE LOS MAPAS TEMÁTICOS TRABAJADOS EN EL PROYECTO 41
TABLA 4 PLANCHAS DEL IGAC QUE PRESENTAN TRASLAPE 43
TABLA 5 CUADRO COMPARATIVO DE LA NOMENCLATURA PUBLICADA LITOESTRATIGRÁFICA POR SGC Y LA EMPLEADA EN EL PRESENTE ESTUDIO CORRESPONDIENTE A LAS UNIDADES CRETÁCICAS Y CENOZOICAS EN LA CUENCA DEL VALLE SUPERIOR DEL MAGDALENA 54
TABLA 6 COORDENADAS EXPLORACIÓN GEOFÍSICA. 94
TABLA 7 TABLA DE RESISTIVIDADES 108
TABLA 8 VALORES DE RESULTADOS SEV-01 145
TABLA 9 VALORES DE RESULTADOS SEV-02 146
TABLA 10 VALORES DE RESULTADOS SEV-03 147
TABLA 11 VALORES DE RESULTADOS SEV-04 148
TABLA 12VALORES DE RESULTADOS SEV-05 149
TABLA 13 VALORES DE RESULTADOS SEV-06 150
TABLA 14 VALORES DE RESULTADOS SEV-07 151
TABLA 15 VALORES DE RESULTADOS SEV-08 152
TABLA 16 VALORES DE RESULTADOS SEV-09 153
TABLA 17 VALORES DE RESULTADOS SEV-10 154
TABLA 18 VALORES DE RESULTADOS SEV-11 155
TABLA 19 VALORES DE RESULTADOS SEV-12 156
TABLA 20 VALORES DE RESULTADOS SEV-13 157
TABLA 21 VALORES DE RESULTADOS SEV-14 158
TABLA 22 VALORES DE RESULTADOS SEV-15 159
TABLA 23 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN E: 840537; N: 771160 160
TABLA 24 VALORES DE RESULTADOS SEV-17 161
TABLA 25 VALORES DE RESULTADOS SEV-18 162
TABLA 26 VALORES DE RESULTADOS SEV-19 163
TABLA 27 VALORES DE RESULTADOS SEV-20 164
TABLA 28 VALORES DE RESULTADOS SEV-21 165
TABLA 29 VALORES DE RESULTADOS SEV-22 166

TABLA 30 VALORES DE RESULTADOS SEV-23 167
TABLA 31 VALORES DE RESULTADOS SEV-24 168
TABLA 32 VALORES DE RESULTADOS SEV-25 169
TABLA 33 VALORES DE RESULTADOS SEV-26 170
TABLA 34 VALORES DE RESULTADOS SEV-27 171
TABLA 35 VALORES DE RESULTADOS SEV-28 172
TABLA 36 VALORES DE RESULTADOS SEV-29 173
TABLA 37 VALORES DE RESULTADOS SEV-30 174
TABLA 38 VALORES DE RESULTADOS SEV-31 175
TABLA 39 VALORES DE RESULTADOS SEV-32 176
TABLA 40 VALORES DE RESULTADOS SEV-33 177
TABLA 41 VALORES DE RESULTADOS SEV-34 178
TABLA 42 VALORES DE RESULTADOS SEV-35 179
TABLA 43 VALORES DE RESULTADOS SEV-36 180
TABLA 44 VALORES DE RESULTADOS SEV-37 181
TABLA 45 VALORES DE RESULTADOS SEV-38 182
TABLA 46 VALORES DE RESULTADOS SEV-39 183
TABLA 47 VALORES DE RESULTADOS SEV-40 184
TABLA 48 CARACTERIZACIÓN DE UNIDADES GEOELÉCTRICAS 221
TABLA 49 RESUMEN DEL INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA 225
TABLA 50 PUNTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN LOS MUNICIPIOS DEL HUILA 227
TABLA 51 ESTACIONES MEDIDORAS DE PRECIPITACIÓN LOCALIZADAS EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA 253
TABLA 52 ESTACIONES MEDIDORAS DE TEMPERATURA LOCALIZADAS EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA. 258
TABLA 53 ESTACIONES MEDIDORAS DE PRECIPITACIÓN SELECCIONADAS 277
TABLA 54 ESTACIONES MEDIDORAS DE PRECIPITACIÓN SELECCIONADAS 280
TABLA 55 ERROR ACEPTABLE EN EL BALANCE IÓNICO SEGÚN LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA 323
TABLA 56 ERROR ACEPTABLE EN BALANCE IÓNICO SEGÚN SUMATORIA DE ANIONES 323
TABLA 57 ORIGEN DE LAS PRINCIPALES SUSTANCIAS DISUELTAS EN EL AGUA SUBTERRÁNEA. 324
TABLA 58 BALANCE IÓNICO PARA LOS DEPÓSITOS CUATERNARIOS 325
TABLA 59 BALANCE IÓNICO PARA LA FORMACIÓN GIGANTE. 326

TABLA 60 BALANCE IÓNICO PARA LA FORMACIÓN HONDA. 327
TABLA 61 BALANCE IÓNICO SINCLINALES DE TIVOLI, TARQUI, GARZÓN Y DEPÓSITOS DE LA PLATA 327
TABLA 62 BALANCE IÓNICO DEPÓSITOS DE PITALITO 328
TABLA 63 USO DEL AGUA DE ACUERDO CON EL DECRETO 1594 DE 1984 DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA PARA LOS DEPÓSITOS CUATERNARIOS 364
TABLA 64 USO DEL AGUA DE ACUERDO CON EL DECRETO 1594 DE 1984 DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA PARA LA FORMACIÓN GIGANTE 374
TABLA 65 USO DEL AGUA DE ACUERDO CON EL DECRETO 1594 DE 1984 DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA PARA LA FORMACIÓN HONDA 383
TABLA 66 USO DEL AGUA DE ACUERDO CON EL DECRETO 1594 DE 1984 DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA PARA LOS DEPÓSITOS DE PITALITO 397
TABLA 67. DEFINICIÓN DE LAS UNIDADES DE ANÁLISIS HIDROGEOLÓGICO. 401
TABLA 68 PARÁMETROS HIDRÁULICOS Q1AL 438
TABLA 69 VALORES ATÍPICOS DEPÓSITOS Q1AL 439
TABLA 70 PARÁMETROS HIDRÁULICOS Q2AL 439
TABLA 71 VALORES ATÍPICOS DEPÓSITOS Q2AL 1 – 20 M 440
TABLA 72 PARÁMETROS HIDRÁULICOS Q1AL > A 20 METROS 440
TABLA 73 VALORES ATÍPICOS DEPÓSITOS CUATERNARIOS (QAL) 20 – 200 M. 441
TABLA 74 PARÁMETROS HIDRÁULICOS Q1FL 443
TABLA 75 PARÁMETROS HIDRÁULICOS FORMACIÓN GIGANTE N2GII 443
TABLA 76 VALORES ATÍPICOS FORMACIÓN GIGANTE MEDIO (N2GII) 1 – 20 M 444
TABLA 77 PARÁMETROS HIDRÁULICOS FORMACIÓN GIGANTE MEDIO N2GII 20 – 200 M 444
TABLA 78 VALORES ATÍPICOS FORMACIÓN GIGANTE MEDIO (N2GII) 20 – 200 M 444
TABLA 79 PARÁMETROS HIDRÁULICOS FORMACIÓN HONDA (N1H) 1 – 20 M 447
TABLA 80 VALORES ATÍPICOS FORMACIÓN HONDA (N1H) 1 – 20 M. 447
TABLA 81 PARÁMETROS HIDRÁULICOS FORMACIÓN HONDA (N1H) > A 20 M 448
TABLA 82 VALORES ATÍPICOS FORMACIÓN HONDA (N1H) 20 – 200 M 449
TABLA 83 ECUACIONES CÁLCULO DE RESERVAS ACUÍFEROS DEPARTAMENTO DEL HUILA 451
TABLA 84 ESPESORES FORMACIONES GEOLÓGICAS DE INTERÉS HIDROGEOLÓGICO 452
TABLA 85 ÁREAS POTENCIALMENTE ALMACENADORAS. 454
TABLA 86 VALORES POROSIDAD EFICAZ SEGÚN LITOLOGÍA 454
TABLA 87 ESTIMADOS DE POROSIDAD FORMACIONES GEOLÓGICAS. 455

TABLA 88 CÁLCULO DE RESERVAS ESTÁTICAS EN LA ZONA DE ESTUDIO 456
TABLA 89 RECARGAS ZONAS DE INTERÉS HIDROGEOLÓGICO ZONA DE ESTUDIO 456
TABLA 90 VALORES PROMEDIOS DE RECARGAS POTENCIAL 460
TABLA 91 RECARGA ESTIMADA PARA LAS ZONAS DE INTERÉS HIDROGEOLÓGICO. 462
TABLA 92 RESERVAS DINÁMICAS 462
TABLA 93 RESERVA EXPLOTABLE DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA 463
TABLA 94 DEMANDA DE AGUA SUBTERRÁNEA POR MUNICIPIOS EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA..... 464
TABLA 95 ACTIVIDADES QUE USAN AGUA SUBTERRÁNEA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA..... 466
TABLA 96 DESCARGA ANUAL DEL RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO DEPARTAMENTO DEL HUILA 468
TABLA 97 CATEGORÍAS DE VULNERABILIDAD PARA EL MÉTODO GOD 470
TABLA 98 PONDERACIÓN DEL PARÁMETRO “G” 470
TABLA 99 PONDERACIÓN DEL PARÁMETRO “O” 470
TABLA 100 PONDERACIÓN DEL PARÁMETRO "D" 473

LISTADO DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1LOCALIZACIÓN DEL DEPARTAMENTO DEL HUILA A NIVEL NACIONAL 35
ILUSTRACIÓN 2 LOCALIZACIÓN A NIVEL DEPARTAMENTAL 36
ILUSTRACIÓN 3 GEODATABASES 40
ILUSTRACIÓN 4 ESTRUCTURA DE GEODATABASES 40
ILUSTRACIÓN 5 PLANCHAS IGAC ESCALA 1:100.000 44
ILUSTRACIÓN 6 MOSAICO DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS DEL ÁREA DE ESTUDIO 47
ILUSTRACIÓN 7 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA GENERALIZADA DE LA CUENCA DEL VALLE SUPERIOR DEL MAGDALENA 51
ILUSTRACIÓN 8 PROCESO DE INTERPRETACIÓN DEL MODELO GEOLÓGICO CUENCA VSM. 53
ILUSTRACIÓN 9 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA GENERALIZADA DE LA CUENCA DEL VALLE SUPERIOR DEL MAGDALENA 55
ILUSTRACIÓN 10 AFLORAMIENTO DE LA FORMACIÓN SALDAÑA COORDENADAS E: 876010; N: 854861.58
ILUSTRACIÓN 11 AFLORAMIENTO DE LA FORMACIÓN CABALLOS (K1C) 61
ILUSTRACIÓN 12 AFLORAMIENTO DEL GRUPO VILLETA (K2V) COORDENADAS E: 876010; N: 854861 .. 61
ILUSTRACIÓN 13 AFLORAMIENTO DEL FORMACIÓN GUADALUPE (K2G) COORDENADAS E: 854870; N: 830463 62

ILUSTRACIÓN 14 AFLORAMIENTO DEL FORMACIÓN GUADALUPE (K2G) COORDENADAS E: 892250; N: 840423 62
ILUSTRACIÓN 15 AFLORAMIENTO DEL FORMACIÓN SECA (K2E1SC) COORDENADAS E: 892650; N: 840518 63
ILUSTRACIÓN 16 SECUENCIA ESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN GUALANDAY E: 851401; N: 829983 64
ILUSTRACIÓN 17 AFLORAMIENTO DE LA FORMACIÓN GUALANDAY INFERIOR E: 900685; N: 854969..... 64
ILUSTRACIÓN 18 AFLORAMIENTO DE LA FORMACIÓN GUALANDAY MEDIO E: 900685; N: 854969..... 65
ILUSTRACIÓN 19 AFLORAMIENTO DE LA FORMACIÓN GUALANDAY MEDIO E: 900685; N: 854969..... 65
ILUSTRACIÓN 20 AFLORAMIENTO DE LA FORMACIÓN HONDA E: 859751; N: 827120 66
ILUSTRACIÓN 21 18 AFLORAMIENTO DE LA FORMACIÓN ARCILLOLITAS DE COLOMBIA (N1AC) E: 939429; N: 8963121..... 67
ILUSTRACIÓN 22 AFLORAMIENTO DE LA FORMACIÓN GIGANTE MEDIO E: 875342; N: 831641 68
ILUSTRACIÓN 23 DEPÓSITOS ALUVIALES DE ABANICO ANTIGUO (Q1AL) E: 875643; N: 831412 70
ILUSTRACIÓN 24 DEPÓSITOS ALUVIALES RECIENTES E: 890189; N: 840843 71
ILUSTRACIÓN 25 MAPA GEOLÓGICO DEPARTAMENTO DEL HUILA. ESCALA 1:100.000. 77
ILUSTRACIÓN 26 CORTE GEOLÓGICO A-A´ Y MODELO 3D SECTOR CENTRO NOROCCIDENTAL Y NORORIENTAL CUENCA VSM ESCALA 1:100.000 80
ILUSTRACIÓN 27 CORTE GEOLÓGICO B-B´ Y MODELO 3D SECTOR CENTRO NOROCCIDENTAL Y NORORIENTAL CUENCA VSM ESCALA 1:100.000 82
ILUSTRACIÓN 28 CORTE GEOLÓGICO C–C´ Y MODELO 3D SECTOR CENTRO NOROCCIDENTAL Y NORORIENTAL CUENCA VSM ESCALA 1:100.000 84
ILUSTRACIÓN 29 CORTE GEOLÓGICO D–D´ MODELO 3D SECTOR CENTRO NOROCCIDENTAL Y NORORIENTAL CUENCA VSM ESCALA 1:100.000 86
ILUSTRACIÓN 30 LOCALIZACIÓN EXPLORACIÓN GEOFÍSICA. 96
ILUSTRACIÓN 31 MAPA GEOLÓGICO DEPARTAMENTO DEL HUILA. ESCALA 1:100.000 97
ILUSTRACIÓN 32 ESQUEMA DE DISTRIBUCIÓN DEL EQUIPO DE MAGNETOTELÚRICA. 98
ILUSTRACIÓN 33 DIAGRAMA DEL RECEPTOR ESTÁNDAR Y EL DIPOLO. 101
ILUSTRACIÓN 34 DIAGRAMA DEL TRANSMISOR ESTÁNDAR DE 400AM2. 102
ILUSTRACIÓN 35 MONTAJE DEL EQUIPO EN CAMPO 103
ILUSTRACIÓN 36 INTERFAZ CONFIGURACIÓN TEÓRICA INICIAL DEL ARREGLO SCHLUMBERGER 106
ILUSTRACIÓN 37 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN DE GEOELÉCTRICA GEOAMP 202..... 107
ILUSTRACIÓN 38 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN SEV-01 COORDENADAS E: 877597; N: 815934 . 145

ILUSTRACIÓN 39 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN SEV-02 COORDENADA E: 878388; N: 815657 ... 146
ILUSTRACIÓN 40 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN SEV-03 COORDENADA E: 879508; N: 814395 ... 147
ILUSTRACIÓN 41 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN SEV-04 COORDENADA E: 880599; N: 811197.... 148
ILUSTRACIÓN 42 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN COORDENADA E: 881044; N: 810492 149
ILUSTRACIÓN 43 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN SEV-06 COORDENADA E: 881482; N: 810163 ... 150
ILUSTRACIÓN 44 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN SEV-07 COORDENADA E: 862140; N: 848648 ... 151
ILUSTRACIÓN 45 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN SEV-08 COORDENADA E: 864234; N: 847155 ... 152
ILUSTRACIÓN 46 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN SEV-09 COORDENADA E: 866861; N: 847422 ... 153
ILUSTRACIÓN 47 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN SEV-10 COORDENADA E: 860264; N: 826381 ... 154
ILUSTRACIÓN 48 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN SEV-11 COORDENADA E: 861333; N: 825245 ... 155
ILUSTRACIÓN 49 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN SEV-13 COORDENADA E: 842742; N: 794667 ... 157
ILUSTRACIÓN 50 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN SEV-14 COORDENADA E: 844317; N: 794870 ... 158
ILUSTRACIÓN 51 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN SEV-15 COORDENADA E: 852142; N: 793703 ... 159
ILUSTRACIÓN 52 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN E: 840537; N: 771160 160
ILUSTRACIÓN 53 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN SEV-17 COORDENADAS E: 842482; N: 767453 . 161
ILUSTRACIÓN 54 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN SEV-18 COORDENADAS E: 842576; N: 764540 . 162
ILUSTRACIÓN 55 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN SEV-19 COORDENADAS E: 835216; N: 775803 . 163
ILUSTRACIÓN 56 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN SEV-20 COORDENADA E: 834046; N: 770387 ... 164
ILUSTRACIÓN 57 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN SEV-21 COORDENADA E: 826860; N: 775889 ... 165
ILUSTRACIÓN 58 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN SEV-22 COORDENADA E: 799,142; N: 755,963 . 166
ILUSTRACIÓN 59 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN SEV-23 167
ILUSTRACIÓN 60 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN SEV-24 COORDENADA E: 805801; N: 750873 ... 168
ILUSTRACIÓN 61 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN SEV-25 COORDENADA E: 815107; N: 744489 ... 169
ILUSTRACIÓN 62 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN SEV-26 COORDENADA E: 816826; N: 743727 ... 170
ILUSTRACIÓN 63 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN SEV-27 COORDENADA E: 821857; N: 744979 ... 171
ILUSTRACIÓN 64 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN SEV-28 COORDENADA E: 808787; N: 742064 ... 172
ILUSTRACIÓN 65 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN SEV-29 COORDENADA E: 816312; N: 738437 ... 173
ILUSTRACIÓN 66 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN SEV-30 COORDENADA N: 819380; E: 738188 ... 174
ILUSTRACIÓN 67 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN SEV-31 E: 817215; N: 764341 175
ILUSTRACIÓN 68 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN SEV-32 COORDENADA E: 821097; N: 764570 ... 176
ILUSTRACIÓN 69PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN SEV-33 COORDENADA E: 824468; N: 763248 177
ILUSTRACIÓN 70 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN SEV-34 COORDENADA E: 825990; N: 762396 ... 178

ILUSTRACIÓN 71 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN SEV-35 COORDENADA E: 836347; N: 754257 ... 179
ILUSTRACIÓN 72 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN SEV-36 COORDENADA E: 839581; N: 750480 ... 180
ILUSTRACIÓN 73 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN SEV-37 COORDENADA E: 841344; N: 746934 ... 181
ILUSTRACIÓN 74 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN SEV-38 COORDENADA E: 827727; N: 745712 ... 182
ILUSTRACIÓN 75 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN SEV-39 COORDENADA E: 828942; N: 740486 ... 183
ILUSTRACIÓN 76 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICIÓN SEV-40 COORDENADA E: 827776; N: 736746... 184
ILUSTRACIÓN 77DEM LOCALIZACIÓN DE SEV´S Y MT 186
ILUSTRACIÓN 78 MODELO GEOFÍSICO 3D..... 187
ILUSTRACIÓN 79 MAPA DE ISO-RESISTIVIDADES A 10M DE PROFUNDIDAD 188
ILUSTRACIÓN 80 MAPA DE ISO-RESISTIVIDADES A 25M DE PROFUNDIDAD. 189
ILUSTRACIÓN 81 MAPA DE ISO-RESISTIVIDADES A 50M DE PROFUNDIDAD. 190
ILUSTRACIÓN 82 MAPA DE ISO-RESISTIVIDADES A 75M DE PROFUNDIDAD. 191
ILUSTRACIÓN 83 MAPA DE ISO-RESISTIVIDADES A 100M DE PROFUNDIDAD. 192
ILUSTRACIÓN 84 MAPA DE ISO-RESISTIVIDADES A 125M DE PROFUNDIDAD. 193
ILUSTRACIÓN 85 MAPA DE ISO-RESISTIVIDADES A 150M DE PROFUNDIDAD 194
ILUSTRACIÓN 86 MAPA DE ISO-RESISTIVIDADES A 175M DE PROFUNDIDAD 195
ILUSTRACIÓN 87 MAPA DE ISO-RESISTIVIDADES A 200M DE PROFUNDIDAD 196
ILUSTRACIÓN 88 MAPA DE ISO-RESISTIVIDADES A 225M DE PROFUNDIDAD 197
ILUSTRACIÓN 89 MAPA DE ISO-RESISTIVIDADES A 275M DE PROFUNDIDAD 198
ILUSTRACIÓN 90 MAPA DE ISO-RESISTIVIDADES A 300M DE PROFUNDIDAD 199
ILUSTRACIÓN 91 MAPA DE ISO-RESISTIVIDADES A 400M DE PROFUNDIDAD. 200
ILUSTRACIÓN 92 MAPA DE ISO-RESISTIVIDADES A 500M DE PROFUNDIDAD. 201
ILUSTRACIÓN 93 MAPA DE ISO-RESISTIVIDADES A 600M DE PROFUNDIDAD 202
ILUSTRACIÓN 94 MAPA DE ISO-RESISTIVIDADES A 700M DE PROFUNDIDAD. 203
ILUSTRACIÓN 95 MAPA DE ISO-RESISTIVIDADES A 800M DE PROFUNDIDAD 204
ILUSTRACIÓN 96 MAPA DE ISO-RESISTIVIDADES A 900M DE PROFUNDIDAD 205
ILUSTRACIÓN 97 MAPA DE ISO-RESISTIVIDADES A 1000 M DE PROFUNDIDAD..... 206
ILUSTRACIÓN 98 MAPA DE ISO-RESISTIVIDADES A 2000M DE PROFUNDIDAD. 207
ILUSTRACIÓN 99 MAPA DE ISO-RESISTIVIDADES A 3000M DE PROFUNDIDAD 208
ILUSTRACIÓN 100 LOCALIZACIÓN PERFILES GEOELÉCTICOS..... 209
ILUSTRACIÓN 101 PERFIL GEOELÉCTICO A-A´ 210
ILUSTRACIÓN 102 PERFIL GEOELÉCTICO B-B´ 211

ILUSTRACIÓN 103 PERFIL GEOELÉCTICO C-C´ 212
ILUSTRACIÓN 104 PERFIL GEOELÉCTICO D-D´ 213
ILUSTRACIÓN 105 PERFIL GEOELÉCTICO E-E´ 214
ILUSTRACIÓN 106 PERFIL GEOELÉCTICO F-F´ 215
ILUSTRACIÓN 107 PERFIL GEOELÉCTICO G-G´ 216
ILUSTRACIÓN 108 PERFIL GEOELÉCTICO H-H´ 217
ILUSTRACIÓN 109 PERFIL GEOELÉCTICO I-I´ 218
ILUSTRACIÓN 110 PERFIL GEOELÉCTICO I-I´ 219
ILUSTRACIÓN 111 PERFIL GEOELÉCTICO J-J´ 220
ILUSTRACIÓN 112 MAPA DE LOCALIZACIÓN DE LA SECCIÓN SÍSMICA Y PERFIL ESTRUCTURAL C-C´ Y DELIMITACIÓN CAMPOS DE HIDROCARBUROS DE LA CUENCA DEL VALLE SUPERIOR DEL MAGDALENA. 222
ILUSTRACIÓN 113 SECCIÓN SÍSMICA INTERPRETADA DE LA CUENCA DEL VALLE SUPERIOR DEL MAGDALENA. 223
ILUSTRACIÓN 114 PERFIL ESTRUCTURAL DE LA CUENCA DEL VALLE SUPERIOR DEL MAGDALENA. 224
ILUSTRACIÓN 115 TIPOS DE PUNTOS DE AGUA 226
ILUSTRACIÓN 116 UBICACIÓN PUNTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA 228
ILUSTRACIÓN 117 MAPA DE UBICACIÓN ESPACIAL PUNTOS DE AGUA CAPTACIÓN TIPO ALJIBE-PROFUNDIDAD ALJIBES 230
ILUSTRACIÓN 118 MAPA DE UBICACIÓN ESPACIAL PUNTOS DE AGUA CAPTACIÓN TIPO ALJIBE- CAUDAL. 231
ILUSTRACIÓN 119 MAPA DE UBICACIÓN ESPACIAL PUNTOS DE AGUA CAPTACIÓN TIPO ALJIBE-TRANSMISIVIDAD. 232
ILUSTRACIÓN 120 MAPA DE UBICACIÓN ESPACIAL PUNTOS DE AGUA CAPTACIÓN TIPO ALJIBE-CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA. 233
ILUSTRACIÓN 121 MAPA DE UBICACIÓN ESPACIAL PUNTOS DE AGUA CAPTACIÓN TIPO ALJIBE-CAPACIDAD ESPECIFICA. 234
ILUSTRACIÓN 122 MAPA DE UBICACIÓN ESPACIAL PUNTOS DE AGUA CAPTACIÓN TIPO ALJIBE-COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO. 236
ILUSTRACIÓN 123 MAPA DE UBICACIÓN ESPACIAL PUNTOS DE AGUA CAPTACIÓN TIPO POZO PROFUNDO-PROFUNDIDAD (M). 237

ILUSTRACIÓN 124 MAPA DE UBICACIÓN ESPACIAL PUNTOS DE AGUA CAPTACIÓN TIPO POZO PROFUNDO-CAUDAL..... 238
ILUSTRACIÓN 125 MAPA DE UBICACIÓN ESPACIAL PUNTOS DE AGUA CAPTACIÓN TIPO POZO PROFUNDO - TRANSMISIVIDAD. 239
ILUSTRACIÓN 126 MAPA DE UBICACIÓN ESPACIAL PUNTOS DE AGUA CAPTACIÓN TIPO POZO PROFUNDO - CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA. 240
ILUSTRACIÓN 127 MAPA DE UBICACIÓN ESPACIAL PUNTOS DE AGUA CAPTACIÓN TIPO POZO PROFUNDO-CAPACIDAD ESPECIFICA. 241
ILUSTRACIÓN 128 MAPA DE UBICACIÓN ESPACIAL PUNTOS DE AGUA CAPTACIÓN TIPO POZO PROFUNDO-COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO. 243
ILUSTRACIÓN 129 MAPA DE UBICACIÓN ESPACIAL PUNTOS DE AGUA MANANTIALES. 245
ILUSTRACIÓN 130 MAPA DE UBICACIÓN ESPACIAL PUNTOS DE AGUA MANANTIALES-CAUDAL. 246
ILUSTRACIÓN 131 MAPA DE ISOPIEZAS PARA NIVELES ESTÁTICOS DE LOS PUNTOS DE CAPTACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA (ALJIBES Y POZOS PROFUNDOS) 248
ILUSTRACIÓN 132 MAPA DE DIRECCIÓN DE FLUJO 250
ILUSTRACIÓN 133 MAPA DE DIRECCIÓN DE FLUJO LOCAL 251
ILUSTRACIÓN 134 LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MEDICIÓN EN LA ZONA DE ESTUDIO 259
ILUSTRACIÓN 135 GRUPOS DE ANÁLISIS PARA LA COMPLEMENTACIÓN DE DATOS DIARIOS 263
ILUSTRACIÓN 136 MAPA ESTACIONES SELECCIONAS DE MEDICIÓN. 281
ILUSTRACIÓN 137 ISOLÍNEAS DE PRECIPITACIÓN TOTAL PARA EL DEPARTAMENTO DEL HUILA – AÑO PROMEDIO..... 283
ILUSTRACIÓN 138 ISOLÍNEAS DE PRECIPITACIÓN TOTAL PARA EL DEPARTAMENTO DEL HUILA – AÑO SECO 284
ILUSTRACIÓN 139 ISOLÍNEAS DE PRECIPITACIÓN TOTAL PARA EL DEPARTAMENTO DEL HUILA – AÑO HÚMEDO 285
ILUSTRACIÓN 140 ISOLÍNEAS DE TEMPERATURA MEDIA PARA EL DEPARTAMENTO DEL HUILA – AÑO PROMEDIO..... 289
ILUSTRACIÓN 141 ISOLÍNEAS DE TEMPERATURA MEDIA PARA EL DEPARTAMENTO DEL HUILA – SECO . 292
ILUSTRACIÓN 142 ISOLÍNEAS DE TEMPERATURA MEDIA PARA EL DEPARTAMENTO DEL HUILA – AÑO HÚMEDO 296
ILUSTRACIÓN 143 ISOLÍNEAS DE EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL TOTAL PARA EL DEPARTAMENTO DEL HUILA – AÑO PROMEDIO..... 298

ILUSTRACIÓN 144 ISOLÍNEAS DE EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL TOTAL PARA EL DEPARTAMENTO DEL HUILA – AÑO SECO. 299
ILUSTRACIÓN 145 ISOLÍNEAS DE EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL TOTAL PARA EL DEPARTAMENTO DEL HUILA – AÑO HÚMEDO. 300
ILUSTRACIÓN 146 ISOLÍNEAS DE INFILTRACIÓN DEL MES DE DICIEMBRE PARA EL AÑO PROMEDIO. 303
ILUSTRACIÓN 147 ISOLÍNEAS DE INFILTRACIÓN DEL MES DE DICIEMBRE PARA EL AÑO SECO..... 304
ILUSTRACIÓN 148 ISOLÍNEAS DE INFILTRACIÓN DEL MES DE DICIEMBRE PARA EL AÑO SECO..... 305
ILUSTRACIÓN 149 ISOLÍNEAS DE RECARGA DE ACUÍFEROS TOTAL ANUAL PARA EL AÑO PROMEDIO... 308
ILUSTRACIÓN 150 ISOLÍNEAS DE RECARGA DE ACUÍFEROS TOTAL ANUAL PARA EL AÑO HÚMEDO. 309
ILUSTRACIÓN 151 PROVINCIAS HIDROGEOGRÁFICAS ERA 311
ILUSTRACIÓN 152 SUBDIVISIÓN POR FORMACIONES DE LA PROVINCIA VALLE DEL RÍO MAGDALENA.... 312
ILUSTRACIÓN 153 DISTRIBUCIÓN DE LA TOTALIDAD DE LOS PUNTOS DE CAPTACIÓN PROVENIENTES DE LOS EXPEDIENTES DE LA CAM 313
ILUSTRACIÓN 154 DISTRIBUCIÓN DE LOS PUNTOS DE LA BASE DE DATOS DE INGEOMINAS..... 314
ILUSTRACIÓN 155 DISTRIBUCIÓN DE LOS PUNTOS TOMADOS POR EL CONSORCIO PMAA 315
ILUSTRACIÓN 156 MUESTREO PUNTO FINCA EL CORRALÓN (TARQUI)..... 316
ILUSTRACIÓN 157 MUESTREO PUNTO JAC VEREDA DINA (AIPE)..... 317
ILUSTRACIÓN 158 MUESTREO PUNTO FINCA LAGOMAR FISH (HOBO) 318
ILUSTRACIÓN 159 MUESTREO PUNTO COOTRAGIGANTE (GARZÓN) 319
ILUSTRACIÓN 160 MUESTREO PUNTO HOTEL BALCONES DE LA PRADERA (LA PLATA) 320
ILUSTRACIÓN 161 MUESTREO PUNTO CRA 4#9 81-10 (PITALITO) 321
ILUSTRACIÓN 162 MUESTREO PUNTO SEDE CAM (NEIVA)..... 322
ILUSTRACIÓN 163 DIAGRAMA STIFF PARA EL DEPARTAMENTO DEL HUILA..... 329
ILUSTRACIÓN 164 DIAGRAMAS STIFF PARA LOS DEPÓSITOS CUATERNARIOS 330
ILUSTRACIÓN 165 DIAGRAMAS STIFF PARA LOS DEPÓSITOS CUATERNARIOS..... 331
ILUSTRACIÓN 166 DIAGRAMAS STIFF PARA LA FORMACIÓN GIGANTE 332
ILUSTRACIÓN 167 DIAGRAMAS STIFF PARA LA FORMACIÓN HONDA 333
ILUSTRACIÓN 168 DIAGRAMAS STIFF PARA LOS SINCLINALES DE TIVOLI, TARQUI, GARZÓN Y DEPÓSITOS DE LA PLATA..... 334
ILUSTRACIÓN 169 DIAGRAMAS DE STIFF PARA LOS DEPÓSITOS DE PITALITO..... 335
ILUSTRACIÓN 170 DIAGRAMA DE SCHÖELLER PARA LOS DEPÓSITOS CUATERNARIOS 340
ILUSTRACIÓN 171 DIAGRAMA DE SCHÖELLER PARA LOS DEPÓSITOS CUATERNARIOS 341

ILUSTRACIÓN 172 DIAGRAMA DE SCHÖELLER PARA LOS DEPÓSITOS CUATERNARIOS 342
ILUSTRACIÓN 173 DIAGRAMA DE SCHÖELLER PARA LOS DEPÓSITOS CUATERNARIOS 343
ILUSTRACIÓN 174 DIAGRAMA DE SCHÖELLER PARA LA FORMACIÓN GIGANTE 344
ILUSTRACIÓN 175 DIAGRAMA DE SCHÖELLER PARA LA FORMACIÓN HONDA 345
ILUSTRACIÓN 176 DIAGRAMA DE SCHÖELLER PARA LOS SINCLINALES DE TIVOLI, GARZÓN, TARQUI Y DEPÓSITOS DE LA PLATA 346
ILUSTRACIÓN 177 DIAGRAMA DE SCHÖELLER PARA LOS DEPÓSITOS DE PITALITO 347
ILUSTRACIÓN 178 DIAGRAMA DE SCHÖELLER PARA LOS DEPÓSITOS DE PITALITO 348
ILUSTRACIÓN 179. DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA CONSTRUCCIÓN MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL 402
ILUSTRACIÓN 180 CLASIFICACIÓN SEGÚN SU POROSIDAD 403
ILUSTRACIÓN 181 CLASIFICACIÓN DE LAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS SEGÚN SU POROSIDAD 404
ILUSTRACIÓN 182 ACUÍFERO LIBRE 405
ILUSTRACIÓN 183 SISTEMA DE ACUÍFERO CONFINADO 406
ILUSTRACIÓN 184 SISTEMA DE ACUÍFERO SEMICONFINADOS 407
ILUSTRACIÓN 185 MAPA DE CLASIFICACIÓN DE UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS 409
ILUSTRACIÓN 186 CORTES HIDROGEOLÓGICOS 410
ILUSTRACIÓN 187 ZONAS DE POTENCIAL ALMACENAMIENTO DE AGUA SUBTERRÁNEA DEPARTAMENTO DEL HUILA 420
ILUSTRACIÓN 188 LOCALIZACIÓN DIAGRAMAS EN BLOQUE. 422
ILUSTRACIÓN 189 MODELO HIDROGEOLÓGICOS REGIÓN NORTE, DIAGRAMA A-A´ 423
ILUSTRACIÓN 190 MODELO HIDROGEOLÓGICOS REGIÓN NORTE, DIAGRAMA B-B´ 428
ILUSTRACIÓN 191 MODELO HIDROGEOLÓGICOS REGIÓN NORTE, DIAGRAMA C-C´ 431
ILUSTRACIÓN 192 MODELO HIDROGEOLÓGICOS REGIÓN OCCIDENTE DIAGRAMA D-D´ 433
ILUSTRACIÓN 193 MODELO HIDROGEOLÓGICOS REGIÓN SUR MUNICIPIO PALESTINA SINCLINAL DE PALESTINA DIAGRAMA F-F´ 436
ILUSTRACIÓN 194 MODELO HIDROGEOLÓGICOS REGIÓN SUR MUNICIPIO PITALITO DIAGRAMA G-G´ 437
ILUSTRACIÓN 195 DEPÓSITOS CUATERNARIOS CON GEOREFERENCIA DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN TIPO POZOS PROFUNDOS Y ALJIBES. 442
ILUSTRACIÓN 196 FORMACIÓN GIGANTE (N2GII) CON GEOREFERENCIA DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN TIPO POZOS PROFUNDOS Y ALJIBES. 446

ILUSTRACIÓN 197 FORMACIÓN HONDA (N1H) CON GEOREFERENCIA DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN TIPO POZOS PROFUNDOS Y ALJIBES. 450
ILUSTRACIÓN 198 ZONAS DE POTENCIAL ALMACENAMIENTO DE AGUA SUBTERRÁNEA 453
ILUSTRACIÓN 199 MAPA DE PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL. 457
ILUSTRACIÓN 200 MAPA DE RECARGA SEGÚN CHEETURVEDI. 458
ILUSTRACIÓN 201 MAPA DE RECARGA SEGÚN SEHGAL. 459
ILUSTRACIÓN 202 MAPA DE RECARGA POTENCIAL 461
ILUSTRACIÓN 203 MÉTODO GOD PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD INTRÍNSECA 469
ILUSTRACIÓN 204 MAPA DE VULNERABILIDAD PARÁMETRO "G" 474
ILUSTRACIÓN 205 MAPA DE VULNERABILIDAD PARÁMETRO "O" 475
ILUSTRACIÓN 206 MAPA DE VULNERABILIDAD PARÁMETRO "D" 476
ILUSTRACIÓN 207 MAPA DE VULNERABILIDAD INTRÍNSECA 477
ILUSTRACIÓN 208 MAPA DE VULNERABILIDAD MÉTODO GOD 478

LISTADO DE GRÁFICAS

GRÁFICA 1 INTERFAZ DE TOMA DE DATOS EN LOS DOS COMPONENTES ELÉCTRICOS Y MAGNÉTICOS. .. 104
GRÁFICA 2 DISTRIBUCIÓN SONDEOS. 105
GRÁFICA 3 INTERFAZ SALIDA DE DATOS. EN EL RECUADRO SUPERIOR SE PUEDE OBSERVAR LA VARIANZA DE LOS DATOS RESISTIVIDAD, FASE Y COHERENCIA EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA Y EN EL TERCERO GRAFICO SE RELACIONA LA RESISTIVIDAD CON LA PROFUNDIDAD. 105
GRÁFICA 4 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA ALTAS FRECUENCIAS AMT-01 109
GRÁFICA 5 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA BAJAS FRECUENCIAS MT-01 109
GRÁFICA 6 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA ALTAS FRECUENCIAS AMT-02 110
GRÁFICA 7 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA BAJAS FRECUENCIAS MT-02 110
GRÁFICA 8 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA ALTAS FRECUENCIAS AMT-03 111

GRÁFICA 9 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA BAJAS FRECUENCIAS MT-03 111
GRÁFICA 10 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA ALTAS FRECUENCIAS AMT-04 112
GRÁFICA 11 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA BAJAS FRECUENCIAS MT-04 112
GRÁFICA 12 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA ALTAS FRECUENCIAS AMT-05 113
GRÁFICA 13 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA BAJAS FRECUENCIAS MT-05 113
GRÁFICA 14 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA ALTAS FRECUENCIAS AMT-06 114
GRÁFICA 15 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA BAJAS FRECUENCIAS MT-06 114
GRÁFICA 16 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA ALTAS FRECUENCIAS AMT-07 115
GRÁFICA 17 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA BAJAS FRECUENCIAS MT-07 115
GRÁFICA 18 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA ALTAS FRECUENCIAS AMT-08 116
GRÁFICA 19 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA BAJAS FRECUENCIAS MT-08 116
GRÁFICA 20 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA ALTAS FRECUENCIAS AMT-09 117
GRÁFICA 21 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA BAJAS FRECUENCIAS MT-09 117
GRÁFICA 22 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA ALTAS FRECUENCIAS AMT-10 118
GRÁFICA 23 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA BAJAS FRECUENCIAS MT-10 118
GRÁFICA 24 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA ALTAS FRECUENCIAS AMT-11 119

GRÁFICA 25 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA BAJAS FRECUENCIAS MT-11 119
GRÁFICA 26 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA ALTAS FRECUENCIAS AMT-12 120
GRÁFICA 27 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA BAJAS FRECUENCIAS MT-11 120
GRÁFICA 28 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA ALTAS FRECUENCIAS AMT-13 121
GRÁFICA 29 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA BAJAS FRECUENCIAS MT-13 121
GRÁFICA 30 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA ALTAS FRECUENCIAS AMT-14 122
GRÁFICA 31 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA BAJAS FRECUENCIAS MT-14 122
GRÁFICA 32 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA ALTAS FRECUENCIAS AMT-15 123
GRÁFICA 33 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA BAJAS FRECUENCIAS MT-15 123
GRÁFICA 34 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA ALTAS FRECUENCIAS AMT-16 124
GRÁFICA 35 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA BAJAS FRECUENCIAS MT-16 124
GRÁFICA 36 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA ALTAS FRECUENCIAS AMT-17 125
GRÁFICA 37 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA BAJAS FRECUENCIAS MT-17 125
GRÁFICA 38 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA ALTAS FRECUENCIAS AMT-18 126
GRÁFICA 39 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA BAJAS FRECUENCIAS MT-18 126
GRÁFICA 40 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA ALTAS FRECUENCIAS AMT-19 127

GRÁFICA 41 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA BAJAS FRECUENCIAS MT-19 127
GRÁFICA 42 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA ALTAS FRECUENCIAS AMT-20 128
GRÁFICA 43 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA BAJAS FRECUENCIAS MT-20 128
GRÁFICA 44 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA ALTAS FRECUENCIAS AMT-21 129
GRÁFICA 45 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA BAJAS FRECUENCIAS MT-21 129
GRÁFICA 46 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA ALTAS FRECUENCIAS AMT-22 130
GRÁFICA 47 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA BAJAS FRECUENCIAS MT-22 130
GRÁFICA 48 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA ALTAS FRECUENCIAS AMT-23 131
GRÁFICA 49 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA BAJAS FRECUENCIAS MT-23 131
GRÁFICA 50 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA ALTAS FRECUENCIAS AMT-24 132
GRÁFICA 51 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA BAJAS FRECUENCIAS MT-24 132
GRÁFICA 52 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA ALTAS FRECUENCIAS AMT-25 133
GRÁFICA 53 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA BAJAS FRECUENCIAS MT-25 133
GRÁFICA 54 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA ALTAS FRECUENCIAS AMT-26 134
GRÁFICA 55 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA BAJAS FRECUENCIAS MT-26 134
GRÁFICA 56 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA ALTAS FRECUENCIAS AMT-27 135

GRÁFICA 57 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA BAJAS FRECUENCIAS MT-27 135
GRÁFICA 58 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA ALTAS FRECUENCIAS AMT-28 136
GRÁFICA 59 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA BAJAS FRECUENCIAS MT-28 136
GRÁFICA 60 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA ALTAS FRECUENCIAS AMT-29 137
GRÁFICA 61 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA BAJAS FRECUENCIAS MT-29 137
GRÁFICA 62 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA ALTAS FRECUENCIAS AMT-30 138
GRÁFICA 63 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA BAJAS FRECUENCIAS MT-30 138
GRÁFICA 64 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA ALTAS FRECUENCIAS AMT-31 139
GRÁFICA 65 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA BAJAS FRECUENCIAS MT-31 139
GRÁFICA 66 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA ALTAS FRECUENCIAS AMT-32 140
GRÁFICA 67 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA BAJAS FRECUENCIAS MT-32 140
GRÁFICA 68 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA ALTAS FRECUENCIAS AMT-33 141
GRÁFICA 69 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA BAJAS FRECUENCIAS MT-33 141
GRÁFICA 70 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA ALTAS FRECUENCIAS AMT-34 142
GRÁFICA 71 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA BAJAS FRECUENCIAS MT-34 142
GRÁFICA 72 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA ALTAS FRECUENCIAS AMT-35 143

GRÁFICA 73 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA BAJAS FRECUENCIAS MT-35 143
GRÁFICA 74 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA ALTAS FRECUENCIAS AMT-36 144
GRÁFICA 75 ESPECTRO DE AMPLITUD, ESPECTRO DE FASE, COHERENCIA Y CURVA DE RESISTIVIDAD EN PROFUNDIDAD PARA BAJAS FRECUENCIAS MT-36 144
GRÁFICA 76 CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE SEV-01 145
GRÁFICA 77 CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE SEV-02 146
GRÁFICA 78 CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE SEV-03 147
GRÁFICA 79 CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE SEV-04 148
GRÁFICA 80 CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE SEV-05 149
GRÁFICA 81 CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE SEV-06 150
GRÁFICA 82 CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE SEV-07 151
GRÁFICA 83 CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE SEV-08 152
GRÁFICA 84 CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE SEV-09 153
GRÁFICA 85 CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE SEV-10 154
GRÁFICA 86 CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE SEV-11 155
GRÁFICA 87 CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE SEV-12 156
GRÁFICA 88 CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE SEV-13 157
GRÁFICA 89 CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE SEV-14 158
GRÁFICA 90 CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE SEV-15 159
GRÁFICA 91 CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE SEV-16 160
GRÁFICA 92 CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE SEV-17 161
GRÁFICA 93 CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE SEV-18 162
GRÁFICA 94 CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE SEV-19 163
GRÁFICA 95 CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE SEV-20 164
GRÁFICA 96 CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE SEV-21 165
GRÁFICA 97 CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE SEV-22 166
GRÁFICA 98 CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE SEV-23 167
GRÁFICA 99 CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE SEV-24 168
GRÁFICA 100 CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE SEV-25 169
GRÁFICA 101CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE SEV-26 170

GRÁFICA 102 CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE SEV-27 171
GRÁFICA 103 CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE SEV-28 172
GRÁFICA 104 CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE SEV-29 173
GRÁFICA 105 CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE SEV-30 174
GRÁFICA 106 CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE SEV-31 175
GRÁFICA 107 CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE SEV-32 176
GRÁFICA 108 CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE SEV-33 177
GRÁFICA 109 CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE SEV-34 178
GRÁFICA 110 CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE SEV-35 179
GRÁFICA 111 CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE SEV-36 180
GRÁFICA 112 CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE SEV-37 181
GRÁFICA 113 CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE SEV-38 182
GRÁFICA 114 CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE SEV-39 183
GRÁFICA 115 CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE SEV-40 184
GRÁFICA 116 DIAGRAMA DE BARRAS DE REGISTROS HISTÓRICOS DE PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL EN ESTACIONES MEDIDORAS DE PRECIPITACIÓN. 261
GRÁFICA 117 DIAGRAMA DE BARRAS DE REGISTROS HISTÓRICOS DE TEMPERATURA MEDIA MENSUAL EN ESTACIONES MEDIDORAS DE TEMPERATURA. 262
GRÁFICA 118 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN - PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL CON DATOS ORIGINALES - ESTACIÓN EL VENADO VS. ESTACIÓN SANTO DOMINGO – GRUPO 1 264
GRÁFICA 119 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN - PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL CON DATOS ORIGINALES - ESTACIÓN EL SAN JOSÉ VS. ESTACIÓN HDA SINAÍ – GRUPO 2 265
GRÁFICA 120 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN - PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL CON DATOS ORIGINALES - ESTACIÓN EL HDA PAPAGAYO VS. ESTACIÓN HDA POTOSÍ – GRUPO 3 266
GRÁFICA 121 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN - PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL CON DATOS ORIGINALES - ESTACIÓN EL HOBO VS. ESTACIÓN LA ARCADIA – GRUPO 4 267
GRÁFICA 122 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN - PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL CON DATOS ORIGINALES - ESTACIÓN EL ANTENA TV VS. ESTACIÓN LA BETULIA – GRUPO 5 268
GRÁFICA 123 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN - PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL CON DATOS ORIGINALES - ESTACIÓN PARQUE ARQUEOLÓGICO VS. ESTACIÓN ALTO DEL OBISPO – GRUPO 6 269
GRÁFICA 124 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN TEMPERATURA MEDIA MENSUAL CON DATOS ORIGINALES - ESTACIÓN PARQUE APTO BENITO SALAS VS. ESTACIÓN SANTO DOMINGO. 270

GRÁFICA 125 ANÁLISIS DE DOBLES MASAS ESTACIÓN SANTO DOMINGO – GRUPO NO. 1 271
GRÁFICA 126 ANÁLISIS DE DOBLES MASAS ESTACIÓN LA VICTORIA – GRUPO NO. 2 272
GRÁFICA 127 ANÁLISIS DE DOBLES MASAS ESTACIÓN EL CARMEN – GRUPO NO. 3 273
GRÁFICA 128 ANÁLISIS DE DOBLES MASAS ESTACIÓN LAS HERRERAS – GRUPO NO. 4 274
GRÁFICA 129 ANÁLISIS DE DOBLES MASAS ESTACIÓN ANTENA TV – GRUPO NO. 5 275
GRÁFICA 130 ANÁLISIS DE DOBLES MASAS ESTACIÓN PALESTINA – GRUPO NO. 6 276
GRÁFICA 131 GRADIENTE DE TEMPERATURA MEDIA MENSUAL Y PROMEDIO ANUAL DEL DEPARTAMENTO DEL HUILA – AÑO PROMEDIO 288
GRÁFICA 132 GRADIENTE DE TEMPERATURA MEDIA MENSUAL Y PROMEDIO ANUAL DEL DEPARTAMENTO DEL HUILA – AÑO SECO 291
GRÁFICA 133 GRADIENTE DE TEMPERATURA MEDIA MENSUAL Y PROMEDIO ANUAL DEL DEPARTAMENTO DEL HUILA – AÑO HÚMEDO 295
GRÁFICA 134 DIAGRAMA DE PIPER 336
GRÁFICA 135 DIAGRAMA DE PIPER VALLE DEL RÍO MAGDALENA 337
GRÁFICA 136 DIAGRAMA DE PIPER PARA LOS SINCLINALES DE TIVOLI, TARQUI, GARZÓN Y DEPÓSITOS DE LA PLATA 338
GRÁFICA 137 DIAGRAMA DE PIPER PARA LOS DEPÓSITOS DE PITALITO 339
GRÁFICA 138 CONDUCTIVIDAD CUATERNARIOS VALLE DEL MAGDALENA 354
GRÁFICA 139 TURBIDEZ CUATERNARIOS VALLE DEL MAGDALENA 354
GRÁFICA 140 ALCALINIDAD CUATERNARIOS VALLE DEL MAGDALENA 355
GRÁFICA 141 PH VALLE DEL MAGDALENA 355
GRÁFICA 142 CALCIO CUATERNARIOS VALLE DEL MAGDALENA 356
GRÁFICA 143 CLORUROS CUATERNARIOS VALLE DEL MAGDALENA 356
GRÁFICA 144 FOSFATOS CUATERNARIOS VALLE DEL MAGDALENA 357
GRÁFICA 145 HIERRO CUATERNARIOS VALLE DEL MAGDALENA 357
GRÁFICA 146 MAGNESIO CUATERNARIOS VALLE DEL MAGDALENA 358
GRÁFICA 147 NITRATOS CUATERNARIOS VALLE DEL MAGDALENA 359
GRÁFICA 148 SULFATOS CUATERNARIOS VALLE DEL MAGDALENA 360
GRÁFICA 149 POTASIO CUATERNARIOS VALLE DEL MAGDALENA. 360
GRÁFICA 150 SODIO CUATERNARIOS VALLE DEL MAGDALENA 361
GRÁFICA 151 COLIFORMES FECALES CUATERNARIOS VALLE DEL MAGDALENA 362
GRÁFICA 152 COLIFORMES TOTALES CUATERNARIOS VALLE DEL MAGDALENA 363

GRÁFICA 153 CONDUCTIVIDAD FORMACIÓN GIGANTE VALLE DEL MAGDALENA 365
GRÁFICA 154 TURBIDEZ FORMACIÓN GIGANTE VALLE DEL MAGDALENA 366
GRÁFICA 155 ALCALINIDAD FORMACIÓN GIGANTE VALLE DEL MAGDALENA 366
GRÁFICA 156 PH FORMACIÓN GIGANTE VALLE DEL MAGDALENA 367
GRÁFICA 157 CALCIO FORMACIÓN GIGANTE VALLE DEL MAGDALENA 367
GRÁFICA 158 CLORUROS FORMACIÓN GIGANTE VALLE DEL MAGDALENA 368
GRÁFICA 159 FOSFATOS FORMACIÓN GIGANTE VALLE DEL MAGDALENA 369
GRÁFICA 160 HIERRO FORMACIÓN GIGANTE VALLE DEL MAGDALENA 370
GRÁFICA 161 MAGNESIO FORMACIÓN GIGANTE VALLE DEL MAGDALENA 370
GRÁFICA 162 NITRATOS FORMACIÓN GIGANTE VALLE DEL MAGDALENA 371
GRÁFICA 163 SULFATOS FORMACIÓN GIGANTE VALLE DEL MAGDALENA 371
GRÁFICA 164 POTASIO FORMACIÓN GIGANTE VALLE DEL MAGDALENA 372
GRÁFICA 165 SODIO FORMACIÓN GIGANTE VALLE DEL MAGDALENA 372
GRÁFICA 166 COLIFORMES FECALES FORMACIÓN GIGANTE VALLE DEL MAGDALENA 373
GRÁFICA 167 COLIFORMES TOTALES FORMACIÓN GIGANTE VALLE DEL MAGDALENA 373
GRÁFICA 168 CONDUCTIVIDAD FORMACIÓN HONDA VALLE DEL MAGDALENA 375
GRÁFICA 169 TURBIDEZ FORMACIÓN HONDA VALLE DEL MAGDALENA 376
GRÁFICA 170 ALCALINIDAD FORMACIÓN HONDA VALLE DEL MAGDALENA 376
GRÁFICA 171 PH FORMACIÓN HONDA VALLE DEL MAGDALENA 377
GRÁFICA 172 FORMACIÓN HONDA VALLE DEL MAGDALENA 377
GRÁFICA 173 CLORUROS FORMACIÓN HONDA VALLE DEL MAGDALENA 378
GRÁFICA 174 FOSFATOS FORMACIÓN HONDA VALLE DEL MAGDALENA 378
GRÁFICA 175 HIERRO FORMACIÓN HONDA VALLE DEL MAGDALENA 379
GRÁFICA 176 MAGNESIO FORMACIÓN HONDA VALLE DEL MAGDALENA 379
GRÁFICA 177 NITRATOS FORMACIÓN HONDA VALLE DEL MAGDALENA 380
GRÁFICA 178 SULFATOS FORMACIÓN HONDA VALLE DEL MAGDALENA 380
GRÁFICA 179 POTASIO FORMACIÓN HONDA VALLE DEL MAGDALENA 381
GRÁFICA 180 SODIO FORMACIÓN HONDA VALLE DEL MAGDALENA 381
GRÁFICA 181 COLIFORMES FECALES FORMACIÓN HONDA VALLE DEL MAGDALENA 382
GRÁFICA 182 COLIFORMES TOTALES FORMACIÓN HONDA VALLE DEL MAGDALENA 383
GRÁFICA 183 CONDUCTIVIDAD Y PH SINCLINAL DE SAN ANTONIO 385
GRÁFICA 184 PARÁMETROS CALIDAD DE AGUA SINCLINAL DE TIVOLI 386

GRÁFICA 185 PARÁMETROS CALIDAD DE AGUA SINCLINAL DE TIVOLI 386
GRÁFICA 186 PARÁMETROS SINCLINAL DE TESALIA 387
GRÁFICA 187 PARÁMETROS SINCLINAL DE GARZÓN 388
GRÁFICA 188 CONDUCTIVIDAD PITALITO 389
GRÁFICA 189 TURBIDEZ PITALITO 390
GRÁFICA 190 ALCALINIDAD PITALITO 390
GRÁFICA 191 PH PITALITO 391
GRÁFICA 192 CALCIO PITALITO 391
GRÁFICA 193 CLORUROS PITALITO 392
GRÁFICA 194 FOSFATOS PITALITO 392
GRÁFICA 195 HIERRO PITALITO 393
GRÁFICA 196 MAGNESIO PITALITO 393
GRÁFICA 197 NITRATOS PITALITO 394
GRÁFICA 198 SULFATOS PITALITO 394
GRÁFICA 199 POTASIO PITALITO 395
GRÁFICA 200 SODIO PITALITO 395
GRÁFICA 201 COLIFORMES PITALITO 396
GRÁFICA 202 PARÁMETROS SINCLINAL DE TARQUI 398
GRÁFICA 203 PARÁMETROS DEPÓSITOS DE LA PLATA 398
GRÁFICA 204 DEMANDA DE AGUA SUBTERRÁNEA DEPARTAMENTO DEL HUILA. 464
GRÁFICA 205 DEMANDA DE AGUA SUBTERRÁNEA POR MUNICIPIO EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA .. 465
GRÁFICA 206 DEMANDA DE AGUA SUBTERRÁNEA POR ACTIVIDADES EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA. 466
GRÁFICA 207 USO DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA. 467

1. GENERALIDADES.

1.1 INTRODUCCIÓN.

La Política Nacional de Gestión Integral del Recurso Hídrico tiene como objetivo general, garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, mediante la gestión y el uso eficiente y eficaz, articulados al ordenamiento, al uso del territorio y a la conservación de los ecosistemas que regulan la oferta hídrica, considerando el agua como factor de desarrollo económico y de bienestar social, implementando procesos de participación equitativa e incluyente; Con respecto a los recursos hídricos subterráneos, la Política plantea líneas de acción estratégicas que consideran: profundizar en el conocimiento de la oferta (recursos y reservas); priorizar acuíferos para formular e implementar los planes de manejo; realizar inventarios y registros de usuarios del recurso hídrico a nivel de cuenca priorizada en el Plan Hídrico Nacional; implementar programas de ahorro y uso eficiente del agua; reducir los aportes de contaminación puntual y difusa; formular e implementar el programa nacional de monitoreo; incorporar la gestión de los riesgos asociados a la oferta y a la disponibilidad del recurso hídrico en los instrumentos de planificación; generar condiciones para el fortalecimiento institucional; integrar, armonizar y optimizar la normativa asociada al recurso hídrico subterráneo e; incrementar la participación de todos los sectores involucrados en su gestión integral.

La Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena – CAM, como ente corporativo de carácter público, integrada por los municipios, departamentos y demás entidades territoriales que conforman una unidad geográfica, hidrográfica o geopolítica; está dotada de autonomía administrativa y financiera, que tiene por objeto la ejecución de las políticas, planes, programas y proyectos sobre medio ambiente y recursos naturales renovables, así como dar cumplida y oportuna la aplicación de las disposiciones legales vigentes impartidas por el gobierno nacional, especial mente el Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible; es decir como máxima autoridad ambiental en su jurisdicción debe ejecutar la Política Nacional Ambiental trazada por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, administrar los recursos naturales renovables y promover el desarrollo sostenible en la región y del Departamento del Huila.

En cumplimiento del Decreto 1640 de 2012, mediante el cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), genera la “Guía Metodológica Para La Formulación De Planes De Manejo Ambiental De Acuífero”, que establece las directrices y orientaciones técnicas y metodológicas para la formulación de los planes de manejo ambiental de los sistemas acuíferos que sean priorizados y orienten a las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenibles y de los grandes centros poblados, en el proceso de formulación e implementación de los planes de manejo ambiental de acuíferos.

El presente contrato de Consultoría N° 369 entre la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena y el Consorcio PMAA Magdalena 2016 tiene como objeto realizar la "EVALUACIÓN REGIONAL DEL AGUA (SUBTERRÁNEA) EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA Y ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO, APRESTAMIENTO, DIAGNÓSTICO Y FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE ACUÍFEROS (PMAA) EN EL SECTOR CENTRO, NOROCCIDENTAL Y NORORIENTAL DE LA CUENCA DEL RÍO MAGDALENA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA", de acuerdo con lo estipulado en el Decreto 1640 de 2012.

En primer lugar, resulta conveniente ubicar la zona de estudio en un marco regional, el cual se encuentra localizado en la Provincia Hidrogeológica del Valle Alto del Magdalena (PM2), la cual es una Cuencas hidrogeológicas de montanas e intramontanas, que se disponen entre las Cordilleras Oriental y Central, que se desarrolla en una zona climática de confluencia inter tropical, y en el caso específico del distrito especial del Desierto de la Tatacoa, corresponde a una zona de bosque seco tropical, muy erosionado. El objetivo principal de este estudio es realizar la Evaluación Regional Del Agua (Subterránea) para identificar las formaciones y unidades hidrogeológicas, zonas de recarga y descarga para establecer la priorización de los acuíferos, e identificar de las problemáticas asociadas con el uso, aprovechamiento, conservación y preservación del recurso hídrico, con la finalidad de formular las medidas del Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos para la protección y uso sostenible del recurso hídrico subterráneo como recurso estratégico de la región y la nación.

Para la cumplir con los objetivos del Evaluación Regional Del Agua Subterránea (ERA) En El Departamento Del Huila se emplea la metodología expuesta en los "Lineamientos conceptuales y metodológicos para la evaluación regional del agua" (IDEAM, 2013), específicamente el capítulo 2. Evaluación de dinámica y estado del agua subterránea.

Tal y como lo establece para la Evaluación Regional del Agua Subterránea, se realiza la caracterización gestión integral del recurso hídrico del Departamento del Huila con el fin de contar con la línea base de calidad, oferta y demanda de agua subterránea.

Para el desarrollo del Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos (PMAA), se considera la metodología propuesta en la "Guía Metodológica Para La Formulación De Planes De Manejo Ambiental De Acuífero" la cual se divide en las siguientes fases:

A continuación se presentan los diferentes componentes del régimen hidrogeológico del recurso hídrico subterráneo en el Departamento del Huila, el presente documento se estructura en cuatro temáticas o numerales principales; en primera instancia se desarrollan los temas relacionados en la caracterización geológica y geofísica presente en la zona de estudio, seguido con la recolección, identificación y desarrollo de la base de datos de información secundaria existente de los puntos de captación de agua subterránea del Departamento del Huila enseguida, se presentan el análisis hidrológico, y

por ultimo lo relacionado con los aspectos de especial importancia en la caracterización hidrogeoquímica, calidad del agua e hidráulica de los puntos de captación del recurso

Para facilitar la compresión del el documento es estructurado en los tomos I, II, III y IV; que corresponden a:

Tomo I: Evaluación Regional Del Agua Subterránea (ERA)

Tomo II: Fase Aprestamiento del PMAA en el sector centro, noroccidental y nororiental de la cuenca del río magdalena en el departamento del Huila.

Tomo III: Fase Formulación del PMAA en el sector centro, noroccidental y nororiental de la cuenca del río magdalena en el departamento del Huila.

En el presente informe se establece la actualización sobre el estado en cantidad y calidad, del agua subterránea del Departamento del Huila. Partiendo de esto él ERA integra componentes temáticos definidos en la PUNGIR atendiendo los requerimientos de la normatividad vigente y las necesidades técnicas que permiten el ejercicio de la Corporación Autónoma del Alto Magdalena en la administración y manejo del agua subterránea en el Departamento.

Los productos temáticos y resultados obtenidos en el presente informe se convierten en la base conceptual que permite la integración de la información generada sobre las condiciones actuales del agua subterránea en el Departamento del Huila.

1.2 OBJETIVOS.

1.1.1 GENERAL

- Evaluar el estado y tenencia del recurso hídrico subterráneo de los sistemas acuíferos mediante la interacción con su entorno natural y eventos antrópicos con el fin de establecer una adecuada administración, uso y manejo sostenible del agua subterránea del Departamento del Huila.

1.1.2 ESPECÍFICOS

- Establecer el modelo geológico y geofísico del Departamento del Huila encaminado en la caracterización hidrogeológica.

- Caracterizar y evaluar el estado y la tendencia del recurso hídrico subterráneo en los sistemas con potencial hidrogeológico presentes en el Departamento del Huila.

- Realizar el análisis integrado de las condiciones actuales de los sistemas acuíferos identificados a partir de los indicadores Hidrogeológicos.

1.3 ALCANCE.

Este estudio estará enfocado en el decreto 1640 articulo 8 parágrafo 3, enfocado principalmente en análisis, descripción y representación de los modelos geológicos, hidrológicos e hidráulicos partiendo de la realización estudios directos e indirectos en campo, delimitación de unidades hidrogeológicas, creación de la base de datos que agrupe el inventario de expedientes de puntos de agua según información secundaria recopilada en la Corporación Autónoma del Alto Magdalena (CAM), determinación de la recarga potencial por medio del balance hídrico, describir y representar propiedades de sistemas de captación (pozos y aljibes) tales como conductividad (K), Caudales, Capacidad especifica (CE), Transmisividad (T) y la determinación de la dirección del flujo regional, con el fin de orientar los procesos de evaluación del agua subterránea en el Departamento del Huila .

1.4 METODOLOGÍA CARTOGRAFÍA

El presente documento tiene como objeto señalar el área de estudio a nivel regional o rural del Departamento del Huila. Asimismo, se presenta el procedimiento utilizado para la obtención de la cartografía a escala 1:100.000 de la zona (área rural) y los resultados obtenidos de la misma. Este informe se consolida como evidencia del contrato de consultoría No. 369 del 2016 suscrito entre el Consorcio PMAA Magdalena 2016, como contratista; y como contratante la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena "CAM", dentro del Estudio Regional Ambiental de Aguas Subterráneas para el Departamento del Huila – Región Andina Colombiana, como instrumentos para la toma de decisiones y ajuste de los planes de ordenamiento del territorio.

El contrato se realiza atendiendo a la necesidad urgente de avanzar en la caracterización general de la región, debido al desconocimiento de los Municipios frente a los recursos hídricos subterráneos, y a la responsabilidad de administrar y planificar el manejo y aprovechamiento de los mismos.

El objeto del presente estudio pretende entonces brindar toda la información básica relacionada con la identificación y caracterización de las principales zonas de interés hidrogeológico del Departamento, estableciendo niveles de importancia según las características geológicas, climáticas y antropológicas de la región, con el fin de generar las herramientas necesarias para una adecuada gestión de recursos en función de la planeación del territorio.

El proyecto requiere que se presenten dos enfoques; los estudios básicos para el área regional – Zona 2 (Escala 1:100.000) y los estudios detallados para el área correspondiente al PMAA – Zona 1 (Escala 1:25.000).

1.5 LOCALIZACIÓN

Departamento situado en la parte sur de la región andina; localizado entre los 01º 33' 08" y 03º 47' 32" de latitud norte y los 74º 28' 34" y 76º 36' 47" de longitud oeste. (Ver **Ilustración 1, Anexo A-1 Localización GE393-ERA-PSIG-LGN-001-00**).

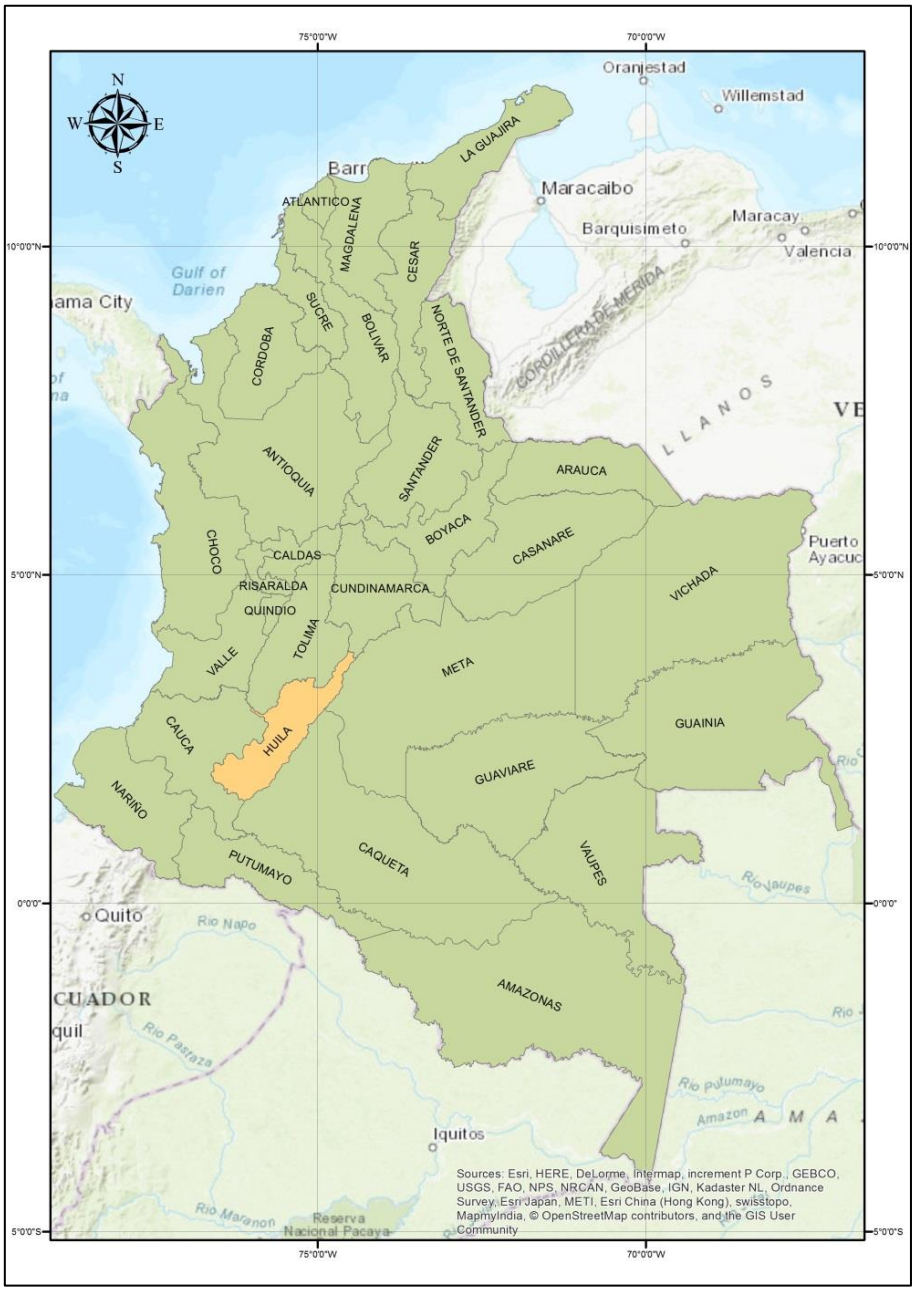


Ilustración 1Localización del Departamento del Huila a nivel nacional
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena (2016)

La superficie del Departamento del Huila es de 18.136,80 km^2. Limita por el Norte con los Departamentos del Tolima y Cundinamarca, por el Este con Meta y Caquetá, por el Sur con Caquetá y Cauca (franja de territorio en litigio), y por el Oeste con Cauca y Tolima.

El Departamento está dividido en 37 municipios: Neiva, ciudad capital, Acevedo, Agrado, Aipe, Algeciras, Altamira, Baraya, Campoalegre, Colombia, Elías, Garzón, Gigante, Guadalupe, Hobo, Íquira, Isnos, La Argentina, La Plata, Nátaga, Oporapa, Paicol, Palermo, Palestina, El Pital, Pitalito, Rivera, Saladoblanco, San Agustín, Santa María, Suaza, Tarqui, Tello, Teruel, Tesalia, Timaná, Villavieja y Yaguará

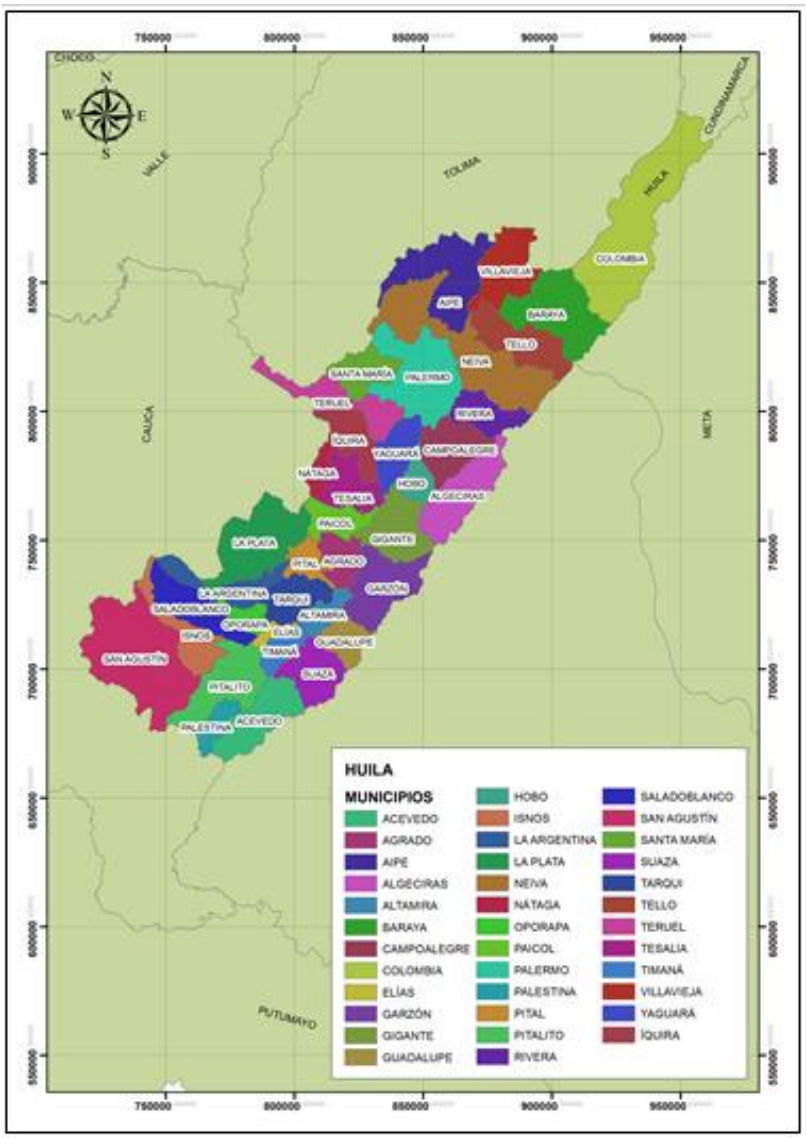


Ilustración 2 Localización a nivel departamental
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena (2016)

1.6 DEFINICIÓN ÁREA ESTUDIO

1.6.1 ERA

Como su nombre lo indica, hace referencia a la totalidad de los 37 municipios del Departamento, En la **Tabla 1** se indica el área de estudio para cada Municipio y sus coordenadas.

Tabla 1 Área y ubicación de los municipios del Departamento del Huila.

Nombre Municipio	Área (Km2)	Porcentaje %	ATM	
			Este	Norte
PAICOL	279,55	1,54	816387,29	757991,00
LA PLATA	815,00	4,49	786004,51	749347,83
TESALIA	372,82	2,06	821408,25	771343,35
NÁTAGA	128,42	0,71	809810,15	776819,31
BARAYA	786,20	4,33	902127,38	838512,51
AIPE	796,39	4,39	858308,98	852581,70
YAGUARÁ	333,01	1,84	840023,55	784459,57
CAMPOALEGRE	461,62	2,55	860794,24	785790,27
RIVERA	322,35	1,78	874340,01	799056,54
TERUEL	470,16	2,59	818056,69	804172,77
SANTA MARÍA	338,58	1,87	827010,68	815468,48
PALERMO	885,15	4,88	848424,83	814125,37
TELLO	531,57	2,93	887920,54	826955,81
NEIVA	1197,83	6,60	866117,09	824305,97
VILLAVIEJA	540,54	2,98	882111,49	855310,80
COLOMBIA	1584,55	8,74	933232,81	873488,80
HOBO	194,36	1,07	847645,99	772947,46
ALGECIRAS	589,39	3,25	865004,13	768025,27
ÍQUIRA	356,05	1,96	822434,46	789588,98
ALTAMIRA	181,02	1,00	811843,05	721809,69
GARZÓN	608,24	3,35	833807,66	732105,89
PITAL	193,62	1,07	804922,54	741727,81
AGRADO	268,28	1,48	817700,09	742768,73
GIGANTE	504,38	2,78	839854,98	754111,09
GUADALUPE	250,70	1,38	819813,16	711290,39
OPORAPA	154,22	0,85	781485,42	719805,28
SAN AGUSTÍN	1387,97	7,65	739677,01	704704,27
TARQUI	363,71	2,01	799926,73	727443,49
SALADO BLANCO	466,38	2,57	760641,97	724165,17
ISNOS	376,74	2,08	757663,12	713854,06

Nombre Municipio	Área (Km2)	Porcentaje %	ATM	
			Este	Norte
LA ARGENTINA	357,25	1,97	773060,80	733157,18
PALESTINA	178,80	0,99	769597,75	678199,54
PITALITO	626,08	3,45	772781,97	693890,51
SUAZA	429,94	2,37	807414,16	698737,05
TIMANÁ	186,29	1,03	795277,50	707606,87
ELÍAS	80,77	0,45	791517,54	713724,67
ACEVEDO	538,87	2,97	786414,55	680855,14
TOTAL	18136,80	100,00		

Fuente: Consorcio PMAA Magdalena (2016)

Se estableció que la escala de trabajo para los estudios a nivel Departamental será de 1:100.000 de acuerdo a lo establecido en el contrato 369 de 2016.

1.6.2 LEVANTAMIENTO CARTOGRÁFICO

1.6.2.1 INFORMACIÓN EXISTENTE

Información secundaria

- **ERA**

Con el propósito de generar la cartografía departamental se unieron y procesaron las 24 planchas geológicas disponibles en la página del servicio geológico Colombiano (ver **Tabla 2**) junto con las curvas de nivel cuyo intervalo fueron de 100 m descargadas de la página del IGAC (2017).

Mediante el procesamiento se obtuvo una corrección de la topografía, mediante la descarga de información ALOS, permitiendo la creación de un modelo de elevación digital de calidad mejorada y con tamaño de celda de 25 m x 25 m.

Tabla 2 Planchas Servicio Geológico Colombiano.

Planchas (1:100.000)					
				283	284
		301	302	303	304
	321	322	323	324	
	343	344	345	346	
364	365	366	367		
387	388	389	390		
	412	413			

Fuente: Consorcio PMAA Magdalena (2016)

1.6.3 METODOLOGÍA

1.6.3.1 Sistema de Coordenadas

El sistema de coordenadas a usar en el proyecto ha sido definido de acuerdo a los lineamientos del IGAC, los cuales establecen que debido a que la mayoría del área de estudio del proyecto se encuentra en la parte Central de la división cartográfica, el sistema de coordenadas corresponde a “MAGNA COLOMBIA BOGOTÁ”. Por lo tanto, bajo este parámetro de coordenadas se estructurará toda la información cartográfica del proyecto.

Proyección Sistema de Coordenadas:	Magna Colombia Bogotá
Proyección:	Transversal de Mercator
Origen de la zona:	Bogotá
Meridiano central:	-74.0775
Latitud de referencia:	4.5962
Falso Norte:	1000000.0
Falso Este:	1000000.0
Datum:	Magna
Factor de escala:	1.0
Sistema de escala:	GCS_MAGNA
Unidad de trabajo:	Metros
Unidad angular:	Grado

1.6.3.2 Geodatabase

Inicialmente, esta información se manipula y procesa en formato Shape. Una vez la información se considera definitiva o por lo menos se encuentra depurada se sube y se estandariza a la GEODATABASE del proyecto.

Se realizarán 3 Geodatabases para ordenar la información del proyecto. La primera Geodatabase corresponderá a la información básica del área de estudio. Otra de las GDB tendrá la información en formato Raster de los diversos productos y temática, por último, se tiene una GDB que contiene la información en formato vectorial de las temáticas correspondientes al estudio (Ver **Ilustración 3**).

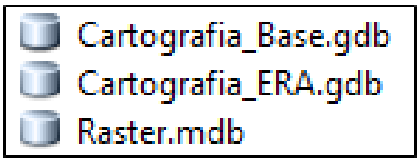


Ilustración 3 Geodatabases
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena (2016)

Las Geodatabases serán creadas como un tipo PERSONAL GEODATABASE procesada con el software SIG ArcGIS Versión 10.2. A continuación se presenta la estructura planteada para las Geodatabases:

Features Dataset

1 – Cartografía Base (mapa base info de IGAC)

2 – Cartografia_ERA (Información procesada por consorcio - Vectorial)

3 - Raster (Información procesada por consorcio - Raster)

En la **Ilustración 4** se presenta un ejemplo de la estructura de la Geodatabase que se va a utilizar.

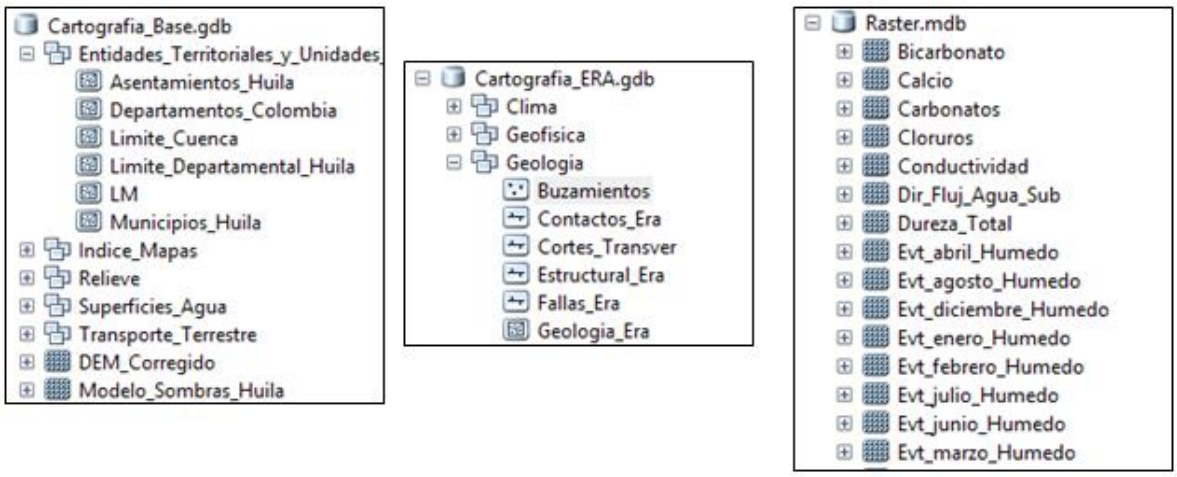


Ilustración 4 Estructura de Geodatabases
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena (2016)

1.6.3.3 Numeración o codificación de planos

Los planos generados en el proyecto se enumeran siguiendo una codificación cuya estructura se explica a continuación:

Donde

GE393 = Código interno del proyecto para el Consorcio PMAA Magdalena

ERA - PMAA = Corresponde al área de estudio. ERA, para la cartografía Departamental, PMAA, para el estudio regional.

PSIG - PCAD = Corresponde a describir si el plano o mapa es generado a partir de ArcGIS o de AutoCAD

LG = Corresponde a la temática a desarrollar en este caso es LG: Localización General.

001 = Corresponde al consecutivo de plano por temática respectiva o consecutivo índice de plancha 1:25.000 del IGAC

Tabla 3 Siglas representativas de los mapas temáticos trabajados en el proyecto

Temática	Código
Localización	LGN
Índice de Planchas	IP
Índice de Imágenes	II
División Político Administrativa	DPA
Precipitación Promedio Año Húmedo	PRH
Precipitación Promedio Año Promedio	PRP
Precipitación Promedio Año Seco	PRS
Temperatura Promedio Año Húmedo	TMH
Temperatura Promedio Año Seco	TMS
Temperatura Total	TMT
Evapotranspiración Año Húmedo	EVH
Evapotranspiración Año Promedio	EVP
Evapotranspiración Seco	EVS
Infiltración Año Húmedo	INH
Infiltración Año Seco	INS
Infiltración Total	INT
Recarga Año Húmedo	RPH
Recarga Año Promedio	RPP
Recarga Año Seco	RPS
Precipitación Seco Enero	PRS
Precipitación Húmedo Enero	PRH

Temática	Código
Temperatura Promedio Enero	TMT
Temperatura Seco Enero	TMS
Temperatura Húmedo Enero	TMH
Evapotranspiración Promedio Enero	EVP
Evapotranspiración Seco Enero	EVS
Evapotranspiración Húmedo Enero	EVH
Infiltración Promedio Enero	INP
Infiltración Seco Enero	INC
Infiltración Húmedo Enero	INH
Recarga Potencial Promedio Diciembre	RPP
Recarga Potencial Seco Enero	RPS
Recarga Potencial Húmedo Diciembre	RPH
Localización Puntos de Agua	LPA
Capacidad Especifica Aljibes	CEA
Capacidad Especifica Pozos	CEP
Caudal Aljibes	QA
Caudal Pozos	QP
Conductividad Hidráulica Aljibes	CHA
Conductividad Hidráulica Pozos	CHP
Profundidad Aljibes	PAL
Profundidad Pozos	PPZ
Dirección de Flujo Aljibes	DFA
Dirección de Flujo Pozos	DFP
Transitividad Aljibes	TSA
Transitividad Pozos	TSP
Uso Potencial del Suelo	UPS
Uso del Suelo	US
Bloques Geológicos	BG
Perfiles Geológicos	PG
Geología	GE
Geofísica	EGF
Aptitud Hidrogeológica	AHG
Profundidad Tabla de Agua	PTA
Zonas de Recarga	ZRC
Vulnerabilidad Intrínseca	VIA

Fuente: Consorcio PMAA Magdalena (2016)

1.6.3.4 Índice de Planchas

Debido a que el proyecto tiene dos enfoques, Zona 2 (Departamental) y Zona 1 (PMAA), los planos y salidas gráficas trabajadas en el proyecto serán a escalas diferentes, según necesite el detalle del estudio. A continuación, se presenta el índice de planchas y como será trabajado para cada uno de los dos enfoques:

Zona 2 (Departamental)

Para realizar el índice de planchas del Departamento, se realizó la intersección del límite municipal IGAC a escala 100.000 con las planchas origen Central y Oeste. En este procedimiento se encontraron 8 planchas que presentan un traslape inferior al 10% del área (Tabla 4).

Tabla 4 Planchas del IGAC que presentan traslape

Planchas 1:100.000	
301	302
322	323
344	345
366	367

Fuente: Consorcio PMAA Magdalena (2016)

También como anotación especial y como se aprecia en la **Ilustración 5**, el Departamento del Huila alcanza a ubicarse en dos orígenes cartográficos de Colombia y por esta razón, presenta un traslape de sus planchas. Para poder trabajar la cartografía en un único origen cartográfico en vez de dos, se incorporó el área en conflicto a las planchas correspondientes al origen Central, de esta manera, se mantiene el consecutivo establecido por el IGAC, evitando posibles inconsistencias entre la cartografía temática oficial generada a partir de esta división a causa del arreglo realizado

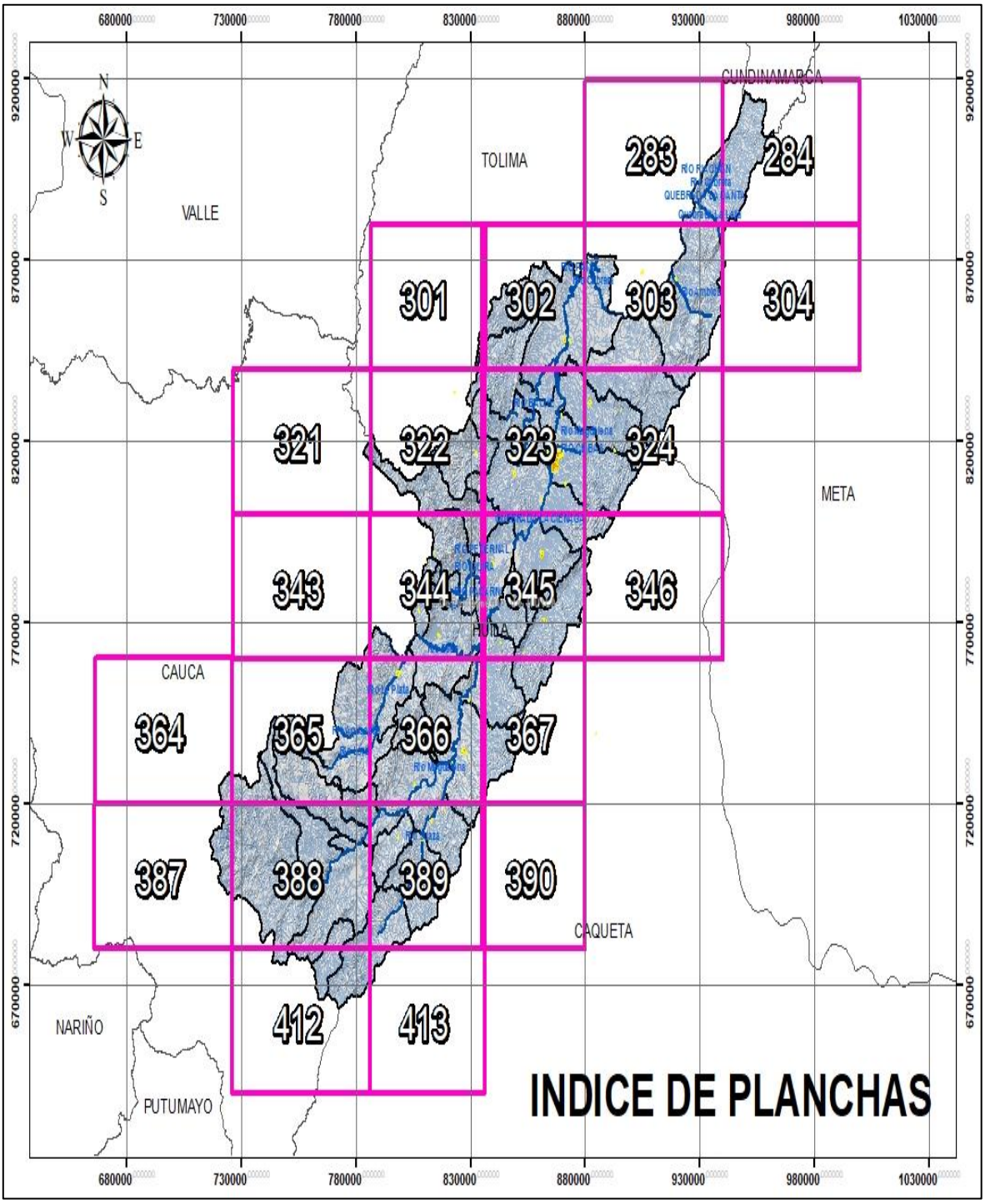


Ilustración 5 Planchas IGAC escala 1:100.000
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena (2016)

1.6.3.5 Estandarización Cartografía Base

En cuanto a la creación y estandarización de la cartografía base, se comenzará por la organización de las curvas de nivel generales del proyecto el cual abarca un área aproximada de 2420407.0 hectáreas. Para ello se realizó un buffer de 200 metros al perímetro el Departamento de Arauca del I.G.A.C escala 1:100.000 para extender un área de influencia indirecta enalteciendo el análisis.

Se debe tener en cuenta que las curvas de nivel presentan los siguientes errores:

- Curvas con diferencias de elevación
- Ausencia de curvas
- Curvas con elevación equivocada
- Trazo de curvas equivocado
- Las curvas entre municipios y planchas del IGAC no empalman

Por otro lado, se verificaron, unificaron y se realizaron reglas topológicas a los siguientes límites: mundiales, departamentales, municipales, veredales a escala 1:25.000, así como los drenajes dobles, drenajes sencillos, vías, cuerpos de agua, toponimias, orografía, entre otros.

2. EVALUACIÓN GEOLÓGICA.

A continuación se introduce al lector con una descripción general de la geología histórica, regional y local del Departamento del Huila y se describe la exploración de geofísica realizada para la construcción del modelo hidrogeológico conceptual del Departamento del Huila, teniendo como línea base los estudios previos realizados por (SGI LTDA, 2000) y (S.G.I, 2000), e información de referencia de los expedientes de solicitud de concesión de aguas subterráneas y documentos oficiales registrados en la **CAM**.

La metodología empleada para la elaboración del modelo geológico inicia con la revisión de información secundaria de estudios de regionales y locales del Departamento del Huila, de la cual se observa que la cartografía oficial de las planchas escala 1:100.000 publicadas por el Servicio Geológico Colombiano (SGC), difieren en la continuidad de los contactos, estructuras y en las nomenclaturas de las Formaciones geológicas. Teniendo en cuenta la complejidad del problema, surge la necesidad de interpretar las imágenes satelitales mediante la utilización de sistemas remotos y fotointerpretación con el objeto determinar la continuidad y el cierre de las estructuras, logrando la unificación de la nomenclatura de las Formaciones geológicas, obteniendo como resultado la cartográfica del mapa geológico preliminar en una base topográfica condensada de planchas 1:100.000 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi- IGAC., el cual es verificado mediante puntos de control en campo con la finalidad de alcanzar el detalle de la escala de trabajo, donde se realiza la descripción macroscópica de los afloramientos, teniendo en cuenta parámetros, tales como: espesor de los estratos, estructuras sedimentarias, interestratificaciones, tamaño de grano, redondez, % de matriz, color, datos estructurales, etc.

En la **Ilustración 6** se muestra el resultado de la fotointerpretación de las imágenes satelitales mediante el cual identifican los rasgos estructurales de carácter regional, alcanzando el detalle para la escala de trabajo 1:100.000 (Ver Anexo B-1 Fotointerpretación- GE393-ERA-PSIG-FIN-001-00).

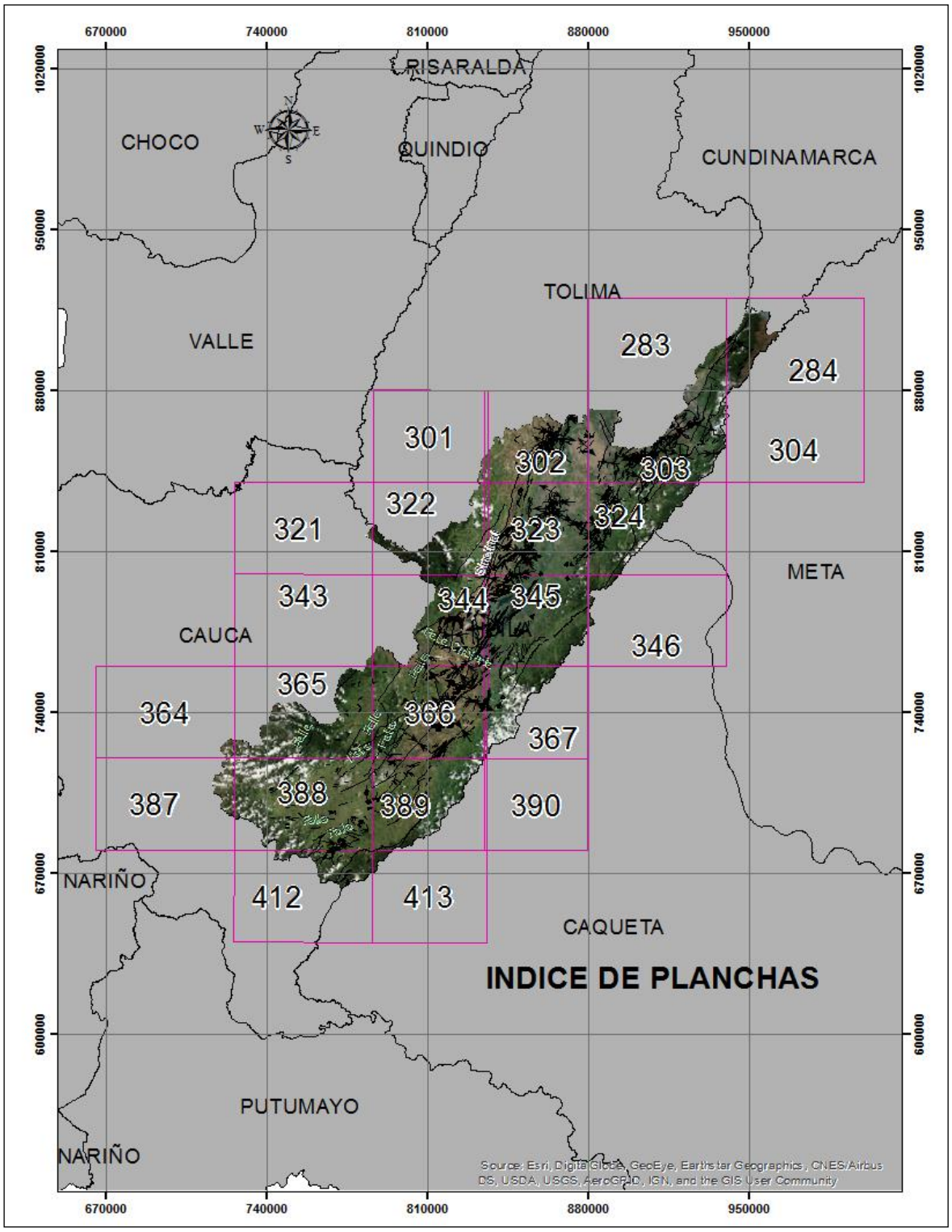


Ilustración 6 Mosaico de Fotografías aéreas del área de estudio
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena (2016)

El procesamiento de la información de campo e interpretación de fotogeología fueron georreferenciados y analizados empleando Sistemas de Información Geográfica, de la cual se obtiene los mapas geológicos a escala 1:100.000, coretes geológicos y la representación del modelo geológico en 3D.

En general el área de estudio se encuentra localizada en la cuenca del Valle Superior del Río Magdalena (VSM), donde afloran las Formaciones geológicas que van desde el Precámbrico hasta el Cuaternario. Regionalmente la cuenca forma una estructura de Geosinclinal donde se identifican dos grandes dominios tectónicos: el flanco occidental de la Cordillera Central y el Oriental limitado por la Cordillera Oriental. El flanco oriental caracterizado por ser una cadena plegada y cabalgante convergencia al oeste, con fallas inversas que buzan hacia el oriente como el sistema de falla de Algeciras y el sistema de fallas de Suaza Garzón y el Valle del Río Magdalena. Con una deformación menor que el bloque anterior con presencia de pliegues suaves y algunas fallas locales limitados al Occidente por la Cordillera Central, que a su vez se limitan por el sistema de Fallas La Plata – Chusma al Occidente.

El Departamento del Huila presenta los relieves planos a suavemente ondulada en donde se disponen los Depósitos Cuaternarios (depósitos aluviales, fluvio-volcánicos y fluvio-torrenciales) y la zona montañosa, compuesto principalmente por rocas ígneas intrusivas, rocas sedimentarias de edades Mesozóica a Cenozóica ; y en menor proporción rocas metamórficas e ígneas de edades Paleozóica y Precámbrica.

En este apartado se describen el marco geológico del área de estudio abarcando desde la evolución geológica de la cuenca, la geología local y estructural.

2.1 EVOLUCIÓN GEOLÓGICA REGIONAL.

La orogenia más temprana que puede ser reconocida en el área es la Orogenia Nickeriana en el Macizo de Garzón, hace alrededor de 1200 Ma. Las rocas suprayacentes del Grupo Garzón fueron dejadas en un margen continental tipo cordillerano. El metamorfismo y las simultáneas intrusiones de los granitos de Guapotón y Mancagua posiblemente se debieron a un evento orogénico tipo colisión continental. La deposición epicontinental de sedimentos marinos y subsecuente metamorfismo es evidenciado por las rocas metamórficas del Paleozoico inferior en la parte más oeste del área de estudio. Como resultado de este evento orogénico, posiblemente caledoniano, la Cordillera Central emergió como una estructura positiva, no para ser sumergida nuevamente.

Los sedimentos marinos devónicos y carboníferos sin metamorfismo registran por su dispersa ocurrencia una amplia transgresión del Paleozoico Superior formando un mar de plataforma superficial atrás de la Cordillera Central. La mayoría de los sedimentos desde entonces parecen haber desaparecido por una posterior erosión. Aún no se puede establecer si la sedimentación continuó en la base calcárea de la Formación Saldaña.

Las rocas volcánicas e intrusivas magmáticas ácidas a intermedias de la Formación Saldaña marcan un importante evento magmático en el Triásico-Jurásico, diferente del magmatismo cenozoico. Los magmas calcoalcalinos probablemente fueron generados por anatexis parcial de los sedimentos y corteza más antigua en partes más profundas de una zona de subducción tipo cordillerana. La extrusión tuvo lugar en un ambiente marino somero a continental. La extrusión fue seguida por una intrusión evidenciada en el metamorfismo de contacto de las rocas volcánicas. El levantamiento y erosión llevó a la formación de una superficie denudacional Jurásica.

En el Cretáceo una extensa transgresión tuvo lugar, iniciando en el Aptiano con los gruesos depósitos de playa de la Formación Caballos, seguido por los shales generadores de petróleo de la Formación Villeta depositados en un ambiente anaeróbico de mar interior tras la barrera de la Cordillera Central. El levantamiento gradual resultó en la somerización de las aguas y finalmente en una regresión, durante lo cual las arenas y cherts de la Grupo Guadalupe fueron depositadas. Conforme la emergencia continuó, en el tope de la secuencia cretácica marina, arcillas y arenas continentales a lacustres de la Formación Seca fueron depositadas. El posterior surgimiento de bloques solevantados de la Cordillera Central causó la erosión de los estratos cretácicos e infrayacentes, dando lugar a los típicos depósitos molásicos de la Formación Gualanday en el Eoceno – Oligoceno. El vulcanismo calcoalcalino inició en el Mioceno, tal cual se registran en las molasas del Grupo Honda. La Formación Gigante del Plioceno registra un sustancial incremento en la actividad volcánica.

No existen muchas discordancias angulares entre el Cretácico inferior y el Plioceno en la mayor parte de la cuenca sedimentaria. El cambio en los ambientes sedimentarios de la cuenca registra fallamiento de bloque en el área de procedencia. La principal fase de plegamiento tuvo lugar al final del Plioceno, cuando la Cordillera Oriental fue levantada hasta su altura actual. Grandes cantidades de materiales volcánicos fueron arrojados desde la Cordillera Central. El marcado incremento de flujos de lodos volcánicos comparados con el Gr.Honda y Fm. Gigante inferior probablemente se debió al levantamiento de la Cordillera Central por encima de la línea de nieve y el inicio de la glaciación pleistocena. Erupciones violentas formaron calderas y depositaron una capa de ignimbrita sobre la mayor parte oriental del área. Varias aberturas volcánicas brotaron lejos al este de la Cordillera Central, erupcionando principalmente lavas y piroclastos. Después de que la actividad tectónica, volcánica, orogénica plio-pleistocenica se ralentizó, los ríos fueron disectados y depósitos más jóvenes formaron terrazas y abanicos aluviales en varios niveles de los valles principales. El valle de Tarqui del Río Magdalena registra actividad volcánica más reciente, también como el rocío regular de cenizas volcánicas sobre el área, que ocurren de forma intercalada con los depósitos lacustres de la cuenca de Pitalito y dieron lugar a andosoles típicos de superficies más estables.

El Valle Superior del Magdalena es un rasgo morfotectónico de aproximadamente 20000 k2 de área, 400 k de longitud y 10 a 45 k de ancho, cuyo límite Sur se halla cerca de Pitalito (Huila), en la bifurcación de las Cordilleras Central y Oriental, y que por el Norte se

prolonga hasta el sitio donde la Falla de Cambras cruza el Río Magdalena, a la altura de Municipio de Honda (Tolima).

Desde el punto de vista tectónico, el VSM es una estructura bien marcada, delimitada en los bordes por fallas inversas (al Occidente el sistema de fallas de Chusma y al Oriente el sistema de fallas de Garzón - Suaza), que ocupa el vértice interno de la bifurcación de las Cordilleras Central y Oriental. Presenta una tendencia estructural predominante SSW – NNE, y se subdivide en dos unidades: la Sub-cuenca de Neiva, al Sur, y la Sub-cuenca de Girardot, al Norte, las cuales están separadas por el umbral o alto del basamento de Patá o de Natagaima (Mojica, 1990).

Estructuralmente el VSM está relacionado con el levantamiento de las Cordilleras Oriental y Central, con una progresiva colmatación de la Cuenca a partir de la erosión de esta última principalmente, aunque hacia el área de la Sub-cuenca de Neiva el material proviene en su mayoría del Macizo de Garzón (Mp3mg) y alrededores.

A escala regional, la Sub-cuenca de Neiva corresponde a un moderado sinclinorio donde en el núcleo se encuentran sedimentos neógenos que reposan discordantemente sobre el basamento pre – Cretáceo y la secuencia pre – Miocena, estando estos últimos intensamente plegados y fallados, y cuya exposición superficial ocurre en los márgenes de la estructura.

El espesor de la secuencia sedimentaria en el VSM, en cuya nomenclatura estratigráfica se basa la presente descripción, alcanza los 5000 m, abarcando desde los meta-sedimentos del Grupo Cajamarca (Proterozoico) hasta depósitos de terrazas aluviales cuaternarias. Sin embargo, en la Sub-cuenca de Neiva la columna litológica no está completa, por lo tanto, sobre el basamento cristalino (Macizo de Garzón, Macizo de La Plata, que se les ha asignado una edad Proterozoico, representado por rocas ígneas y metamórficas como neises, granulitas, migmatitas y granitoides) que aflora a ambos lados de la depresión, se encuentran lechos rojizos de edad Pre - Cretácea que se han correlacionado con base en sus similitudes litológicas con la Formación Girón de edad Jura - Triásica.

Suprayaciendo los lechos rojizos se en centran la secuencia Cretácea representada por las Formaciones Caballos, Gr.Villeta y Gr.Guadalupe; la Formación Seca marca la división entre el Cretáceo y el Terciario, no teniéndose clara la posición del límite se le asigna edad que oscila entre el Maestrichtiano Superior y el Paleoceno. Siguiendo con el Terciario se encuentra Formación Gualanday (con sus Miembros Inferior, Medio y Superior), la Honda; a la Formación Gigante que suprayace al Gr. Formación Honda se le ha asignado edad Plio - Pleistoceno, es decir, se ubica en el límite entre el Terciario y el Cuaternario; finalmente se encuentran depósitos sedimentarios no consolidados de edad Cuaternario representados por terrazas y abanicos aluviales, principalmente. La columna estratigráfica generalizada correspondiente al Valle Superior del Magdalena se presenta en la **Ilustración 7**

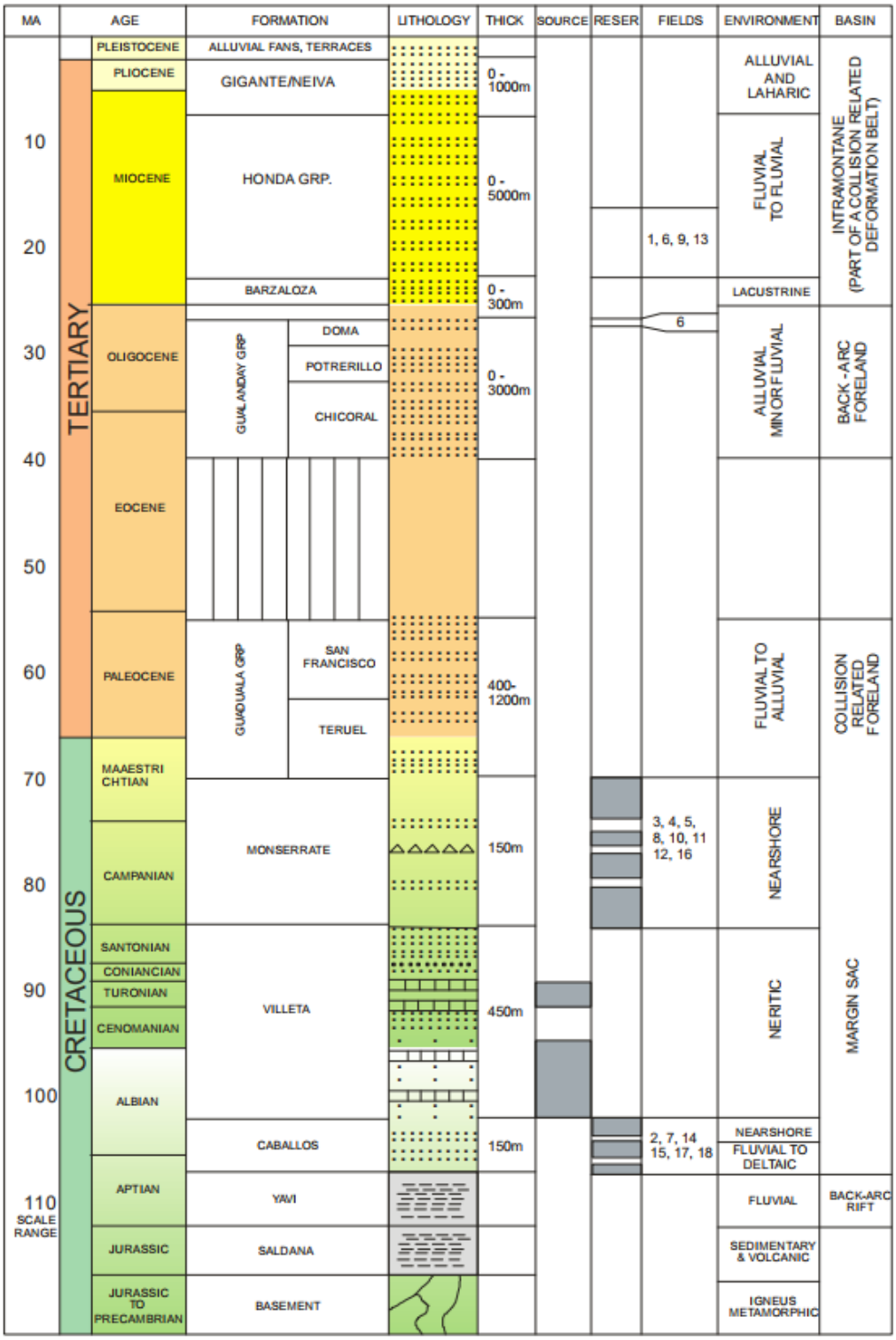


Ilustración 7 Columna Estratigráfica generalizada de la Cuenca del Valle Superior del Magdalena
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena (2016)

2.2 GEOLOGÍA LOCAL.

A continuación se describe brevemente las principales unidades geológicas, para el presente estudio. Los códigos de las unidades han sido modificados de acuerdo con las normas del Código Estratigráfico Internacional (IUGS, 2017) y con la nomenclatura estratigráfica Los colores empleados para las diferentes unidades geológicas en el Plano de Geología escala 1:100.000, se utilizaron con base el informe de Estándares Cartográficos de Mapas Geológicos (SGC, 2012).

Para la base cartográfica de geología se emplearon las diferentes memorias y planchas (que dan cobertura al Departamento del Huila escala 1:100.000 publicadas por el SGC. Es importante resaltar los problemas de nomenclatura, correlaciones y cierres de las estructuras existentes al solapar las diferentes planchas 1:100.000 de la Cuenca del Valle Superior del Magdalena, específicamente en la nomenclatura para las unidades sedimentarias del cretácico, Paleógeno y del Neógeno, donde existen múltiples nombres para una misma unidad litológica, asignados por diferentes autores en las regiones donde realizaron sus trabajos.

Con el objeto de unificar la nomenclatura se realiza la fotointerpretación de imágenes satelitales del cual se obtiene el mapa geológico escala 1:100.000 con una mejor continuidad de las estructuras y correlacionlateral de las unidades geológica.

En la **Ilustración 8** y **Tabla 5** se muestra el proceso de la metodología empleada para alcanzar el detalle del modelo geológico escala 1:100.000.

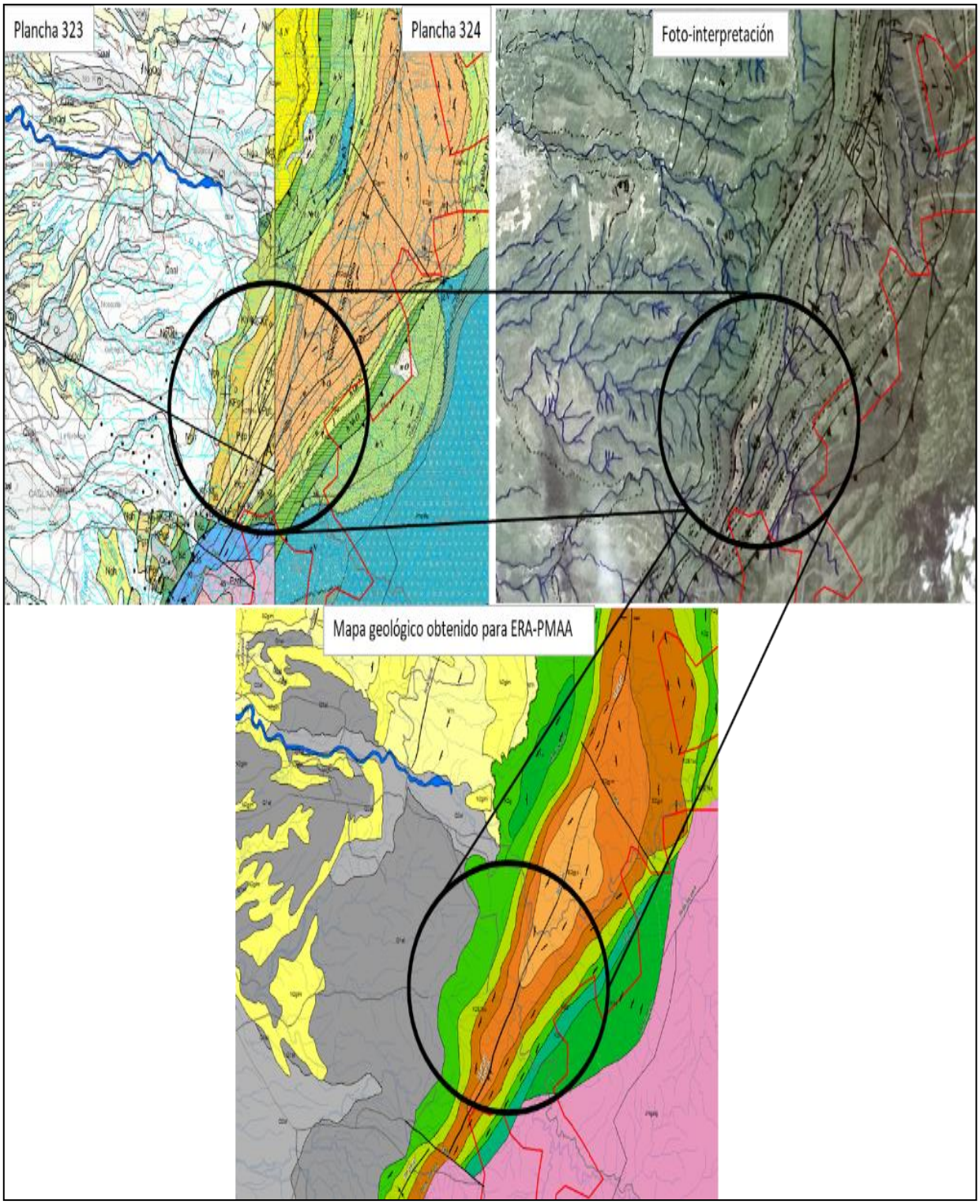


Ilustración 8 Proceso de interpretación del modelo geológico Cuenca VSM. Fuente: Consorcio PMAA Magdalena (2016)

Tabla 5 Cuadro comparativo de la nomenclatura publicada litoestratigráfica por SGC y la empleada en el presente estudio correspondiente a las unidades Cretácicas y Cenozoicas en la Cuenca del Valle Superior del Magdalena

ERA	PERIODO	ÉPOCA	PLANCHAS SGC		ESTUDIO PMAA		SIMBOLOGÍA
Cenozoico	Neógeno	Plioceno	Formación Gigante		Formación Gigante	Gigante Superior	N2gis
						Gigante Medio	N2gim
						Gigante Inferior	N2gii
		Mioceno	Formación Arcillolitas de Colombia		Formación Arcillolitas de Colombia		N1ac
			Grupo Honda		Gr. Honda		N1h
	Paleógeno	Oligoceno	Formación Doima		Grupo Gualanday	Formación Gualanday Superior	E2gys
			Formación Potrerillo				
			Grupo Chicoral	Formación Tesalia			
		Eoceno		Formación Baché		Formación Gualanday Medio	E2gym
		Paleoceno		Formación Parlermo		Formación Gualanday Inferior	E2gyi
Mesozoico	Cretáceo	Tardío	Grupo Guaduala	Formación Teruel	Formación Seca		K2E1sc
				Formación San Francisco			
			Formación La Tabla y Grupo Oliní (sin diferenciar)		Grupo Guadalupe		K2g
			Formación Hondita y Loma Gorda (sin diferenciar)		Grupo Villeta		K2v
		Temprano	Formación Caballos		Formación Caballos		K1c
			Formación Yaví		Formación Yaví		K1y

Fuente: Consorcio PMAA Magdalena (2016)

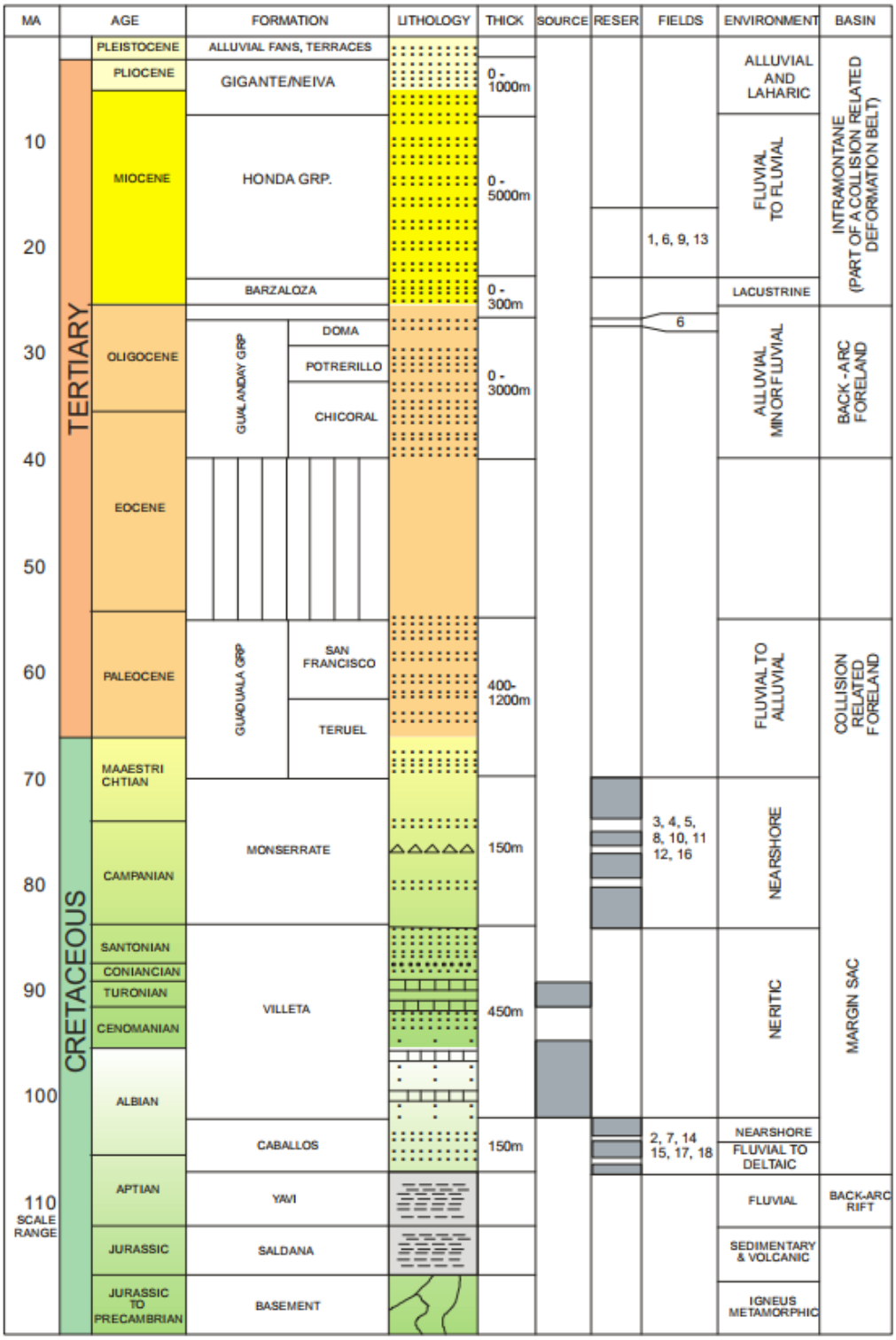


Ilustración 9 Columna Estratigráfica generalizada de la Cuenca del Valle Superior del Magdalena Fuente: (ANH, UIS, 2009)

- **Macizo de Garzón (Mp3mg):** Principalmente se encuentran rocas metamórficas de alto grado, migmatitas, granulitas y anfibolitas asociadas a un cuerpo intrusivo de composición granítica, se encuentra cortado por diques de composición ácida y venas de cuarzo. El Macizo de Garzón es intruido por granitos jurásicos, a su vez está en contacto discordante en su parte superior con sedimentos del Paleozoico.

- **Complejo Aleluya (Pєa):** Los afloramientos están principalmente constituidos por mármoles de colores blanco y gris con tonos azules, de textura granoblástica fina a media, con cristales de calcita más o menos equigranulares. El Complejo Aleluya mantiene un contacto fallado al oeste con la Formación Saldaña, al este y norte se encuentra intruido por el Batolito de Ibagué. Diversos autores coinciden en que estas rocas tienen una edad proterozoica.

- **Ortogranito de La Plata (Pєp):** Cuerpo conformado por rocas en avanzado estado de metamorfismo, presentando localmente estructuras de rocas plutónicas. La roca predominante es de composición granítica, pero localmente se encuentra granulitas y neises migmatíticos. Las rocas graníticas pasan gradualmente hacia los bordes y hacia el contacto con el Batolito de Ibagué, a rocas bandeadas con estructuras migmatíticas. Litológicamente predominan los monzogranitos moteados rosados, faneríticos de grano medio a fino y los neises migmatíticos con textura granoblástica. La edad de estas rocas se toma como precámbrica por correlación con el Macizo de Garzón (Rodríguez, 1995a). En cercanías al municipio de La Plata se encuentra cubierto por depósitos laháricos e ignimbríticos de la Formación Guacacallo.

- **Complejo Cajamarca (T1ev):** Conjunto de rocas metamórficas constituyentes del núcleo de la Cordillera Central. Afloran al este de la Falla de San Jerónimo, trata de una secuencia de rocas intensamente plegadas de espesor indeterminado. Como resultado de varios episodios metamórficos regionales, su composición varía ampliamente. A nivel regional, predomina el bajo grado de metamorfismo, principalmente facies esquisto verde. Debido a la falta de datos cronológicos y a la pobre correlación cronoestratigráfica, la unidad ha sido objeto de controversia. Maya (1992) y Maya & González (1995) sugieren que las dataciones realizadas en el Complejo Cajamarca muestran dos eventos metamórficos: uno durante el Paleozoico tardío y otro durante el Cretácico. Las rocas pre-metamórficas del Complejo Cajamarca posiblemente se depositaron durante el Paleozoico temprano y posteriormente sufrieron metamorfismo. A continuación se describen las tres principales facies que componen al complejo Cajamarca:

- **Esquistos Cuarzo – Sericíticos (Pes):** Esta unidad está compuesta principalmente por esquistos cuyo porcentaje de sericita es superior al de cuarzo, la foliación de estas rocas se encuentra definida por la presencia de mica blanca bien orientada. Este miembro presenta gradación mineralógica, pasando a cuarcitas o esquistos negros. El color gris y negro de los esquistos está dado por la presencia de cantidad variable de grafito que puede alcanzar hasta un 6%.

- **Cuarcitas (Pq):** Las cuarcitas se encuentran intercaladas con esquistos cuarzo-sericíticos indicando variación tanto en composición del protolito sedimentario, como en sus condiciones de sedimentación. Se da presencia de granate y sillimanita fibrosa, indicando un mayor grado de metamorfismo dinamo-térmico.

- **Esquistos Actinolíticos – Cloríticos (Pev):** Esquistos verdes de color variable con una foliación definida por orientación paralela a subparalela de anfíbol fibroso y clorita. Existe alternancia de estas rocas con esquistos cuarzo-sericíticos.

- **Lodolitas y Calizas Granadillo (PZlcg):** Sucesión lodolítica, de colores gris oscuro, gris claro con tonalidades verdes y negro, afectada por fuerte deformación, se encuentran metarenitas y cuarzoarenitas de grano fino y algunos niveles de caliza esparítica. Debido a la ausencia de registro paleontológico no hay certeza sobre su edad, de acuerdo con la similitud con las rocas aflorantes al sur del departamento, dicha unidad pudo haberse acumulado durante el Paleozoico temprano (Cárdenas et al. en edición). Al este el contacto con la Formación Saldaña es tectónico, limitado por la Falla Santa Rosa. Con la Cuarzomonzodiorita Sombrerillos hay contactos intrusivos.

- **Formación El Hígado (Pzh):** Su litología se divide en varios segmentos constituidos por lodolitas calcáreas, arenitas de grano fino con fósiles, limolitas grises oscuras. Esta formación descansa discordantemente sobre las rocas pertenecientes al macizo de Garzón, el contacto superior no se observa con claridad pero al parecer es fallado con la Formación Saldaña. Se establece una edad de Ordovícico medio (Llanvirniano-Llandeiliano) basado en la fauna de graptolites y trilobites (Mojica et al. 1988a y Vélez & Villarroel 1993).

- **Formación Luisa (C2Tls):** Esta formación se muestra como bancos potentes de arenitas rojizas en parte feldespáticas. El contacto inferior de esta unidad es desconocido, en la parte superior el contacto con la Formación Payandé es discordante en el departamento de Tolima (Cediel et al. 1980), en la plancha 322 Santa María existe una discordancia angular entre ambas formaciones.

- **Formación Payandé (T3py):** Secuencia de calizas micríticas de color gris oscuro de espesor desconocido. El contacto inferior con la Formación Luisa es de tipo discordante, observado en el Río Bacherito en el Municipio de Santa María. El contacto superior es concordante transicional con la Formación Saldaña, expuesto en el mismo sector. La Formación Payandé ha sido datada con fósiles de amonoideos y lamelibranquios dando como resultado una edad del Carniano-Noriano (Geyer 1973 y Mojica 1980).

- **Formación Saldaña (T2Jsal):** Formación de carácter vulcano-sedimentario compuesta por riolitas, riodacitas, ignimbritas y aglomerados volcánicos. La textura de las riolitas y riodacitas varía de porfirítica a afanítica, mientras las ignimbritas presentan una textura afanítica y alta pseudoestratificación (Burgos & Moreira, 1982). Se encuentran tobas líticas, cristalinas y vítreas de composición dacítica a andesítica, flujos de lava de composición andesítica. La secuencia sedimentaria contiene capas de areniscas tobáceas rojizas, areniscas ricas en feldespato, limolitas, calizas bioclásticas y conglomerados. La formación es suprayacida discordantemente por la Formación Caballos (INGEOMINAS, Memoria explicativa. Mapa Geológico del Departamento del Huila, 2001). Las edades radiométricas (Jaramillo et al., 1980) indican edades entre 170±2 y 183±3 Ma.

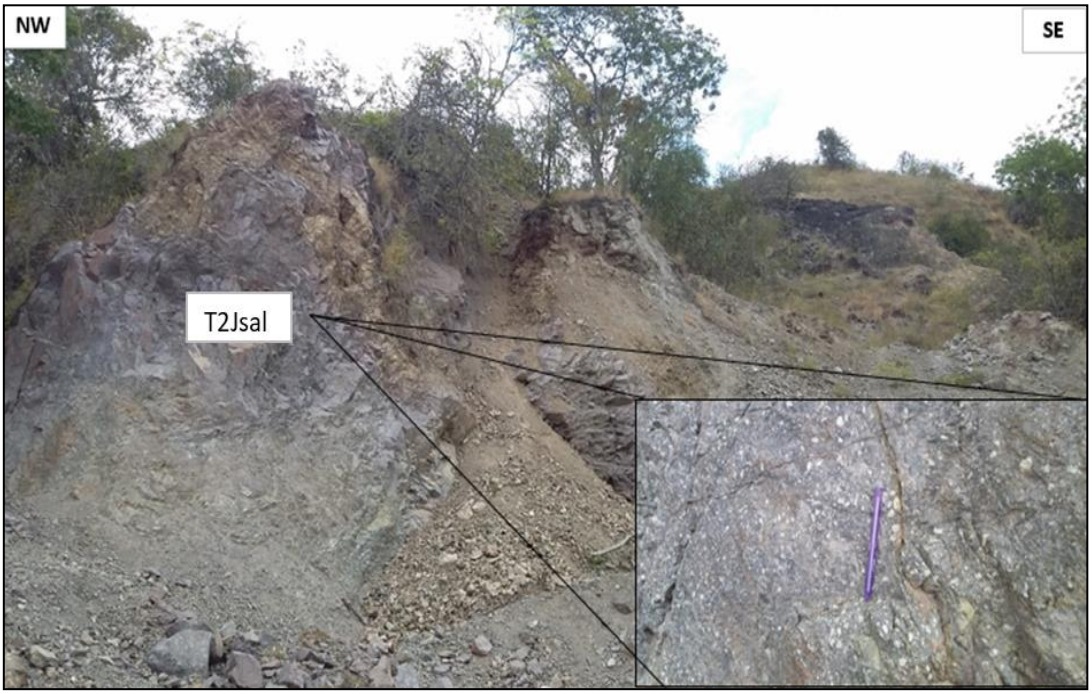


Ilustración 10 Afloramiento de la Formación Saldaña Coordenadas E: 876010; N: 854861.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

- **Monzogranito de Algeciras (Jmgalg):** Compuesto en su mayoría por rocas de textura fanerítica a porfirítica, de color gris claro a rosa. Los fenocristales predominantes son de cuarzo y plagioclasa flotando en una matriz afanítica. La granulometría varía localmente entre grano grueso y fino, también la composición, entre granitos, granodioritas, dioritas y monzogranitos, siendo esta última la predominante. La roca se presenta fracturada y saprolitizada. Existen relaciones intrusivas con la Formación Saldaña, también se observa en contacto fallado con el Complejo Garzón mediante la Falla Algeciras. Al no tener datos geocronológicos se le asigna una edad jurásica. Por su posición geotectónica se correlaciona con un intrusivo datado por Sillitoe et al. 1982 del cual se reporta una edad de 182±4 Ma.

- **Monzogranito de Altamira (Jgal):** Constituido por rocas faneríticas de grano medio, con textura equigranular, localmente inequigranular porfirítica, se observan diques andesíticos de textura afanítica que cortan el intrusivo. El contacto con la Formación Saldaña es intrusivo, mientras que en la plancha 389 Timaná mantiene un contacto tectónico con las formaciones Hondita – Loma Gorda, Seca, Baché, Doima, Potrerillo y Gigante. Datos aportados por Restrepo et al. (1997) confirman la existencia de un evento tectotermal durante el Triásico - Jurásico en la Cordillera Oriental, Departamento del Huila, que corresponde al Granito Altamira. Se le atribuye una edad similar a la del Monzogranito de Algeciras, sin descartar la posibilidad de que sean comagmáticos.

- **Cuarzomonzodiorita de Sombrerillos (Jcmdsom):** Principalmente se encuentran cuarzomonzodioritas, cuarzomonzonitas, granitos y granodioritas de textura fanerítica. Se encuentra cubierta por la Formación Guacacallo en forma discordante, muestra también un contacto tectónico con la Formación Saldaña (Cárdenas et al. 2002) en la plancha 388 Pitalito, sin embargo en la plancha 365 Coconuco intruye dicha formación. Cárdenas et al. (2002) postulan una edad jurásica con varios pulsos magmáticos.

- **Batolito de Ibagué (J3i):** Cuerpo intrusivo de composición monzogranítica dominante, atravesado en múltiples instancias por diques dioríticos, su textura varía entre fanerítica y afanítica. Se ha hecho datación radiométrica para este cuerpo, arrojando edades desde 131 ± 2 Ma (Sillitoe et al., 1982) hasta 183 ± 5 Ma (Priem et al. 1989), que corresponden con el Jurásico temprano – Jurásico tardío. Mantiene una relación fallada con Formación Gualanday, la Formación Seca, Formación Guadalupe y el Grupo Villeta a través del Sistema de Fallas de Chusma, se encuentra cubierto discordantemente por la Formación Guacacallo. En su costado occidental intruye rocas metamórficas del Ortogranito de La Plata, la Formación Saldaña y el Complejo Aleluya.

- **Monzodiorita de El Astillero (Jias):** Cuerpo ígneo intrusivo de textura fanerítica, holocristalina con tamaño de grano entre medio y fino. El contacto con la Formación Saldaña es de tipo intrusivo, a su vez es correlacionable con el Batolito de Ibagué por lo cual se propone una edad jurásica media a tardía.

- **Cuarzomonzodiorita de Teruel (Jt):** Cuerpo intrusivo de composición monzodiorítica con un porcentaje de cuarzo entre el 8 y 11%, se observa que la Formación Caballos lo suprayace discordantemente, se observa que el cuerpo intruye la Formación Saldaña, en otros sectores mantiene una relación fallada con Fm. Guadalupe y la Formación Seca. Por esto se postula una edad jurásica.

- **Formación Yaví (K1y):** Unidad conformada por una sucesión de capas de conglomerados con intercalaciones de areniscas y arcillolitas hacia la base, los conglomerados contienen principalmente guijarros de vulcanitas, rocas plutónicas ácidas y sílice. Yace discordantemente sobre las rocas del Batolito de Ibagué y la Formación Saldaña, el contacto superior con la Formación Caballos es transicional. Con ayuda de palinomorfos Vergara y Prössl (1994) le atribuyen una edad de Aptiano.

- **Formación Caballos (K1c):** En su base afloran areniscas cuarzosas porosas grises, de granulometría media a gruesa, equiglanular de redondez intermedia. Presenta una intercalación de láminas finas a muy finas de lodolitas carbonosas físiles sub-paralelas (INGEOMINAS, 1999). En la parte intermedia se encuentran areniscas cuarzosas en capas gruesas ondulosas con laminación interna, presentan intercalación con shales carbonaceos (INGEOMINAS, 1999). Según (Burgos & Moreira, 1982) la parte media posee lutitas negras con lentes de areniscas glauconíticas y areniscas fosilíferas. Hacia la parte superior se encuentran amplios bancos de areniscas de grano medio cementado, se encuentra laminación interna paralela a sub-paralela fina a gruesa, se reporta presencia de glauconita. La formación descansa discordantemente sobre la Formación Saldaña y limita en su tope de forma transicional con el Grupo Villeta, su espesor aproximado en la zona es de 80-100m (Burgos & Moreira, 1982). Se le atribuye una edad de Aptiano-Albiano (Mendivelso, 1982).

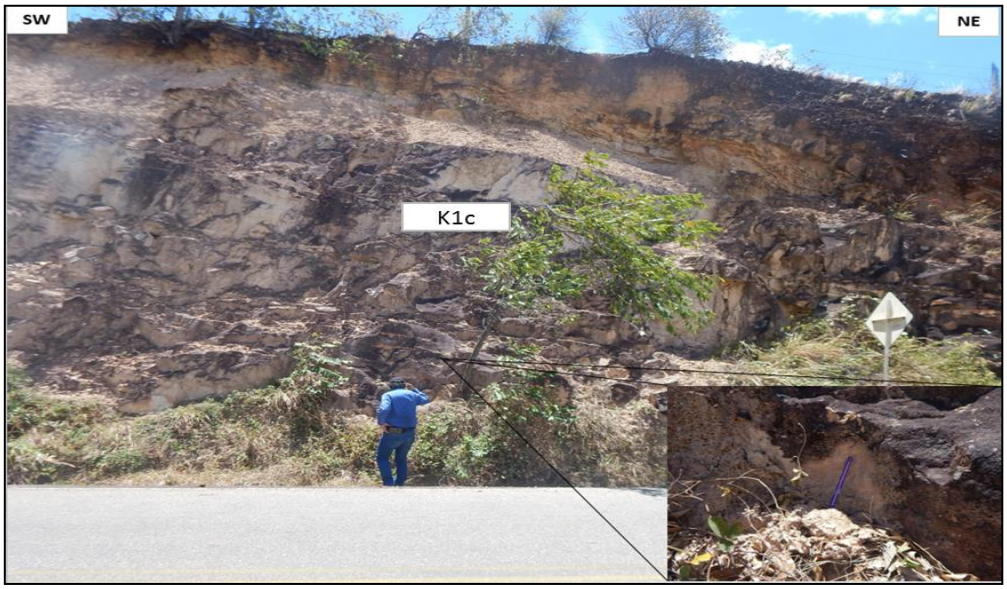


Ilustración 11 Afloramiento de la Formación Caballos (K1c)
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

- **Grupo Villeta (K2v):** Lodolitas y arcillolitas de color gris y negro, físiles, con concreciones, se presentan intercalaciones de capas de calizas y areniscas (INGEOMINAS, 1999). Lutitas negras con foraminíferos con presencia de niveles calcáreos en forma de nódulos con fósiles de pelecípodos y amonoideos, su espesor va de 400 a 500m (Burgos & Moreira, 1982). El contacto con la Formación Caballos en la base es transicional, el contacto superior con la Formación Guadalupe es concordante neto (Ferreira et al en prep.).Esta formación es correlacionable con las formaciones Hondita – Loma Gorda.

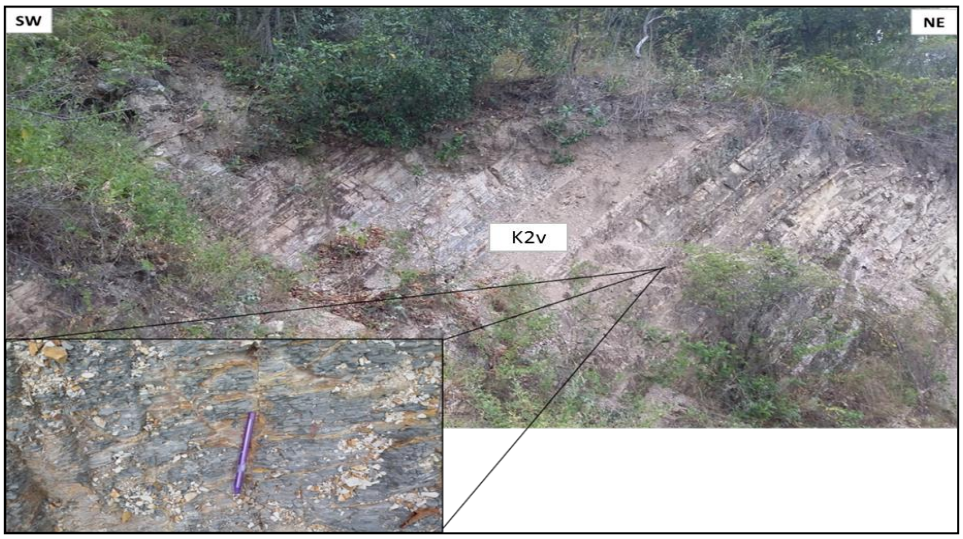


Ilustración 12 Afloramiento del Grupo Villeta (K2v) Coordenadas E: 876010; N: 854861
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

- **Grupo Guadalupe (K2g):** Predomina la presencia de areniscas cuarzosas de grano fino a medio con intercalaciones de cherts y lutitas, hay ocurrencia de fósiles, bioturbación y nódulos silicio-calcáreos. Su espesor aproximado es de 100m. Su límite inferior es transicional sobre el Grupo Villeta, su límite superior es concordante neto con la Formación Seca (Velandia et al., 1996). La parte superior al paquete de areniscas se identifica por una intercalación de areniscas arcillolitas y lodolitas, dichas areniscas presentan una granulometría media a gruesa con laminación cruzada, hacia su base se halla bioturbación (INGEOMINAS, 1999). (Esta formación es correlacionable con las formaciones Olini – La Tabla).

Ilustración 13 Afloramiento del Formación Guadalupe (K2g) Coordenadas E: 854870; N: 830463
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

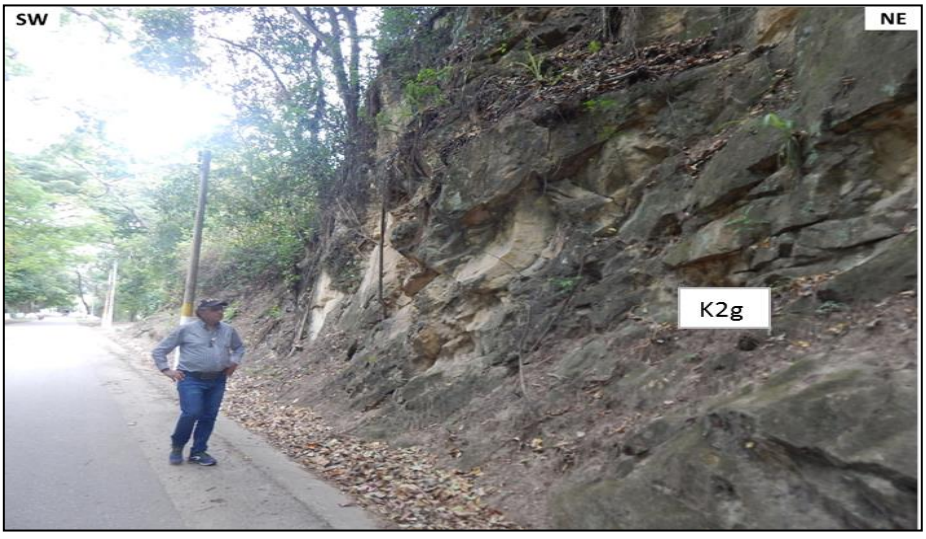


Ilustración 14 Afloramiento del Formación Guadalupe (K2g) Coordenadas E: 892250; N: 840423
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

- **Formación Seca (K2E1sc):** Constituida por una intercalación de arcillolitas varicoloreadas con capas de areniscas y conglomerados. El tamaño de grano en las areniscas es de fino a medio, equigranulares y poco angulosos, contorneados por una matriz arcillosa, presentan estratificación cruzada. De igual manera los conglomerados poseen matriz, siendo areno-lodosa con granos embebidos que llegan hasta tamaño guijo. El contacto inferior con la Formación Guadalupe (K2g) es concordante neto, mientras que en la parte superior, el límite con el Grupo Gualanday varía de transicional a discordante según el autor. Se estima un espesor entre 250 y 390m (INGEOMINAS, 1999). La Formación Seca es de edad maastrichtiana – paleocena según De Porta (en Julivert, 1968).

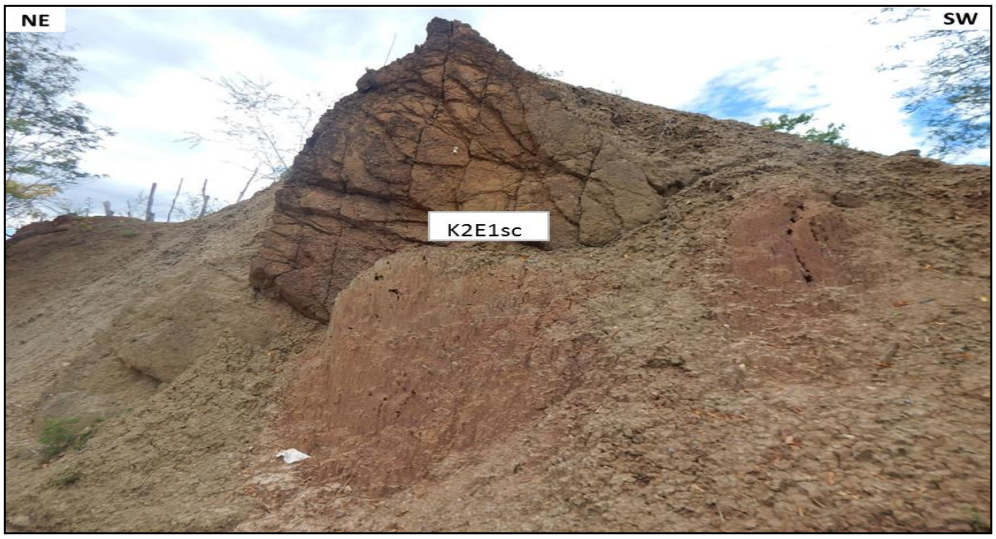


Ilustración 15 Afloramiento del Formación Seca (K2E1sc) Coordenadas E: 892650; N: 840518
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

- **Grupo Gualanday:** Originalmente Scheibe (1934), denominó esta unidad constituida por arcillolitas y areniscas grises, rojas amarillentas a blancas y conglomerados como “Pisos de Gualanday”. Posteriormente Suescún y Taborda (1949) utilizan el término Formación Gualanday y la dividen en dos miembros en la sección tipo. Royo y Goméz (1942), extienden la Formación Gualanday hasta el departamento del Huila y en base a fósiles la consideran de edad Eoceno-Oligoceno. Raasveldt (1956) hace una división en tres miembros informales, la cual ha sido frecuentemente utilizada por ser práctica en los trabajos cartográficos. Esta división corresponde a Gualanday Inferior, Gualanday Medio y Gualanday Superior. Van Hauten and Travis (1968) la suben al rango de grupo y sus divisiones al rango de formación:

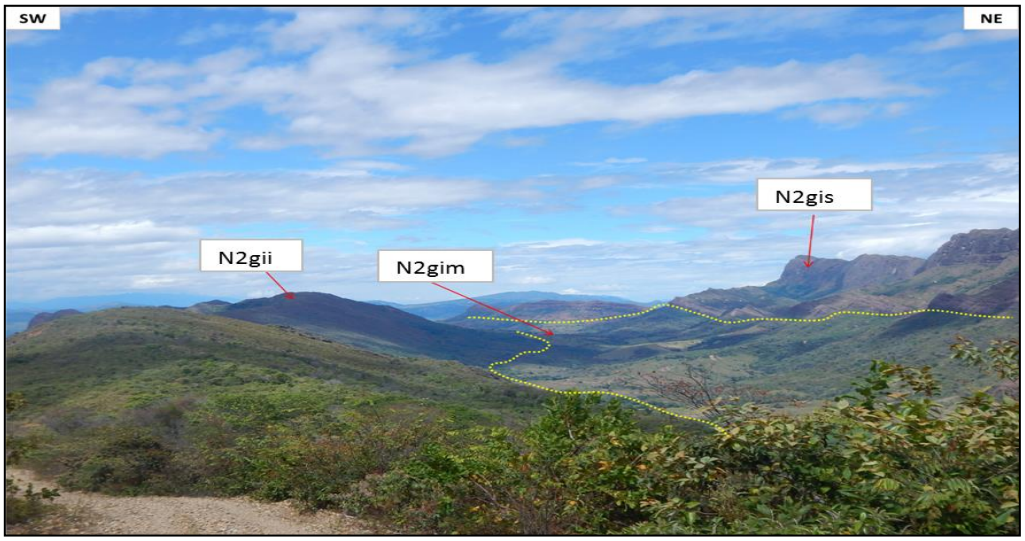


Ilustración 16 Secuencia estratigráfica de la Formación Gualanday E: 851401; N: 829983
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

- **Gualanday Inferior (E2gyi):** Se presentan conglomerados inequigranulares con variaciones en la escala de tamaño guijo. El material a su vez se encuentra rodeado por una matriz de arena gruesa a media mal seleccionada, las capas presentan estratificación cruzada. Estos conglomerados se encuentran intercalados con capas de areniscas y lodolitas grises, con buena selección y grano medio a fino.

Ilustración 17 Afloramiento de la Formación Gualanday Inferior E: 900685; N: 854969
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

- **Gualanday Medio (E2gym):** Miembro poco competente del Grupo Gualanday, caracterizado por arcillolitas y lodolitas fisibles grises y marrones intercaladas con algunas capas de areniscas y conglomerados, se presenta bioturbación en algunos niveles arenosos, posiblemente ricos en material fosfático (INGEOMINAS, 1999).

Ilustración 18 Afloramiento de la Formación Gualanday Medio E: 900685; N: 854969
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

- **Gualanday Superior (E2gys):** Se encuentran conglomerados ricos en cuarzo, intercalados con niveles competentes de areniscas conglomeráticas y lodolitas rojas. Los principales fragmentos encontrados en los conglomerados son clastos de cuarzo, chert y algunos fragmentos de rocas volcánicas (Burgos & Moreira, 1982).

Ilustración 19 Afloramiento de la Formación Gualanday Medio E: 900685; N: 854969
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

- **Grupo Honda (N1h):** Se encuentra una secuencia de areniscas y conglomerados de grano fino que presentan niveles calcáreos intercalados en forma de nódulos de tamaño variado, también se presentan intercalaciones con rocas arcillosas rojizas, tobas y areniscas tobáceas. Los clastos que componen los conglomerados son cuarzo, chert y clastos provenientes de rocas ígneas y metamórficas. En su base el contacto es transicional, mientras que en el tope es discordante con la Formación Gigante. Se establece una edad de Mioceno medio de acuerdo con mediciones isotópicas y paleomagnéticas (Hayashida, 1984).

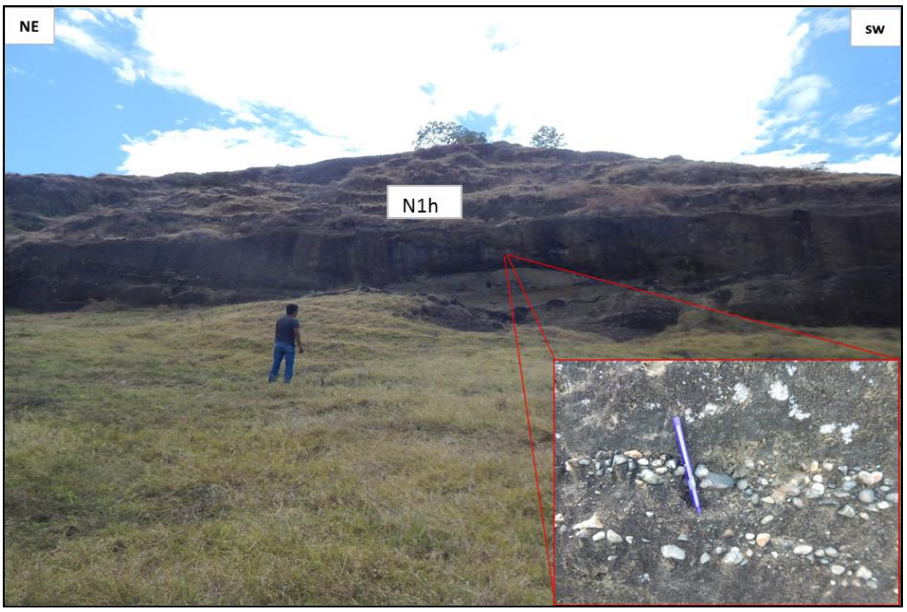


Ilustración 20 Afloramiento de la Formación Honda E: 859751; N: 827120
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

- **Arcillolitas de Colombia (N1ac):** Unidad conformada por arcillolitas verdosas y rojizas con intercalaciones de areniscas cuarzofeldespáticas de color gris verdoso, blanco y rojizo. En su parte inferior suprayacen discordantemente unas capas de lodolitas abigarradas, en el sector de Colombia es la unidad más superior de la secuencia, por lo tanto no muestra un contacto superior, a excepción de algunos depósitos cuaternarios ocasionales que se encuentran discordantes sobre esta unidad. Se le asigna una edad de Mioceno medio.

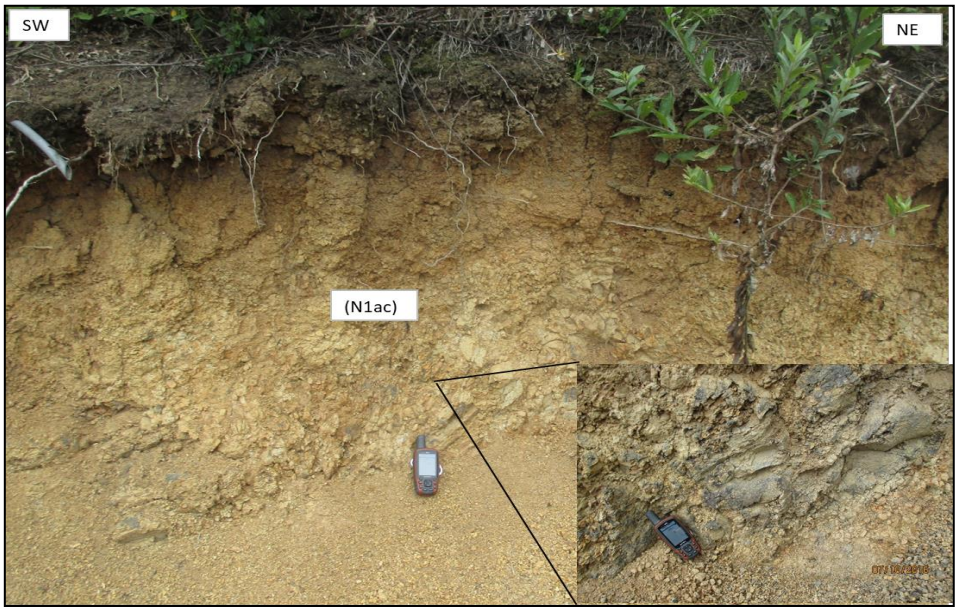


Ilustración 21 18 Afloramiento de la Formación Arcillolitas de Colombia (N1ac) E: 939429; N: 8963121
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

- **Formación Gigante (N2gi):** Howe (1969) denominó Formación Gigante, a una de las tres unidades de roca que forman el Grupo Mesa y que afloran al occidente de Honda en el departamento del Tolima. Butler (1942) describe la localidad tipo al noroeste de la ciudad de Honda como una secuencia predominantemente volcánica que reposa sobre la Formación Honda en la sub-cuenca de Honda. El Servicio Geológico Nacional (1957, 1959) correlacionó en algunos mapas geológicos las rocas de esta formación en los alrededores de la ciudad de Honda con las rocas de la sub-cuenca de Neiva.

  Van Houten and Travis (1968) dividió la formación en tres unidades informales, describiendo la parte inferior y superior conglomerática y la parte media volcanoclástica. Van Der Wiel (1991) describe la sección y localidad tipo en la quebrada Guandinosita con un espesor de 870 m, la divide de la base al techo en los miembros Nivel Inferior (N2gii), Nivel Medio (N2gim) y Nivel Superior (N2gis)**,** correspondiendo los miembros Nivel Inferior (N2gii) y Nivel Superior (N2gis) a secuencias predominantemente conglomeráticas y el Miembro Nivel Medio (N2gim) a la parte volcanoclástica. Guerrero (1993) propone formalmente el nombre de Grupo Huila para esta secuencia y lo subdivide en las formaciones Neiva y Gigante con un espesor total de 800 m para el grupo. En la carretera del Hobo a la Represa de Betania el espesor medido es aproximadamente de 1400 m.

La unidad suprayace a la Formación Honda en un posible contacto transicional en los alrededores de la Represa de Betania, donde la secuencia es muy espesa y muestra que hacia el núcleo de la cuenca de Depositación de la Formación Gigante el proceso fue continuo; mientras hacía borde de la cuenca el aporte de sedimentos fue menor y hubo erosión de la Formación Honda antes de presentarse depositación de sedimentos de la Formación Gigante. Guerrero (1993) describe el contacto inferior del Nivel Inferior (N2gii), discordante sobre el Grupo Honda, otros autores como Wellman 1970), Howe (1969) y Wiel (1991) lo consideran transicional. El contacto superior es discordante con los depósitos cuaternarios. Esta formación corresponde al Mioceno tardío (van der Wiel, 1991).

- **Nivel Inferior (N2gii):** Se presentan conglomerados de clastos parcialmente seleccionados, subredondeados, inequigranulares de chert, cuarzo y fragmentos de rocas extrusivas de la Formación Saldaña y otros intrusivos y metamórficos del Macizo de Garzón, todo esto en una matriz areno-lodosa pobremente seleccionada. Estas rocas se encuentran intercaladas con areniscas lodosas y conglomeráticas mostradas como lentes con estratificación cruzada, presentan concreciones y bioturbación, así como también con capas de arcillas varicoloreadas (INGEOMINAS, 1999).
- **Nivel Medio (N2gim):** Secuencia volcanoclástica de capas paralelas entre sí, poco consolidadas, constituidas de intercalaciones de tobas, pumitas y conglomerados polimícticos. Los niveles pumíticos y tobáceos varían su tamaño entre ceniza y lapilli, con fragmentos angulosos de pómez y vidrio. En los niveles arenosos y conglomeráticos, se observan fragmentos líticos de rocas extrusivas de composición intermedia, chert, cuarzo, rocas intrusivas y fragmentos de gneis y esquisto entre subangulosos y subredondeados.

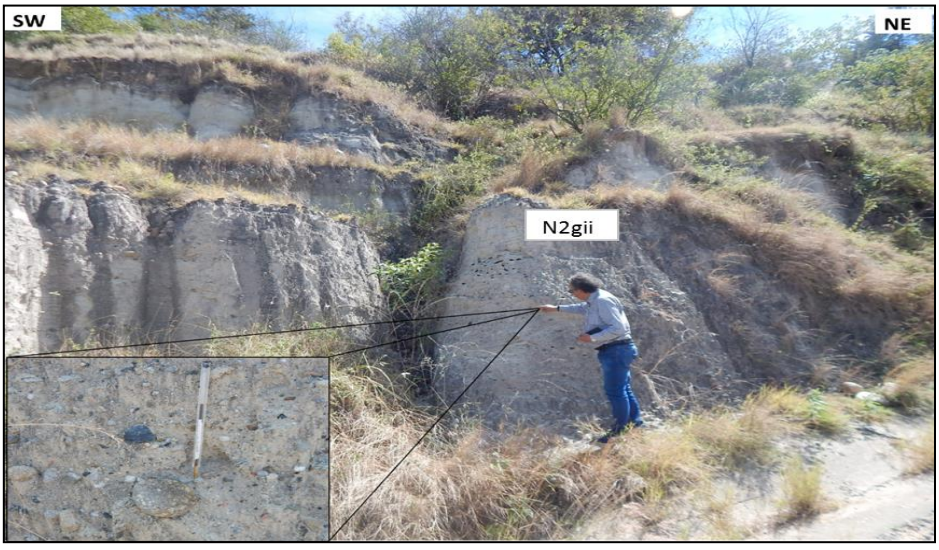


Ilustración 22 Afloramiento de la Formación Gigante medio E: 875342; N: 831641
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

- **Nivel Superior (N2gis):** Principalmente conglomerados inequigranulares, matriz soportados con clastos de granodioritas, granitos, granulitas, gneises migmatíticos, ignimbritas, pórfidos andesíticos a dacíticos, dacitas, tobas, chert y cuarzo. Se intercalan con capas de areniscas de grano fino a muy grueso y arcillolitas grises y amarillas (INGEOMINAS, 1999).

- **Formación Guacacallo (N2Q1g):** Secuencia ignimbrítica, de composición riolítica dacítica, con intercalaciones de flujos de escombros y lahares. Posee espesores superiores a los 300m. Macroscópicamente, los fragmentos de las ignimbritas son de composición andesítica, dacítica, así como de cuarzo, metamorfitas y rocas intrusivas, en matriz devitrificada, al igual que los fragmentos pumíticos. Se le asigna una posible edad del Plioceno – Pleistoceno. (van der Wiel, 1991). Los flujos piroclásticos de la Formación Guacacallo descansan en forma discordante sobre un relieve preexistente conformado por rocas paleozoicas a paleógenas en el borde suroriental de la Cordillera Central.

- **Lavas y Piroclastos (NQlp):** La unidad está conformada por depósitos piroclásticos de flujo y caída de posible composición riolítica interestratificados con derrames lávicos. Los piroclastos constan de cenizas y tobas con abundantes fragmentos de pómez de tamaño variable. Las lavas son de composición andesítica de tonalidades variables, de textura afanítica a porfirítica. Estos depósitos cubren de forma discordante otras unidades litoestratigráficas. Estos depósitos posiblemente posean un rango de edad de Mioceno hasta el reciente.

- **Formación Nevado del Huila (N2Qnh):** Formada principalmente por lavas andesíticas de uno o dos piroxenos de color gris claro a oscuro y negro, se presentan en formas columnares y masivas con textura de flujo. La edad aceptada para esta formación abarca desde el Neógeno hasta el reciente.

- **Vulcanitas básicas (Qvb):** Se encuentran flujos de lava y depósitos de caída, los flujos de lava más conocidos son los llamados Basaltos de Acevedo, siendo rocas volcánicas básicas con textura microporfirítica constituida esencialmente de olivino, piroxeno y plagioclasa, este vulcanismo podría estar relacionado a fallas profundas. Basado en criterios de campo, se estima una edad plio-pleistocena (Kroonenberg et al., 1982). Los depósitos piroclásticos son de tamaño variable entre bomba lapilli y ceniza a medida que se alejan de los centros eruptivos. Estos depósitos se encuentran sobre la Formación Guacacallo lo que indica una edad Plioceno-Pleistoceno como indica Kroonenberg, pero no se descarta la posibilidad de actividad holocénica.

- **Depósitos volcánicos (Qv):** Corresponden a depósitos de flujo de cenizas y cenizas de caída que presentan un estado avanzado de meteorización, presenta textura limo arenosa y está compuesto por micas. Su relación con otras formaciones rocosas es discordante. Se considera una posible edad Plioceno – Pleistoceno.

- **Coluviales (Q2c):** Material erodado y redepositado en la base de los taludes, caracterizados por su mala selección y clastos angulosos con cantos de granodioritas, tobas y vulcanitas recientes, se encuentran en una matriz limo-arcillosa (INGEOMINAS, 1999).

- **Lavas del Meremberg (Qvlm):** Andesitas vesiculares grises con textura fanerítica de grano muy fino. Descansan discordantemente sobre unidades más antiguas como el Batolito de Ibagué y la Formación Guacacallo.

- **Lavas Laguna del Buey (Qlb):** Andesitas porfiríticas hipocristalinas presentadas como una planicie levantada tectónicamente sobre la cual se construyó la estructura de la Laguna del Buey.

- **Depósitos de Lahares (Q2lh):** Conglomerados con grandes bloques de rocas volcánicas, en una matriz areno-tobácea soldada, tiene un espesor de 40 a 50m compuesto de materiales de origen volcánico como flujos tipo lahar y cenizas (Burgos & Moreira, 1982).

- **Depósitos de terraza alta (Q1al):** Depósitos de topografía plana, parcialmente consolidados con intercalaciones de gravas polimícticas, arenas y limos. Los clastos tienen buena redondez y están compuestos principalmente por migmatitas, granitos, andesitas, cuarzo y chert emplazados en una matriz de arena gruesa angulosa.

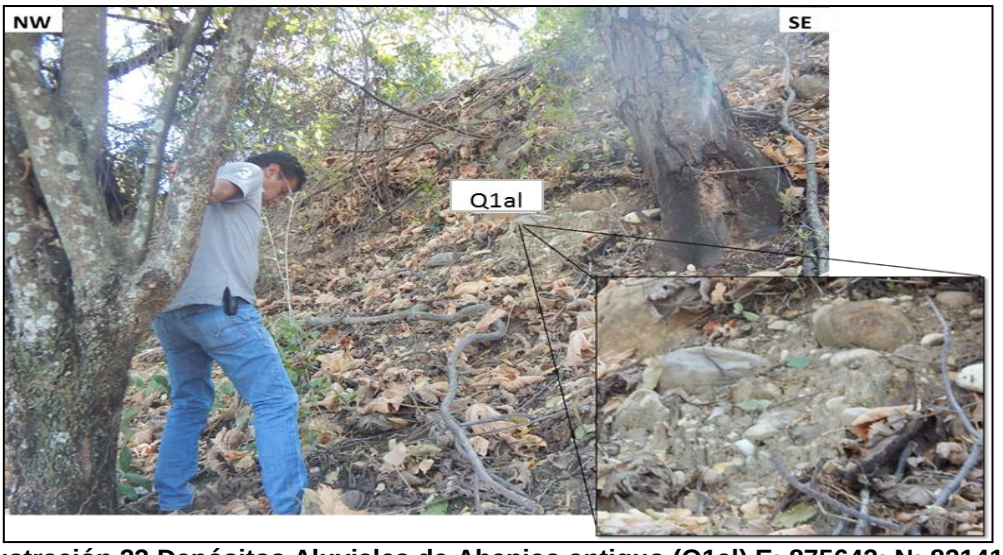


Ilustración 23 Depósitos Aluviales de Abanico antiguo (Q1al) E: 875643; N: 831412
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

- **Depósitos de terraza baja (Q2al):** Depósitos fluvio-volcánicos de bajo espesor (5-6m), no consolidados de gravas subredondeadas compuestas por fragmentos de cuarzo, chert, granitos, migmatitas y gneises biotíticos embebidos en una matriz arenosa, pobremente seleccionada.

- **Terrazas Pumíticas (Q2tp):** Depósitos volcaniclásticos de gravas y arenas pumíticas con niveles clastosoportados y estratificación cruzada. Depósitos originados por flujos de lodo y escombros, su edad puede ser definida como cuaternaria. Van Houten (1976) reporta una edad de Pleistoceno tardío.

- **Depósitos fluviolacustres (Q1fl):** Compuesto por materiales que evidencian sucesivos episodios de flujos de escombros acumulados en un área cerrada. Se estima una posible edad del Pleistoceno hasta el Holoceno.

- **Depósitos fluvioglaciares (Qfg):** Depósitos que rellenan áreas relativamente cerradas o cuencas intramontaña evidenciando la ocurrencia sucesiva de flujos de escombros.

- **Depósitos lacustres (Qlc):** Formados en cráteres o antiguas calderas de erupción o en depresiones topográficas ocasionadas por procesos erosionales y corresponden a depósitos finogranulares con alto contenido de materia orgánica.

- **Depósitos aluviales recientes (Qalr):** Depósitos recientes no consolidados de origen fluvial, ubicados en la llanura de inundación de ríos y quebradas, unidades de bajo espesor compuestas por arena, limo y grava.

Ilustración 24 Depósitos Aluviales recientes E: 890189; N: 840843
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.

2.3.1 FALLAS Y PLIEGUES

- **Falla La Plata – Chusma:** Trazo más destacado del sistema de Fallas de Chusma, relacionado al salto topográfico que define el inicio de la cordillera central. Desde el sur de La Plata hacia el norte pone en contacto rocas plutónicas, volcánicas y metamórficas con las unidades del Valle Superior del Magdalena, como secuencias sedimentarias paleógenas, cretácicas, vulcanitas de la Formación Saldaña y depósitos cuaternarios. Hacia el sur de La Plata no hay tal diferenciación, y afectan sólo las unidades de rocas plutónicas y volcánicas, y pueden incluso tener efecto sobre las ignimbritas neógenas de la Formación Guacacallo, pero por falta de estudios detallados, se asume por ahora como solapada bajo estos depósitos.

  Esta falla delimita un cinturón de cabalgamiento con estilo estructural de cobertura gruesa, con dirección de transporte tectónico al SE e inclinación general del plano de falla al NW. Por la configuración sinuosa de la línea de falla y la presencia de algunos afloramientos paleógenos “aislados” directamente relacionados con su trazo, se infiere un ángulo relativamente bajo de inclinación del plano de falla y, además, la posibilidad de encontrar bajo las rocas cristalinas, unidades sedimentarias del Valle Superior del Magdalena (subthrust).

  Un estudio detallado de esta falla puede determinar la posibilidad de actividad reciente, al analizar aspectos como los cambios fuertes de pendiente, lineamientos, control de drenajes, reptación y deslizamientos en depósitos cuaternarios asociados como los de La Plata, Itaibe, Pacarní y otros.

- **Falla Corozal:** Corresponde a un retrocabalgamiento del Sistema de Fallas de Chusma, con vergencia al noroccidente e inclinación al suroriente, orientada en sentido N30ºE, con un trazo más o menos recto, que indica fuerte inclinación del plano de falla. Aunque localmente (Ferreira et al., en prep.) se muestre como una falla con plano inclinado al noroccidente, una visión regional del trazo de aproximadamente 50 km de extensión permite establecer la vergencia al noroccidente, que hace cabalgar en un sector a las metamorfitas precámbricas del Complejo Aleluya sobre la Formación Saldaña del Jurásico.

- **Falla El Fraile – La Pava:** La Falla El Fraile-La Pava tiene un trazo destacado hacia el suroccidente, al sur del río Páez, pero sólo en el macizo conformado por el Ortogranito de La Plata y al igual que las anteriores se pierde bajo las ignimbritas de la Formación Guacacallo. De todos modos esta falla tiene características especiales que la hacen importante para su estudio detallado, ya que presenta rasgos neotectónicos asociados. Además, de la fuerte milonitización, ICEL (1983) reporta que "disloca y pliega una pequeña terraza del río Páez cerca al sitio denominado Frayle". Además, se observa que controla depósitos cuaternarios a lo largo de su trazo como en Jerusalem, entre Gaitania y Santa María (Plancha 322) donde esta acumulación cuaternaria se puede explicar cómo depositada en una cuenca de tracción (pull apart basin) relacionada con movimiento de rumbo de la falla.

  La expresión de la Falla El Fraile-La Pava, al igual que la de Corozal y Macama, en el noroccidente del Departamento del Huila, permite interpretarlas como trazos correspondientes a retrocabalgamientos relacionados con la falla principal de La Plata-Chusma que define este estilo tectónico de cabalgamiento en el borde oriental de la Cordillera Central. Estas fallas de backthrust presentan ángulos más altos de inclinación, de ahí su expresión más rectilínea en superficie, en relación con la Falla La Plata-Chusma. La vergencia de la Falla El Fraile-La Pava es también hacia el noroccidente con plano de falla inclinado al suroriente.

- **Falla Macama:** Con una orientación del trazo de falla de aproximadamente N30ºE, la Falla Macama se originaría en el Macizo Colombiano, cruza el río Páez en el Departamento del Cauca para terminar unida a la Falla El Fraile-La Pava, al norte de Santa María (Gómez et al., en prep. a) cerca al límite de los departamentos de Huila y Tolima. Se trata de otro retrocabalgamiento con alta inclinación del plano de falla hacia el suroriente, que con vergencia al noroccidente pone en contacto localmente sedimentitas de la Formación Luisa (Triásico) con rocas intrusivas del Jurásico. Junto con la Falla El Fraile-La Pava al oriente, delimitan, por retrocabalgamientos, un bloque donde se logró conservar la secuencia triásico-jurásica de las formaciones Luisa, Payandé y Saldaña e incluso parte del Cretácico con la Formación Caballos.

  Según Marquínez et al. (2001b), en la zona de -Tesalia, la Falla Macama presenta importante actividad neotectónica, observada en la intersección de su trazo con el río Páez donde se encuentran terrazas pumíticas basculadas.

- **Falla Avirama:** La Falla Avirama tiene trazo rectilíneo orientado aproximadamente N30ºE, aunque en el Departamento del Huila se cartografía sólo por 10 km hacia N20ºE. Según ICEL (1983) se trata de una falla de tipo normal, sin evidencia de movimientos recientes; sin embargo, Gómez et al. (en prep. a y b) advierten que en la zona de la Plancha 322 Santa María, al suroriente de Gaitania, se presentan trazos que por su disposición podrían indicar que se trata de una falla de rumbo.

- **Falla El Agrado – Betania:** Esta estructura geológica se constituye en una de las más destacadas en la geología del Departamento del Huila, después de las fallas que conforman los límites de las cordilleras con el valle del río Magdalena. Su nombre es un intento para aclarar la nomenclatura de los rasgos que se han conocido como “Fallas del Magdalena” y que Diederix & Gómez (1991), entre otros autores, han cartografiado asociados al recorrido del río Magdalena al bajar del Macizo Colombiano y a lo largo del piedemonte oriental de la Serranía de Las Minas.

  La Falla El Agrado-Betania tiene vergencia o transporte tectónico al suroriente con inclinación del plano hacia el noroccidente; conforma un cinturón de cabalgamiento de escamación gruesa, que asociado en profundidad con el Sistema de Fallas de Chusma dio lugar al levantamiento de la Serranía de Las Minas. Pone en contacto principalmente rocas antiguas del Precámbrico, Paleozoico y Jurásico con las rocas sedimentarias del Cretácico, Paleógeno y Neógeno del Valle Superior del Magdalena.

  Las cuñas de rocas cretácicas y paleógenas que se encuentran asociadas al trazo principal de la falla y su trazado en superficie, sugieren la posibilidad de encontrar estructuras tipo subthrust debajo del basamento precretácico del borde oriental de la Serranía de Las Minas.

- **Falla Itaibe:** Toma su nombre de la población ubicada en el Departamento del Cauca, cerca al límite departamental (Diederix & Gómez, 1991) donde se vuelve a unir a la Falla La Plata-Chusma después de desprenderse de la misma en el sur en la Plancha 366 Garzón, y conforma el valle del río La Plata donde se presentan acumulaciones de abanicos del Cuaternario. Se trata del límite occidental de la Serranía de Las Minas y el retrocabalgamiento más occidental relacionado con la Falla El Agrado-Betania que es el borde oriental de la serranía. La Falla Itaibe presenta otras fallas menores o satélites asociadas a su trazo que dan lugar a un fuerte fracturamiento de las rocas del Cretácico en este costado de la Serranía de Las Minas.

- **Falla Las Minas – San Andrés:** Corresponde a un retrocabalgamiento con vergencia al noroccidente asociado a la Falla El Agrado-Betania; cruza por la parte más alta de la Serranía de Las Minas y termina cerca de la población de Paicol en el valle del río Páez, donde la falla es cortada por otro cabalgamiento asociado al Sistema de Chusma, llamado Falla Pacarní. Un segmento se desprende por el recorrido de la quebrada Las Minas al acercarse a su desembocadura en la quebrada La Yaguilga, y se une a la Falla El Pital.

- **Falla El Pital:** Es el retrocabalgamiento más oriental asociado a la Falla El Agrado-Betania, el cual pone en contacto rocas precámbricas y paleozoicas con la de El Pital y El Agrado donde se une al trazo principal de El Agrado-Betania por la quebrada La Yaguilga. Hacia el sur también se conecta con la falla de cabalgamiento cerca de la población de Saladoblanco.

- **Falla Pacamí:** Es una falla de ángulo bajo, con vergencia al suroriente, relacionada con el Sistema de Chusma. Cabalga rocas del Jurásico y Cretácico sobre unidades paleógenas y cretácicas, y conforma una cuña desde el sur del río Páez hasta el norte de la población de Íquira.

- **Falla de Algeciras:** Falla que enfrenta rocas precámbricas y jurásicas con sedimentarias del Neógeno, falla de rumbo con movimiento dextral y actividad reciente. Hacia el nororiente de la localidad de Gigante hace cabalgar rocas precámbricas sobre intrusivos jurásicos (INGEOMINAS, Memoria explicativa. Mapa Geológico del Departamento del Huila, 2001).

- **Falla de Baraya:** Falla de cabalgamiento cuyo plano buza hacia el oriente, posee un rumbo de N25 a 35E poniendo en contacto los equivalentes del Grupo Villeta y la Formación Guadalupe con las rocas del Grupo Honda. Esta falla limita la cuenca de depositación del Grupo Honda y la Formación Gigante (INGEOMINAS, Memoria explicativa. Mapa Geológico del Departamento del Huila, 2001).

- **Sinclinal de San Antonio:** Sinclinal asimétrico de eje fallado, con dirección N40-45E, el flanco sur está tumbado, buzando hacia el oriente. Las capas se normalizan a partir de una falla en sentido E-W y empiezan a buzar al occidente.

  En el núcleo del sinclinal, afloran rocas cenozoicas equivalentes al Grupo Gualanday, en el flanco occidental afloran los equivalentes del Grupo Villeta y la formación Guadalupe. En la parte oriental se encuentran las rocas de la Formación Caballos descansando de forma discordante sobre el Granitoide de Algeciras y la Formación Saldaña. Al costado nor-oriental se produce la repetición de unidades gracias a la falla El Bramal, mientras que la falla de Baraya limita su costado sur-occidental (INGEOMINAS, 1999).

- **Sinclinal de Tesalia:** En su flanco E afloran las Formaciones Guaduala, Palermo y Bache, equivalentes al Cretácico superior hasta el Paleógeno, en el área dominan los buzamientos bajos a moderados, hacia el W-SW con ángulos no superiores a los 40°. La formación Potrerillo aflora en ambos flancos del sinclinal. Se reporta la presencia de la Formación Doima en el centro del sinclinal, así como también estratos deformados del Grupo Honda (Jiménez, 2008).

- **Anticlinal de La Hocha:** Se localiza entre las fallas La Hocha y El Agrado-Betania. Al sur es estrecho y se amplía en dirección norte, su núcleo presenta la discordancia entre la Formación Caballos y la Formación Saldaña, hacia su flanco oriental se observa la sucesión cretácica (INGEOMINAS, Memoria explicativa. Mapa Geológico del Departamento del Huila, 2001).

- **Anticlinal La Cañada:** Junto con el Anticlinal El Agrado se ubican en un bloque de rocas paleógenas a neógenas. Se encuentra limitado por las fallas El Agrado-Betania al noroccidente y Gigante al suroriente. Posee cabeceo dirección SW (INGEOMINAS, Memoria explicativa. Mapa Geológico del Departamento del Huila, 2001).

- **Sinclinal La Media Luna:** Localizado al norte de la localidad de Aipe y limitado por la Falla de Chusma al sur. En su núcleo, presenta arcillolitas pertenecientes a la Formación Seca (Guaduas). En sus flancos se puede encontrar la sucesión cretácica que reposa discordantemente sobre la Formación Saldaña (INGEOMINAS, Memoria explicativa. Mapa Geológico del Departamento del Huila, 2001).

- **Anticlinal San Francisco:** Estructura estrecha y asimétrica, limitada por la falla de Baché al oriente y la falla de San Francisco al occidente, afecta a las rocas del Cretácico, incluso la Formación Seca que aparece en su costado occidental (INGEOMINAS, Memoria explicativa. Mapa Geológico del Departamento del Huila, 2001).

2.4 MODELO GEOLÓGICO SECTOR CENTRO, NOROCCIDENTAL Y NORORIENTAL DE LA CUENCA DEL VALLE SUPERIOR DEL RÍO MAGDALENA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA.

Teniendo en cuenta las características geográficas, litológicas y estructurales, desde el punto de vista hidrogeológico el área de estudio se localiza en la Provincia Hidrogeológica del Valle Superior del Magdalena (VSM), la cual se puede diferenciar claramente cuatro zonas de interés hidrogeológico diferente: zona norte, zona centro, zona occidente y zona sur.

En la **Ilustración 25** se presenta el mapa geológico obtenido a escala 1:100.000 para el Departamento del Huila (**Ver Anexo B-2 Geología ERA mapas del GE393-ERA-PSIG-GE-001-00 al GE393-ERA-PSIG-GE-025-00)**

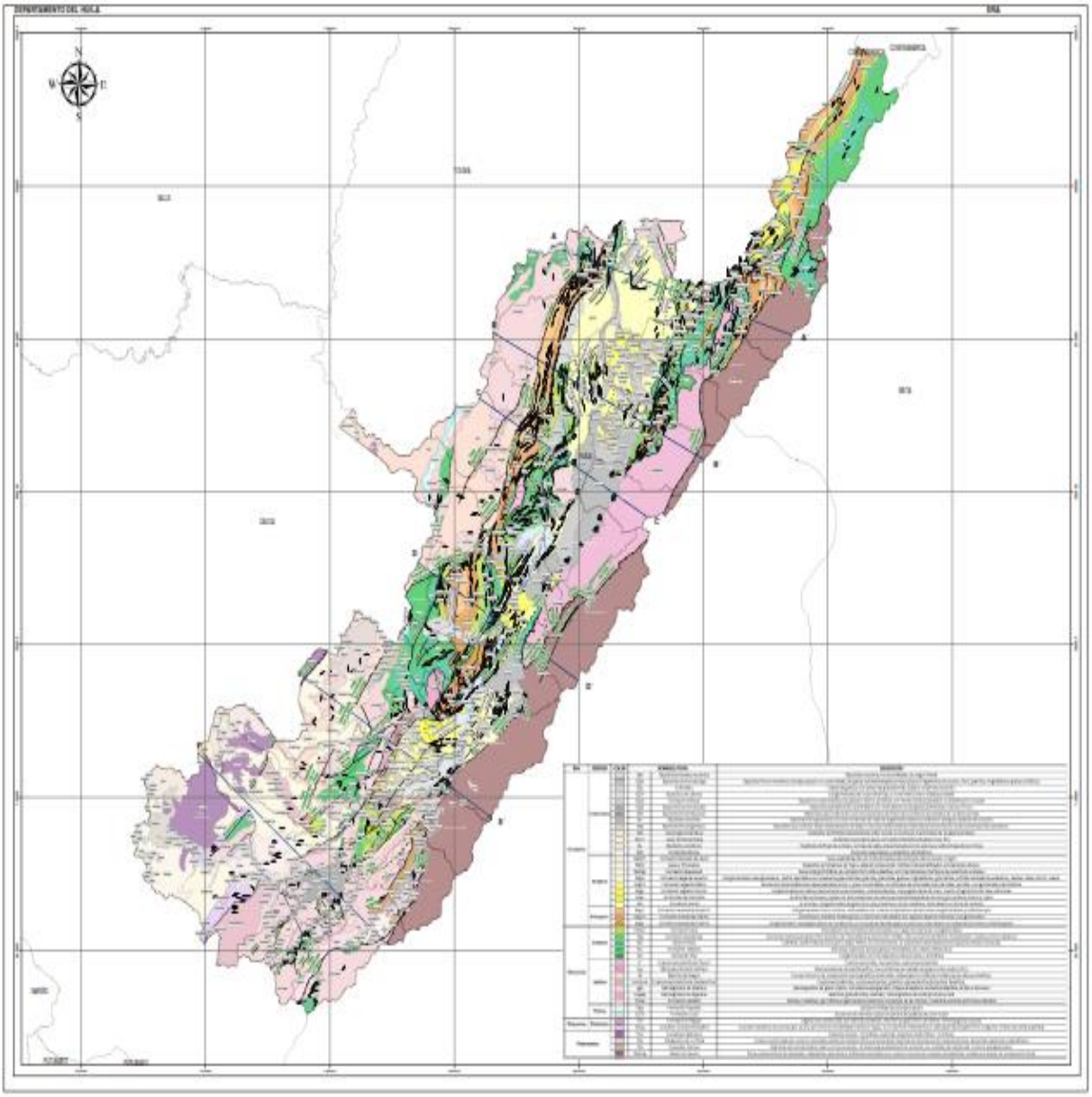


Ilustración 25 Mapa Geológico Departamento del Huila. Escala 1:100.000.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

Los Coretes geológicos A-A´, B-B´, C-C´, D-D´, E-E´, F-F´ y G-G´ y las representaciones del modelo 3D son secciones transversales perpendiculares a las estructuras geológicas en dirección NW- SE, como se muestran a continuación. (**Ver Anexo B-2 Geología ERA GE393-ERA-PSIG-GE-001-00 y Anexo B-3 Perfiles Geológicos ERA GE393-ERA-PSIG-PG-001-00)**

2.4.1 CORTE GEOLÓGICO A- A´

En la **Ilustración 26** se exhiben a manera de perfil geológico en direción NO - SE, las estructuras presentes al norte del área de estudio, como los sinclinales de Media Luna, Cabañas y Tivoli y sistema de Fallas de Chusmas, la Falla de Andalucia y la Falla de Baraya entre otras menores, así como su relación estratigráfica, descritas de forma detallada a continuación:

- Entre las progresivas K0+000 hasta la progresiva K1+500 aproximadamente, se presentan aflorante rocas de la Formaciòn Saldaña (T2Jsal).

- K1+500 hasta K6+000 se disponen plegadas formando la estructura de sinclinal las Formaciones de la secuencia cretácicas de la Formación Yavi (K1y), Caballos(K1c), Grupo Villeta (K2v) las cuales se encuentran suprayaciente las rocas de la Formación Saldaña.

- Desde el K6+000 hasta K9+000 se encuentran aflorando rocas de la Formación Saldaña (T2Jsal).

- Seguidamente desde el K9+000 hasta K13+500 se observa el pliegue de la secuencia Cetácica de la Formación Caballos (K1c), Grupo Villeta (K2v), y Grupo Guadalupe (K2g) formando el Sinclial de Media Luna, esta secuencia se encuentra suprayaciendo a las rocas de la Formación Saldaña (T2Jsal), las cuales en el K13+500 a K13+000 afloran nuevamente.

- En la progresiva K13+500 se presenta en contacto fallado (Falla de Chusmas) entre Formación Saldaña (T2Jsal) que afecta la secuencia de rocas cretácicas de las rocas del Grupo Villeta (K2v) ,Grupo Guadalupe (K2g), y Formación de la Formación Seca (K2E1sc), hasta la formación paleógena Gualanday medio e inferior (E2gym, E2gyi), plegandose desde la progresiva K13+500 hasta K20+000 aproximadamente formando el sinclinal de Cabañas.

- Ente K20+000 y K21+750, se muestra el depósito aluvial cuaternario asociado al río Magdalena, que suprayace por su flanco Occidental la Formación Caballos (K1c) y por el flanco Oriental la Grupo Honda (N1h).

- Desde la progresiva K21+750 y hasta K38+500 aproximadamente, la sección en muy muy homogénea, exhibiendo desde el Grupo Guadalupe (K2g) y hasta la Formación Honda en contacto neto. Entre las prograsivas K27+000 y K27+500 se puede ver una falla inversa que afecta la secuencia en este sector y que en superficie se encuentra cubierta por un Depósito Cuaternario. Cabe resaltar que al

Occidente, en esta región, la secuencia anteriormente descrita, descansa discordantemente sobre la Formación Saldaña.

- En aproximadamente K38+500 se observa la Falla Andalucia de tipo inverso, que afecta la secuencia y levanta la Formación Saldaña.

- El sinclinal de Tivoli se identifica en este corte entre las progresivas K42+000 y K51+750 aproximadamente, donde desde es limitado por la Falla de Baraya que finalmente ocaciona el levantamiento y plegamiento de la secuencia.

- K57+000 hast K59+000 afloran rocas del la Formación Mozogranito de algecira (Jmgalg).

- Desde la progresiva K59+000 hasta K62+000 se presentan aflorando las rocas de la Formación Saldaña (T2Jsal), la cual en la progresiva K62+000 se presenta en contacto discordante con las rocas de secuencia cretácea de la Formación Caballos (K1c) que aflora hasta la K62+500 en donde se presenta en contacto concordante con las rocas del Grupo Villeta (K2v), la cual se encuentra fallada en la progresiva K65+000, donde se pone en contacto con las rocas del Grupo Guadalupe (K2g), las cuales afloran hasta la K66+000, donde se presenta el contacto neto con la Formación Seca (K2E1sc) estas no afloran en superficie ya que están cubiertas por Depósitos Aluviales Q2al.

- Seguidamente en el K66+000 aflora la secuencia del paleógeno de la Formación Gualanday desde el miembro inferido, medio y superior respectivamente. Finalmente la secuencia Paleógena se presenta fallada donde se pone en contacto con las rocas del Macizo de Garzón (Mp3mg) hasta el K80+404,19.

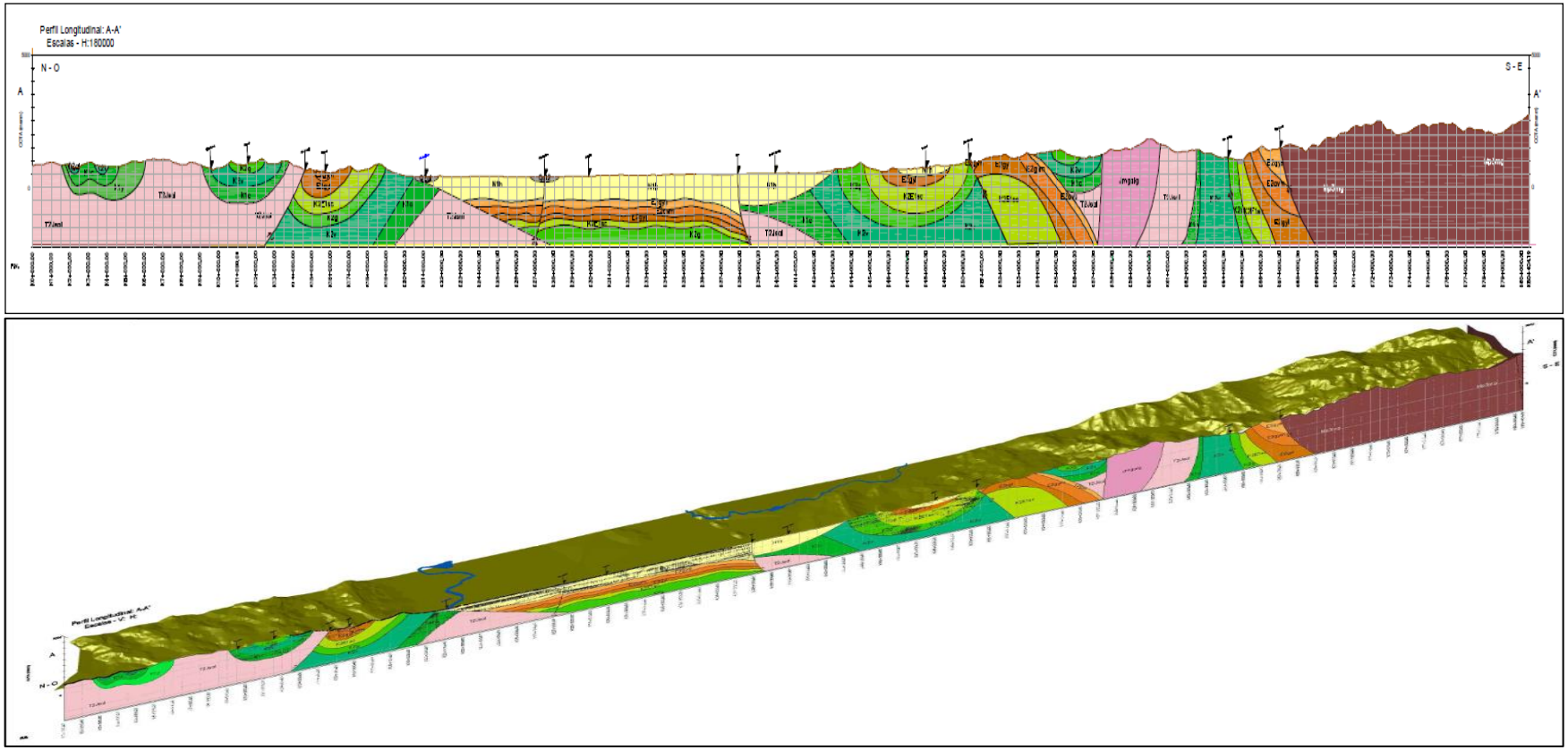


Ilustración 26 Corte Geológico A-A´ y Modelo 3D sector Centro Noroccidental y Nororiental Cuenca VSM Escala 1:100.000
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.2 CORTE GEOLÓGICO B- B´.

En la **Ilustración 27** se muestra el corte en dirección NO-SE, donde se puede ver la relación estratigráfica y espacial de las estructuras y secuencias presentes en esta zona, las cuales se describen a continuación de forma detallada:

- Entre las progresivas K0+000 y K20+000 se observa aflorando las rocas de la Formación Saldaña (T2Jsal), en la progresiva K23+000 se encuentra en contacto discordante con el Batolito de Ibage (J3i) el cual aflora hasta la K23+000 hasta K24+000, el cual se encuentra fallado en entra en contacto con la secuencia cretácica.
- En la progresiva K24+000 hasta K30+000 afloran las rocas de la Formación Gualanday y sus miembros Gualanday superior, medio e inferior, la secuenca se encuentra plegada formado el flanco occidental del Anticinal de San Francisco.

- K30+000 hasta K37+000 aproximadamente, se observa el plegamiento formando el anticlinal de San Fransisco el cual tiene como núcleo rocas de la Formación Caballos (K1c) y rocas del Grupo Villeta (K2v) y en los flancos rocas del Grupo Guadalupe (K2g) esta estructura es de gran importancia en la industria petrolera, ya que se han desarrollados importantes campo petroleros en donde se han practicado tecnicas de recuperación segundaria por inyeccion de agua en los cuales se han realizado estudios de modelos de flujos los cuales son datos reservados por las empresas petroleras.

- A partir de la progresiva K37+000 a la progresiva K39+000, se obseva que la secuencia de la formación Seca hasta la formación Gualanday superior, la cual es suprayacida por el Gr.Honda sido afectada por procesos compresivos plegamientos formando anticlinales como por ejemplo el anticlinal de Dinal y Anticlinal de Palogrande. Entre K36+000 y K37+000 se puede observar el Depósito Aluvial del Río Bache y de la progresiva K47+000 a K48+000 los Depósitos Aluviales del Río Magdalena. Las formaciones Gigante inferior y Gigante medio afloran en esta sección entre K26+000 y K35+500.

- El flanco Oriental de la cuenca, corresponde al sinclinal de Antonio el cual, a su vez se ecuentra afectado por una serie de fallas inversas, una de ellas, la más Oriental, lo pone en contacto con el basamento Precámbrico.

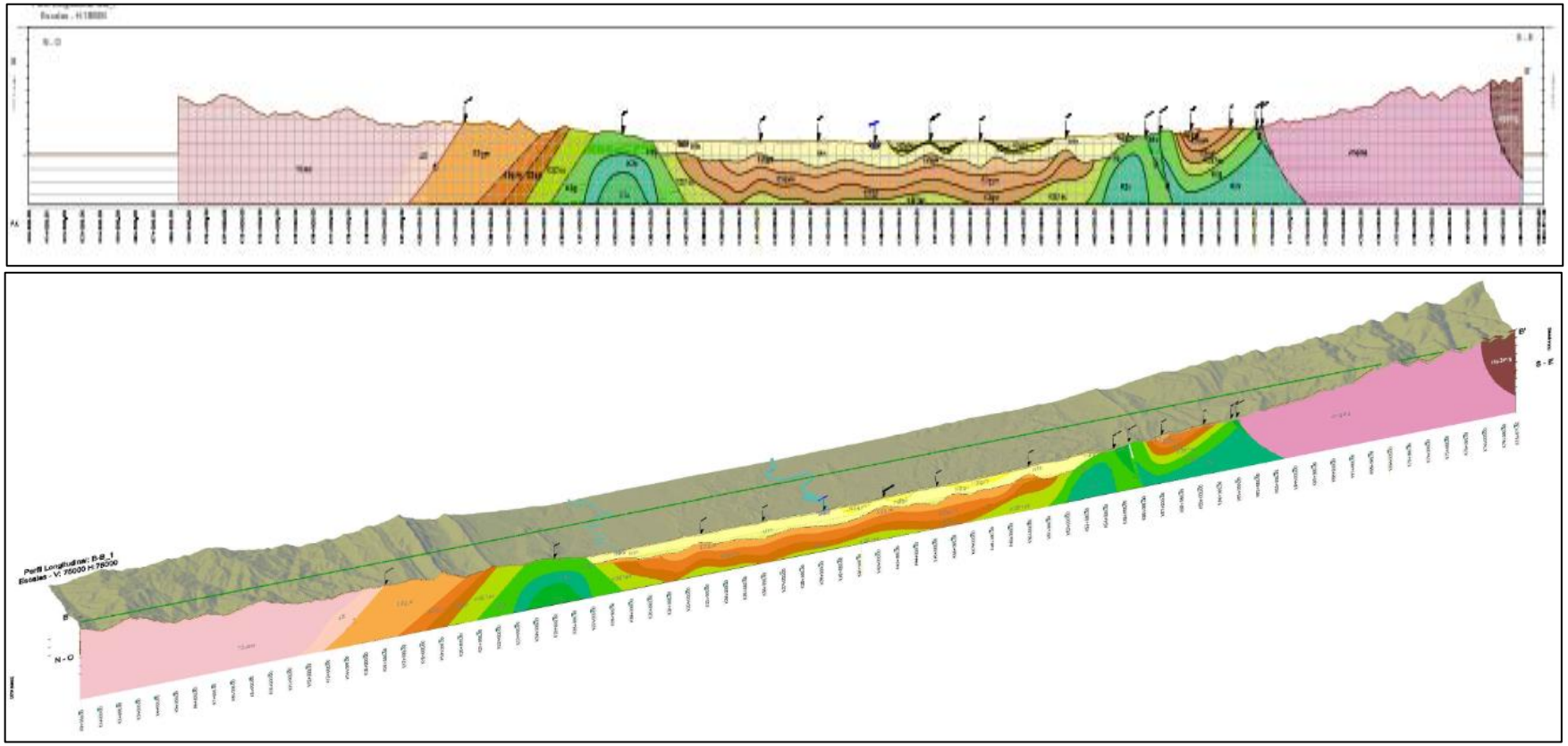


Ilustración 27 Corte Geológico B-B´ y Modelo 3D sector Centro Noroccidental Y Nororiental Cuenca VSM Escala 1:100.000
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3 CORTE GEOLÓGICO C- C´

Este corte atraviesa de NO a SE la parte norte del área de estudio. A continuación se describe detalladamente la relación estratigráfica de las secuencias y estructuras presentes en la zona a partir del perfil geológico que se puede ver en la **Ilustración 28**.

- En la parte más Occidental del perfil, entre las progresivas K0+000 y K14+00, afloran las rocas rocas Jurásicas del Batolito de Ibagué (J3i) en la abscsisa K14+000 se presenta el sistema de de Fallas de Chusmas en el K15+000 ponen en contacto el Batolito de Ibagué y afecta a las rocas del Paleógeno de la Formación Gualanday que afloran hasta la abscisa K16+000.

- Entre las progresivas K16+000 a la K23+000 se puede observar el Sinclinal de Palermo donde se encuentra la secuencia de edad del Paleógeno.

- Desde de la progresiva K23+000 y hasta aproximadamente la progresiva K33+000, afloran las rocas de la secuencia de rocas cretácicas se encuentran afectadas por plegamiento y fallas, donde se pueden reconocer el anticlinal de San Fransico, y contiguo a este el pliegue que forma la estructura de sinclinal.

- Desde la progresiva K23+000 hasta K51+500 la cuenca presenta homogeneidad de los materiales del depósito cuaternario del Río Magdalena, que se encuentra suprayaciendo al Grupo Honda. Seguidamente se encunetra las Formaciones Gualanday superior y media, que aproximadamente en la progresiva K49+000 se encuentran en contacto fallado con rocas del Precámbrico en el flanco oriental donde se encuentra el sistema de falla Suaza – Garzón – Algeciras.

- Finalmente desde la abscisa K51+500 hasta K62+818,22; se encuentran aflorando las rocas del Macizo de Garzón (Mp3mg).

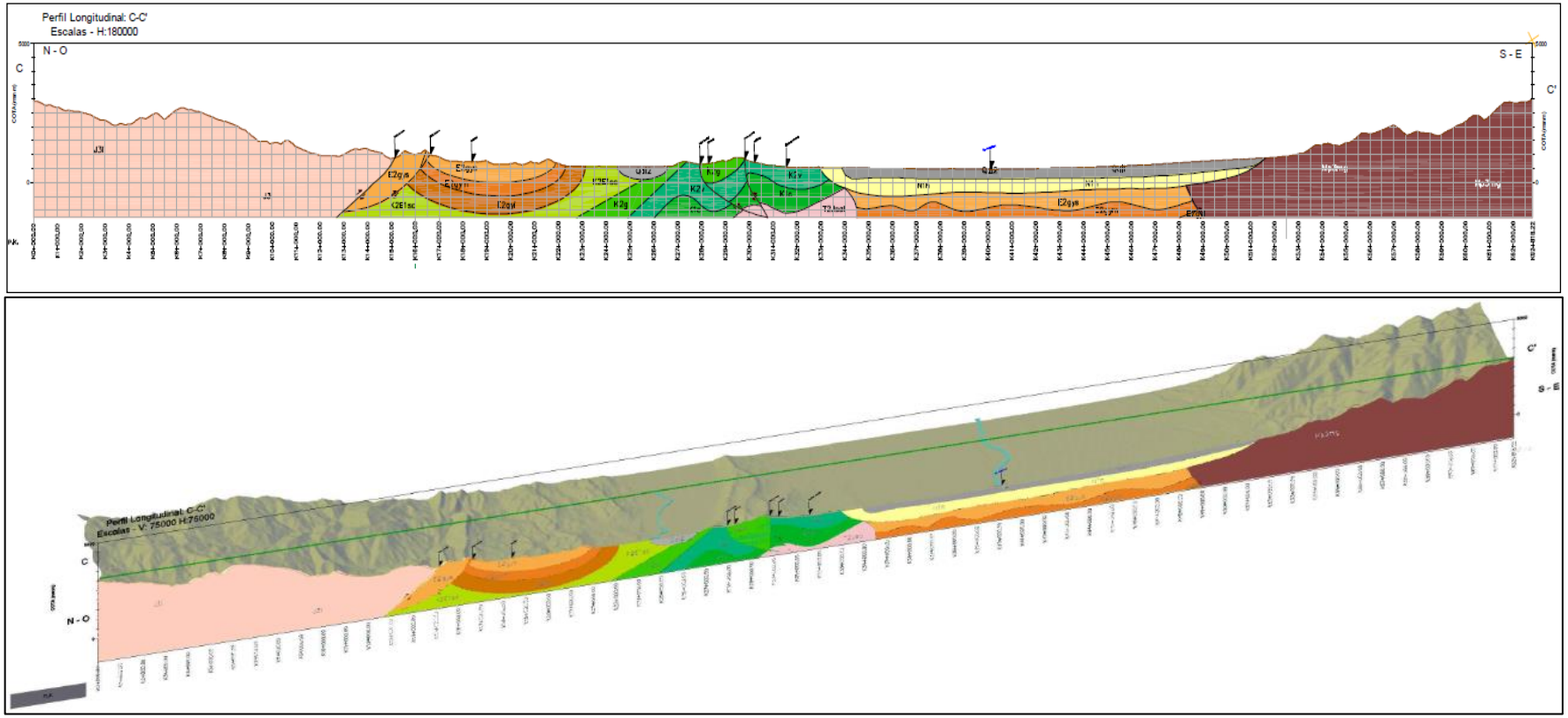


Ilustración 28 Corte Geológico C–C´ y Modelo 3D sector Centro Noroccidental y Nororiental Cuenca VSM Escala 1:100.000
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.4 CORTE GEOLÓGICO D - D´.

Corte D-D´ en dirección NO-SE exhibe esquemáticamente la relación estratigráfica y espacial de las estructuras y secuencias que se encuentran al centro en la zona de estudio y que se describen detalladamente a continuación en la **Ilustración 29**.

- En el flanco Occidental, entre las progresivas K0+000 hasta aproximadamente K4+900 afloran el Batolito de Ibague (J3i) el cual se encuentran fallada en K3+000, por una fallas tipo inversas del sistema de falla de Chusma y pone en contacto a la secuencia de rocas Cretáciacas.

- A partir del K4+000 hasta aproximadamente K11+000 se encuentran aflorando la secuencia de rocas de eded del Cretácico las cuales se encuentran falladas debido al tectonismo del sistema de Fallas de Chusma. En la abscisa K4+000 hasta K5+000 afloran las rocas del Grupo Villeta (K2v), las cuales en el K5+800 se encuentra en contacto fallado una cuña de las rocas de la Fromación Caballos (K1c) que aflora hasta la progresiva K8+000. Inmediatamente se observa una falla tipo inversa en la cual pone en contacto nuevamente con las rocas del Grupo Villeta (K2v) repitiendo la secuencia. Segidamente en el K8+200 se presenta aflornado las rocas del Grupo Guadalupe (K2g) la cual aflrora hasta la progresiva K9+300, Apartir de dicho punto hasta K11+000 se encuentran aflorando las rocas impermeables de la Formación Seca (K2E1sc), es importante resaltar que en la abscisa K9+900 aproximdamente las rocas se encuentran falladas.

- Desde la K11+000 hasta K22+000 se encuentran plegadas las Formaciones geológicas con formando el Sinclinal de Tesalia y su el eje se encuentra en K15+000, por lo tanto del K11+000 hasta K+12+000 afloran las rocas de la Formación Gualanday Inferior (E2gy). Desde K+12+000 a K12+500 afloran las rocas de Gualnaday Medio (E2gm), y Desde 12+500 hasta K18+000 afloran Gualanday Superior (E2gyi). A partir de K18+000 se repite la secuencia aflorando desde K18+000 hasta el K20+500 las rocas de Gualnaday Medio (E2gm) y de K20+500 hasta K22+500 rocas de Gualanday Inferior (E2gy).

- En K22+500 se presentan plegada las unidades geológicas de la secuencia Cretácica que conforman el Anticlinal de la Hocha, en el flanco occidental desde K22+500 hasta 24+300 afloran las rocas de la Formación Seca (K2E1sc), de K24+300 a K25+000 afloran las rocas del Grupo Guadalupe (K2g) y desde K25+000

- El flanco Oriental de la cuenca en este sector, se encuenta conformado por rocas del Jurásico, del Monzogranito de Algeciras que se encuentra en contacto fallado por el sistema de fallas Suaza- Garzón con rocas del Precámbrico en esta zona.

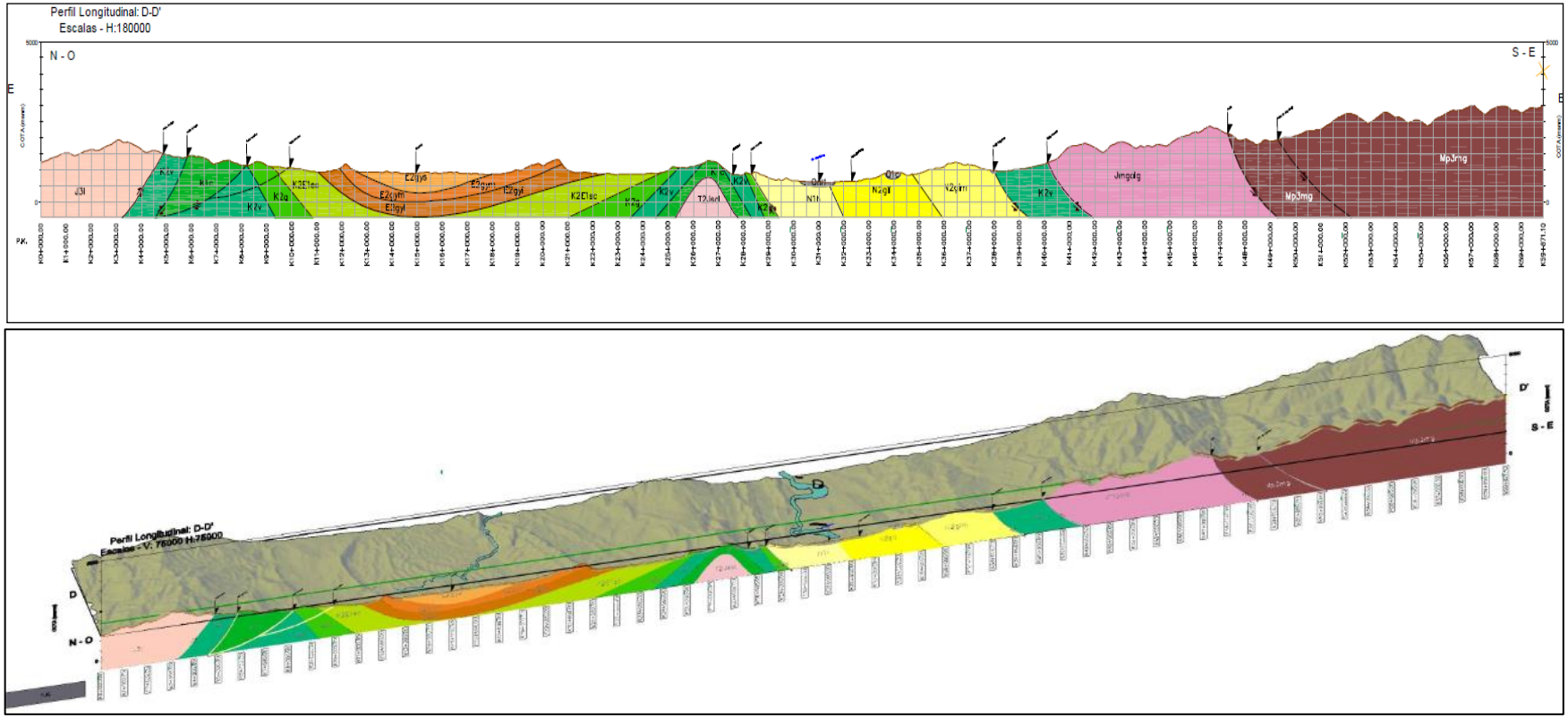


Ilustración 29 Corte Geológico D–D´ Modelo 3D sector Centro Noroccidental y Nororiental Cuenca VSM Escala 1:100.000
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.5 CORTE GEOLÓGICO E - E´

Corte E-E´ en dirección NO-SE exhibe esquemáticamente la relación estratigráfica y espacial de las estructuras y secuencias que se encuentran al centro en la zona de estudio y que se describen detalladamente a continuación en la **Ilustración 29**.

- En el flanco Occidental, entre las progresivas K0+000 hasta aproximadamente K0+800 se encuentran aflorando las rocas del Complejo Cajamarca, el cual se encuentra en contacto fallado con las rocas de del Batolito de Ibague (J3i).

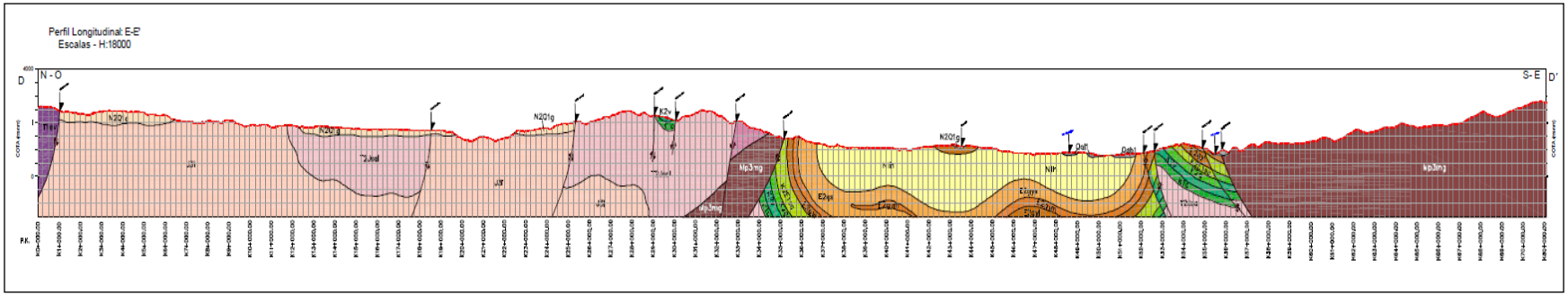
- Desde la progresiva K+800 hasta K12+000, se presenta inturción del Batolito de Ibage (J3i), el cual se encuentra cubierto por las rocas de la Formación Guacacayos (N2Q1g) y a K6+000 se enuentran aflorando hasta la K12+000.

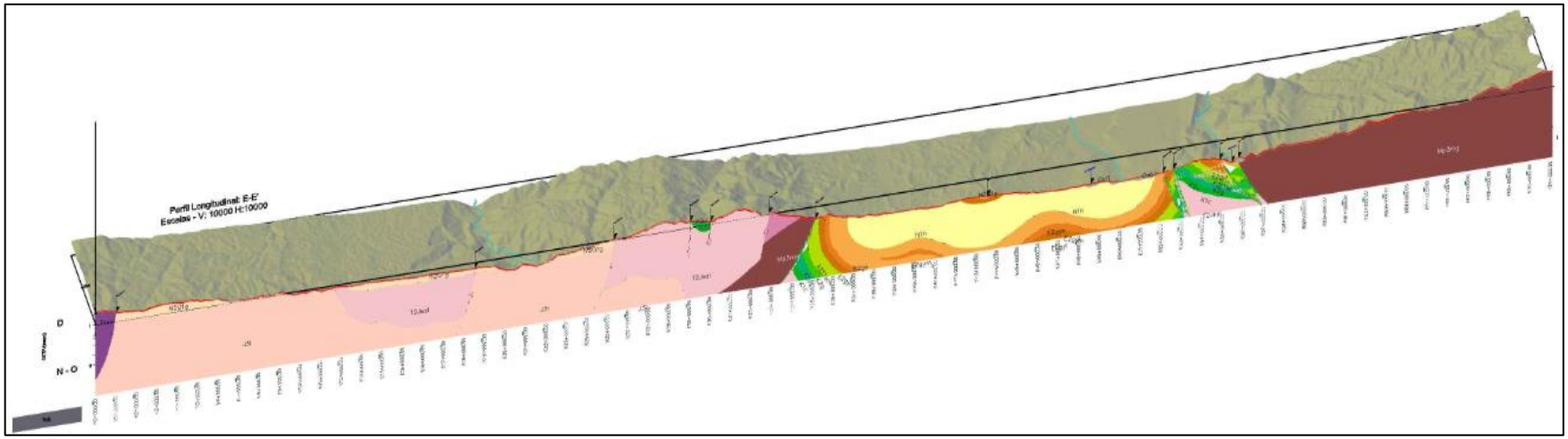
- Desde la progresiva K12+000 hasta K18+000 aproximadamente, se presenta el Batolito de Ibague (J3i) intruyendo a las rocas de la Formación Saldaña (T2Jsal), las cuales estan cubiertas por las rocas de la Formación Guacacayos (N2Q1g). En la progresiva K18+000 se presenta la falla inversa donde se ponen encoentanto nuevamente las rocas del Batolito de Ibague (J3i) las cuales afloran en superficie hasta la progresica K22+000 las cuales son cubiertas por las rocas de la Formación Guacacayos (N2Q1g)

- El tramo comprendido entre K25+000 hasta K34+000, se presentan una serie de fallas inversas las cuales ponen en contacto tectonico rocas rocas de la Formación Saldaña con la secuencia de la rocas cretacias de la Formación Caballos (K1c) y Grupos Villeta (K2v) las cuales se encuentran pregadas fromado la estructura de un pqueño pliegue sinclina, además el sector entre la progresiva K32+000 hasta K34+000 el sistema de fallas inversas levanta hasta la superficie las rocas Pre-cambricas del del Macizo de Garzón (Mp3mg).

- Desde la progresiva K34+000 hasta K57+000, se presenta un conjunto de fallas inversas las cuales por efecto de los esfuerzos tectonicos forma el pliegue la estructura del geosinclianl de Tarquí en doden se pliegan la secuencias de rocas de edades cretácias, Plaeógenas y Neógenas (K1c,K2v,K2g,K2E1Sc, E2gyi,E2ym,E2gs, N1h, N2Q1g). Esta estructura se considera de gran importancias desde el punto de vista hidrogeologico, ya que la estructura cumple con las condiciones ideales para el almacenamiento de agua subterranea.

- Finalmente desde el tramo de la progresiva K57+000 hasta K80+000 se presentan aflorando de las rocas del Macizo de Garzón (Mp3mg).


Perfil Longitudinal E-E'
Escalas - H:18000
N - O
S- E


Perfil Longitudinal E-E'
Escalas - V: 10000 H:10000

2.4.6 CORTE GEOLÓGICO F - F´.

Corte F-F´ en dirección NO-SE exhibe esquemáticamente la relación estratigráfica y espacial de las estructuras y secuencias que se encuentran al sur en la zona de estudio y que se describen detalladamente a continuación en la **Ilustración 29**.

- En el flanco Occidental, entre las progresivas K0+000 hasta aproximadamente K8+000 se encuentran aflorando las rocas del Complejo Cajamarca (T1ev), las cuales en las progresivas de K0+000 a K2+000 y de K6+000 a K7+000 se encuentran cubiertas por los Depósitos Volcanitas básicas.

- A partir de K8+000 hasta K19+000 se presentan nuevamente las rocas del Complejo Cajamarca (T1ev), cubiertas por las rocas de de la Formación Guacacayos.

- En la progresiva K19+000 se presentan en contacto neto las rocas de la Formación Lodolitas y Calizas de Ganadillo (PZlcg), que desde la prograsiva K19+000 hasta K21+000, se presentan cubiertas por las rocas de la Formación Guacacayos.

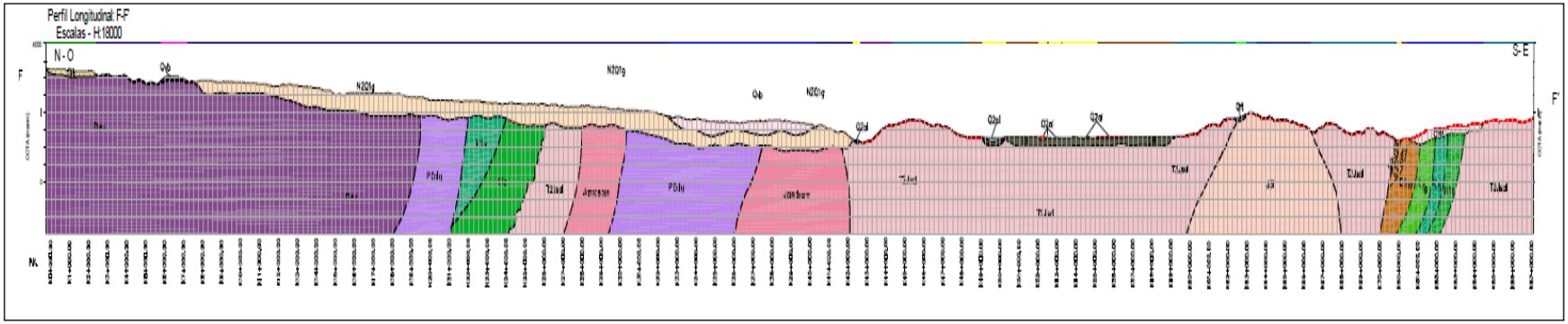
- En K21+000 se presentan en contacto discordante las rocas de la Formación Lodolitas y Calizas de Ganadillo (PZlcg), las rocas de la Formación Caballos (K1c) y las rocas del Grupo Villeta (K2v), que a su vez se encuentran cubiertas por las rocas de la Formación Guacacayos (N2Q1g) desde la progresiva K21+000 a la K24+000.

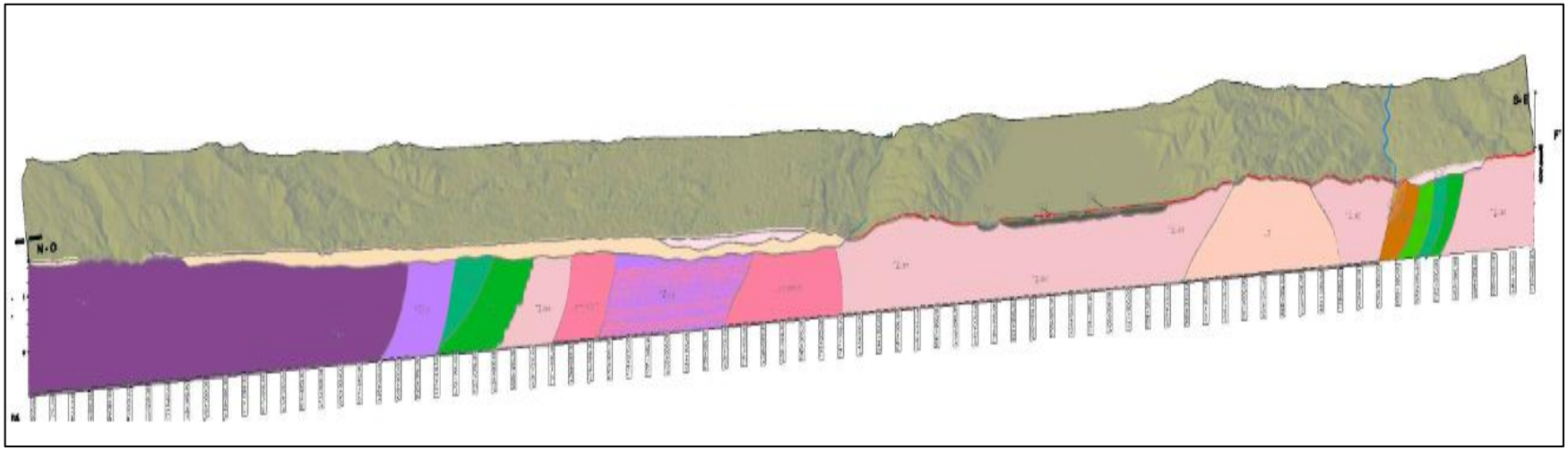
- En la Progresiva K24+000 se presenta en contacto discordante las rocas de la rocas de la Formación Caballos (K1c) con la Formación Saldaña (T2Jsal), seguidamente en la progresiva K27+000 en contacto discordante se presentan las rocas de la Formación de Cuarzomonzodiorita de Sombrerillos (Jcmdsom) las cuales se disponen hasta la progresiva K29+000, en donde se encuentra en contacto discordante con las rocas de Lodolitas y Calizas de Ganadillo (PZlcg), donde nuevamente se presenta un contacto discordante con rocas de Cuarzomonzodiorita de Sombrerillos (Jcmdsom). La secuencia anteriormente descrita se presentan cubiertas por rocas del la Formación Guacacayos (N2Q1g), la cuales en el tramo de la progresiva K32+000 hasta la progresiva K40+000 las cubre los Deósitos de Volcanitas básicas.

- Desde la prgresiva K42+000 hasta la progresiva K66+000, se presentan las rocas de la Formación Saldaña (T2sal), las cuales se en cuentra cubiertas desde la progresiva K50+000 hasta K58+0000 por los Depósitos de Fluvio Lacustres y Depósitos Aluviales y/o terraza baja (Q2al) donde se forma el Valle de Laboyos.

- En la progresiva K60+000 hasta la progresiva K68+000 se presenta la intrución del Batolito de Ibage (J3i) la cual afecta a las rocas de la Fomación Saldaña que vuelven aflorar desde la progresiva K68+000.

- En la progresiva K90+000 se presenta en contato fallado la secuencia Terciaria de Gualanday Superior (E2gys) hasta las rocas cretácica de la Formación Caballos (K1c), las cuales descansan discordantemente sobre las rocas de la Formación Saldaña.


Perfil Longitudinal F-F'
Escalas - H:18000
N - O
S - E


N - O

2.4.7 CORTE GEOLÓGICO G - G´

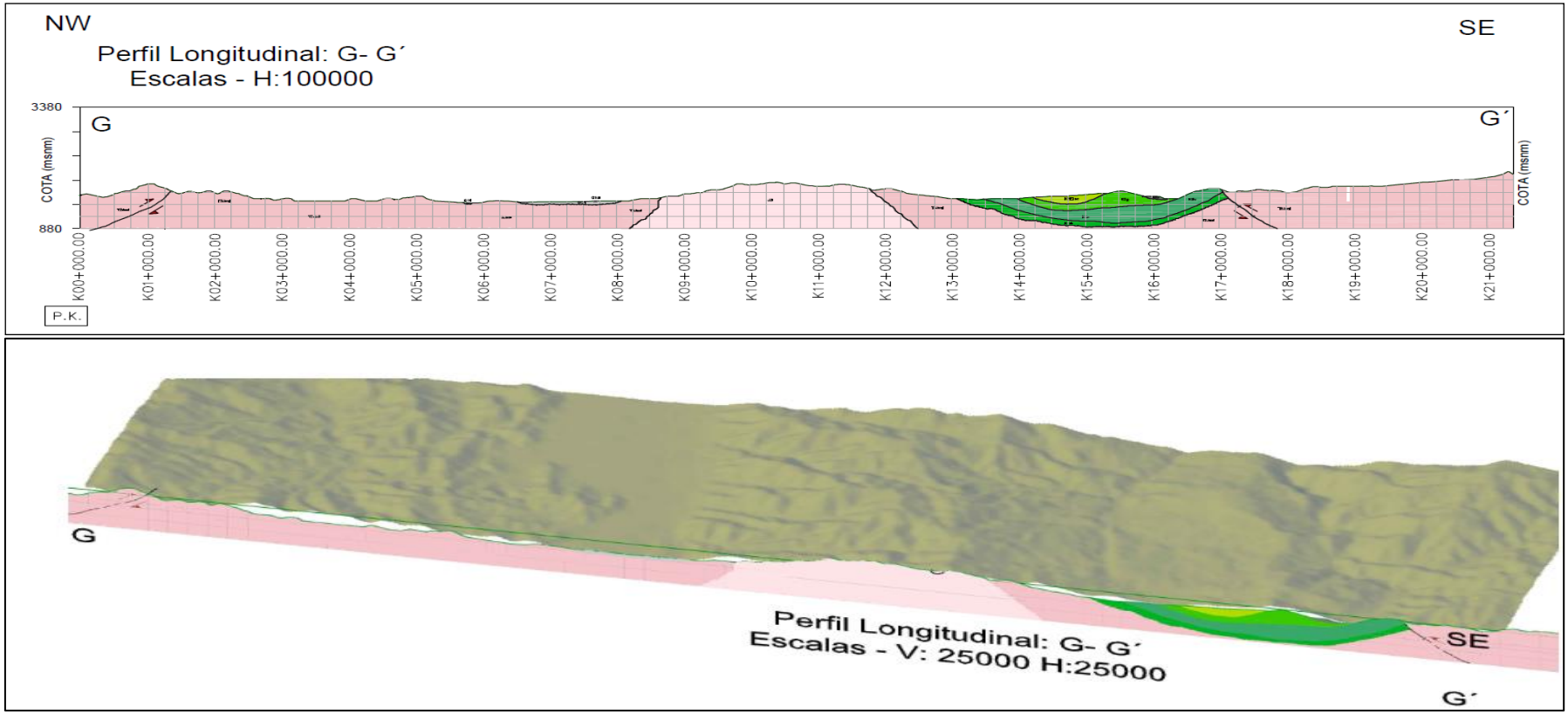
Corte G-G´ en dirección NO-SE exhibe esquemáticamente la relación estratigráfica y espacial de las estructuras y secuencias que se encuentran al sur en la zona de estudio y que se describen detalladamente a continuación en la **Ilustración 29**.

- En el flanco Occidental, entre las progresivas K0+000 hasta aproximadamente K5+800 se encuentran una serie de fallas inversas que afectan rocas cretáciacas de la secuencia estratigráfica.

- A partir de más o menos K4+200 hasta aproximadamente K20+500 se observa el sinclinal de Tesalia conformado por rocas desde el Cretácico hasta el Paleógeno. Desde K20+500 hasta K25+500 se identifica el pliegue anticlinal de la Hocha, compuesto en su núcleo por rocas Triásico-Jurásicas de la Formación Saldaña y en sus flancos por rocas cretácicas de la Formación Caballos (K1c), Grupo Villeta y Froamción Guadalupe. Esta estructura es de gran importancia en la industria petrolera, ya que se han desarrollados importantes campo petroleros en donde se han practicado tecnicas de recuperación segundaria por inyeccion de agua

- En contacto fallado, mediante falla inversa, se encuentran las rocas cretácicas anteriormente mencionadas y rocas Neógenas, desde la progresiva K24+300 y hasta aproximadamente K34+000 donde en contacto fallado, las rocas Neógenas de nuevo se encuentran con rocas cretácicas de la Formación Villeta. El depósito cuaternario del río Magdalena, se observa entre las progresivas K26+250 hasta K27+700.

- El flanco Oriental de la cuenca en este sector, se encuenta conformado por rocas del Jurásico, del Monzogranito de Algeciras que se encuentra en contacto fallado por el sistema de fallas Suaza- Garzón con rocas del Precámbrico en esta zona.


NW
SE
Perfil Longitudinal: G- G´
Escalas - H:100000
3380
880
COTA (msnm)
G
G´
K00+000.00
K01+000.00
K02+000.00
K03+000.00
K04+000.00
K05+000.00
K06+000.00
K07+000.00
K08+000.00
K09+000.00
K10+000.00
K11+000.00
K12+000.00
K13+000.00
K14+000.00
K15+000.00
K16+000.00
K17+000.00
K18+000.00
K19+000.00
K20+000.00
K21+000.00
P.K.
G
Perfil Longitudinal: G- G´
Escalas - V: 25000 H:25000
SE
G´

2.4 EXPLORACIÓN GEOFÍSICA

2.4.1 LOCALIZACIÓN DE LA EXPLORACIÓN GEOFÍSICA.

Los ensayos MT y SEV´s fueron ejecutados en diferentes Municipios del Departamento del Huila con el objeto de complementar la información de propiedades de resistividad de las unidades geológicas de interés hidrogeológicos de los acuíferos someros identificados en estudios previos (INGEOMINAS, Estudio Hidrogeológico Y Plan De Manejo del Agua Subterránea en el Sector Nororiental de La Cuenca del Rio Magdalena en el Departamento del Huila, 1999) y (S.G.I, 2000), así como la identificación de nuevos prospectos de unidades acuíferas de mayor profundidad. (Ver **Tabla 6** y **Ilustración 30**).

Tabla 6 coordenadas Exploración Geofísica.

SONDEOS	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN (m.s.n.m)
MT1	857241	857241	823.278
MT2	873866	851161	396.911
MT3	881644	844704	466.007
MT4	890192	841003	629.811
MT5	894774	829238	946.280
MT6	885860	830711	649.873
MT7	878526	832193	525.049
MT8	861619	833021	482.079
MT9	854764	835165	799.027
MT10	862317	813714	463
MT11	862317	813714	474.127
MT12	870859	816611	588.877
MT13	881003	813651	723.495
MT14	863846	790604	644.620
MT15	851423	784227	567.061
MT16	832904	785735	852.417
MT17	822016	763984	761.884
MT18	813944	759863	1112.150
MT19	838208	752961	1106.739
MT20	833511	737399	1223.149
MT21	836305	729863	1749.767
MT22	821117	738677	749.100
MT23	812892	741011	842.947
MT24	806134	742250	979.124
MT25	800898	755304	1156.844
MT26	788911	734477	1586.704
MT27	803244	733211	1187.969
MT28	809875	735348	880.337
MT29	815127	730374	765.159
MT30	806597	721511	1030.013
MT31	803045	725332	922.082
MT32	756007	747981	2245
MT33	755691	716179	2272.540
MT34	762864	706809	1831.703
MT35	776354	701309	1327.506
MT36	808021	770484	1376.259
SEV-01	877597	815934	655.171
SEV-02	878388	815657	672.537

SONDEOS	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN (m.s.n.m)
SEV-03	879508	814395	778.379
SEV-04	880599	811197	823.417
SEV-05	881044	810492	867.818
SEV-06	881482	810163	915.633
SEV-07	862140	848648	477.294
SEV-08	864234	847155	445.997
SEV-09	866861	847422	434.069
SEV-10	860264	826381	550.852
SEV-11	861333	825245	492.773
SEV-12	864167	825337	474.523
SEV-13	842742	794667	864.582
SEV-14	844317	794870	867.085
SEV-15	852142	793703	560.203
SEV-16	840537	771160	669.962
SEV-17	842482	767453	899.641
SEV-18	842576	764540	900
SEV-19	835216	775803	942.197
SEV-20	834046	770387	912.961
SEV-21	826860	775889	861.883
SEV-22	799142	755963	1041.281
SEV-23	802665	752997	1610.421
SEV-24	805801	750873	1643.840
SEV-25	815107	744489	890.743
SEV-26	816826	743727	827.971
SEV-27	821857	744979	749.804
SEV-28	808787	742064	902.876
SEV-29	816312	738437	788.386
SEV-30	819380	738188	782.144
SEV-31	817215	764341	832.077
SEV-32	821097	764570	764.332
SEV-33	824468	763248	766.562
SEV-34	825990	762396	764.817
SEV-35	836347	754257	877.310
SEV-36	839581	750480	1364.886
SEV-37	841344	746934	1550.169
SEV-38	827727	745712	766.878
SEV-39	828942	740486	860.340
SEV-40	827776	736746	916.493

Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

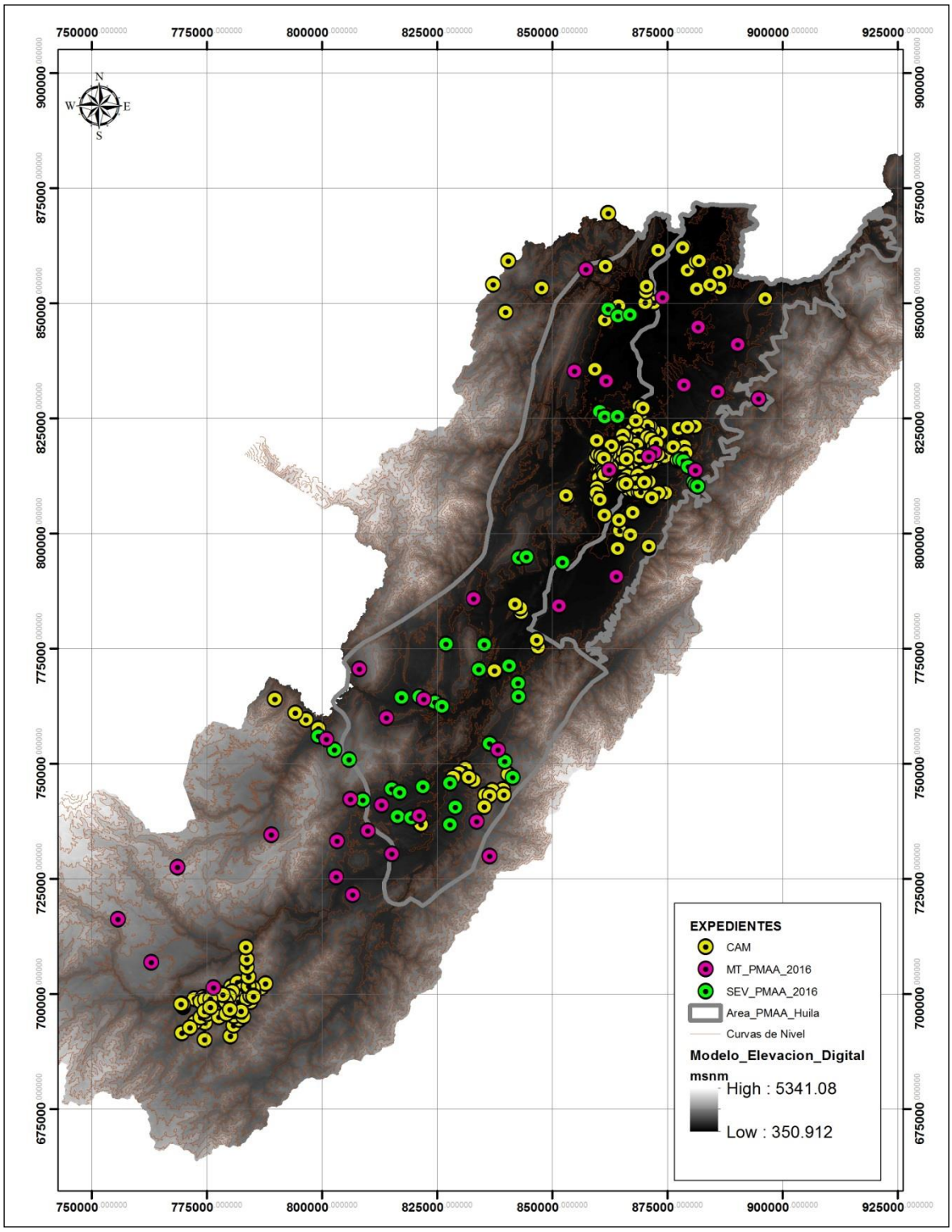


Ilustración 30 Localización Exploración Geofísica.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

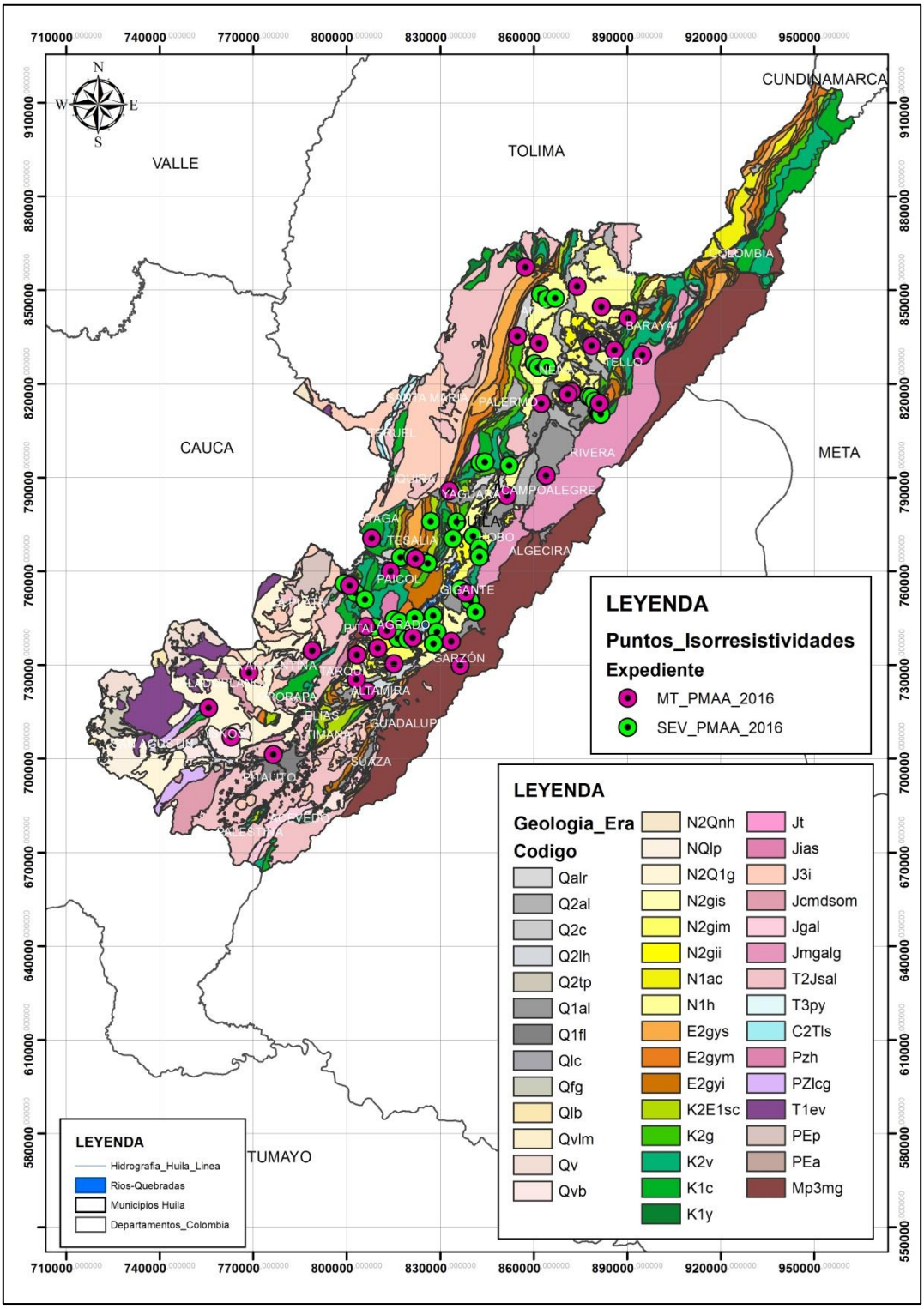


Ilustración 31 Mapa Geológico Departamento del Huila. Escala 1:100.000
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.1.1 MARCO TEÓRICO.

2.4.1.1.1 MÉTODO MAGNETOTELÚRICO.

El método de magnetotelúrica establece la medición de anomalías o desviaciones del campo magnético normal de los materiales del subsuelo como consecuencia de la fuerte actividad atmosférica de nuestro planeta y a la radiación solar.

En la actualidad existen dos formas de realizar mediciones magnetotelúricas, lo cual varía por el rango de profundidad de generación del mapeo, y éste a su vez, está en función del intervalo de frecuencia empleado en el estudio. Por tanto, mientras que el método MT maneja un rango de frecuencias entre 100 a 0,0001 Hz, el AMT establece un intervalo entre 10000 y 1Hz (entre menor la frecuencia mayor profundidad de investigación). La profundidad de investigación para éste método se encuentra entre los 300 m hasta los cientos de km, dependiendo de la frecuencia empleada.

Un sondeo de magnetotelúrica permite conocer la interacción entre el campo magnético (en sus tres componentes Hx, Hy y Hz) y el campo eléctrico (Ex y Ey) para un amplio rango de frecuencias. Esto asegura conocer finalmente la resistividad de los materiales con relación a la profundidad necesaria del estudio.

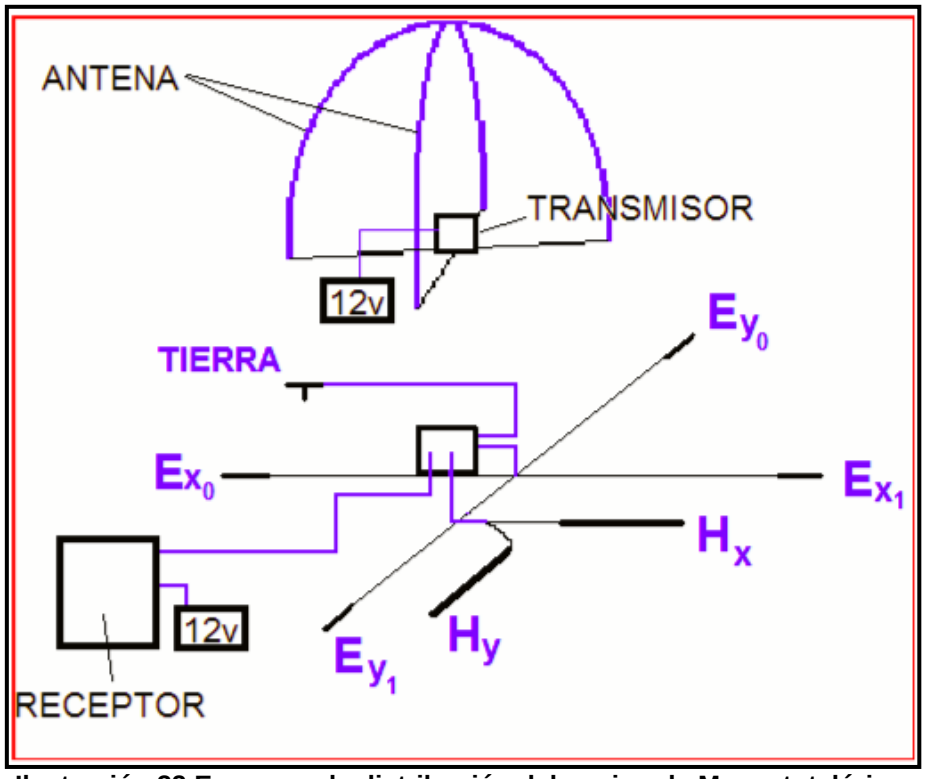


Ilustración 32 Esquema de distribución del equipo de Magnetotelúrica.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

Los sistemas MT se utilizan para medir la impedancia eléctrica en la superficie terrestre utilizando una serie de mediciones simultáneas de fluctuaciones eléctricas y magnéticas locales del campo. Estas mediciones de campo se hacen durante un periodo de varios minutos; se transforman por Fourier, se almacenan como espectros de potencia. La impedancia de la superficie que se calculó de estos valores espectrales es una función compleja de la frecuencia donde los rasgos de poca profundidad o cercanos influyen en los datos de frecuencia más alta, y las estructuras de más profundidad y distancia influyen en los datos de baja frecuencia. Un sondeo de MT brinda un cálculo de la resistividad vertical bajo el sitio de recepción e indica la complejidad geoeléctrica en el sitio de sondeo. En áreas donde la distribución de la resistividad no cambia rápidamente de una estación a otra, el sondeo de resistividad es un cálculo razonable de las capas geoeléctricas bajo el sitio.

El sistema MT consiste de dos componentes básicos; un receptor y un transmisor. En el rango de alta frecuencia, las señales naturales normalmente son débiles y el uso de un transmisor puede mejorar la calidad de los datos. Para ciertas aplicaciones, y bajo ciertas condiciones, puede no ser necesario el uso de potencia adicional de señal de alta frecuencia que da el transmisor.

Las mediciones de MT se pueden aplicar de manera efectiva en las investigaciones de aguas subterráneas, caracterización del subsuelo en sitios de estudios ambientales, exploración mineral y geotérmica y en estudios de ingeniería civil. Dado que este sistema funciona a base de baterías es compacto y portátil, tiene una buena producción aunque se encuentre en terreno escabroso y también se puede operar exitosamente en ambientes bastante hostiles. La velocidad y portabilidad del sistema MT permiten un diseño flexible de investigación. Los resultados de impedancia superficial se visualizan inmediatamente al hacer el sondeo de resistividad, también puede procesarlos en grupos de sondeos y verlos por sección mientras se está en el sitio. Esta flexibilidad permite al investigador modificar el diseño de la investigación en el sitio basado en el procesamiento preliminar y revisión de los resultados de las mediciones.

Los sistemas MT se utilizan para medir la impedancia eléctrica en la superficie terrestre utilizando una serie de mediciones simultáneas de fluctuaciones eléctricas y magnéticas locales del campo. Estas mediciones de campo se hacen durante un periodo de varios minutos; se transforman por Fourier, se almacenan como espectros de potencia. La impedancia de la superficie que se calculó de estos valores espectrales es una función compleja de la frecuencia donde los rasgos de poca profundidad o cercanos influyen en los datos de frecuencia más alta, y las estructuras de más profundidad y distancia influyen en los datos de baja frecuencia. Un sondeo de MT brinda un cálculo de la resistividad vertical bajo el sitio de recepción e indica la complejidad geoeléctrica en el sitio de sondeo. En áreas donde la distribución de la resistividad no cambia rápidamente de una estación a otra, el sondeo de resistividad es un cálculo razonable de las capas geoeléctricas bajo el sitio.

El sistema MT consiste de dos componentes básicos; un receptor y un transmisor. En el rango de alta frecuencia, las señales naturales normalmente son débiles y el uso de un transmisor puede mejorar la calidad de los datos. Para ciertas aplicaciones, y bajo ciertas condiciones, puede no ser necesario el uso de potencia adicional de señal de alta frecuencia que da el transmisor.

Las mediciones de MT se pueden aplicar de manera efectiva en las investigaciones de aguas subterráneas, caracterización del subsuelo en sitios de estudios ambientales, exploración mineral y geotérmica y en estudios de ingeniería civil. Dado que este sistema funciona a base de baterías es compacto y portátil, tiene una buena producción aunque se encuentre en terreno escabroso y también se puede operar exitosamente en ambientes bastante hostiles. La velocidad y portabilidad del sistema MT permiten un diseño flexible de investigación. Los resultados de impedancia superficial se visualizan inmediatamente al hacer el sondeo de resistividad, también puede procesarlos en grupos de sondeos y verlos por sección mientras se está en el sitio. Esta flexibilidad permite al investigador modificar el diseño de la investigación en el sitio basado en el procesamiento preliminar y revisión de los resultados de las mediciones.

2.4.1.1.1.1 Componentes Del Sistema.

Estándar de recepción está configurado para adquirir los datos en un rango de frecuencia de 100 kHz hasta de 11.7 Hz. Los componentes opcionales de recepción se utilizan con un sistema estándar para la adquisición en un rango de frecuencia que va desde los 1000 Hz hasta 0.1 Hz.

Componentes estándar del receptor:

- Electrodos de acero inoxidable

- 1 juego de sistema de tierra y cable
- 4 electrodos buffer con cables telúricos de 26 metros
- 1 módulo de interfaz Frente Analógico (AFE)
- 2 bobinas de campo magnético (modelo BF6)
- 2 cables de interconexión de bobina/AFE estándar
- 1 consola Stratagem de procesamiento de señales
- 1 teclado IBM compatible
- 1 cable de comunicación consola/AFE
- 1 cable de alimentación de la consola
- 1 manual de operación
- 1 batería de 12 voltios de ciclo profundo

Componentes opcionales del receptor:

- Electrodos no polarizados (media celda de Cu-CuS04)
- 4 cables telúricos de 100 metros
- 2 bobinas de campo magnético modelo BF10
- 2 cables de interconexión bobina/AFE de 10 metros

Componentes del transmisor – sistemas de 400 Am2

- 2 Secciones de antena de transmisión
- 1 arandela central
- 1 módulo de transmisión
- 1 cable de alimentación del transmisor y un ensamble de tierra
- 1 control de transmisor y cables
- 1 bolsa de almacenamiento del transmisor
- 1 batería de 12 voltios de ciclo profundo

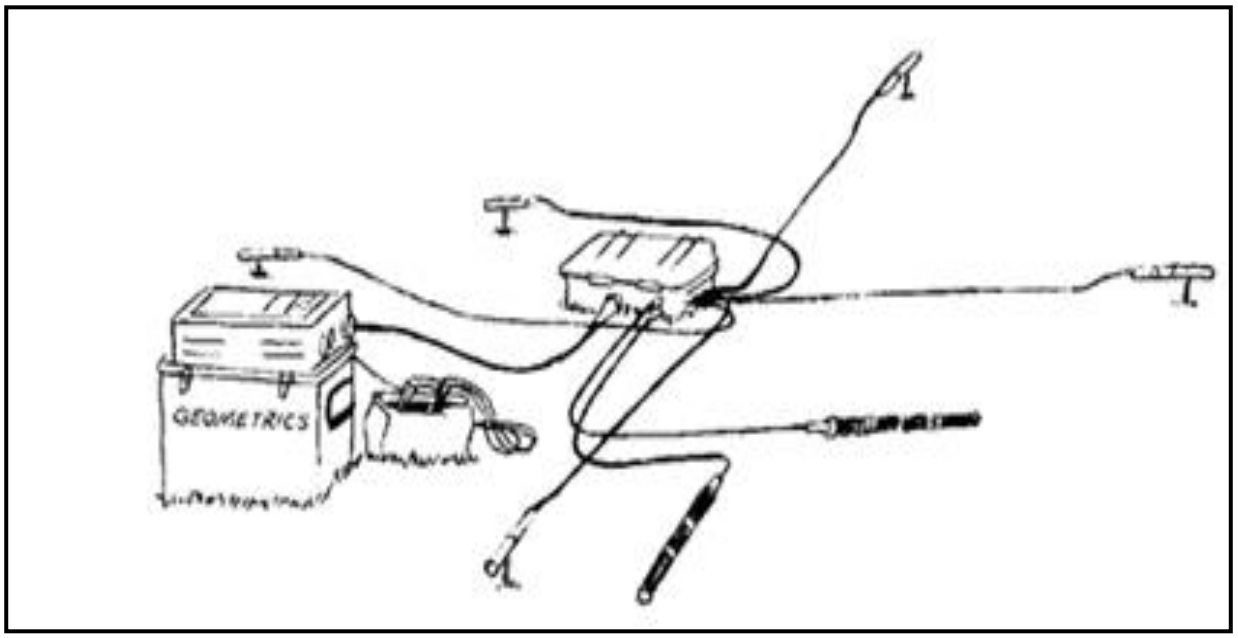


Ilustración 33 Diagrama del receptor estándar y el dipolo.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

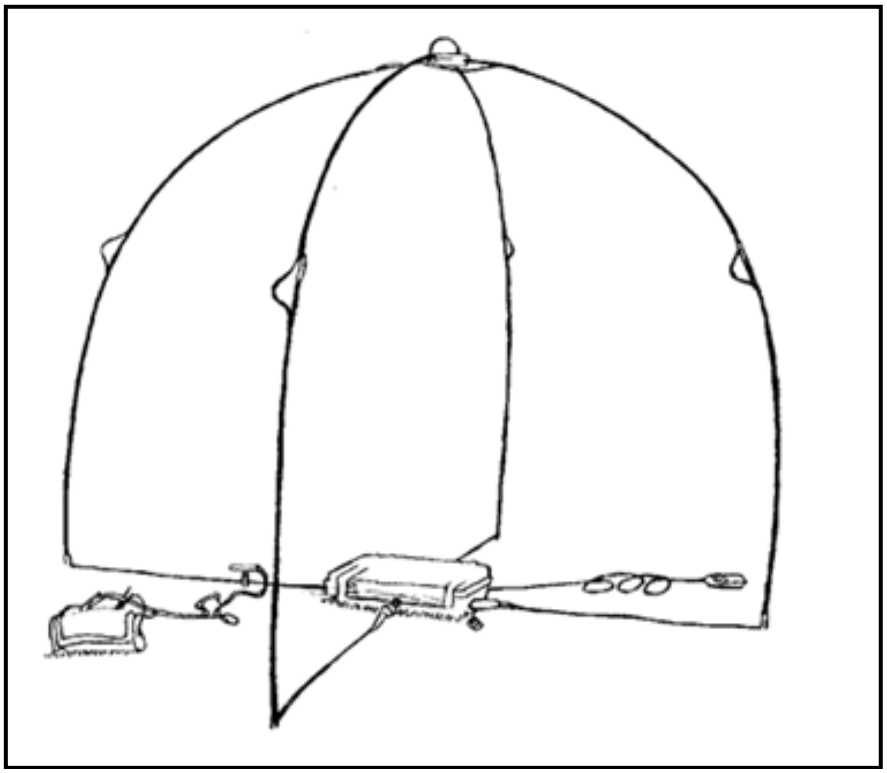


Ilustración 34 Diagrama del transmisor estándar de 400Am2.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.1.1.1.2 Metodología de trabajo.

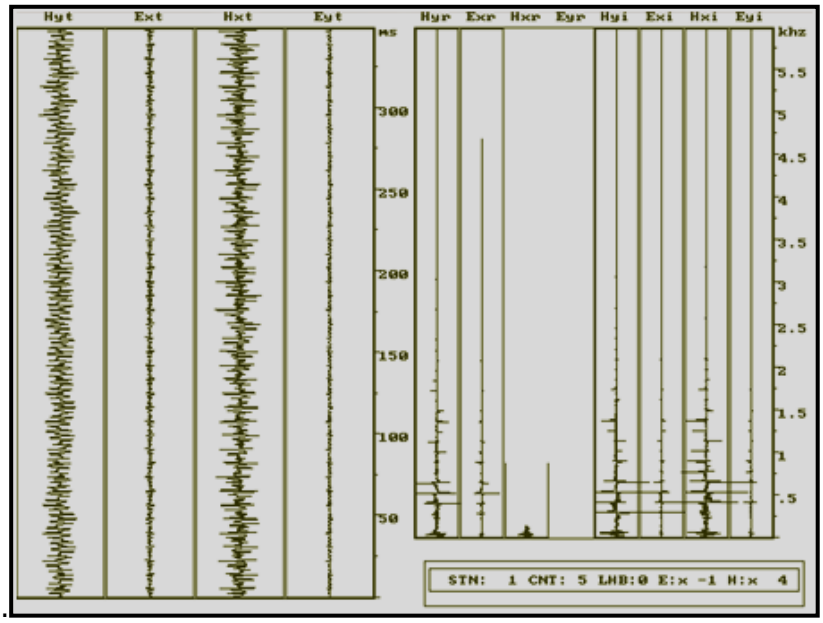
El desarrollo de los sondeos de MT se enmarca dentro de las siguientes actividades:

- Montaje del equipo en campo.
- Adquisición de datos en campo para altas frecuencias.
- Adquisición de datos en campo para bajas frecuencias.
- Procesamiento de datos.
- Generación de los perfiles.
- Interpretación de los datos.

Ilustración 35 Montaje del equipo en campo
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.1.1.1.3 Adquisición de datos en campo.

En el presente numeral se realiza una descripción de las salidas del software Imagem, el cual es el que se emplea para llevar a cabo la captura de los datos, y la determinación de las resistividades de los materiales mediante los ajustes y arreglos de Bostick.

8. 

Gráfica 1 Interfaz de toma de datos en los dos componentes eléctricos y magnéticos. Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

Transformada de Bostick: Según Delgado et al. (2001) la transformada de Bostick crea básicamente una distribución continúa de la resistividad en función de la profundidad propuesta por Bostick (1977) como:

$$\rho(Z) = \rho_a(\omega)\left(\frac{\pi}{2\emptyset(\omega)} - 1\right)$$

Ecuación 1

$$\boldsymbol{Z = \sqrt{\frac{\rho_a(\omega)}{\mu\omega}}}$$

Ecuación 2

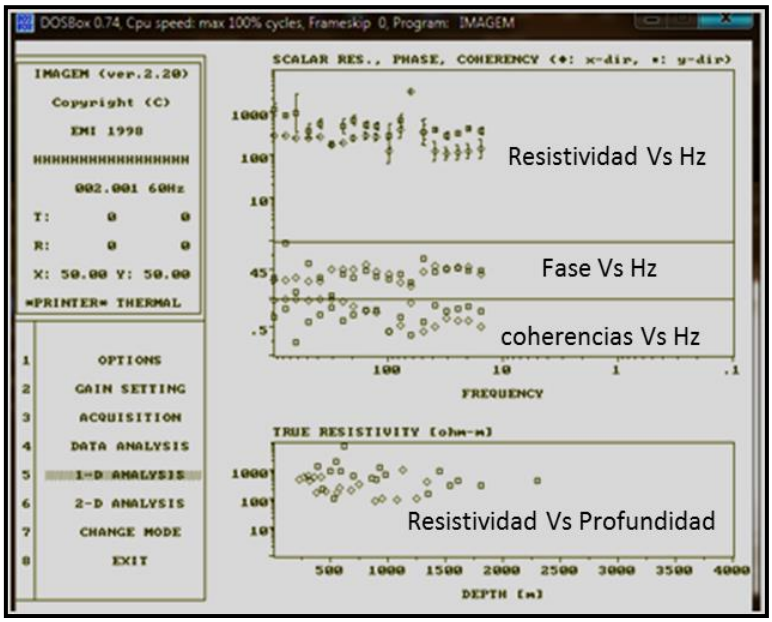
Dónde:

Z=Fase.

μ=Permeabilidad magnética.

ω=Frecuencia angular.

Gráfica 2 Distribución sondeos.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016



Gráfica 3 Interfaz salida de datos. En el recuadro superior se puede observar la varianza de los datos resistividad, fase y coherencia en el dominio de la frecuencia y en el tercero grafico se relaciona la resistividad con la profundidad.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.2 PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES (SEV´S).

El método de resistividad eléctrica consiste fundamentalmente en estudiar las variaciones, en el subsuelo, de la propiedad física conocida como resistividad eléctrica o propiedad que poseen los diferentes tipos de materiales, artificiales o naturales, de oponerse al flujo de la corriente eléctrica, en presencia de un campo eléctrico en cualquiera de las direcciones X, Y, o Z. A través de los contrastes de los valores obtenidos es posible diferenciar distintas clases de materiales existentes en el subsuelo y calcular sus espesores y profundidades.

De acuerdo con el arreglo Schlumberger usado (en la ilustración), se toma una serie de medidas aumentando cada vez la distancia AB/2 a partir de la configuración de Wenner inicial. El desplazamiento entre los electrodos de corriente significa una penetración mayor de la corriente en el subsuelo, siendo la distancia AB/2 final, la profundidad teórica o radio de penetración alcanzada en el sondeo eléctrico.

Para cada lectura de Intensidad de Corriente (I) y de Diferencia de Potencial (ΔV), y teniendo en cuenta la distancia entre los electrodos en cada punto de medición, se obtiene la resistividad eléctrica aparente, de acuerdo con la Ley de Ohm:

$$R = K * \Delta V / I$$

Ecuación 3

Donde K es una constante según la distancia entre los electrodos

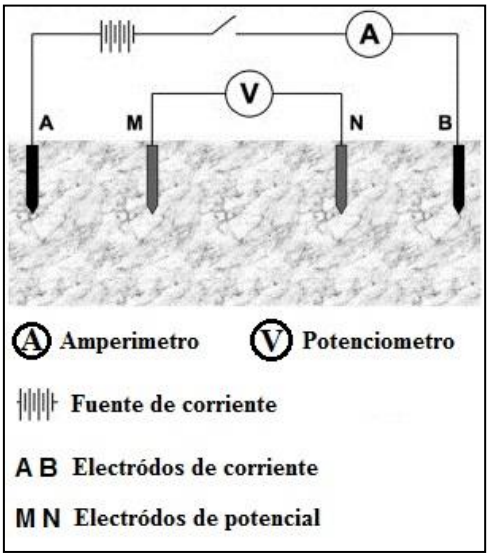


Ilustración 36 Interfaz Configuración teórica inicial del Arreglo Schlumberger
Fuente: (Friedemann, 2011)

La profundidad investigada está relacionada con las dimensiones y geometría del dispositivo utilizado. Las lecturas de corriente, de diferencia de potenciales y la constante geométrica (K), permiten calcular la resistividad de los materiales del subsuelo.

La toma de datos de resistividad eléctrica se realizó utilizando el equipo digital GeoAmp 202 con un rango de abertura de AB/2 de 400 m a partir del centro de medición.

Equipo GeoAmp 202

Arreglo Schlumberger

Instalación de electrodos AB-MN

Lectura de datos

Ilustración 37 Procedimiento de adquisición de geoeléctrica GeoAmp 202
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

Para el procesamiento de los datos de geoeléctrica se utilizó el programa IPI2WIN, el cual está basado en la metodología de aproximaciones sucesivas. Esta metodología consiste en la comparación de curvas de campo con curvas sintéticas generadas a partir de modelos hipotéticos, comparación que se realiza hasta cuando las curvas de campo y las sintéticas alcanzan un ajuste predeterminado de bajo error.

A partir del procesamiento de los sondeos eléctricos verticales, se interpretaron los resultados con el fin de determinar la disposición de las unidades geoeléctricas para cada SEV y su interpretación litológica.

Para la interpretación de los SEV adquiridos, se utilizaron como valores de referencia los presentados en la correspondiente a un estudio regional desarrollado por la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín en el año 2.000; incluyendo los rangos de valor y la interpretación litológica dada para los datos del presente estudio, aplicando información base de geología y las correcciones pertinentes. En la **Tabla 7** se muestran los valores generales de referencia para la resistividad de acuerdo con el tipo de roca.

Tabla 7 Tabla de resistividades

Material	Resistividad (Ohm-metro)
Basamento. Roca sana con diaclasas espaciadas	>10000
Basamento. Roca fracturada	1500-5000
Basamento. Roca fracturada saturada con agua corriente	100-2000
Basamento. Roca fracturada saturada con agua salada	50-100
Gruss parcialmente saturado	500-1000
Gruss saturado	40-60
Saprolito parcialmente saturado	200-500
Saprolito saturado	40-100
Gravas parcialmente saturadas	500-3000
Gravas saturadas	300-500
Arenas parcialmente saturadas	400-700
Arenas saturadas	100-200
Limos parcialmente saturados	100-200
Limos saturados	20-100
Limos saturados con agua salada	5-15
Arcillas parcialmente saturadas	20-40
Arcillas saturadas	5-20
Arcillas saturadas con agua salada	1-10
Ceniza volcánica seca	1000-2000
Ceniza volcánica húmeda	300-1000
Ceniza volcánica saturada	100-300

Fuente: Universidad Nacional de Colombia, 2000

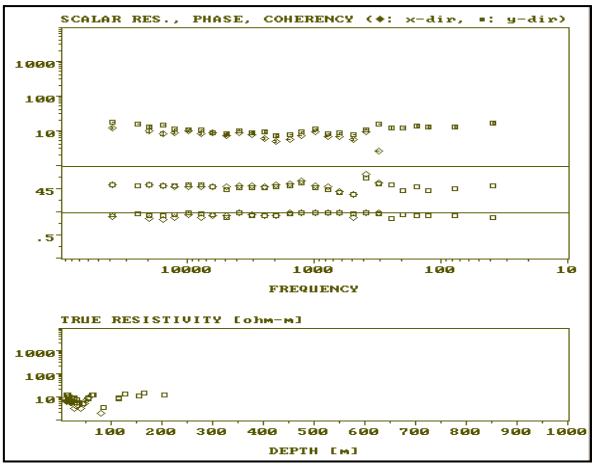
2.4.3 **RESULTADOS.**

En este ítem se presentan los resultados obtenidos de las Exploración Geofísica mediante registro fotográfico, tablas y registro gráficos. (Ver Anexo C-1 Información Magnetotelurica).

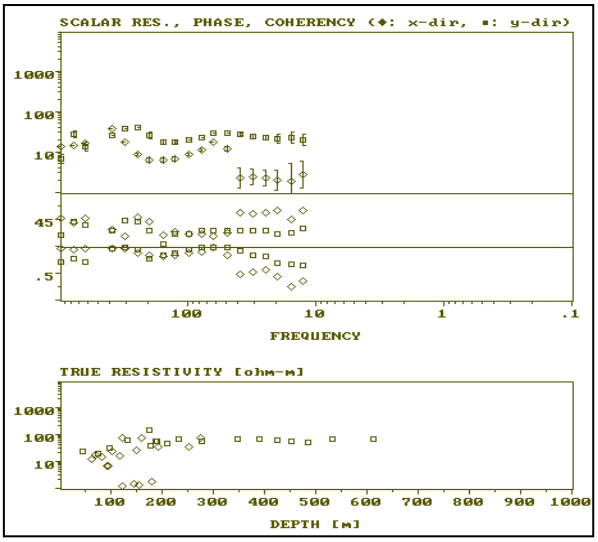
2.4.3.1 Resultados Magneto Telúrica (MT):

2.4.3.1.1 Sondeo MT-01

En la **Gráfica 4** y **Gráfica 5** se presentan los resultados para el MT-01, el punto de muestreo en superficie se encuentra localizado sobre las rocas del Batolito de Ibagué (J3i).



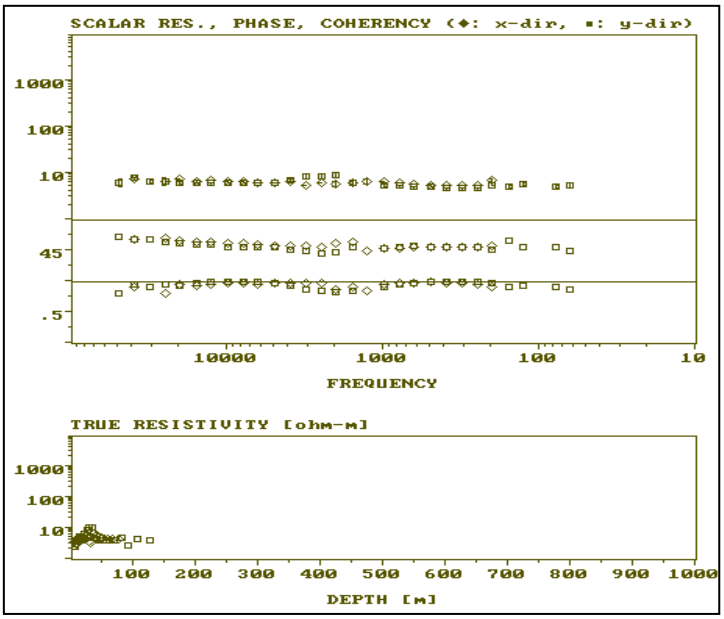
Gráfica 4 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para altas frecuencias AMT-01



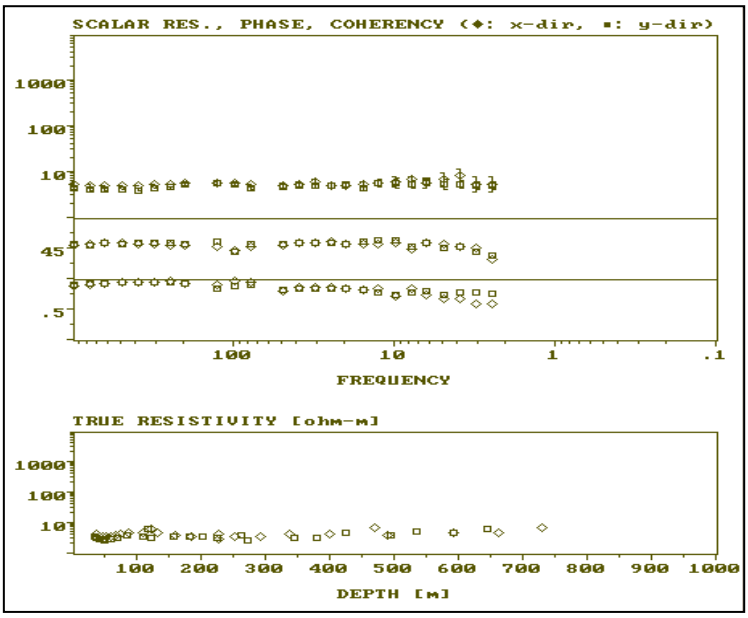
Gráfica 5 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para bajas frecuencias MT-01
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.1.2 Sondeo MT-02

En la **Gráfica 6 y Gráfica 7** se presentan los resultados para el MT-02. El punto de muestreo en superficie se encuentra localizado sobre la Formación Honda (N1h).



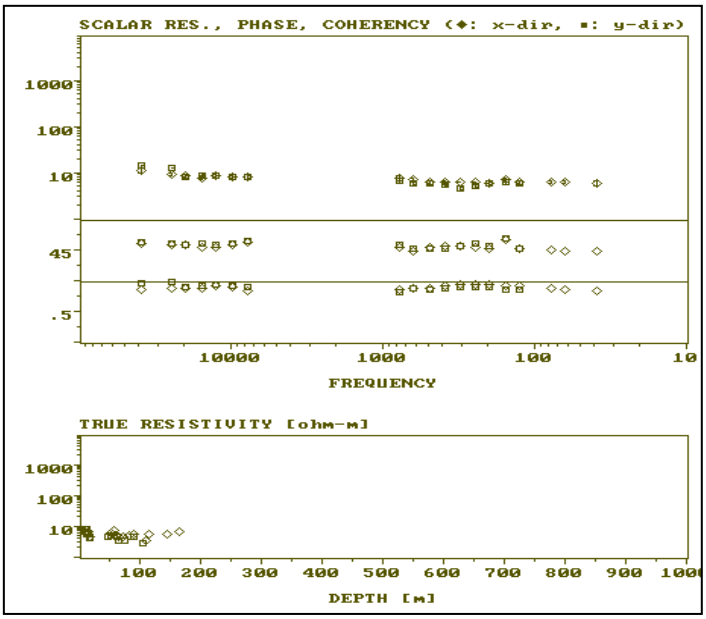
Gráfica 6 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para altas frecuencias AMT-02



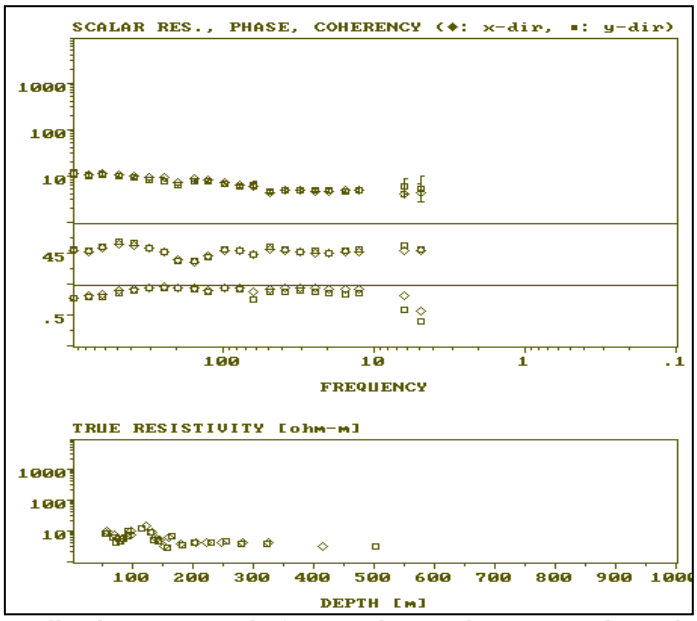
Gráfica 7 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para bajas frecuencias MT-02
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.1.3 Sondeo MT-03.

En la **Gráfica 8 y Gráfica 9** se presentan los resultados para el MT-03. El punto de muestreo en superficie se encuentra localizado sobre la Formación Honda (N1h).



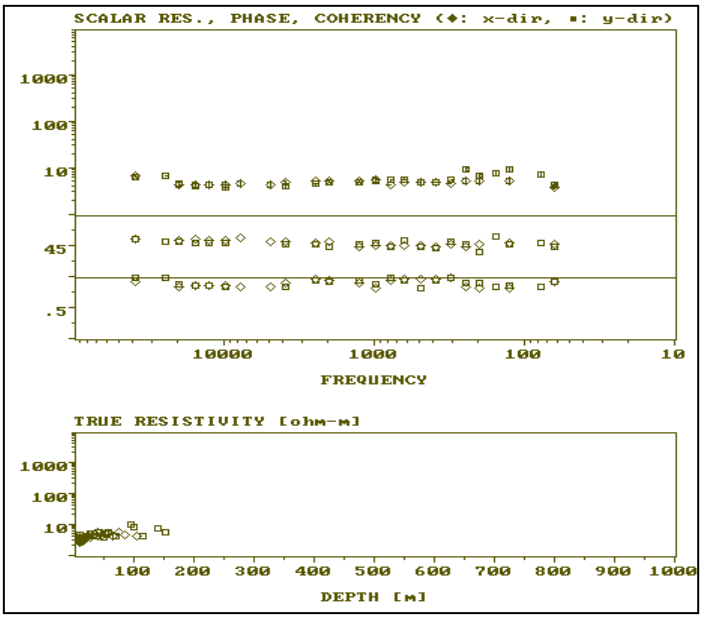
Gráfica 8 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para altas frecuencias AMT-03



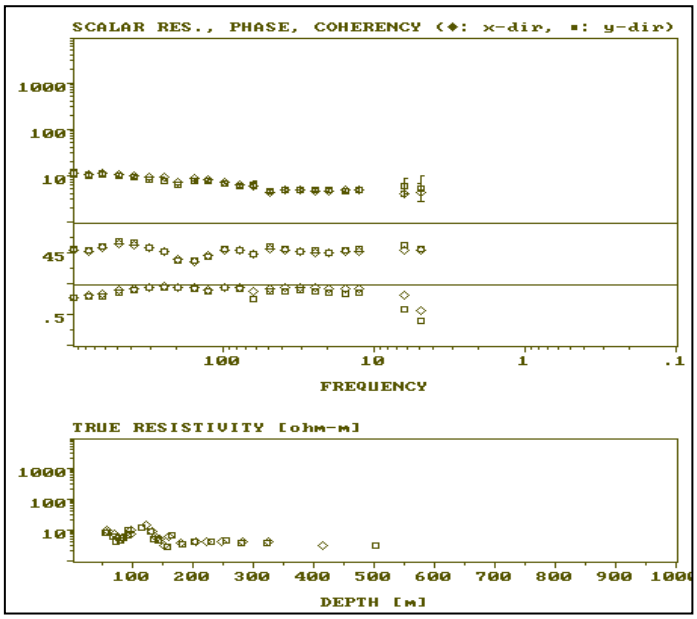
Gráfica 9 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para bajas frecuencias MT-03
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.1.4 Sondeo MT-04

En la **Gráfica 10 y Gráfica 11** se presentan los resultados para el MT-04. El punto de muestreo en superficie se encuentra localizado sobre la Formación Honda (N1h).



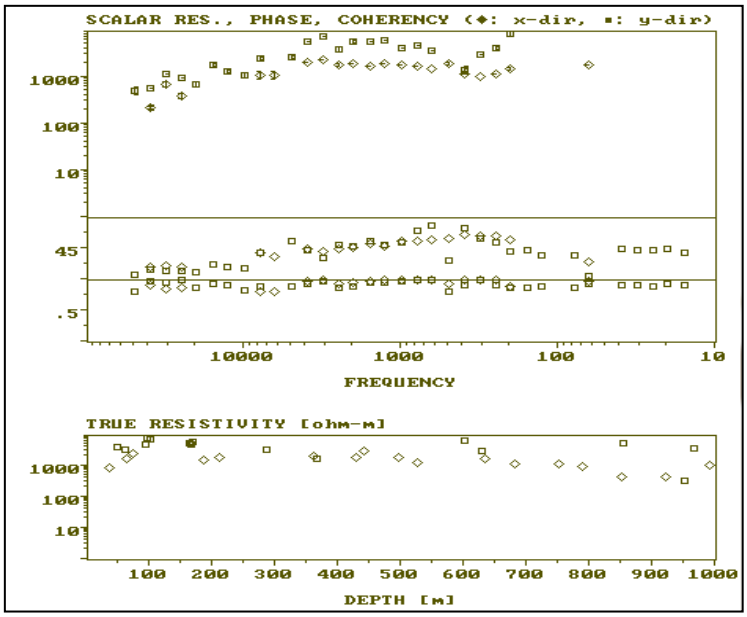
Gráfica 10 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para altas frecuencias AMT-04



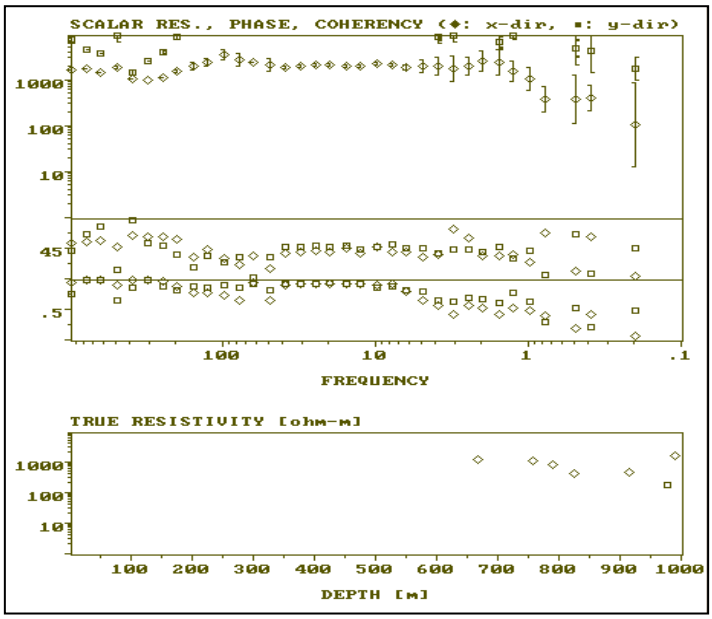
Gráfica 11 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para bajas frecuencias MT-04
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.1.5 Sondeo MT-05.

En la **Gráfica 12 y Gráfica 13** se presentan los resultados para el MT-05. El punto de muestreo en superficie se encuentra localizado sobre la Formación Caballos (K1c).



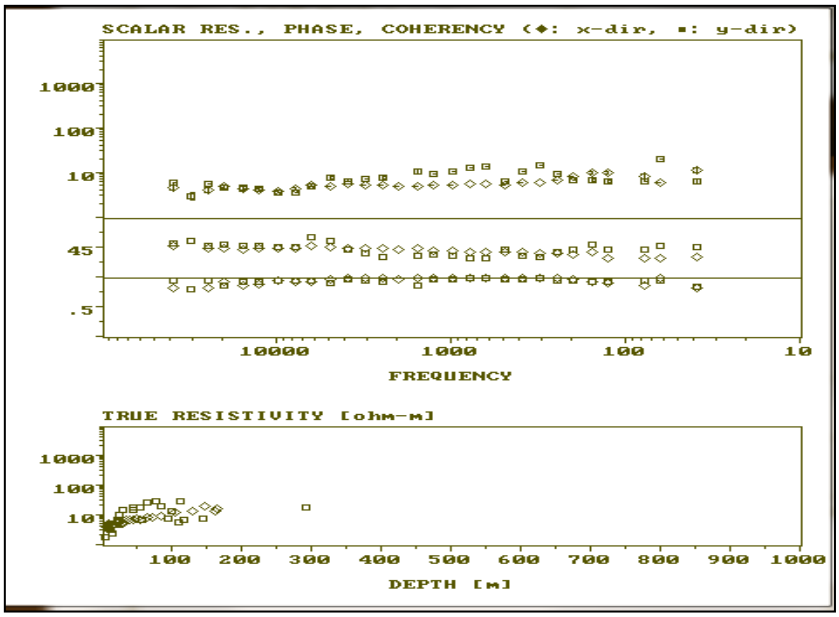
Gráfica 12 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para altas frecuencias AMT-05



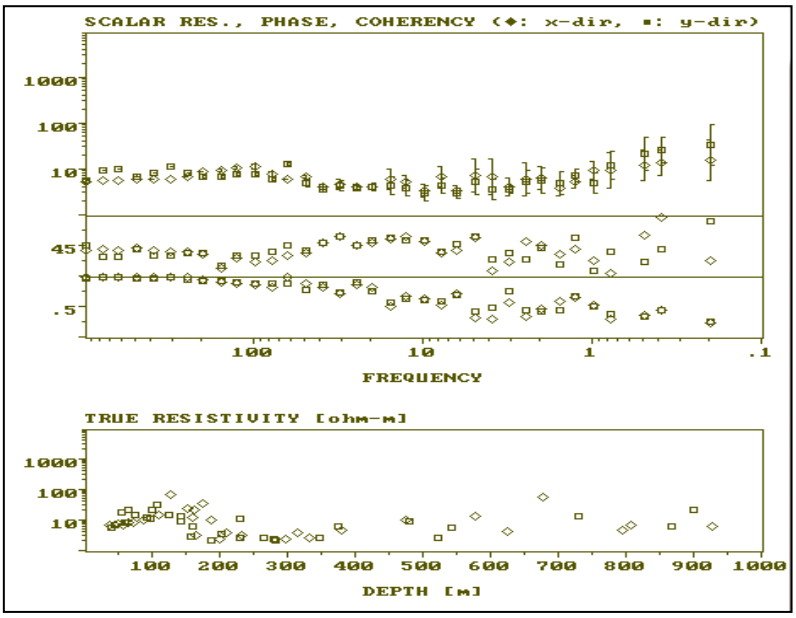
Gráfica 13 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para bajas frecuencias MT-05
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.1.6 Sondeo MT-06

En la **Gráfica 14 y Gráfica 15** se presentan los resultados para el MT-06. El punto de muestreo en superficie se encuentra localizado sobre la Formación Honda (N1h)



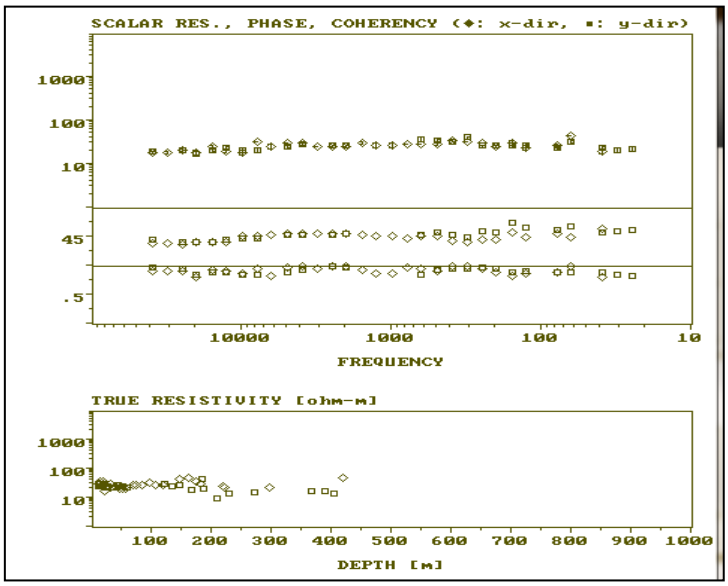
Gráfica 14 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para altas frecuencias AMT-06



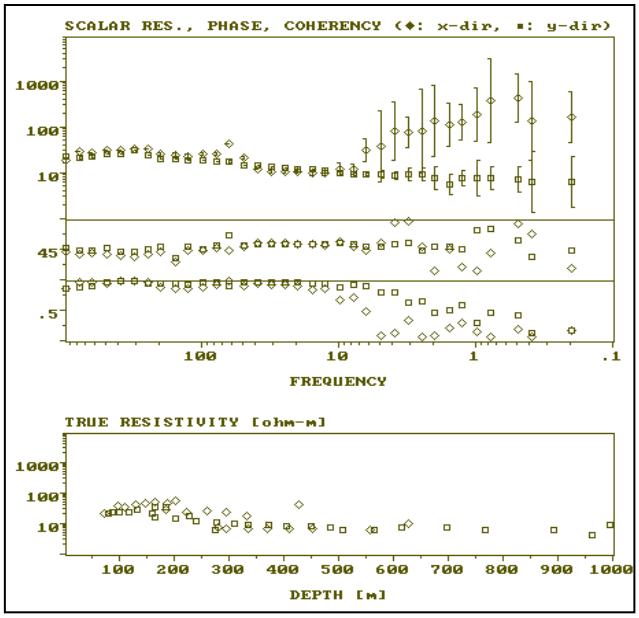
Gráfica 15 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para bajas frecuencias MT-06
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.1.7 Sondeo MT-07

En la **Gráfica 16 y Gráfica 17** se presentan los resultados para el MT-07. El punto de muestreo en superficie se encuentra localizado sobre la Formación Gigante medio (N2gim)



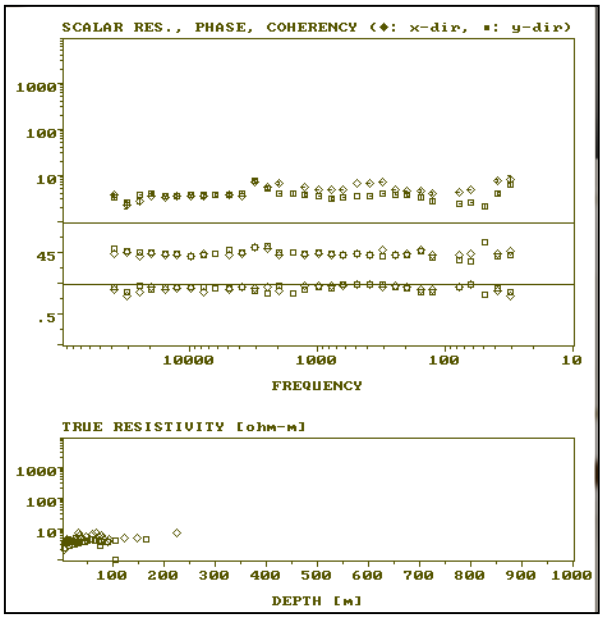
Gráfica 16 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para altas frecuencias AMT-07



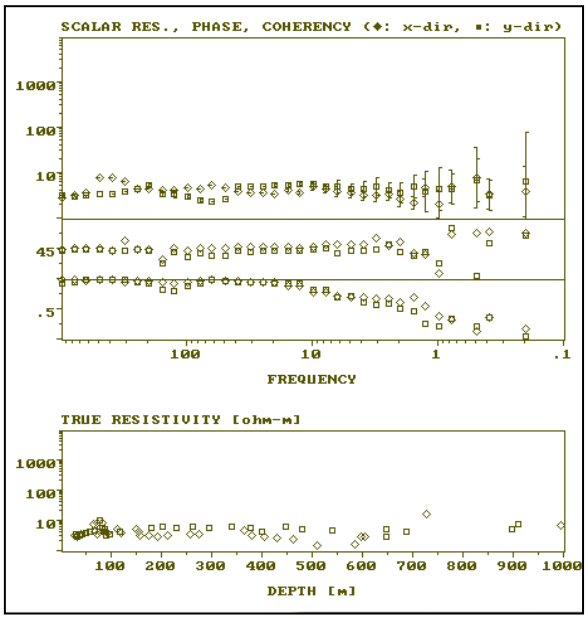
Gráfica 17 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para bajas frecuencias MT-07
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.1.8 Sondeo MT-08

En la **Gráfica 18 y Gráfica 19** se presentan los resultados para el MT-08. El punto de muestreo en superficie se encuentra localizado sobre Formación Honda (N1h)



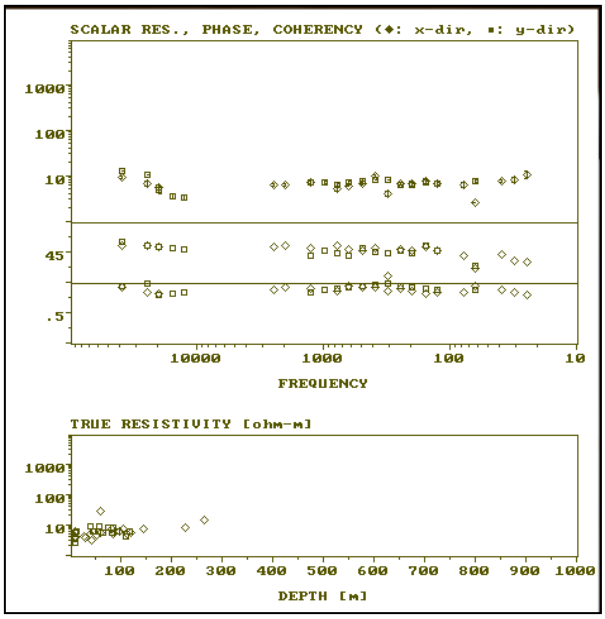
Gráfica 18 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para altas frecuencias AMT-08



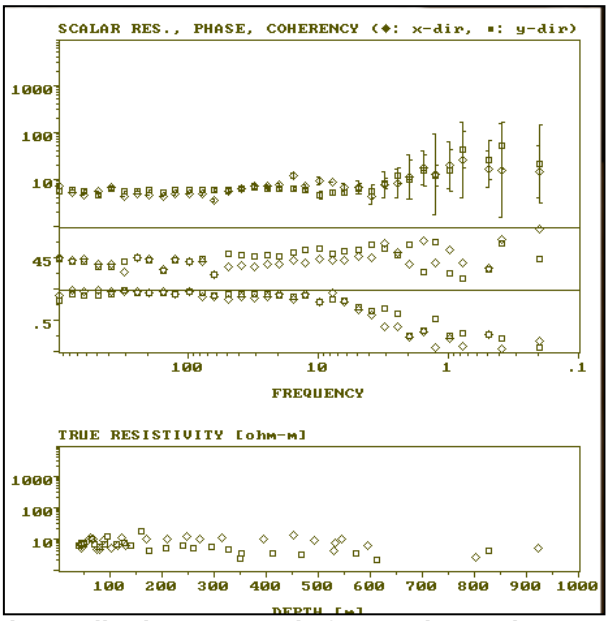
Gráfica 19 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para bajas frecuencias MT-08
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.1.9 Sondeo MT-09

En la **Gráfica 20 y Gráfica 21** se presentan los resultados para el MT-09. El punto de muestreo en superficie se encuentra localizado sobre Depósitos Coluviales (Q2c)



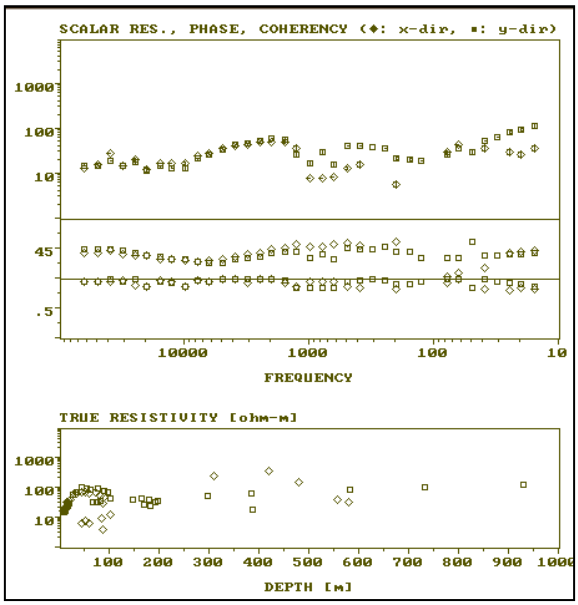
Gráfica 20 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para altas frecuencias AMT-09



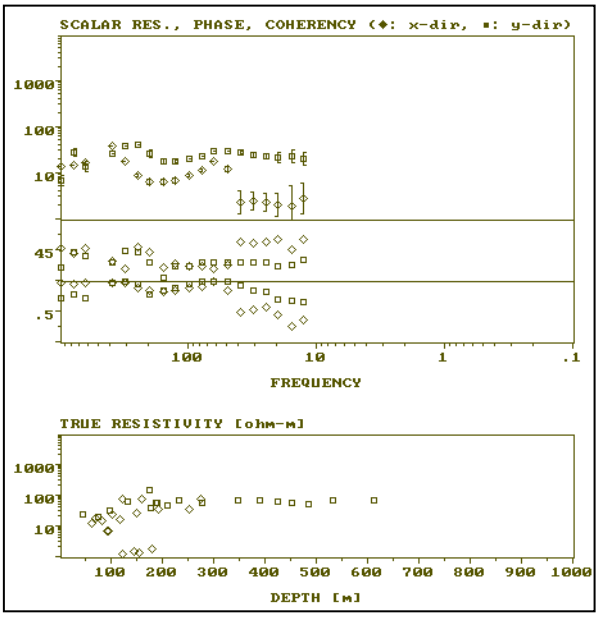
Gráfica 21 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para bajas frecuencias MT-09
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.1.10 Sondeo MT-10

En la **Gráfica 22 y Gráfica 23** se presentan los resultados para el MT-10. El punto de muestreo en superficie se encuentra localizado sobre Depósitos de Terraza alta y/o Abanico antiguo (Q1al).



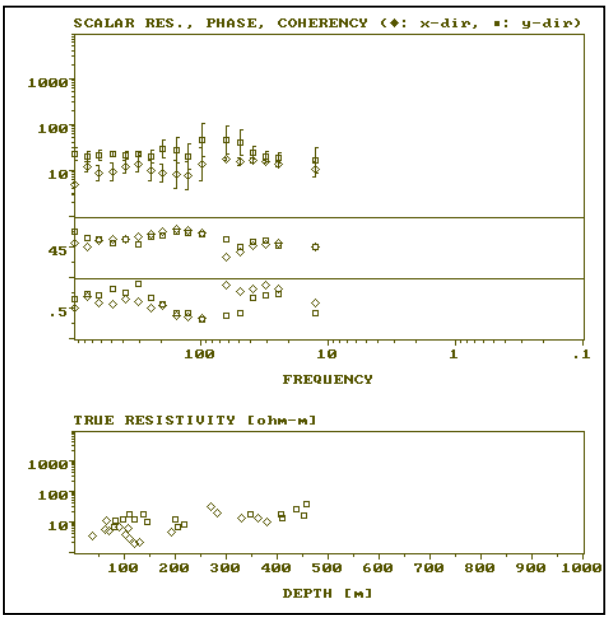
Gráfica 22 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para altas frecuencias AMT-10



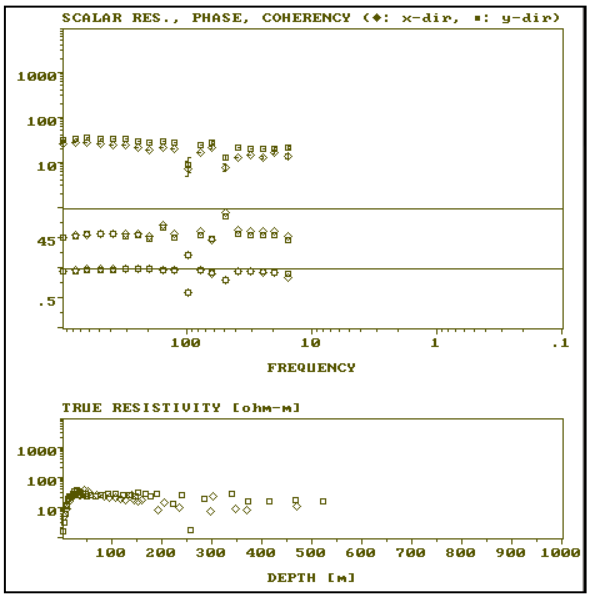
Gráfica 23 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para bajas frecuencias MT-10
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.1.11 Sondeo MT-11

En la **Gráfica 24 y Gráfica 25** se presentan los resultados para el MT-11. El punto de muestreo en superficie se encuentra localizado sobre la Formación Gigante medio (N2gim)



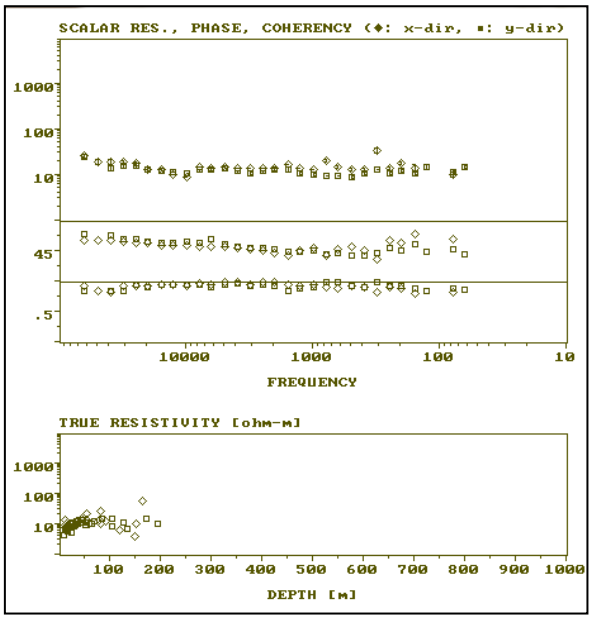
Gráfica 24 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para altas frecuencias AMT-11



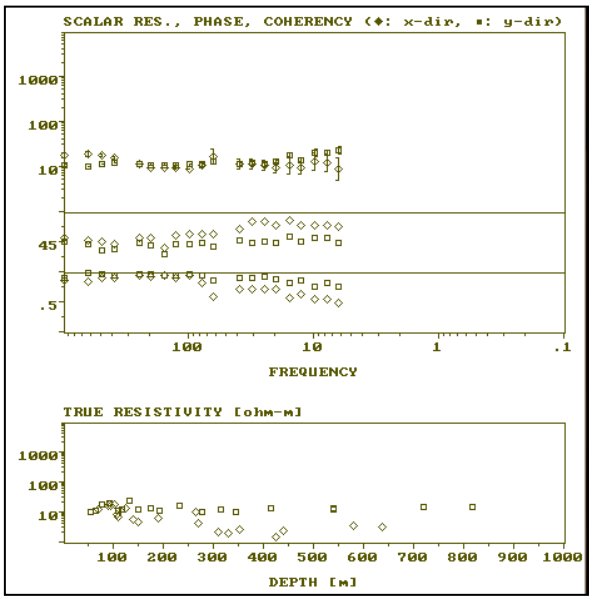
Gráfica 25 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para bajas frecuencias MT-11
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.1.12 **Sondeo MT-12**

En la **Gráfica 26 y Gráfica 27** se presentan los resultados para el MT-12. El punto de muestreo en superficie se encuentra localizado sobre Depósitos de Terraza alta y/o Abanico antiguo (Q1al).



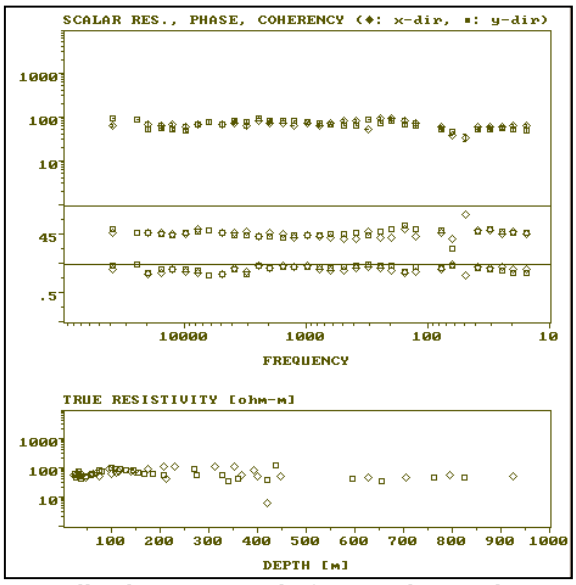
Gráfica 26 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para altas frecuencias AMT-12



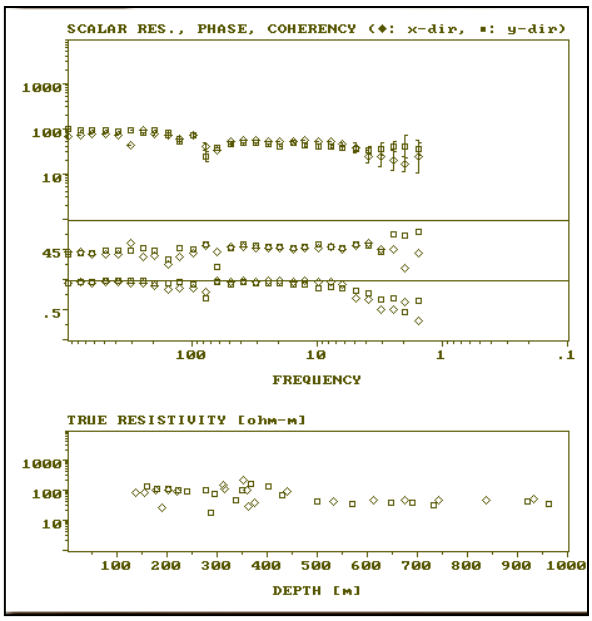
Gráfica 27 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para bajas frecuencias MT-11
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.1.13 Sondeo MT-13

En la **Gráfica 28 y Gráfica 29** se presentan los resultados para el MT-13. El punto de muestreo en superficie se encuentra localizado sobre la Formación Gualanday medio (E2gym)



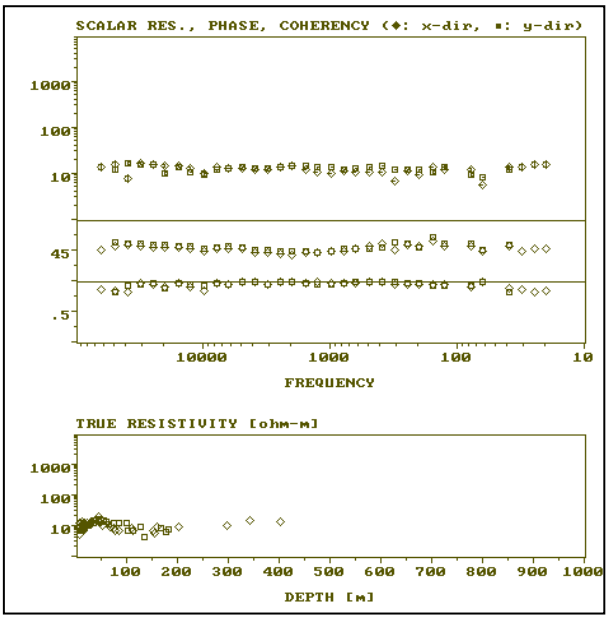
Gráfica 28 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para altas frecuencias AMT-13



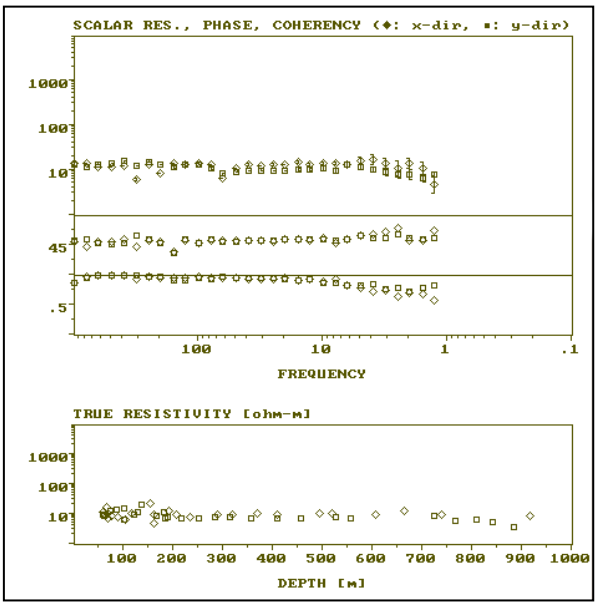
Gráfica 29 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para bajas frecuencias MT-13
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.1.14 Sondeo MT-14

En la **Gráfica 30 y Gráfica 31** se presentan los resultados para el MT-14. El punto de muestreo en superficie se encuentra localizado sobre Depósitos de Terraza alta y/o Abanico antiguo (Q1al)



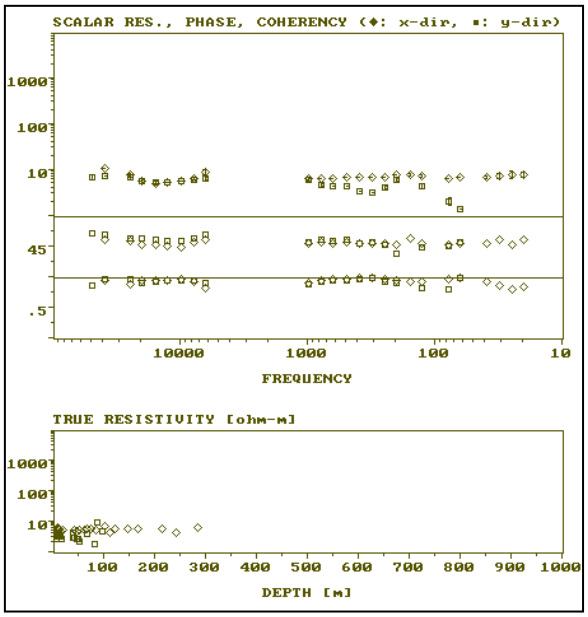
Gráfica 30 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para altas frecuencias AMT-14



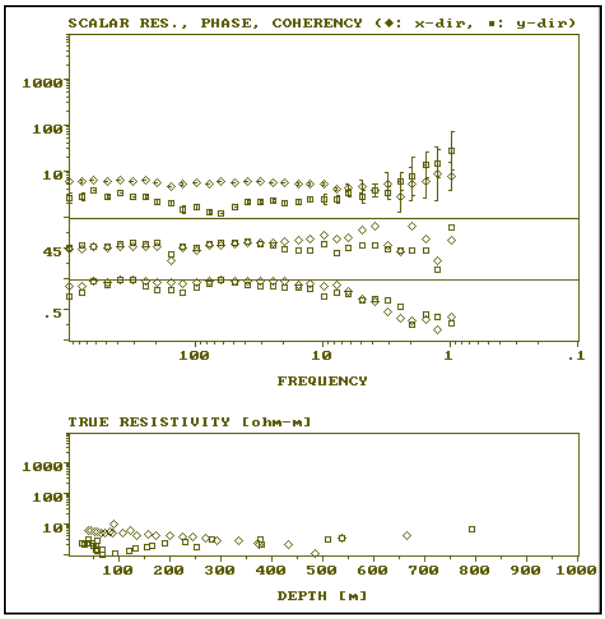
Gráfica 31 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para bajas frecuencias MT-14
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.1.15 Sondeo MT-15

En la **Gráfica 32 y Gráfica 33** se presentan los resultados para el MT-15. El punto de muestreo en superficie se encuentra localizado sobre la Formación Honda (N1h)



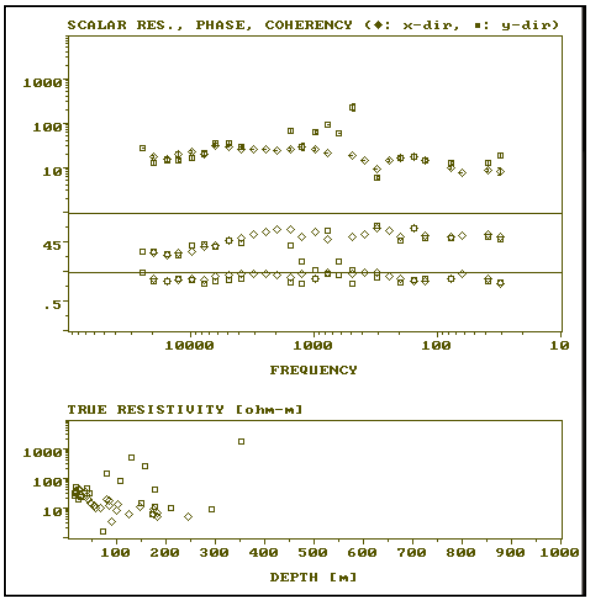
Gráfica 32 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para altas frecuencias AMT-15



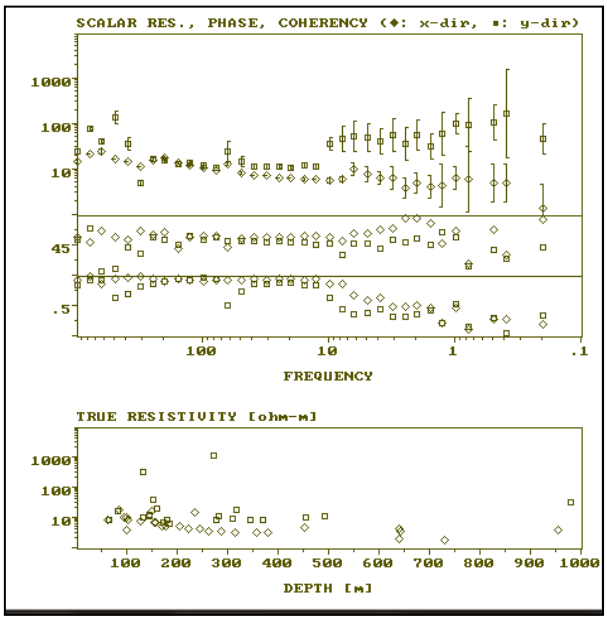
Gráfica 33 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para bajas frecuencias MT-15
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.1.16 Sondeo MT-16

En la **Gráfica 34 y Gráfica 35** se presentan los resultados para el MT-16. El punto de muestreo en superficie se encuentra localizado sobre la Formación Gualanday medio (E2gym).



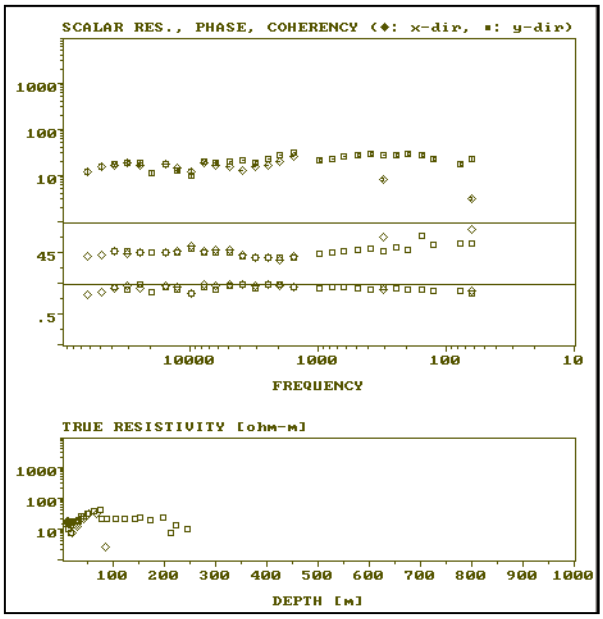
Gráfica 34 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para altas frecuencias AMT-16



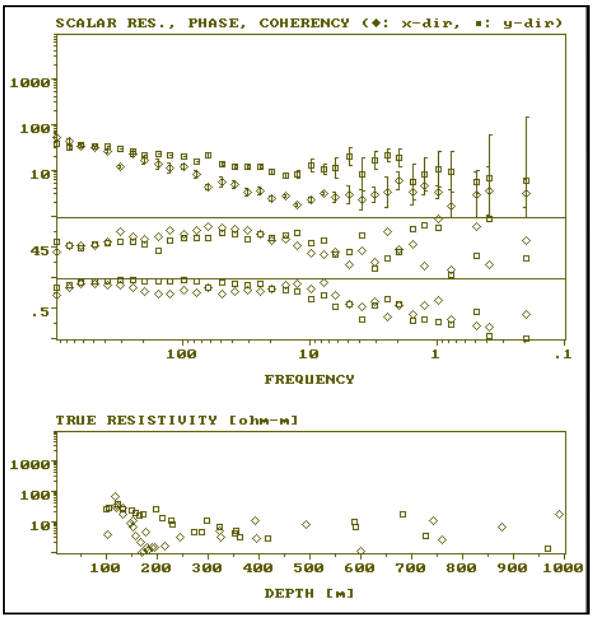
Gráfica 35 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para bajas frecuencias MT-16
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.1.17 Sondeo MT-17

En la **Gráfica 36 y Gráfica 37** se presentan los resultados para el MT-17. El punto de muestreo en superficie se encuentra localizado sobre Depósitos de Lahares (Q2lh)



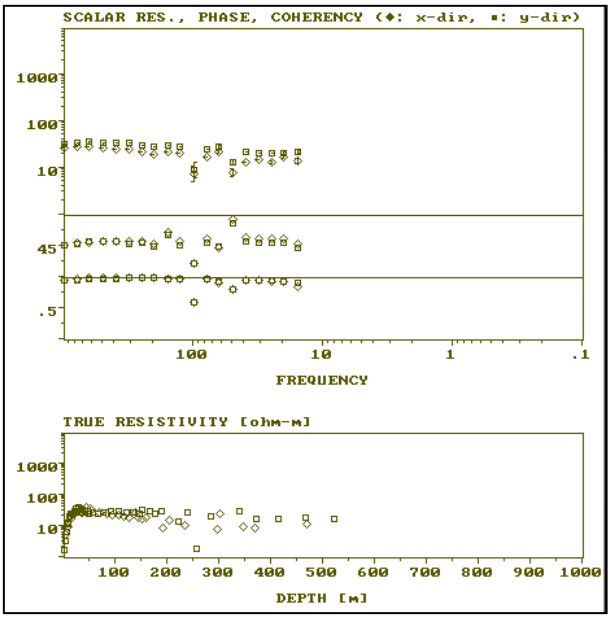
Gráfica 36 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para altas frecuencias AMT-17



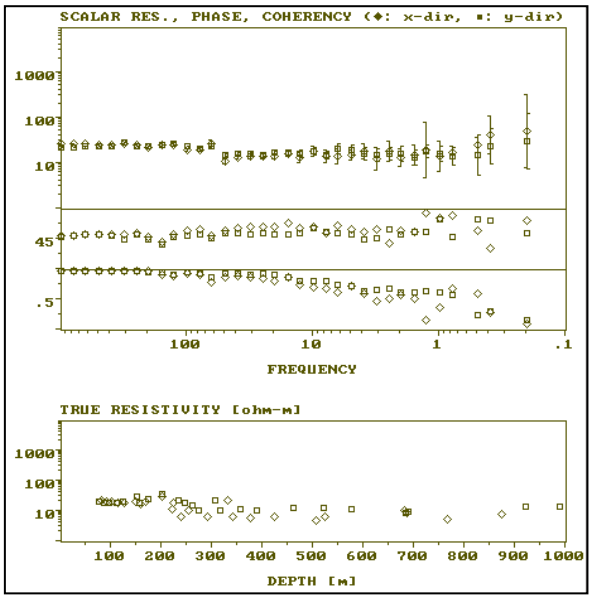
Gráfica 37 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para bajas frecuencias MT-17
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.1.18 Sondeo MT-18

En la **Gráfica 38 y Gráfica 39** se presentan los resultados para el MT-18. El punto de muestreo en superficie se encuentra localizado sobre la Formación Caballos (K1c)



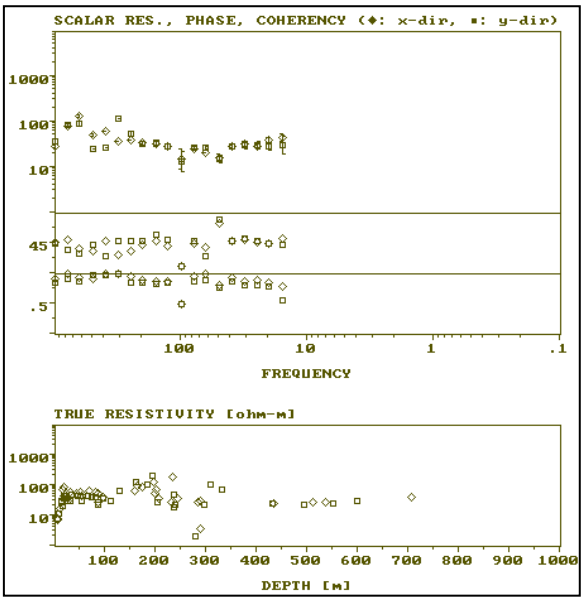
Gráfica 38 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para altas frecuencias AMT-18



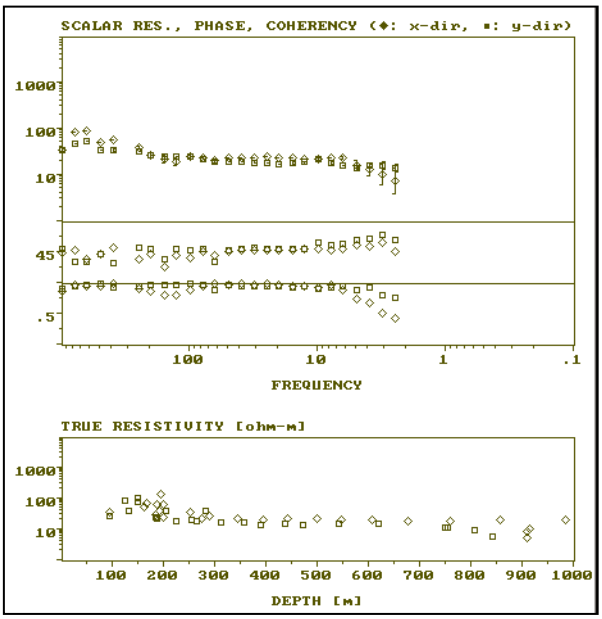
Gráfica 39 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para bajas frecuencias MT-18
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.1.19 Sondeo MT-19

En la **Gráfica 40 y Gráfica 41** se presentan los resultados para el MT-19. El punto de muestreo en superficie se encuentra localizado sobre Depósitos de Terraza alta y/o Abanico antiguo (Q1al)



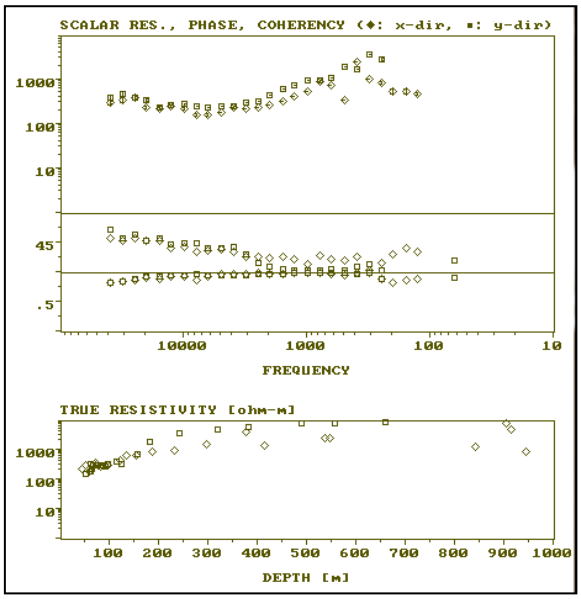
Gráfica 40 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para altas frecuencias AMT-19



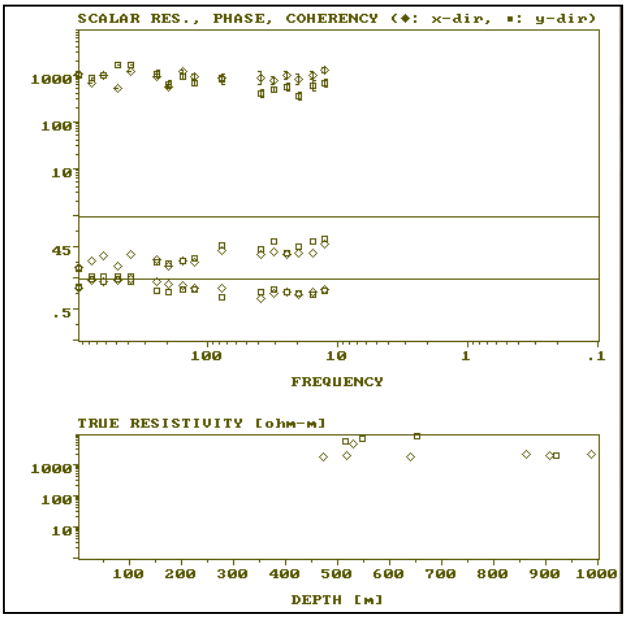
Gráfica 41 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para bajas frecuencias MT-19
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.1.20 Sondeo MT-20

En la **Gráfica 42 y Gráfica 43** se presentan los resultados para el MT-20. El punto de muestreo en superficie se encuentra localizado sobre la Formación Gigante superior (N2gis).



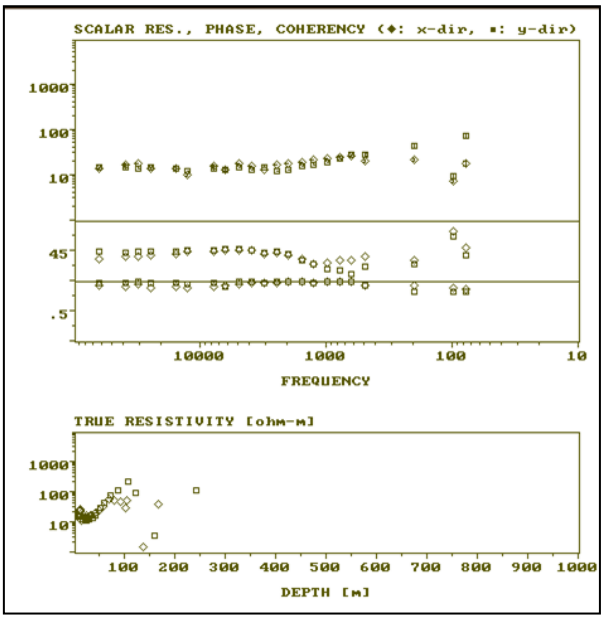
Gráfica 42 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para altas frecuencias AMT-20



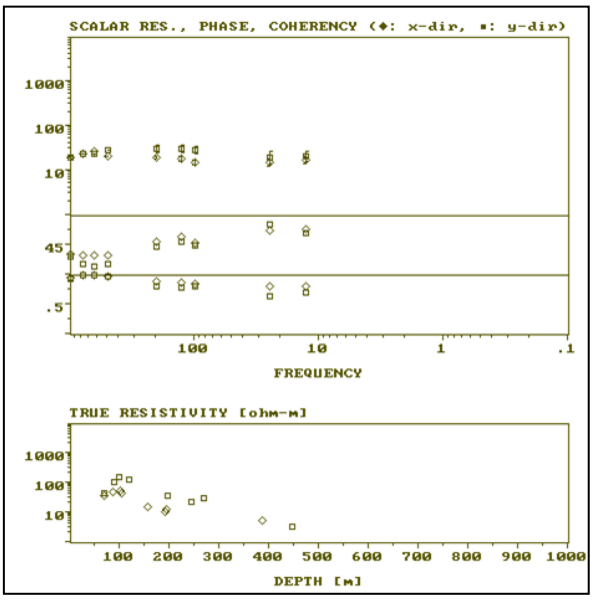
Gráfica 43 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para bajas frecuencias MT-20
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.1.21 Sondeo MT-21

En la **Gráfica 44 y Gráfica 45** se presentan los resultados para el MT-21. El punto de muestreo en superficie se encuentra localizado sobre rocas del Macizo de Garzón (Mp3mg)



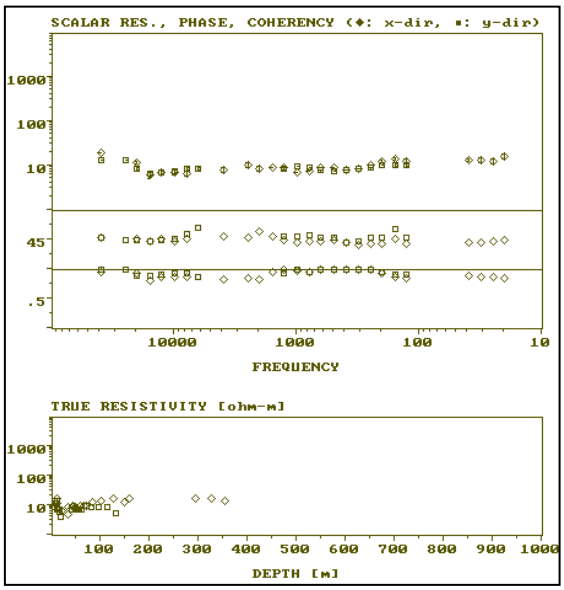
Gráfica 44 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para altas frecuencias AMT-21



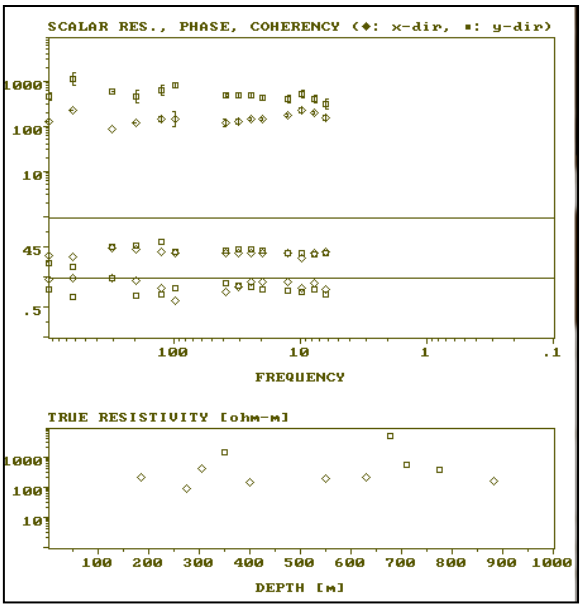
Gráfica 45 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para bajas frecuencias MT-21
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.1.22 Sondeo MT-22

En la **Gráfica 46 y Gráfica 47** se presentan los resultados para el MT-22. El punto de muestreo en superficie se encuentra localizado sobre la Formación Gigante medio (N2gim)



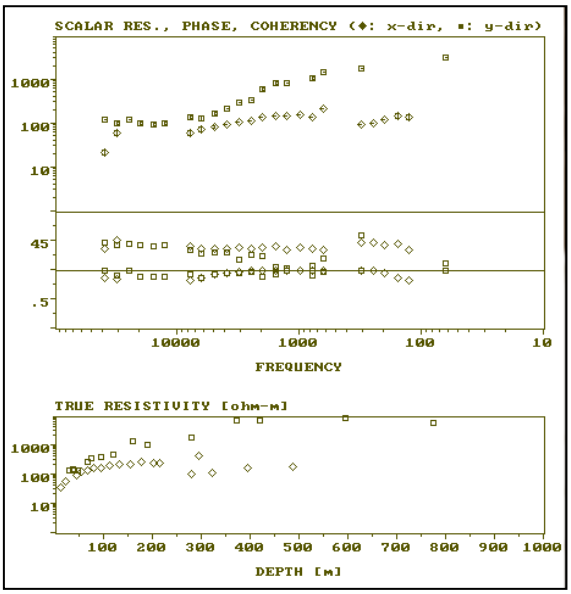
Gráfica 46 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para altas frecuencias AMT-22



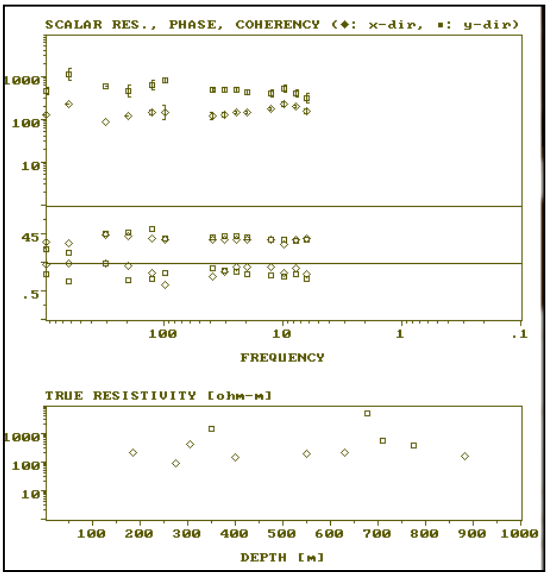
Gráfica 47 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para bajas frecuencias MT-22

2.4.3.1.23 Sondeo MT-23

En la **Gráfica 48 y Gráfica 49** se presentan los resultados para el MT-23. El punto de muestreo en superficie se encuentra localizado sobre Depósitos de Terraza y/o Abanico antiguo (Q1al)



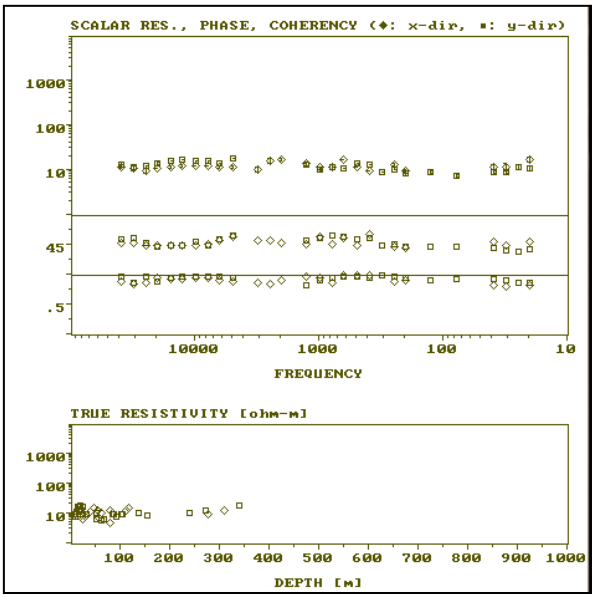
Gráfica 48 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para altas frecuencias AMT-23



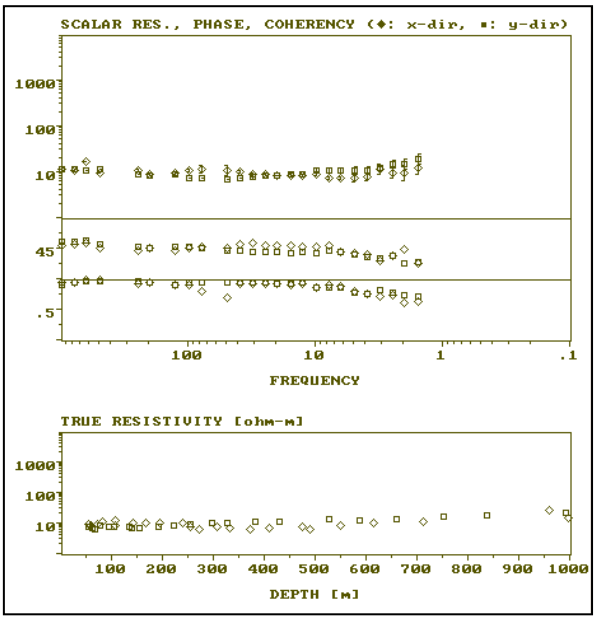
Gráfica 49 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para bajas frecuencias MT-23
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.1.24 Sondeo MT-24

En la **Gráfica 50 y Gráfica 51** se presentan los resultados para el MT-24. El punto de muestreo en superficie se encuentra localizado sobre Depósitos de Terraza bajas (Q2al)



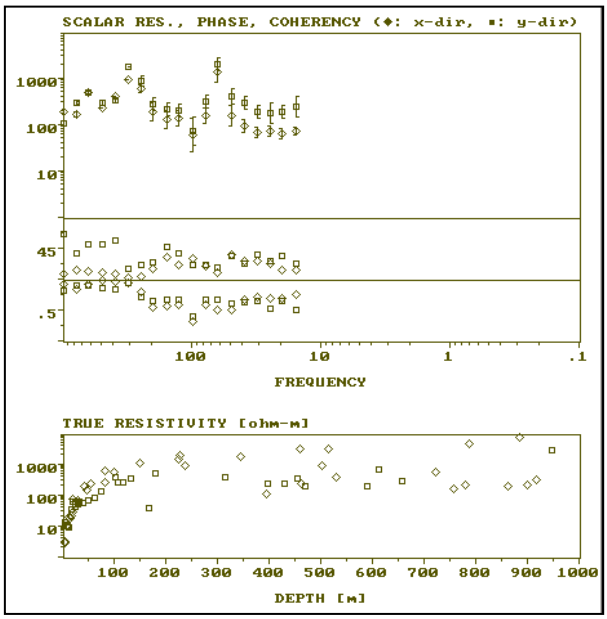
Gráfica 50 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para altas frecuencias AMT-24



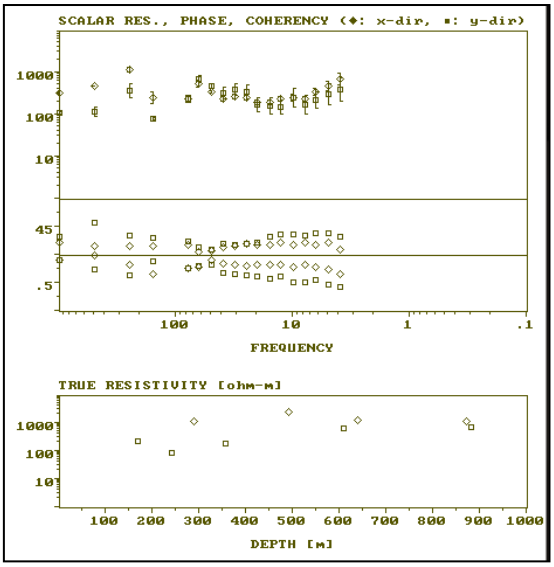
Gráfica 51 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para bajas frecuencias MT-24
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.1.25 Sondeo MT-25

En la **Gráfica 52 y Gráfica 53** se presentan los resultados para el MT-25. El punto de muestreo en superficie se encuentra localizado sobre Depósitos de la Formación Seca (K2E1sc).



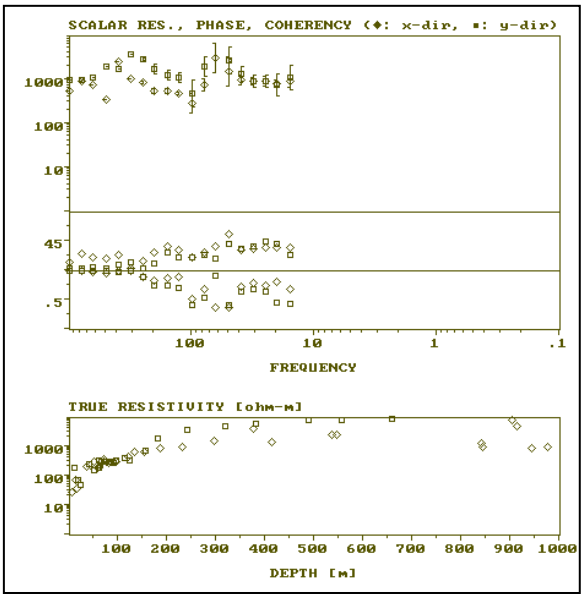
Gráfica 52 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para altas frecuencias AMT-25



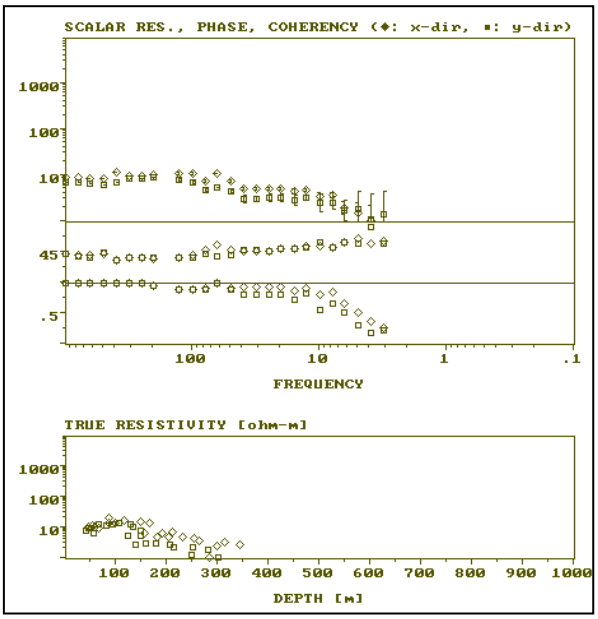
Gráfica 53 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para bajas frecuencias MT-25
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.1.26 Sondeo MT-26

En la **Gráfica 54 y Gráfica 55** se presentan los resultados para el MT-26. El punto de muestreo en superficie se encuentra localizado sobre la Formación Guacacallo (N2Q1g)



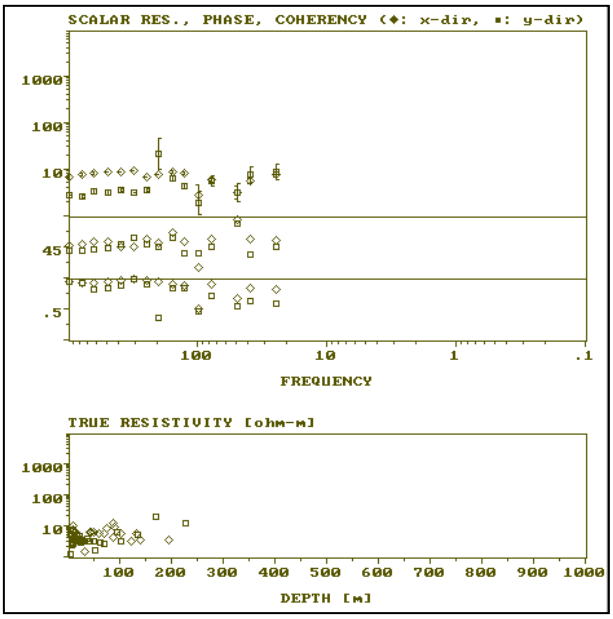
Gráfica 54 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para altas frecuencias AMT-26



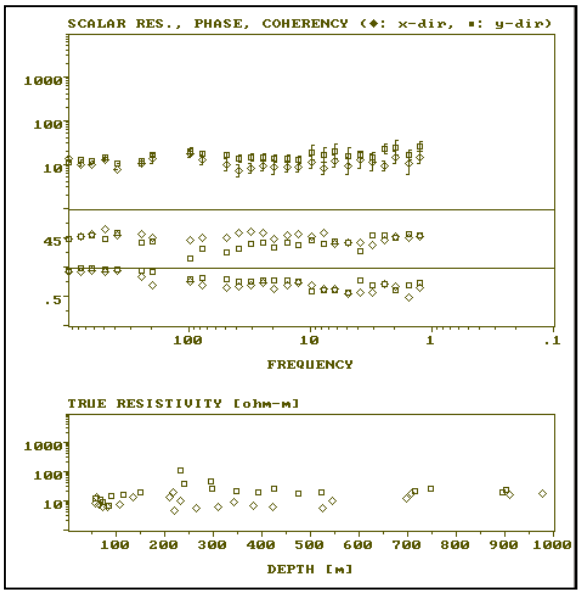
Gráfica 55 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para bajas frecuencias MT-26
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.1.27 Sondeo MT-27

En la **Gráfica 56 y Gráfica 57** se presentan los resultados para el MT-27. El punto de muestreo en superficie se encuentra localizado sobre la Formación Honda (N1h)



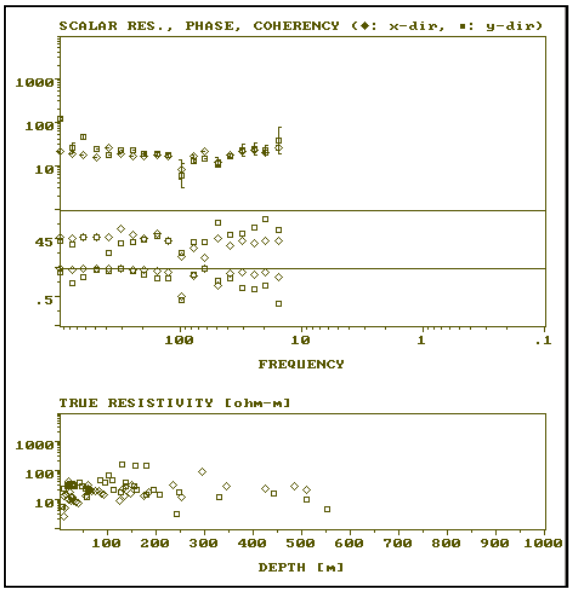
Gráfica 56 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para altas frecuencias AMT-27



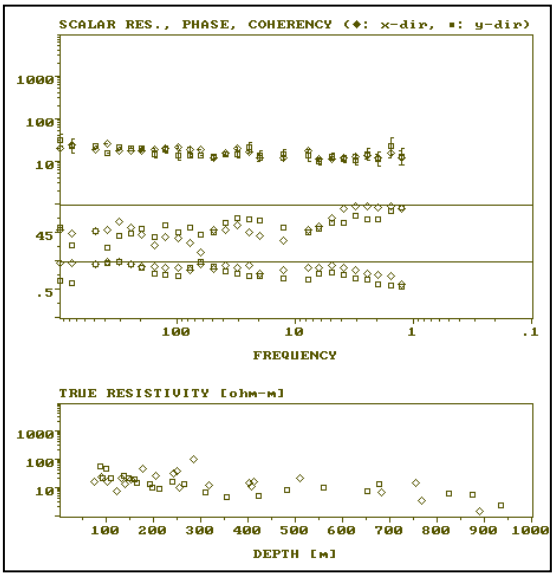
Gráfica 57 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para bajas frecuencias MT-27
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.1.28 Sondeo MT-28

En la **Gráfica 58 y Gráfica 59** se presentan los resultados para el MT-28. El punto de muestreo en superficie se encuentra localizado Depósitos de terrazas bajas y/o abanico reciente (Q2al)



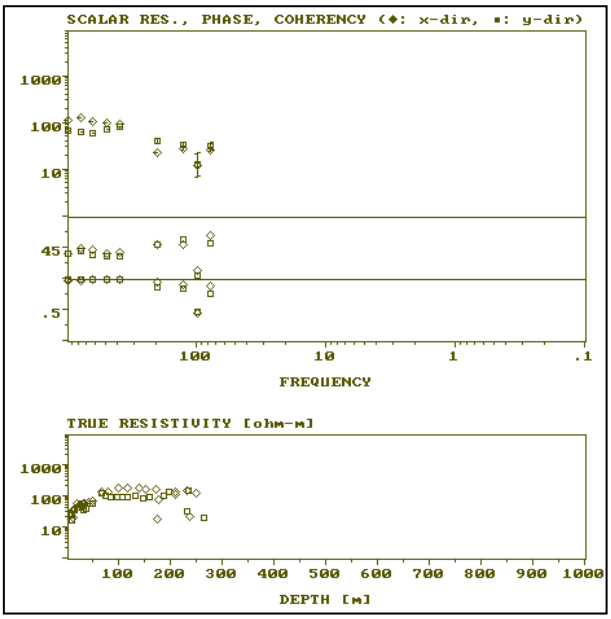
Gráfica 58 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para altas frecuencias AMT-28



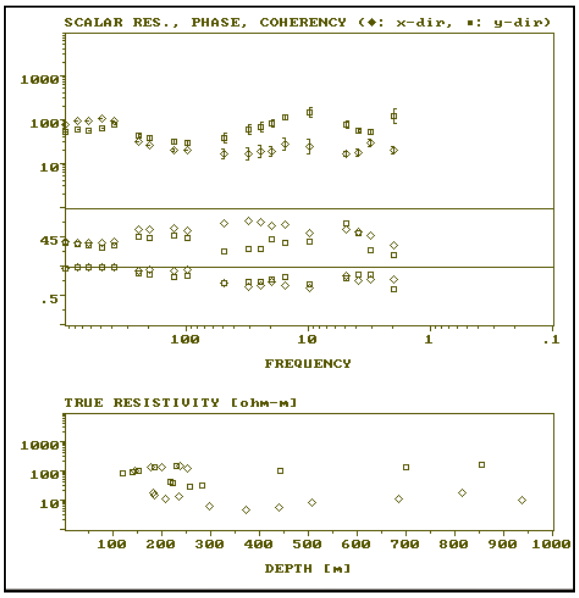
Gráfica 59 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para bajas frecuencias MT-28
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.1.29 Sondeo MT-29

En la **Gráfica 60 y Gráfica 61** se presentan los resultados para el MT-29. El punto de muestreo en superficie se encuentra localizado Depósitos de terrazas bajas y/o abanico reciente (Q2al)



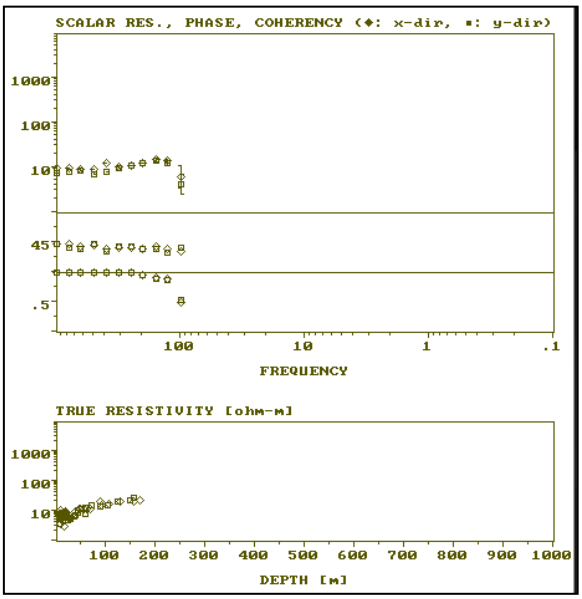
Gráfica 60 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para altas frecuencias AMT-29



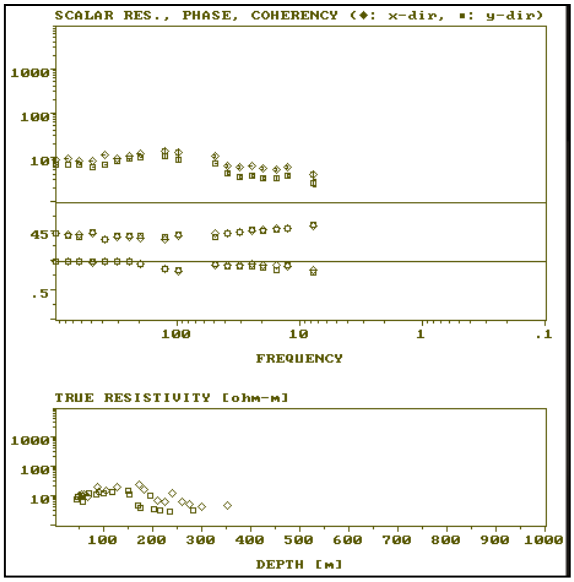
Gráfica 61 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para bajas frecuencias MT-29
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.1.30 Sondeo MT-30

En la **Gráfica 62 y Gráfica 63** se presentan los resultados para el MT-30. El punto de muestreo en superficie se encuentra localizado Depósitos de terrazas Alta y/o abanico antiguo (Q1al).



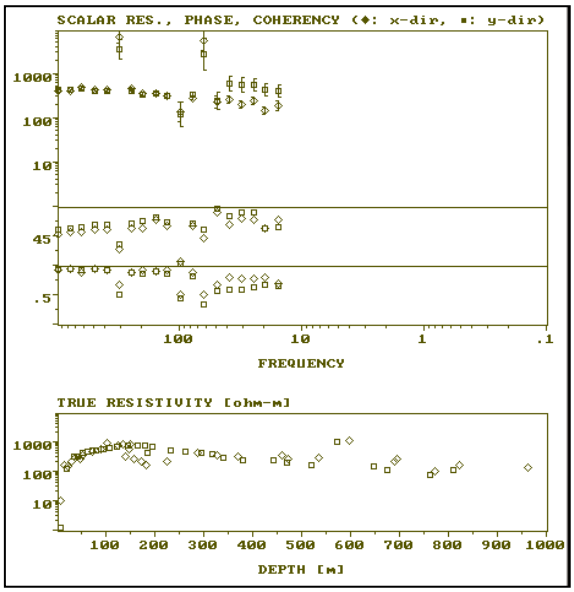
Gráfica 62 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para altas frecuencias AMT-30



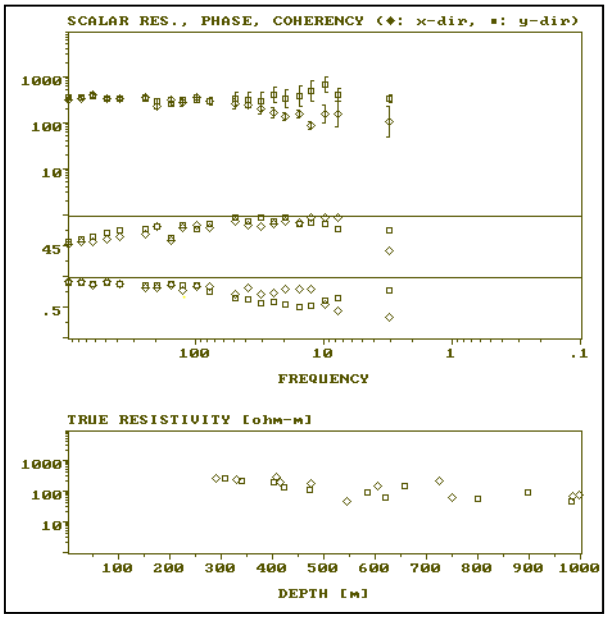
Gráfica 63 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para bajas frecuencias MT-30
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.1.31 Sondeo MT-31

En la **Gráfica 64 y Gráfica 65** se presentan los resultados para el MT-31.El punto de muestreo en superficie se encuentra localizado Depósitos de terrazas bajas y/o abanico reciente (Q2al)



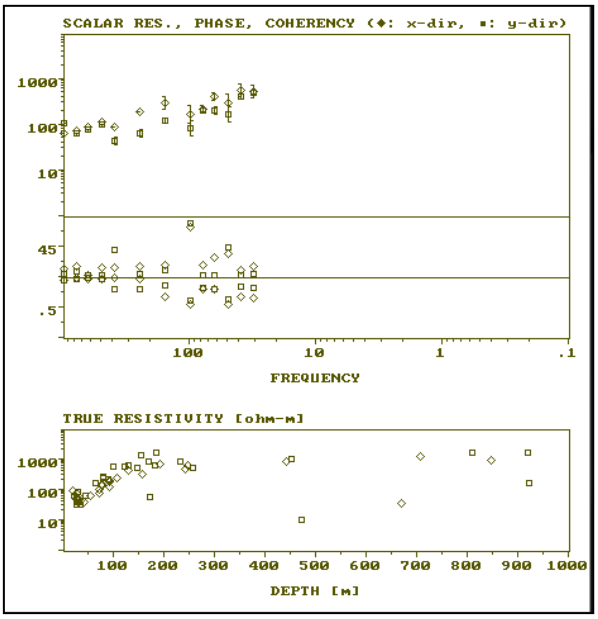
Gráfica 64 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para altas frecuencias AMT-31



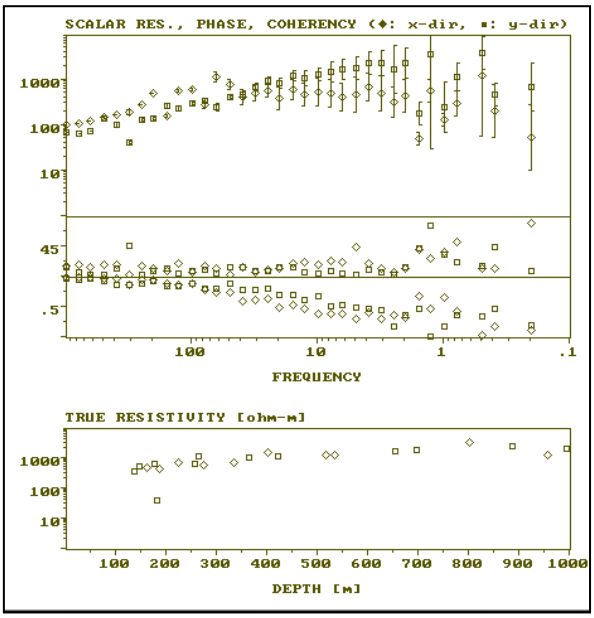
Gráfica 65 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para bajas frecuencias MT-31
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.1.32 Sondeo MT-32

En la **Gráfica 66 y Gráfica 67** se presentan los resultados para el MT-32. El punto de muestreo en superficie se encuentra localizado rocas del Batolito de Ibagué (J3i)



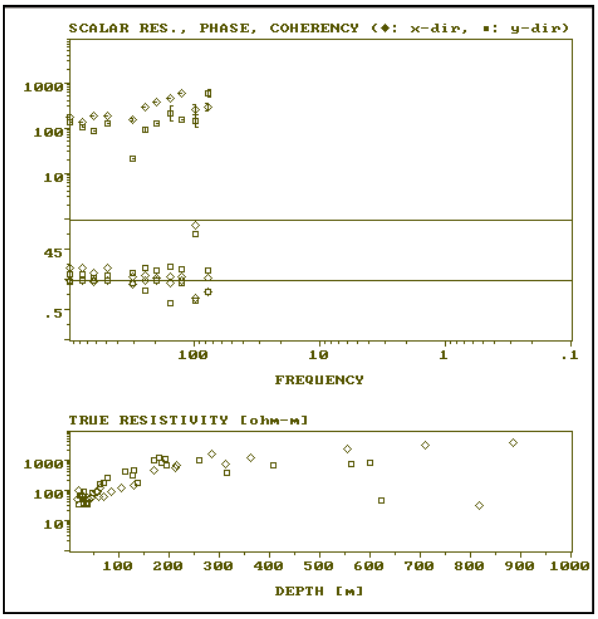
Gráfica 66 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para altas frecuencias AMT-32



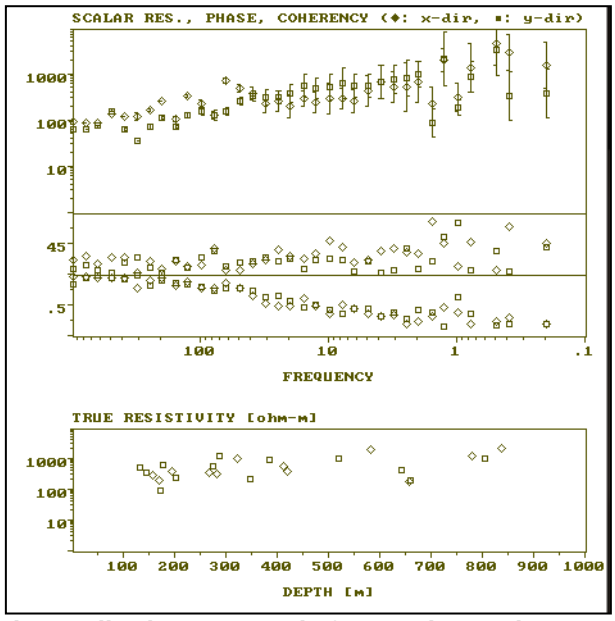
Gráfica 67 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para bajas frecuencias MT-32
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.1.33 Sondeo MT-33

En la **Gráfica 68 y Gráfica 69** se presentan los resultados para el MT-33. . El punto de muestreo en superficie se encuentra localizado sobre la Formación Guacacallo (N2Q1g).



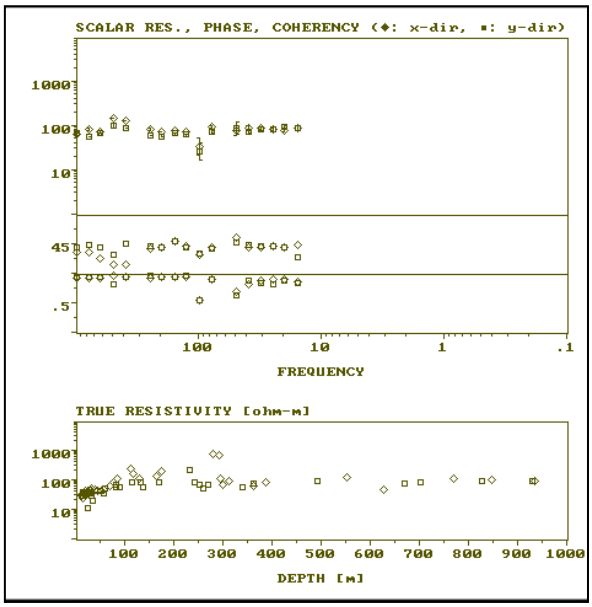
Gráfica 68 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para altas frecuencias AMT-33



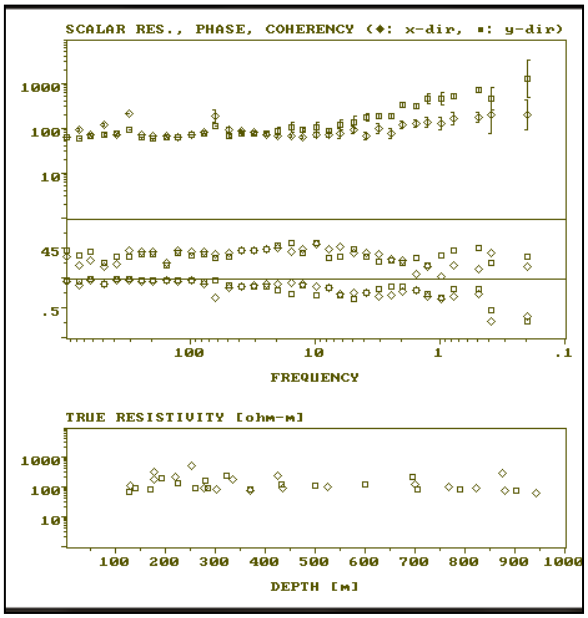
Gráfica 69 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para bajas frecuencias MT-33
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.1.34 Sondeo MT-34

En la **Gráfica 70 y Gráfica 71** se presentan los resultados para el MT-34. El punto de muestreo en superficie se encuentra localizado sobre Depósitos de Vulcanitas Básicas (Qvb)



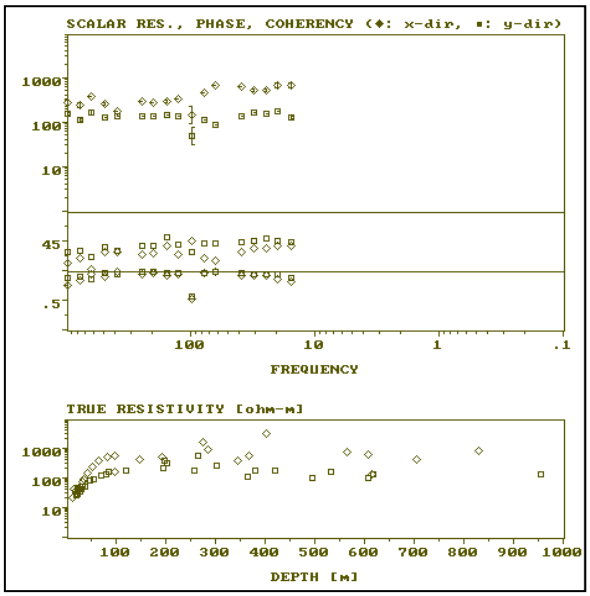
Gráfica 70 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para altas frecuencias AMT-34



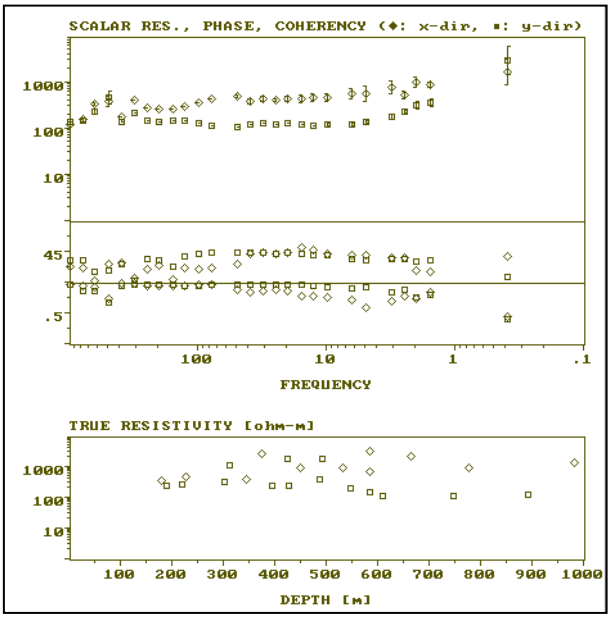
Gráfica 71 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para bajas frecuencias MT-34
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.1.35 Sondeo MT-35

En la **Gráfica 72 y Gráfica 73** se presentan los resultados para el MT-35. El punto de muestreo en superficie se encuentra localizado sobre rocas de la Formación Saldaña (T2Jsal)



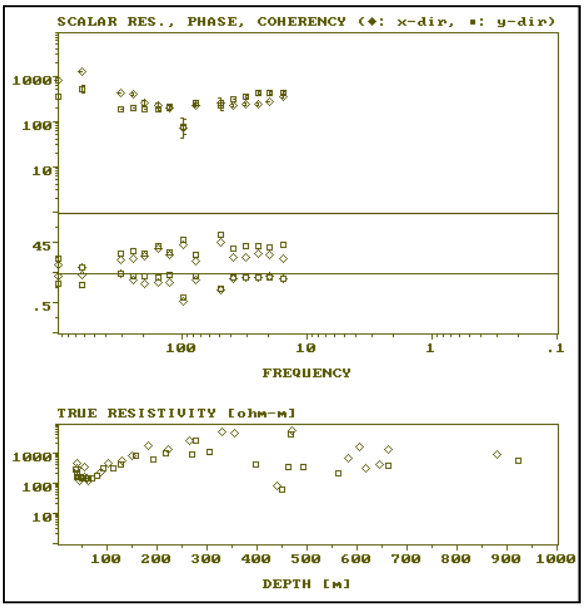
Gráfica 72 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para altas frecuencias AMT-35



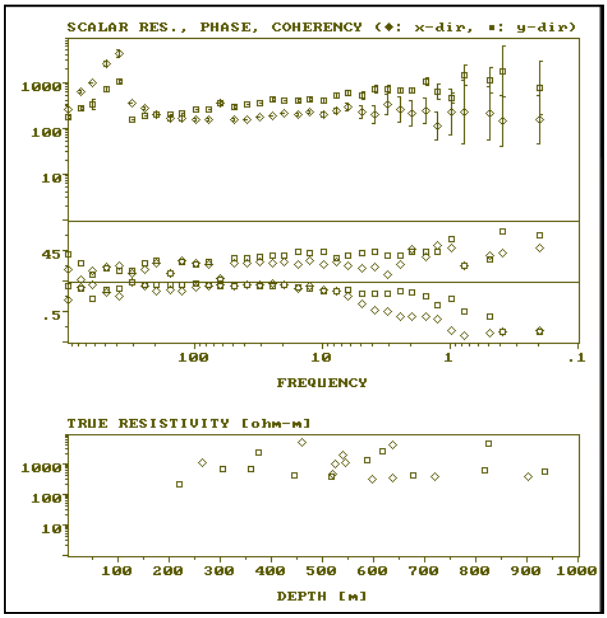
Gráfica 73 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para bajas frecuencias MT-35
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.1.36 Sondeo MT-36

En la **Gráfica 74 y Gráfica 75** se presentan los resultados para el MT-36. . El punto de muestreo en superficie se encuentra localizado sobre rocas de la Formación Caballos (K1c).



Gráfica 74 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para altas frecuencias AMT-36



Gráfica 75 Espectro de amplitud, Espectro de fase, coherencia y curva de resistividad en profundidad para bajas frecuencias MT-36
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.2 Resultados Sondeos Eléctricos Verticales (SEV´s):

A continuación se presentan los resultados 40 SEV´s ejecutados por el consorcio PMAA Magdalena 2016, representados mediante registro fotográfico, tablas y gráficos 1D para la representación del subsuelo. (Ver Anexo C-2 Información Sondeos Eléctricos Verticales)

2.4.3.2.1 SEV-01

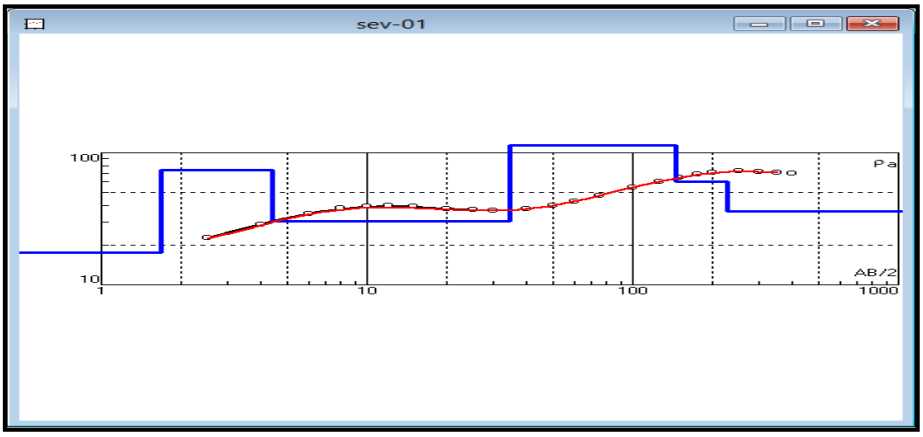
Instalación del Equipo GeoAmp 202

Arreglo Schlumberger SEV-01

Ilustración 38 Procedimiento de adquisición SEV-01 Coordenadas E: 877597; N: 815934

Tabla 8 Valores de resultados SEV-01

SEV-01					
Capa	Profundidad de la base (m)	Espesor (m)	Resistividad (ohm - m)	Interpretación	Formación -Geológica
1	1.7	1.7	18	Limos	Depósitos aluviales y/o terrazas bajas (Q2al)
2	4.4	2.7	73.9	Arenas	
3	34.5	30.1	30.3	Arena limosa	
4	145.4	110.9	114	Arenas	
5	227.1	81.7	60.4	Arena limosa	
6	-	-	36	Arena limosa	



Gráfica 76 Curvas de resistividad aparente SEV-01
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.2.2 SEV-02

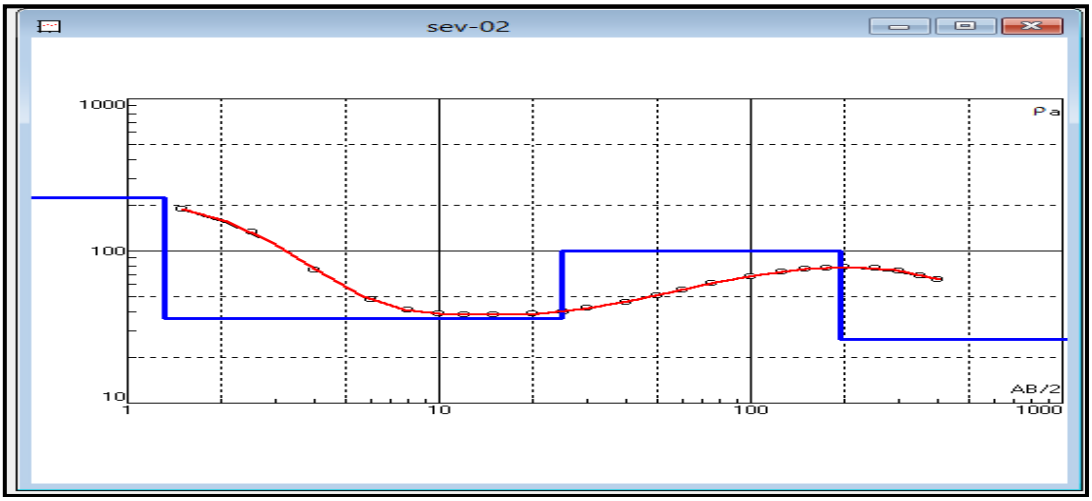
Localización Sondeo SEV-02

Arreglo Schlumberger SEV-02

Ilustración 39 Procedimiento de adquisición SEV-02 Coordenada E: 878388; N: 815657

Tabla 9 Valores de resultados SEV-02

SEV-02					
Capa	Profundidad de la base (m)	Espesor (m)	Resistividad (ohm - m)	Interpretación	Formación - Geológica
1	1.3	1.3	223.9	Arenas y gravas	Depósitos aluviales y/o terrazas bajas (Q2al)
2	24.8	23.4	36	Arena limosa	
3	193.9	169.1	100.4	Arenas	
4	-	-	26.2	Arena limosa	



Gráfica 77 Curvas de resistividad aparente SEV-02
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.2.3 SEV-03

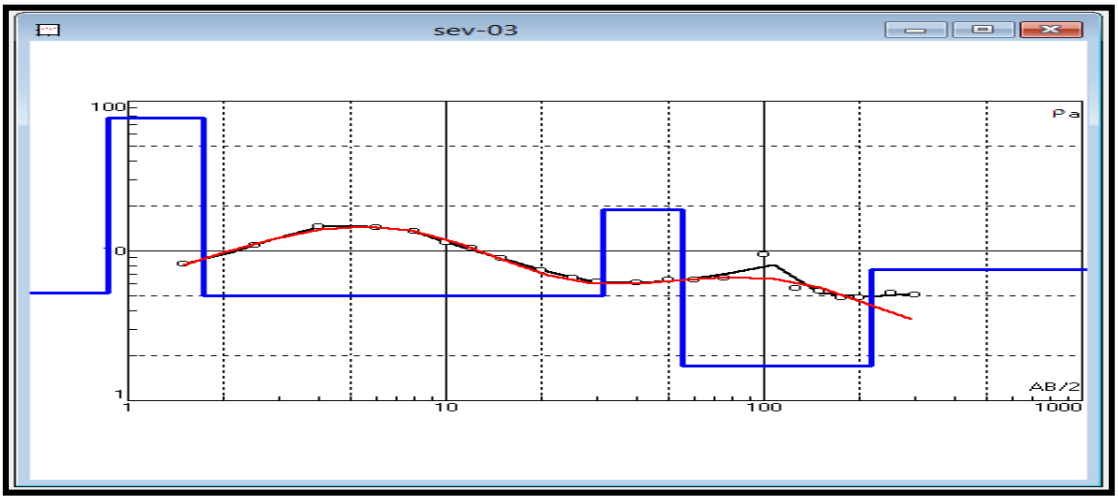
Instalación del Equipo GeoAmp 202

Arreglo Schlumberger SEV-03

Ilustración 40 Procedimiento de adquisición SEV-03 Coordenada E: 879508; N: 814395

Tabla 10 Valores de resultados SEV-03

SEV-03					
Capa	Profundidad de la base (m)	Espesor (m)	Resistividad (ohm - m)	Interpretación	Formación Geológica
1	0.9	0.9	5.2	Arcilla	Gr. Guadalupe (K2g)
2	1.7	0.9	76.9	Arenas limosas	
3	31.2	29.4	5.0	Lutitas	
4	55.4	24.3	18.7	Chert	
5	218	162	1.7	Lutitas	
6	-	-	7.5	Lutitas	



Gráfica 78 Curvas de resistividad aparente SEV-03
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.2.4 **SEV-04**

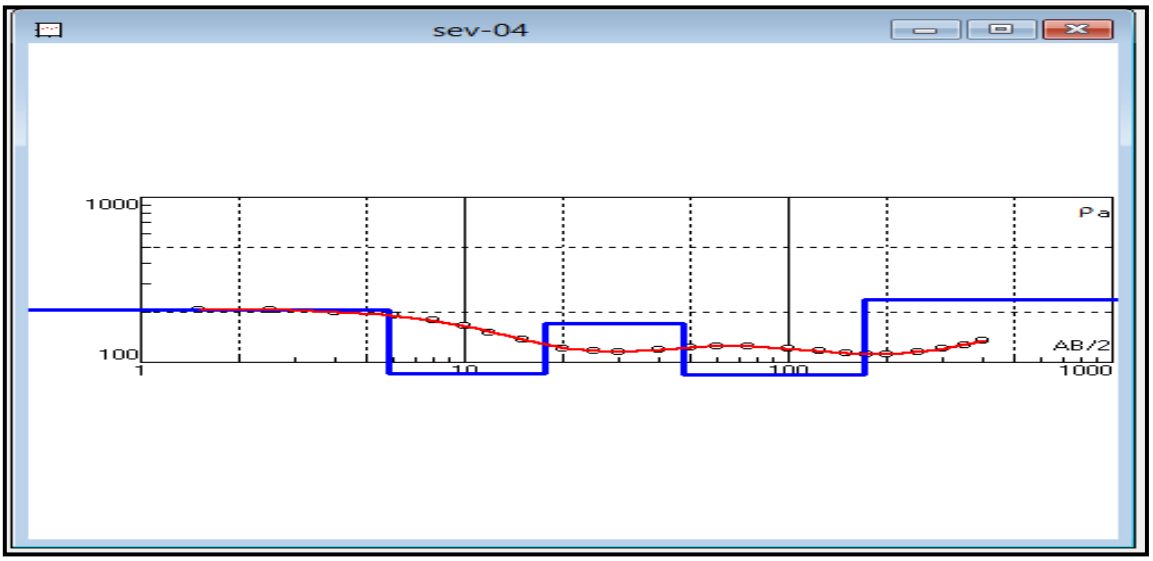
Instalación del Equipo GeoAmp 202

Arreglo Schlumberger SEV-04

Ilustración 41 procedimiento de adquisición SEV-04 Coordenada E: 880599; N: 811197

Tabla 11 Valores de resultados SEV-04

SEV-04					
Capa	Profundidad de la base (m)	Espesor (m)	Resistividad (ohm - m)	Interpretación	Formación Geológica
1	5.6	5.6	208.5	Arenas y gravas	Formación Gualanday medio(E2gym)
2	20.5	14.9	89.4	Limolita	
3	41	20.5	201.9	Arenisca conglomeraticas	
4	185.3	144.3	87.7	Limolita	
5	-		257.5	Arenisca conglomeraticas	



Gráfica 79 Curvas de resistividad aparente SEV-04
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.2.5 SEV-05

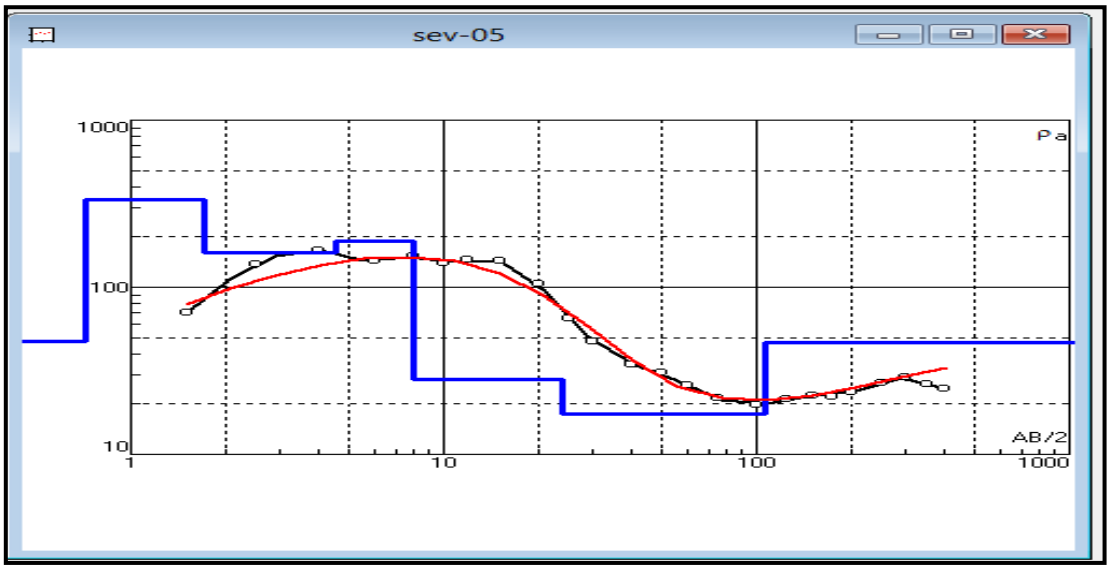
Localización Sondeo SEV-05

Arreglo Schlumberger SEV-05

Ilustración 42 Procedimiento de adquisición Coordenada E: 881044; N: 810492

Tabla 12Valores de resultados SEV-05

SEV-05					
Capa	Profundidad de la base (m)	Espesor (m)	Resistividad (ohm - m)	Interpretación	Formación Geológica
1	0.7	0.7	47.1	Limos	Formación Seca (K2E1sc)
2	1.7	0.9	334	Arenas y gravas	
3	4.5	2.8	161	Arenisca	
4	8.01	3.5	189	Arenisca	
5	24	15.9	28.1	Arcillolita	
6	107	82.6	17.4	Arcillolita	
7	-	-	46.7	Limolita	



Gráfica 80 Curvas de resistividad aparente SEV-05
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.2.6 SEV-06

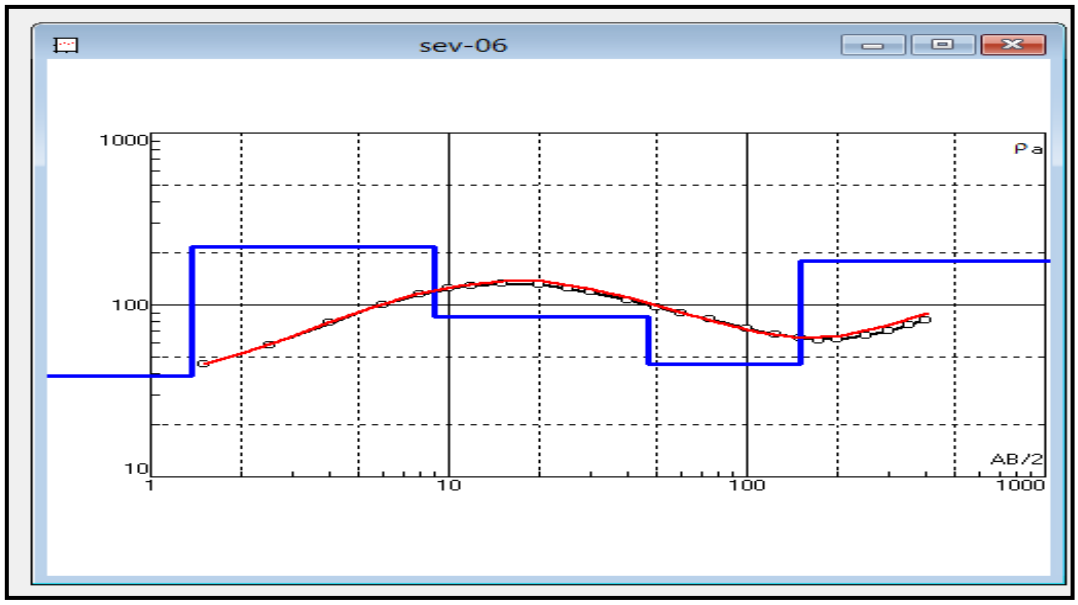
Localización Sondeo SEV-06

Arreglo Schlumberger SEV-06

Ilustración 43 Procedimiento de adquisición SEV-06 Coordenada E: 881482; N: 810163

Tabla 13 Valores de resultados SEV-06

SEV-06					
Capa	Profundidad de la base (m)	Espesor (m)	Resistividad (ohm - m)	Interpretación	Formación Geológica
1	1.4	1.4	38.6	Limos	Grupo Villeta (K2v)
2	8.9	7.6	218	Arenisca	
3	46.7	37.7	85.3	Lutitas y/o y Calizas	
4	151	104	45.2	Lutitas y/o y Calizas	
5	-	-	180	Arenisca	



Gráfica 81 Curvas de resistividad aparente SEV-06
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.2.7 SEV-07

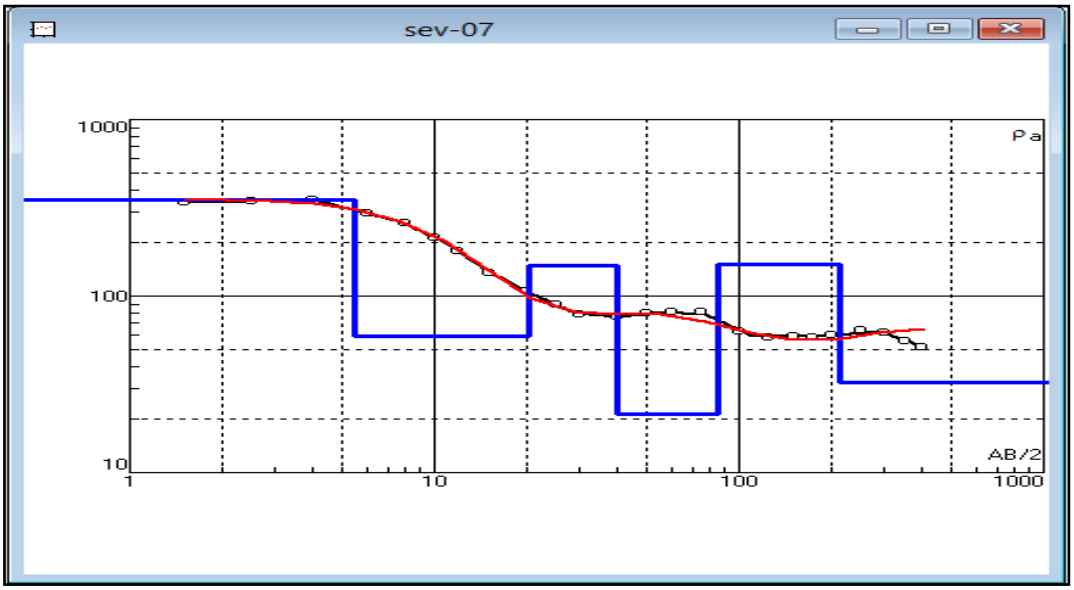
Localización Sondeo SEV-07

Arreglo Schlumberger SEV-07

Ilustración 44 Procedimiento de adquisición SEV-07 Coordenada E: 862140; N: 848648

Tabla 14 Valores de resultados SEV-07

SEV-07					
Capa	Profundidad de la base (m)	Espesor (m)	Resistividad (ohm - m)	Interpretación	Formación Geológica
1	5.4	5.4	352	Arenas y gravas	Gr. Honda (N1h)
2	20.4	15	59.1	Arenas y limos	
3	39.8	19.4	149	Areniscas	
4	85.3	45.5	21.5	Limolitas	
5	214	129	151	Areniscas	
6	-	-	32.4	Limolitas	



Gráfica 82 Curvas de resistividad aparente SEV-07
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.2.8 SEV-08

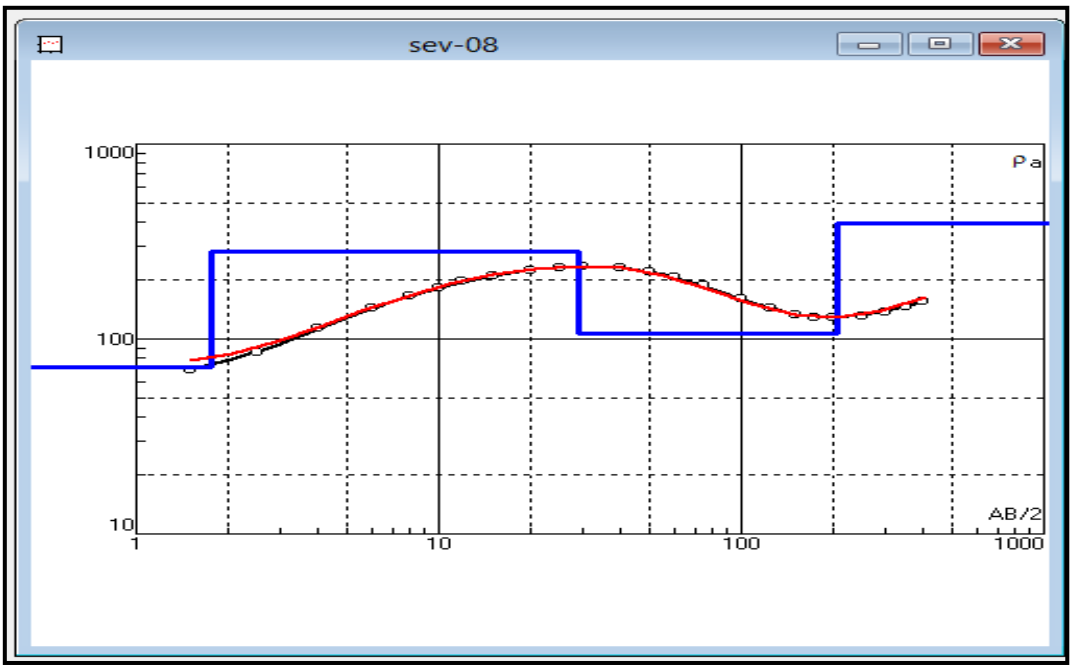
Localización Sondeo SEV-08

Arreglo Schlumberger SEV-08

Ilustración 45 Procedimiento de adquisición SEV-08 Coordenada E: 864234; N: 847155

Tabla 15 Valores de resultados SEV-08

SEV-08					
Capa	Profundidad de la base (m)	Espesor (m)	Resistividad (ohm - m)	Interpretación	Formación Geológica
1	1.7	1.7	71.6	Limos	Gr. Honda (N1h)
2	29	27.2	281	Arenas y gravas	
3	146	117	107	Arenisca	
4	-	-	189	Areniscas	



Gráfica 83 Curvas de resistividad aparente SEV-08
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.2.9 SEV-09

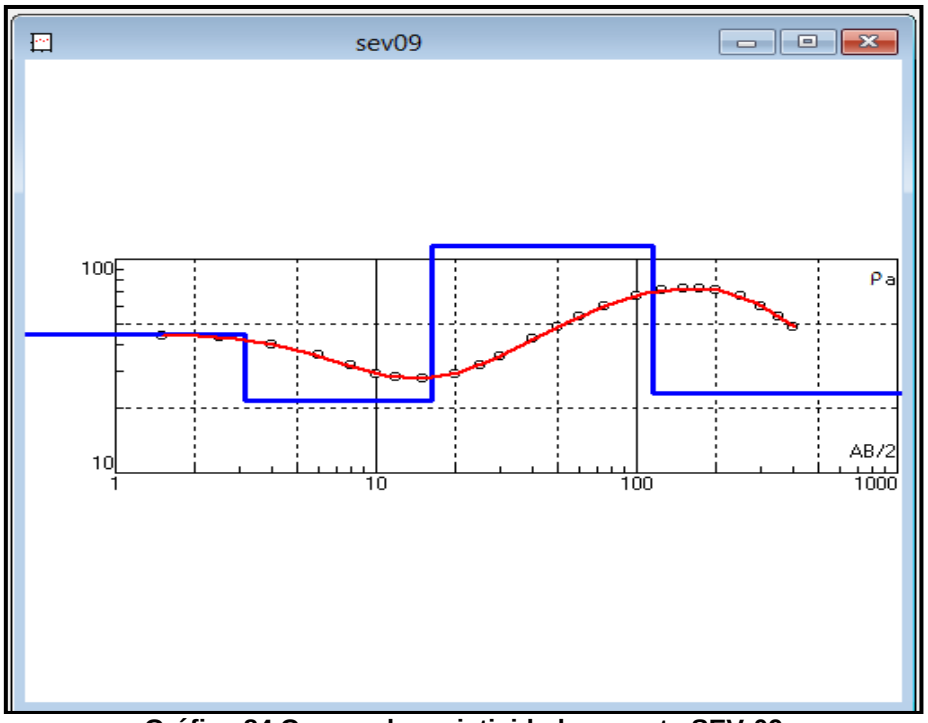
Localización Sondeo SEV-09

Arreglo Schlumberger SEV-09

Ilustración 46 Procedimiento de adquisición SEV-09 Coordenada E: 866861; N: 847422

Tabla 16 Valores de resultados SEV-09

SEV-09					
Capa	Profundidad de la base (m)	Espesor (m)	Resistividad (ohm - m)	Interpretación	Formación Geológica
1	3.1	3.1	44.5	Limos	Gr. Honda (N1h)
2	16.4	13.2	21.8	Limos	
3	115	99	115	Arenisca	
4	-		23.6	Limolita	



Gráfica 84 Curvas de resistividad aparente SEV-09
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.2.10 SEV-10

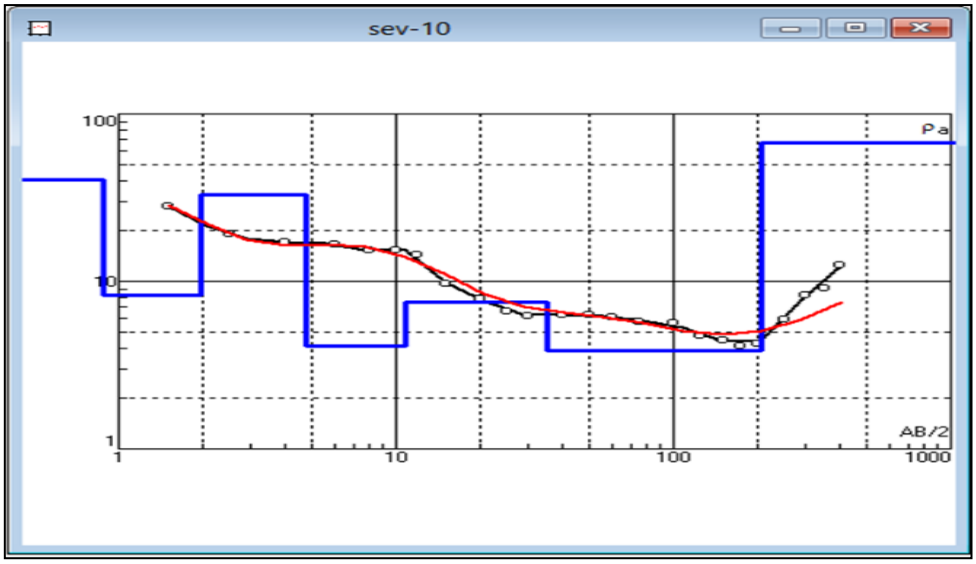
Localización Sondeo SEV-10

Arreglo Schlumberger SEV-10

Ilustración 47 Procedimiento de adquisición SEV-10 Coordenada E: 860264; N: 826381

Tabla 17 Valores de resultados SEV-10

SEV-10					
Capa	Profundidad de la base (m)	Espesor(m)	Resistividad (ohm - m)	Interpretación	Formación Geológica
1	0.9	0.9	40.4	Limo	Gr. Honda (N1h)
2	2.0	1.1	8.28	Arcilla	
3	4.7	2.8	32.9	Limo	
4	10.8	6.1	4.11	Arcillolita	
5	35.1	24.2	7.51	Arcillolita	
6	208	173	3.86	Arcllolita	
7	-	-	67.2	Limolita	



Gráfica 85 Curvas de resistividad aparente SEV-10
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.2.11 SEV-11

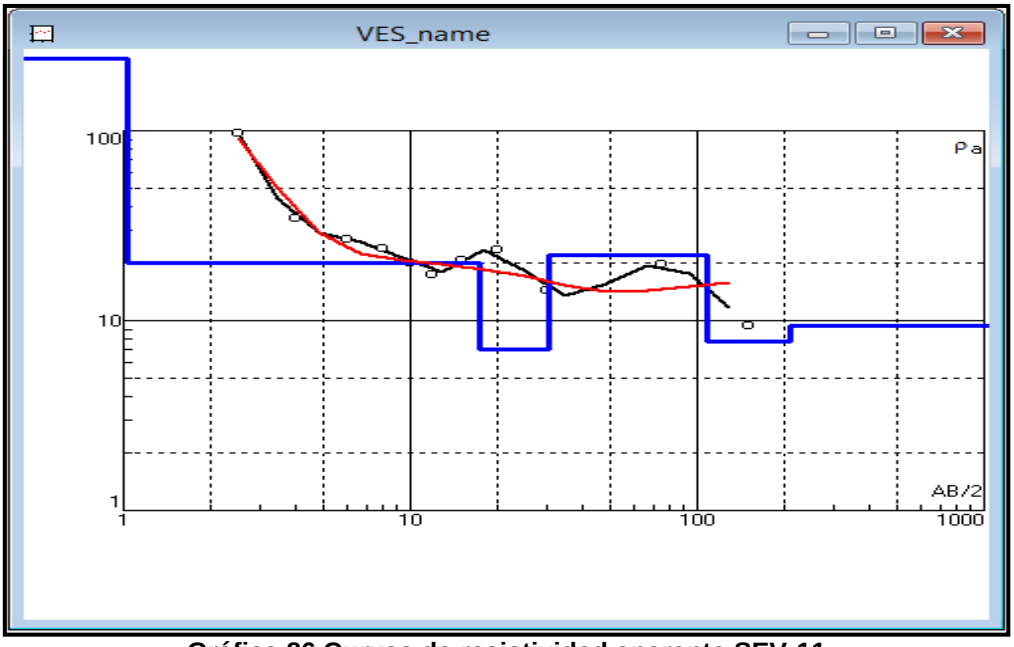
Localización Sondeo SEV-11

Arreglo Schlumberger SEV-11

Ilustración 48 Procedimiento de adquisición SEV-11 Coordenada E: 861333; N: 825245

Tabla 18 Valores de resultados SEV-11

SEV-11					
Capa	Profundidad de la base (m)	Espesor (m)	Resistividad (ohm - m)	Interpretación	Formación Geológica
1	1.03	1.03	240	Arenas y gravas	Gr. Honda (N1h)
2	17.4	16.4	20.1	Limo	
3	30.4	13	7.05	Arcillolita	
4	108	77.9	22.1	Limolita	
5	211	103	7.76	Arcillolita	
6	-	-	9.38	Arcillas	



Gráfica 86 Curvas de resistividad aparente SEV-11
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

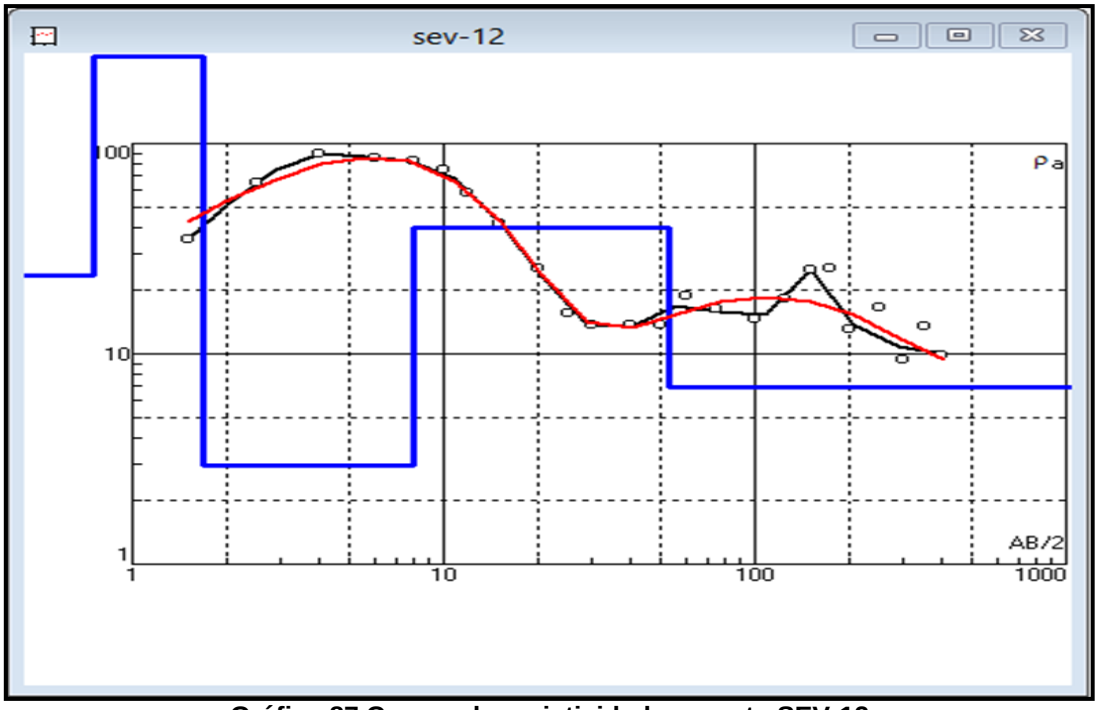
2.4.3.2.12 SEV-12

Localización Sondeo SEV-12

Arreglo Schlumberger SEV-12

Tabla 19 Valores de resultados SEV-12

SEV-12					
Capa	Profundidad de la base (m)	Espesor (m)	Resistividad (ohm - m)	Interpretación	Formación Geológica
1	0.8	0.8	34.1	Limos	Gr. Honda (N1h)
2	2.6	1.75	353	Arenas y gravas	
3	20.3	17.7	10.9	Arcillolita	
4	213	193	22.8	Limolita	
5	-		10	Arcillolita	



Gráfica 87 Curvas de resistividad aparente SEV-12
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.2.13 SEV-13

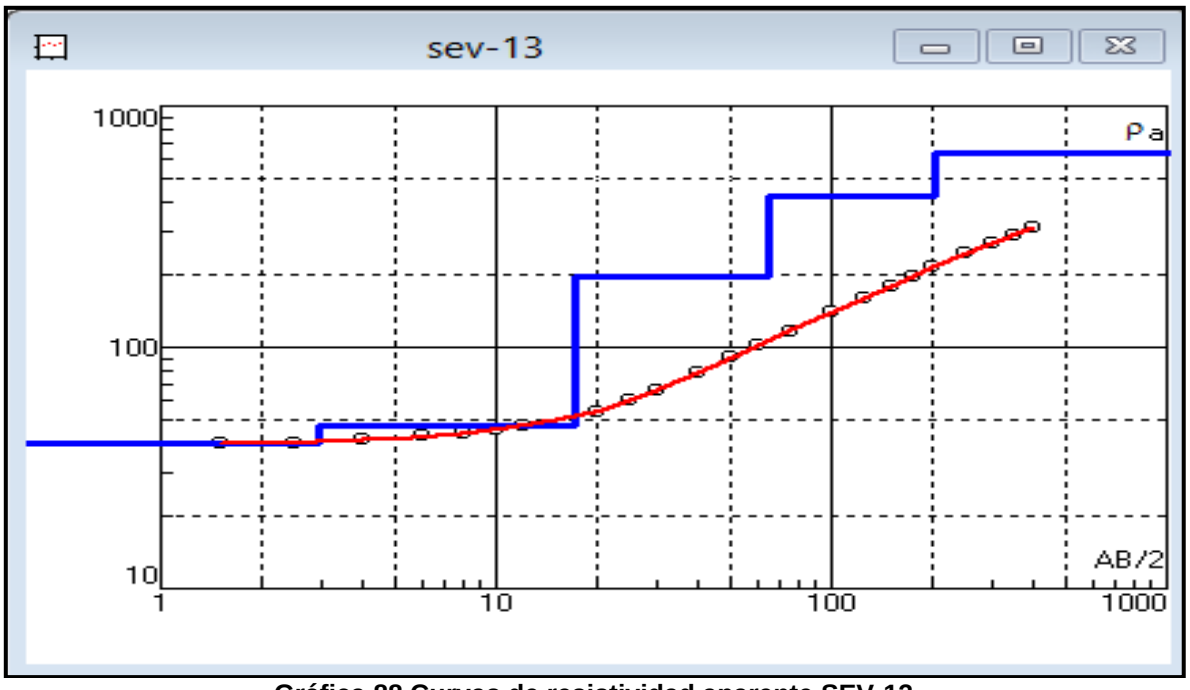
Localización Sondeo SEV-13

Arreglo Schlumberger SEV-13

Ilustración 49 Procedimiento de adquisición SEV-13 Coordenada E: 842742; N: 794667

Tabla 20 Valores de resultados SEV-13

SEV-13					
Capa	Profundidad de la base (m)	Espesor (m)	Resistividad (ohm - m)	Interpretación	Formación Geológica
1	2.9	2.9	39.88	Arenas y limos	Formación Caballo (K1c)
2	17.1	14.2	47.4	Arenas y limos	
3	65.2	48.1	195	Arenisca	
4	205	140	419	Arenisca	
5	-	-	639	Arenisca	



Gráfica 88 Curvas de resistividad aparente SEV-13
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.2.14 SEV-14

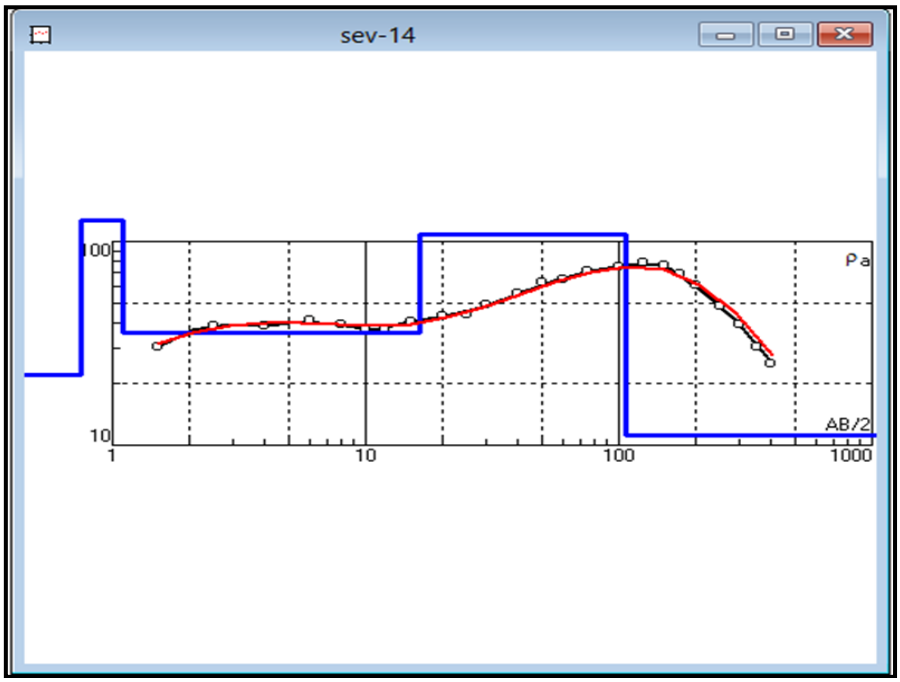
Localización Sondeo SEV-14

Arreglo Schlumberger SEV-14

Ilustración 50 Procedimiento de adquisición SEV-14 Coordenada E: 844317; N: 794870

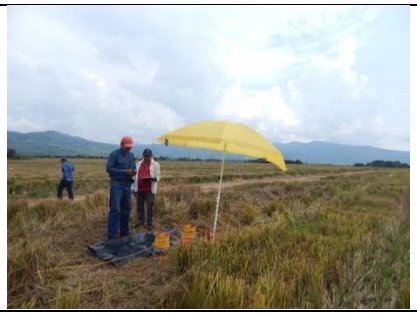
Tabla 21 Valores de resultados SEV-14

SEV-14					
Capa	Profundidad de la base (m)	Espesor (m)	Resistividad (ohm - m)	Interpretación	Formación Geológica
1	0.8	0.8	22.1	Limos	Grupo Villeta (K2v)
2	1.1	0.3	127	Caliza	
3	16.4	15.3	35.8	Lutita	
4	107	90.3	108	Arenisca	
5	-	-	11.2	Lutita	



Gráfica 89 Curvas de resistividad aparente SEV-14
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.2.15 SEV-15



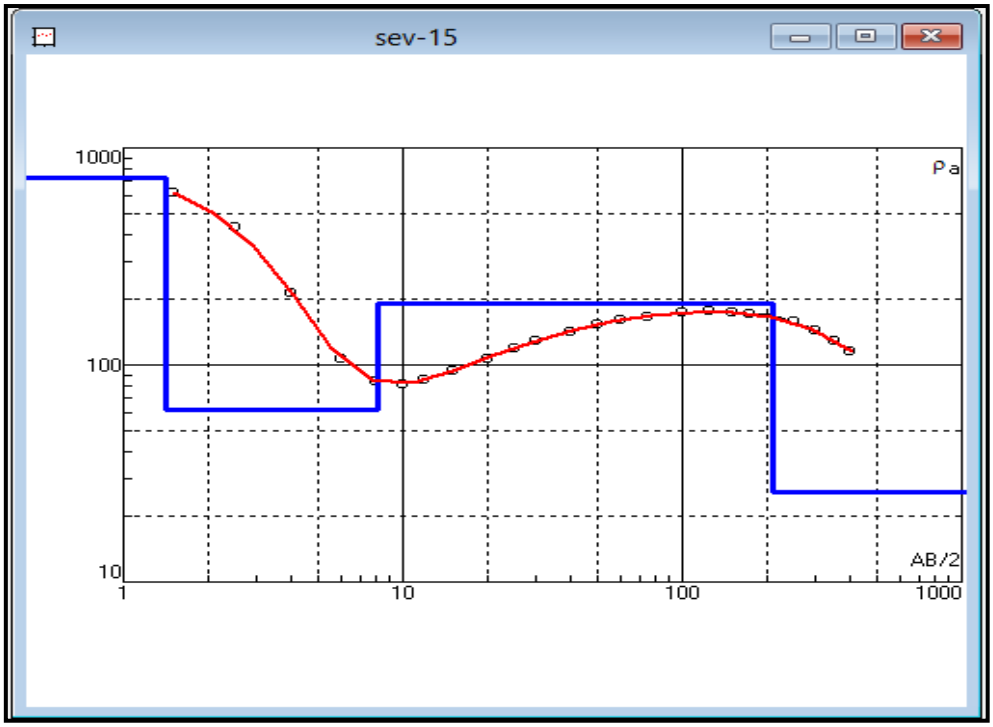
Localización Sondeo SEV-15

Arreglo Schlumberger SEV-15

Ilustración 51 Procedimiento de adquisición SEV-15 Coordenada E: 852142; N: 793703

Tabla 22 Valores de resultados SEV-15

SEV-15					
Capa	Profundidad de la base (m)	Espesor (m)	Resistividad (ohm - m)	Interpretación	Formación Geológica
1	1.4	1.4	727	Arenas y gravas	Depósitos Aluviales y/o Terrazas Bajas (Q1al)
2	8.2	6.75	62.5	Limos	
3	209	201	193	Arenas	
4	-	-	26.1	Limos	



Gráfica 90 Curvas de resistividad aparente SEV-15
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.2.16 SEV-16

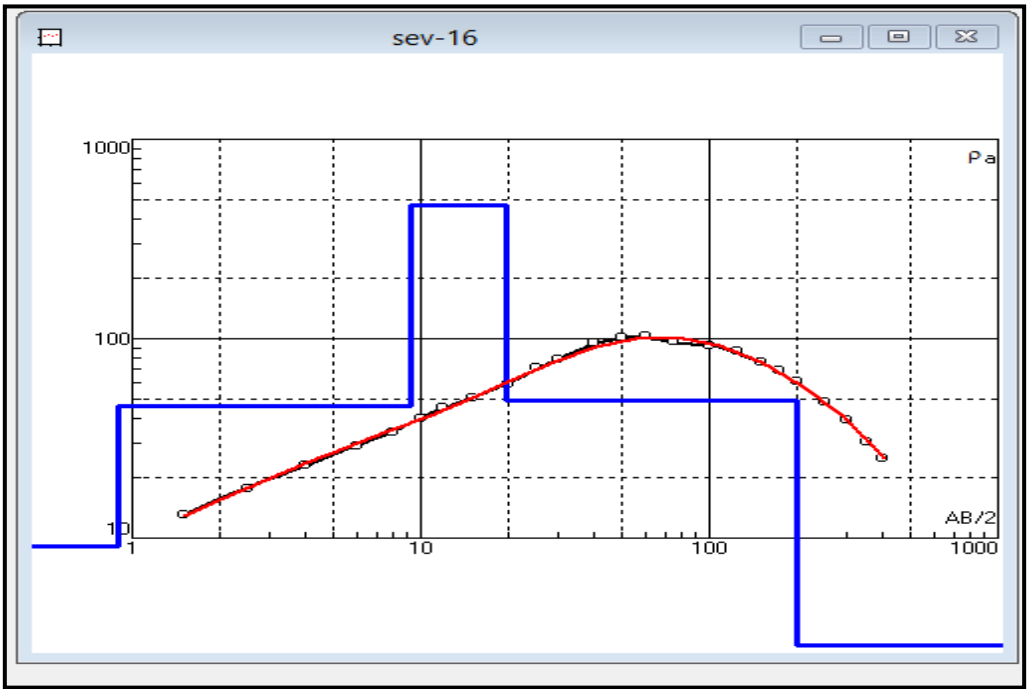
Localización Sondeo SEV-16

Arreglo Schlumberger SEV-16

Ilustración 52 Procedimiento de adquisición E: 840537; N: 771160

Tabla 23 Procedimiento de adquisición E: 840537; N: 771160

SEV-16					
Capa	Profundidad de la base (m)	Espesor (m)	Resistividad (ohm - m)	Interpretación	Formación Geológica
1	0.9	0.9	9.03	Arcillas	Formación Gigante Inferior (N2gii)
2	9.24	8.3	45.7	Limo y arenas	
3	19.9	10.6	466	Tobas volcánicas	
4	201	181	49.1	Limolitas	



Gráfica 91 Curvas de resistividad aparente SEV-16
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.2.17 SEV-17

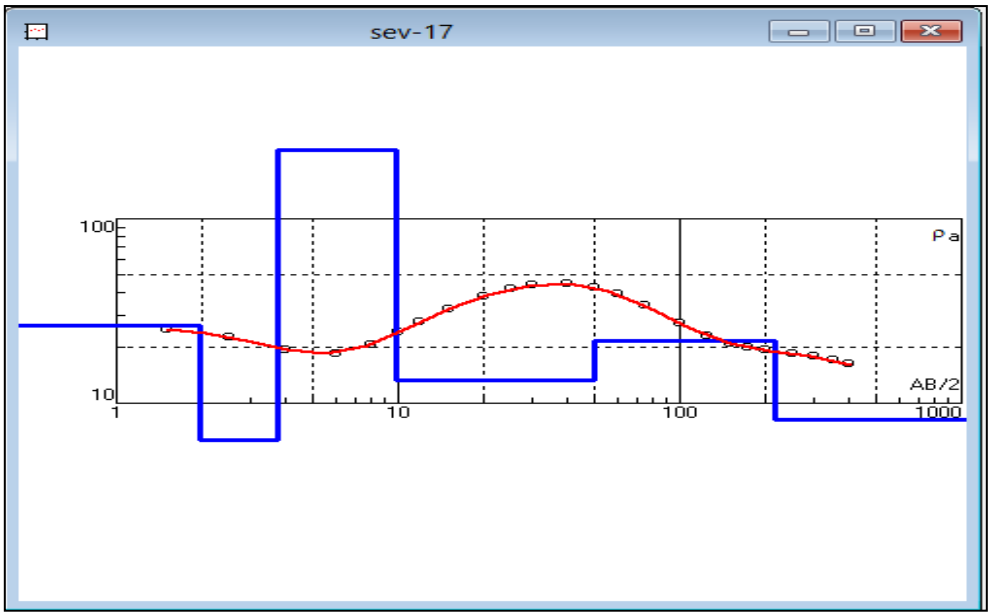
Localización Sondeo SEV-17

Arreglo Schlumberger SEV-17

Ilustración 53 Procedimiento de adquisición SEV-17 Coordenadas E: 842482; N: 767453

Tabla 24 Valores de resultados SEV-17

SEV-17					
Capa	Profundidad de la base (m)	Espesor (m)	Resistividad (ohm - m)	Interpretación	Formación Geológica
1	1.9	1.98	26.3	Limos	Formación Gigante Medio (N2gim)
2	3.74	1.8	6.3	Arcillas	
3	9.8	6.1	236	Tobas volcánicas	
4	49.7	39.9	13.3	Arcillolita	
5	219	169	21.8	Limolita	
6	-	-	8.11	Arcillolita	



Gráfica 92 Curvas de resistividad aparente SEV-17
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.2.18 SEV-18

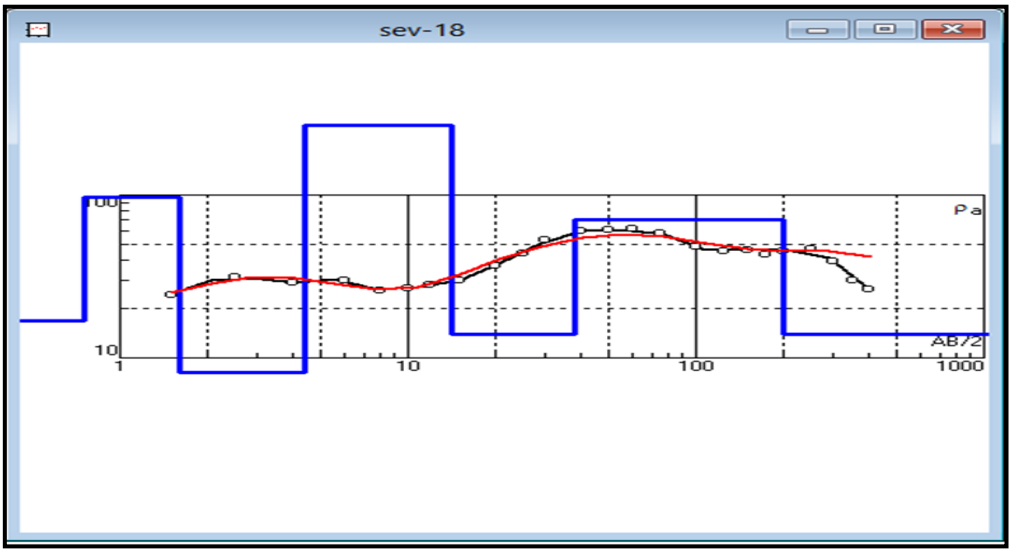
Localización Sondeo SEV-18

Arreglo Schlumberger SEV-18

Ilustración 54 Procedimiento de adquisición SEV-18 Coordenadas E: 842576; N: 764540

Tabla 25 Valores de resultados SEV-18

SEV-18					
Capa	Profundidad de la base (m)	Espesor (m)	Resistividad (ohm - m)	Interpretación	Formación Geológica
1	0.8.	0.8	16.8	Limos	Formación Gigante Medio (N2gim)
2	1.6	0.9	97.1	Arenas y limos	
3	4.39	2.8	8.11	Arcillas	
4	14.1	9.7	267	Tobas volcánicas	
	38.2	24.1	13.9	Limolitas	
	201	163	70.5	Limolitas	
	-	-	14	Limolita	



Gráfica 93 Curvas de resistividad aparente SEV-18
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.2.19 SEV-19

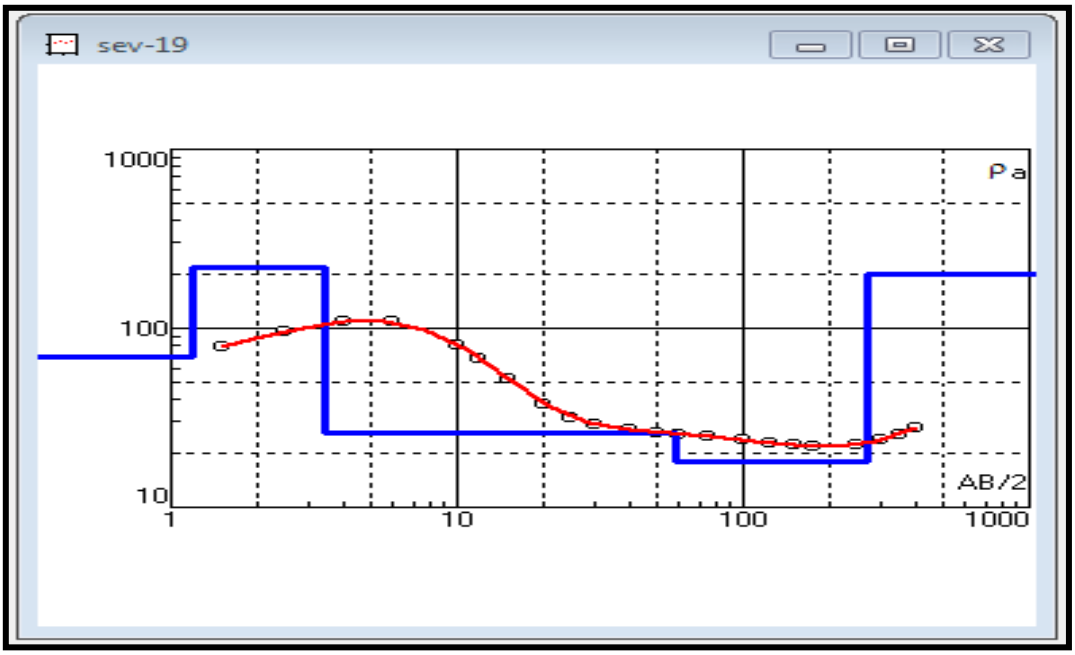
Localización Sondeo SEV-19

Arreglo Schlumberger SEV-19

Ilustración 55 Procedimiento de adquisición SEV-19 Coordenadas E: 835216; N: 775803

Tabla 26 Valores de resultados SEV-19

SEV-19					
Capa	Profundidad de la base(m)	Espesor (m)	Resistividad (ohm - m)	Interpretación	Formación Geológica
1	1.2	1.2	68.6	Limos	Formación Seca (K2E1sc)
2	3.5	2.3	219	Arenisca conglomeratica	
3	58.1	54.6	26	Limolita	
4	272	214	18	Arcillolita	
5			200	Arenisca conglomeratica	



Gráfica 94 Curvas de resistividad aparente SEV-19
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.2.20 SEV-20

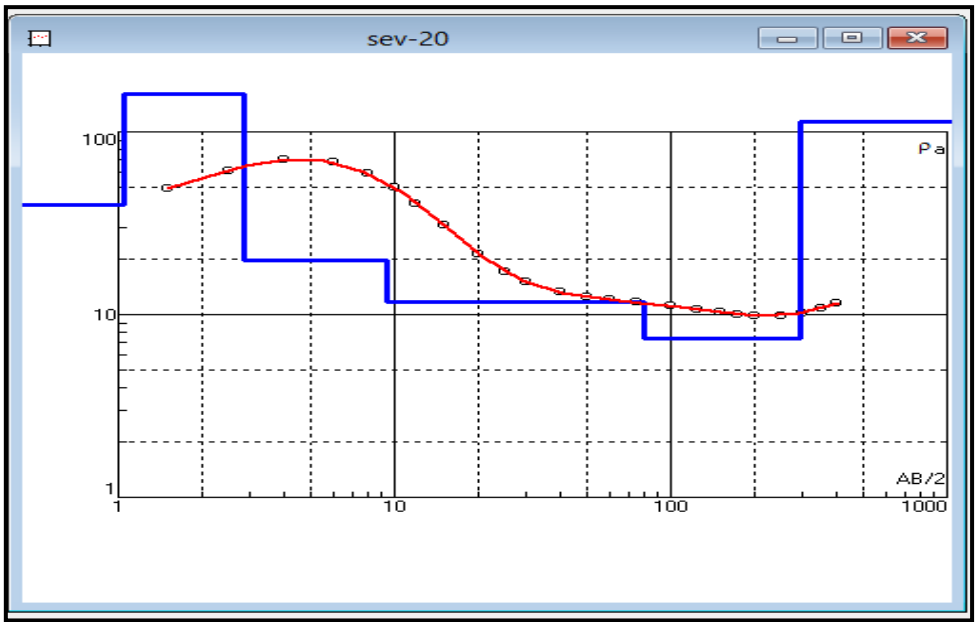
Localización Sondeo SEV-20

Arreglo Schlumberger SEV-20

Ilustración 56 Procedimiento de adquisición SEV-20 Coordenada E: 834046; N: 770387

Tabla 27 Valores de resultados SEV-20

SEV-20					
Capa	Profundidad de la base (m)	Espesor (m)	Resistividad (ohm - m)	Interpretación	Formación Geológica
	1.05	1.05	39.5	Limos	Gr. Guadalupe (K2g)
	2.9	1.8	162	Arenisca	
	9.4	6.5	19.6	Lodolita-lidita	
	80.1	70.7	11.7	Lodolita-lidita	
	294	214	7.4	Arcillolita	
	-	-	114	Arenisca	



Gráfica 95 Curvas de resistividad aparente SEV-20
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.2.21 SEV-21

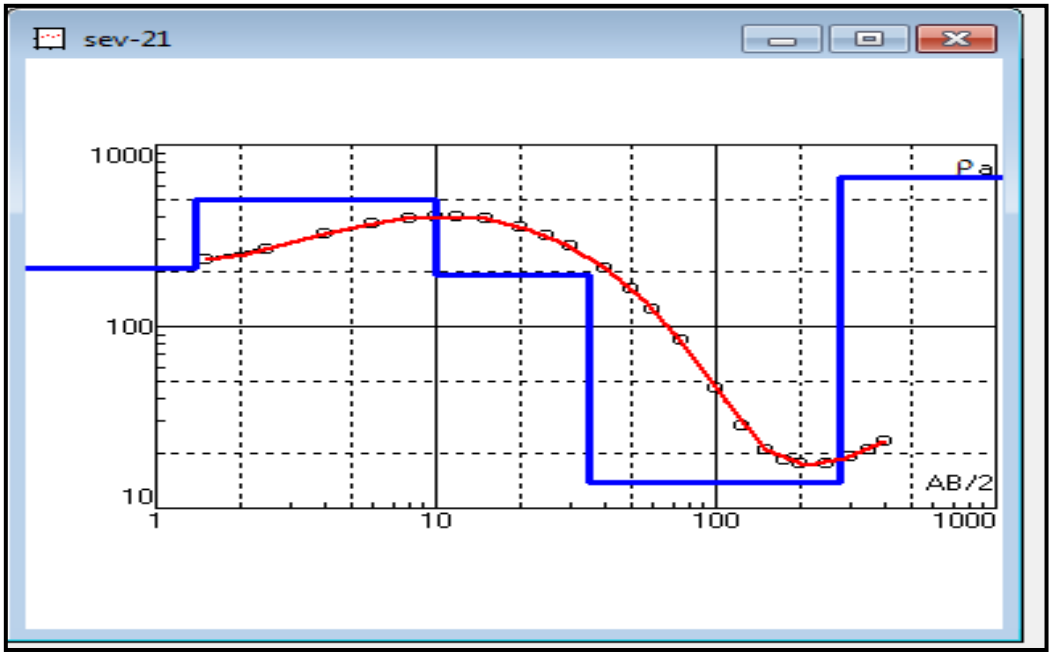
Localización Sondeo SEV-21

Arreglo Schlumberger SEV-21

Ilustración 57 Procedimiento de adquisición SEV-21 Coordenada E: 826860; N: 775889

Tabla 28 Valores de resultados SEV-21

SEV-21					
Capa	Profundidad de la base(m)	Espesor (m)	Resistividad (ohm - m)	Interpretación	Formación Geológica
1	1.2	1.2	211.2	Arenas y gravas	Formación Gualanday Inferior (E2gyi)
2	10	8.6	502.7	Areniscas conglomeraticas	
3	35.1	25.1	193.1	Arenisca	
4	276.4	241.3	13.9	Limolita	
5	-	-	659.1	Areniscas conglomeraticas	



Gráfica 96 Curvas de resistividad aparente SEV-21
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.2.22 SEV-22

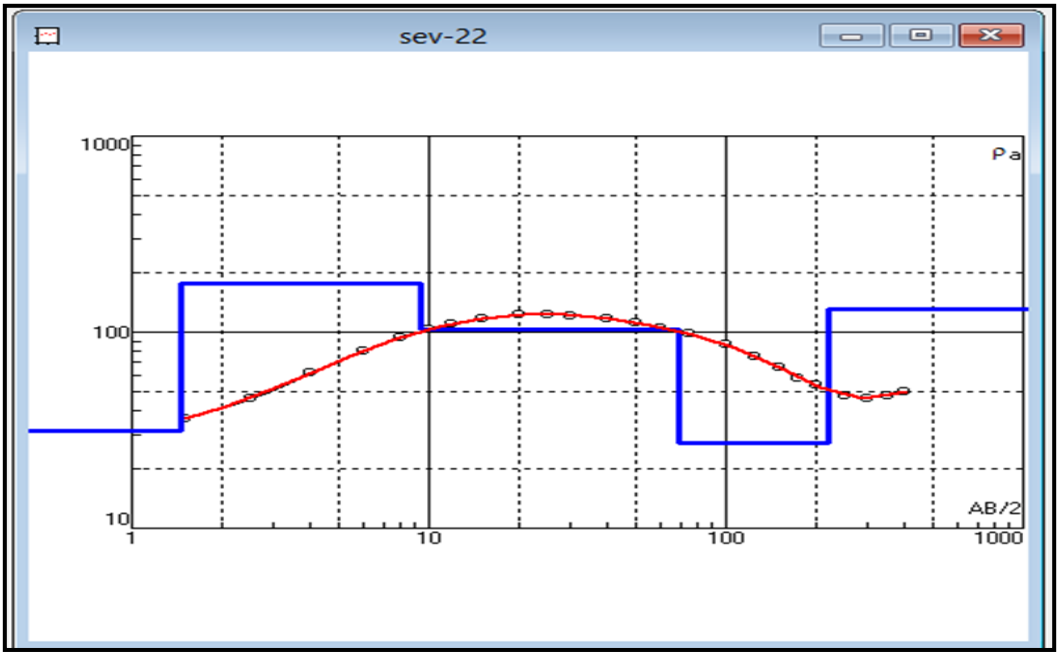
Localización Sondeo SEV-22

Arreglo Schlumberger SEV-22

Ilustración 58 Procedimiento de adquisición SEV-22 Coordenada E: 799,142; N: 755,963

Tabla 29 Valores de resultados SEV-22

SEV-22					
Capa	Profundidad de la base (m)	Espesor (m)	Resistividad (ohm - m)	Interpretación	Formación Geológica
1	1.5	1.5	31.4	Limos	Formación Seca (K2E1sc)
2	9.4	7.9	177	Arenas y gravas	
3	69.4	60	103	Areniscas	
4	221	152	27.2	Limolitas	
5	-	-	131	Areniscas	



Gráfica 97 Curvas de resistividad aparente SEV-22
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

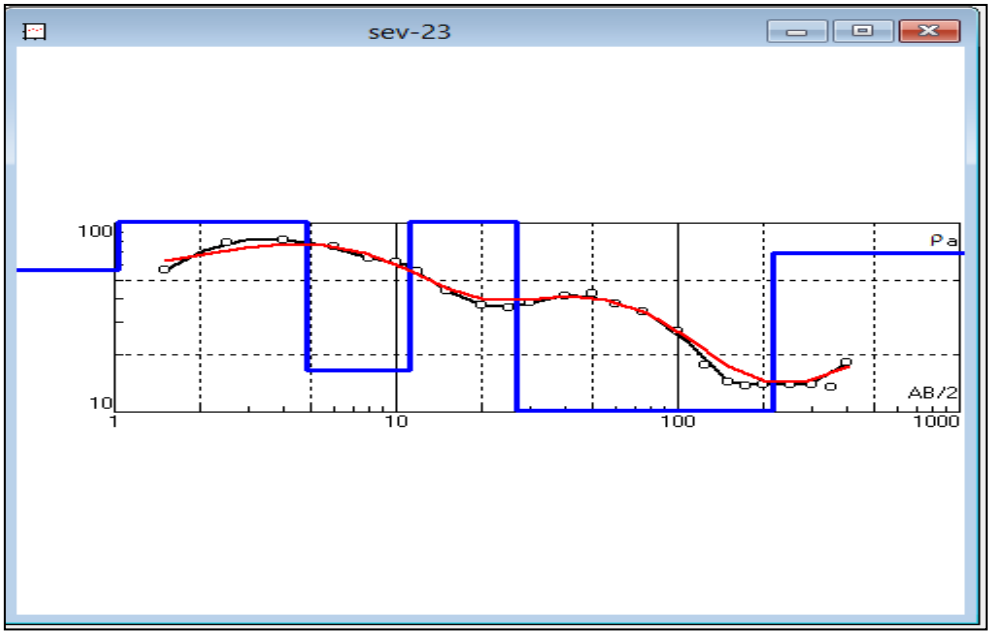
2.4.3.2.23 SEV-23

Localización Sondeo SEV-23, Arreglo Schlumberger SEV-23

Ilustración 59 Procedimiento de adquisición SEV-23

Tabla 30 Valores de resultados SEV-23

SEV-23					
Capa	Profundidad de la base (m)	Espesor (m)	Resistividad (ohm - m)	Interpretación	Formación Geológica
1	1.0	1.0	56.5	Limos y arenas	Grupo Villeta (K2v)
2	4.8	3.8	102	Arenas	
3	11.2	6.4	16.6	Lutitas	
4	26.8	15.6	102	Areniscas	
5	218	191	10.2	Lutitas	
6	-	-	69.4	Lodolitas	



Gráfica 98 Curvas de resistividad aparente SEV-23
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.2.24 SEV-24

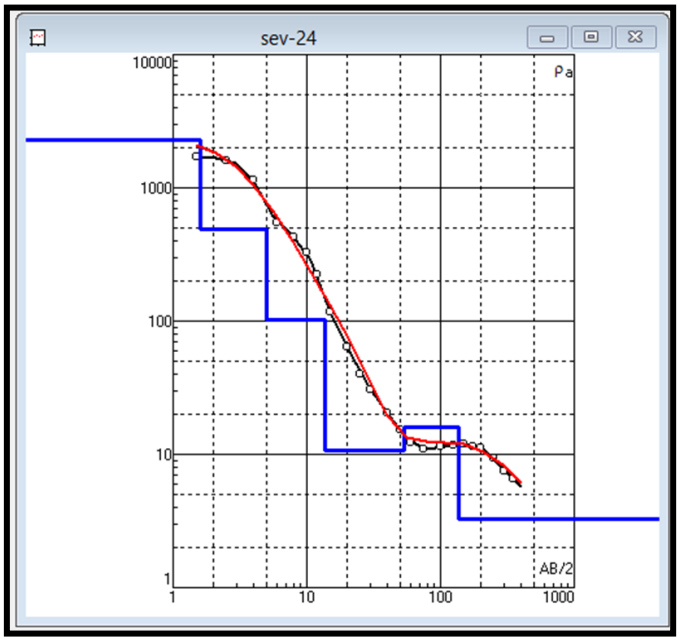
Localización Sondeo SEV-24

Arreglo Schlumberger SEV-24

Ilustración 60 Procedimiento de adquisición SEV-24 Coordenada E: 805801; N: 750873

Tabla 31 Valores de resultados SEV-24

SEV-24					
Capa	Profundidad de la base (m)	Espesor (m)	Resistividad (ohm - m)	Interpretación	Formación Geológica
1	1.6	1.6	2287	Gravas y arenas	Grupo Villeta (K2v)
2	5	3.4	485	Arenas y gravas	
3	13.7	8.7	102	Arenas	
4	53.5	39.8	10.7	Lutitas	
5	137	83.3	16.0	Lutita	
6	-	-	3.27	Lodolitas	



Gráfica 99 Curvas de resistividad aparente SEV-24
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.2.25 SEV-25

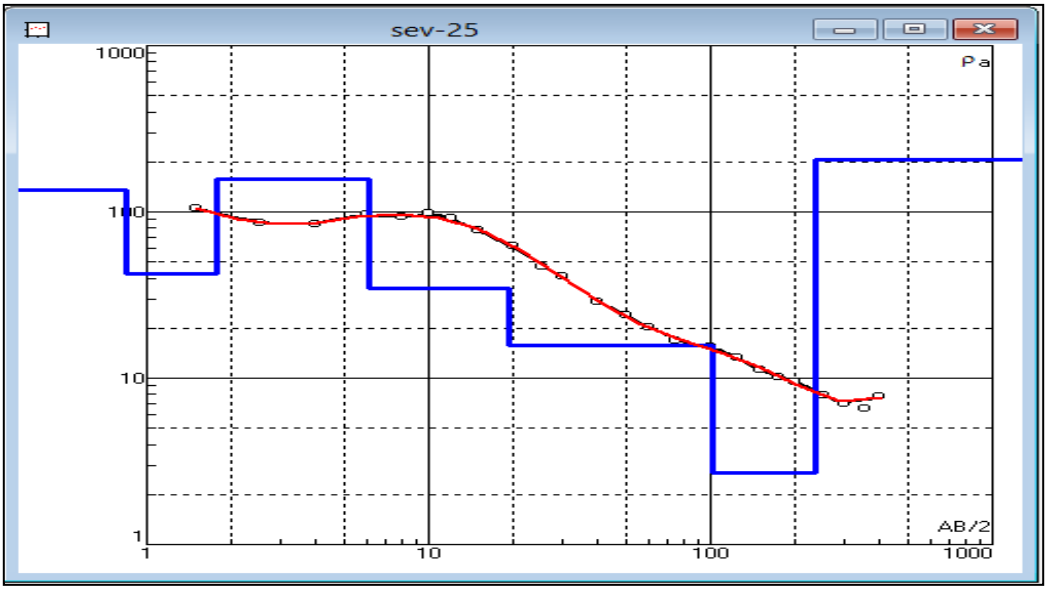
Localización Sondeo SEV-25

Arreglo Schlumberger SEV-25

Ilustración 61 Procedimiento de adquisición SEV-25 Coordenada E: 815107; N: 744489

Tabla 32 Valores de resultados SEV-25

SEV-25					
Capa	Profundidad de la base (m)	Espesor (m)	Resistividad (ohm - m)	Interpretación	Formación Geológica
1	0.9	0.9	136	Arenas	Formación Gualanday medio (E2gym)
2	1.8	0.9	42.7	Limo y arenas	
3	4.4	4.4	156	Areniscas conglomeraticas	
4	12.9	12.9	34.7	Limolita	
5	82.9	82.9	15.6	Limolita	
6	132	132	2.67	Arillolita	
7	-	-	207	Areniscas conglomeraticas	



Gráfica 100 Curvas de resistividad aparente SEV-25
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.2.26 SEV-26

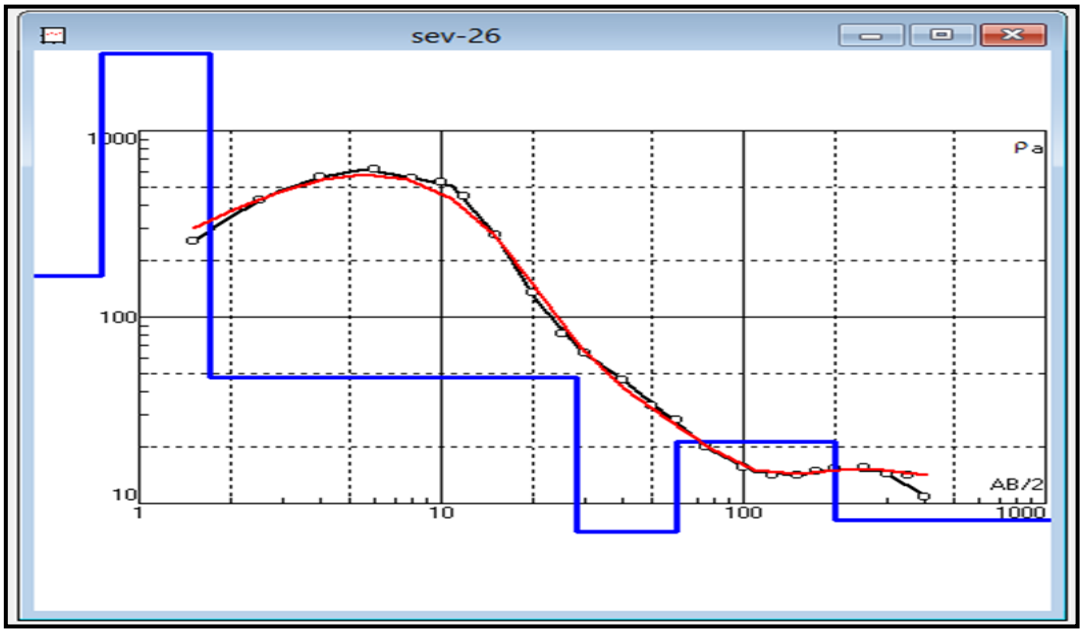
Localización Sondeo SEV-26

Arreglo Schlumberger SEV-26

Ilustración 62 Procedimiento de adquisición SEV-26 Coordenada E: 816826; N: 743727

Tabla 33 Valores de resultados SEV-26

SEV-26					
Capa	Profundidad de la base (m)	Espesor (m)	Resistividad (ohm - m)	Interpretación	Formación Geológica
1	0.76	0.76	185.5	Arenas	Formación Gualanday medio(E2gym)
2	4.7	3.9	363.5	Arenas y gravas	
3	26.41	21.68	70.72	Limolita	
4	97.32	70.91	20.13	Arcillolita	
5	246.8	149.5	23.85	Arcillolita	
6	-	-	12.43	Arcillolita	



Gráfica 101Curvas de resistividad aparente SEV-26
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.2.27 SEV-27

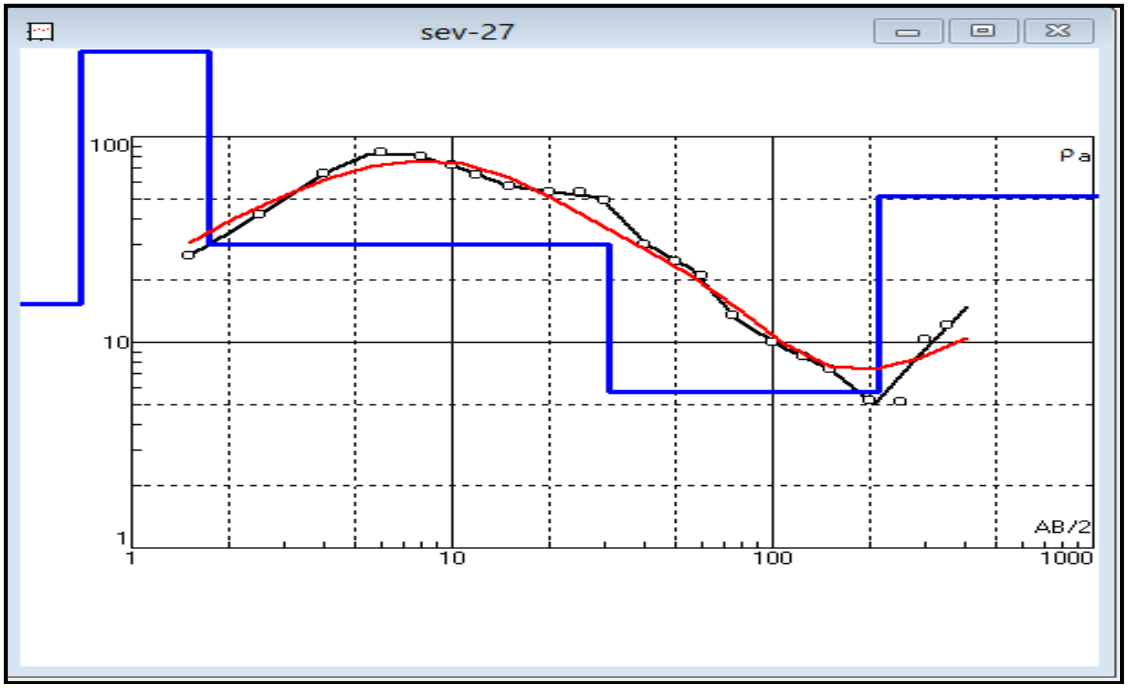
Localización Sondeo SEV-27

Arreglo Schlumberger SEV-27

Ilustración 63 Procedimiento de adquisición SEV-27 Coordenada E: 821857; N: 744979

Tabla 34 Valores de resultados SEV-27

SEV-27					
Capa	Profundidad de la base (m)	Espesor (m)	Resistividad (ohm - m)	Interpretación	Formación Geológica
1	0.7	0.7	15.3	Limos	Formación Gualanday medio(E2gym)
2	1.05	1.74	491	Arenas y gravas	
3	29.1	30.9	29.9	Limolita	
4	183	214	5.74	Arcillolita	
5	-	-	51.3	Limolitas	



Gráfica 102 Curvas de resistividad aparente SEV-27
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.2.28 SEV-28

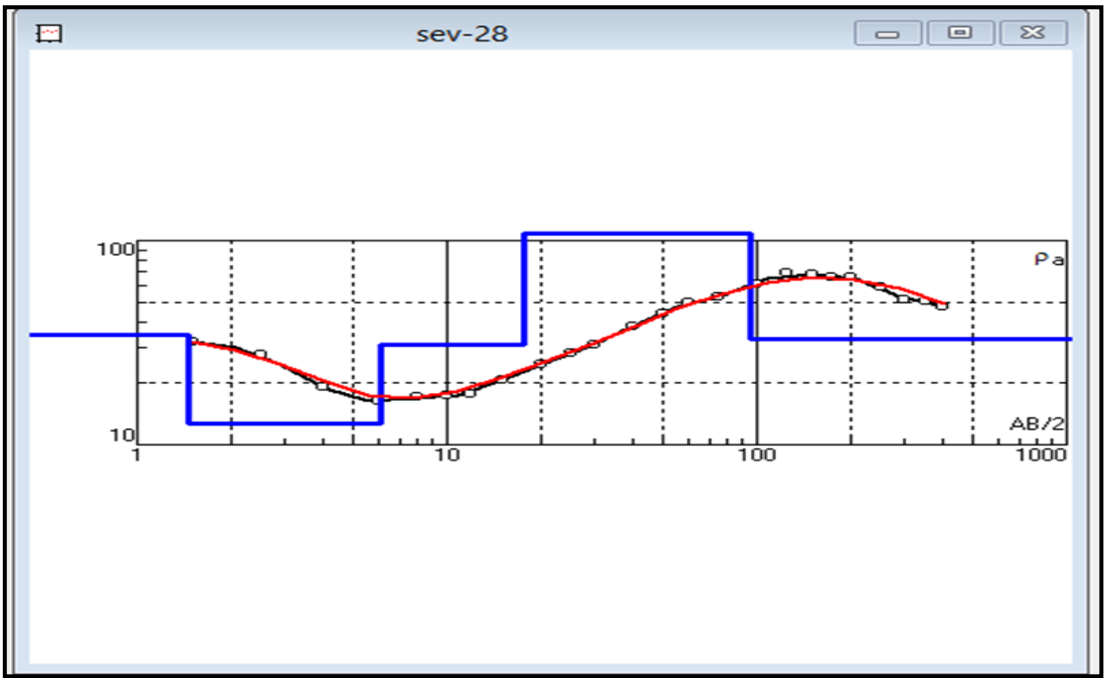
Localización Sondeo SEV-28

Arreglo Schlumberger SEV-28

Ilustración 64 Procedimiento de adquisición SEV-28 Coordenada E: 808787; N: 742064

Tabla 35 Valores de resultados SEV-28

SEV-28					
Capa	Profundidad de la base (m)	Espesor (m)	Resistividad (ohm - m)	Interpretación	Formación Geológica
1	1.5	1.5	34.5	Limos	Depósitos Aluviales Antiguos y/o Terrazas Altas (Q1al)
2	4.7	6.1	12.7	Arcillas	
3	11.6	17.7	30.9	Limos	
4	77.6	95.4	108	Arenas	
5	-	-	32.9	Limo	



Gráfica 103 Curvas de resistividad aparente SEV-28
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.2.29 SEV-29

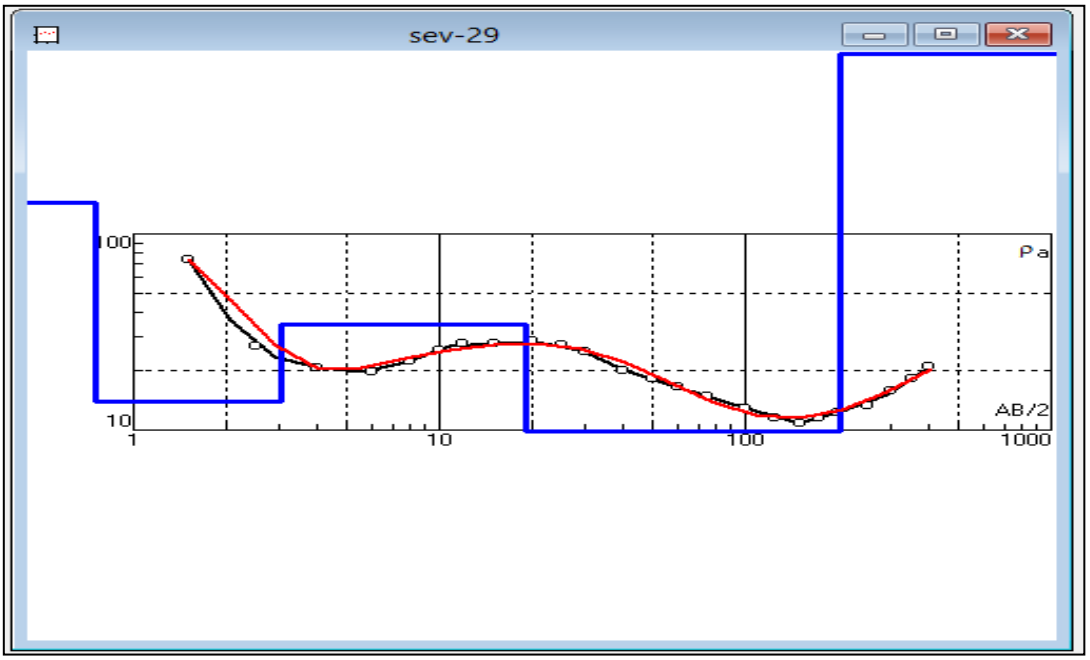
Localización Sondeo SEV-29

Arreglo Schlumberger SEV-29

Ilustración 65 Procedimiento de adquisición SEV-29 Coordenada E: 816312; N: 738437

Tabla 36 Valores de resultados SEV-29

SEV-29					
Capa	Profundidad de la base (m)	Espesor (m)	Resistividad (ohm - m)	Interpretación	Formación Geológica
1	0.8	0.8	144	Arenas	Formación Gigante inferior (N2gii)
2	2.3	3.04	14	Limos	
3	16.2	19.3	34.5	Limos	
4	185	205	9.8	Arcillolita	
5	-	-	1034	Arenas conglomeraticas	



Gráfica 104 Curvas de resistividad aparente SEV-29
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.2.30 SEV-30

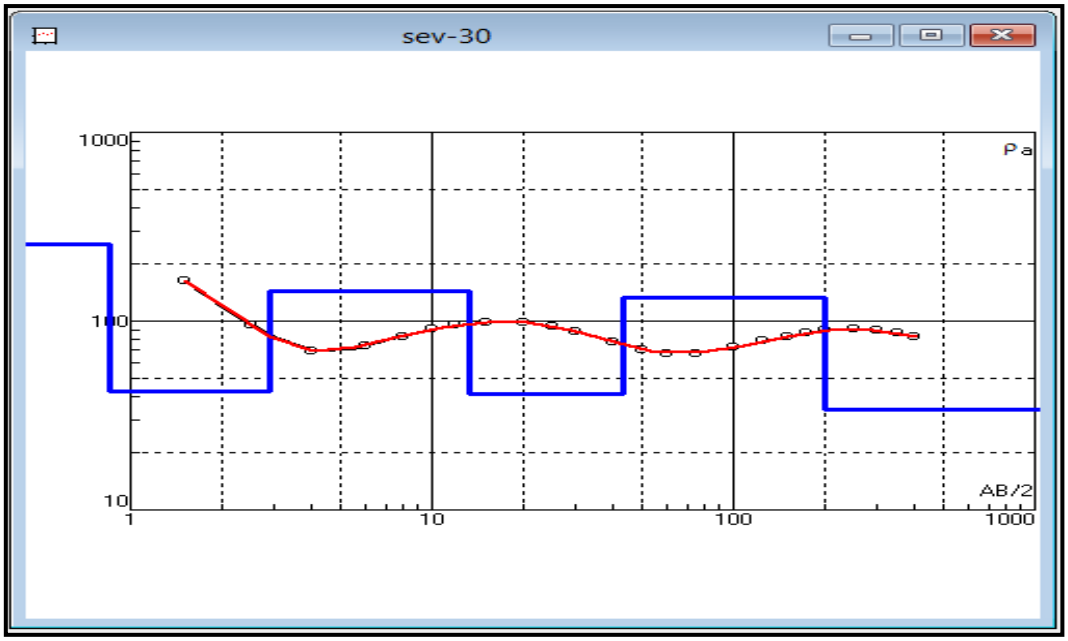
Localización Sondeo SEV-30

Arreglo Schlumberger SEV-30

Ilustración 66 Procedimiento de adquisición SEV-30 Coordenada N: 819380; E: 738188

Tabla 37 Valores de resultados SEV-30

SEV-30					
Capa	Profundidad de la base (m)	Espesor (m)	Resistividad (ohm - m)	Interpretación	Formación Geológica
1	0.9	0.9	255.2	Arenas y gravas	Formación Gigante medio (N2gim)
2	2.9	2.0	42.42	Limos	
3	10.41	13.31	144.6	Areniscas conglomeraticas	
4	29.8	43.1	41.1	Limolitas	
5	158	158	133.1	Areniscas conglomeraticas	
6	-	-	33.97	Limolitas	



Gráfica 105 Curvas de resistividad aparente SEV-30
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.2.31 SEV-31

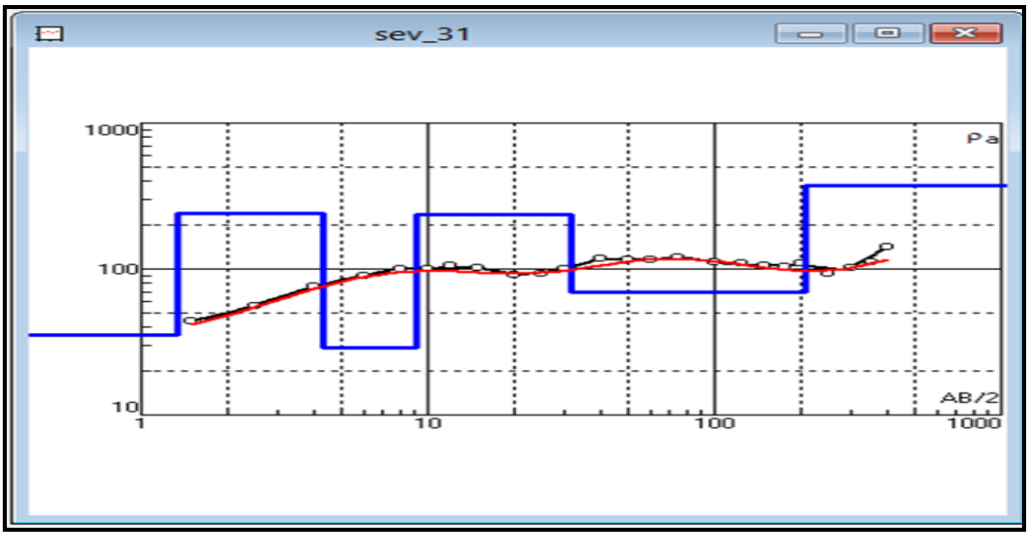
Localización Sondeo SEV-31

Arreglo Schlumberger SEV-31

Ilustración 67 Procedimiento de adquisición SEV-31 E: 817215; N: 764341

Tabla 38 Valores de resultados SEV-31

SEV-31					
Capa	Profundidad de la base (m)	Espesor (m)	Resistividad (ohm - m)	Interpretación	Formación Geológica
1	1.34	1.34	35.1	Limos	Depósitos de Lahar (Q2lh)
2	4.3	2.96	240	Conglomerados de rocas volcánicas en matriz areno-tobacea soldada	
3	9.12	4.83	28.9	Limos	
4	31.8	22.6	237	Conglomerados de rocas volcánicas en matriz areno-tobacea soldada	
5	208	176	69.4	Limo	
6	-	-	373	Conglomerados de rocas volcánicas en matriz areno-tobacea soldada	



Gráfica 106 Curvas de resistividad aparente SEV-31
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.2.32 SEV-32

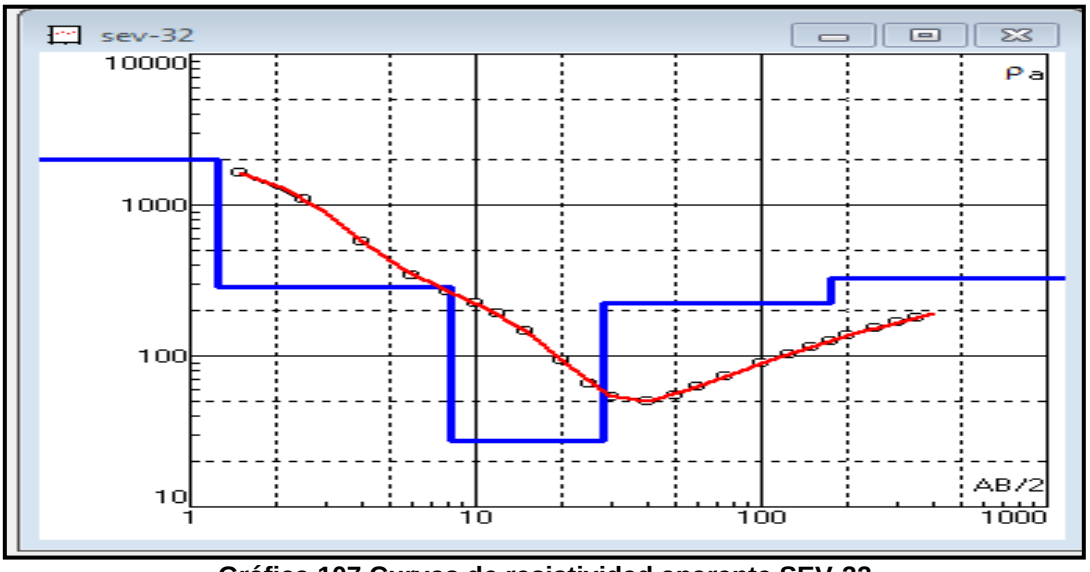
Localización Sondeo SEV-32

Arreglo Schlumberger SEV-32

Ilustración 68 Procedimiento de adquisición SEV-32 Coordenada E: 821097; N: 764570

Tabla 39 Valores de resultados SEV-32

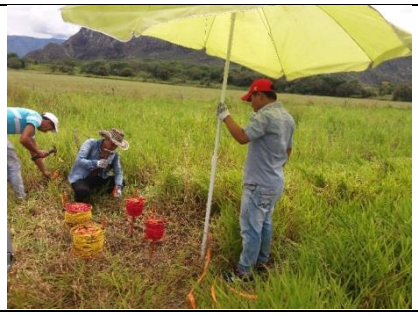
SEV-32					
Capa	Profundidad de la base (m)	Espesor (m)	Resistividad (ohm - m)	Interpretación	Formación Geológica
1	1.22	1.22	55.7	Arenas y limos	Depósitos de Lahar (Q2lh)
2	8.18	6.96	36.6	Arenas y limos	
3	30.5	22.3	120	Conglomerados de rocas volcánicas en matriz areno-tobacea soldada	
4	215	185	100	Conglomerados de rocas volcánicas en matriz areno-tobacea soldada	
5	-	-	43.9	Limolitas	



Gráfica 107 Curvas de resistividad aparente SEV-32
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.2.33 SEV-33

Localización Sondeo SEV-33

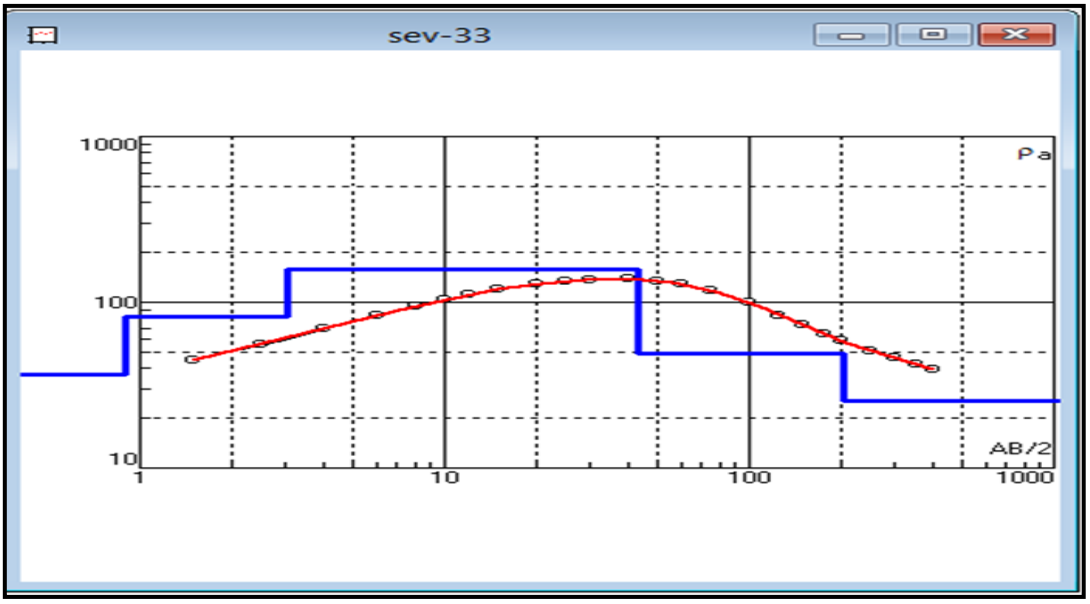


Arreglo Schlumberger SEV-33

Ilustración 69Procedimiento de adquisición SEV-33 Coordenada E: 824468; N: 763248

Tabla 40 Valores de resultados SEV-33

SEV-33					
Capa	Profundidad de la base (m)	Espesor (m)	Resistividad (ohm - m)	Interpretación	Formación Geológica
1	0.9	0.9	36.6	Arenas y limos	Depósitos de Lahar (Q2lh)
2	2.15	3.05	81.8	Arenas y limos	
3	39.8	42.8	158	Conglomerados de rocas volcánicas en matriz areno-tobacea soldada	
4	161	204	49.3	Arenas y limos	
5	-	-	25.5	Limos	



Gráfica 108 Curvas de resistividad aparente SEV-33
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.2.34 SEV-34

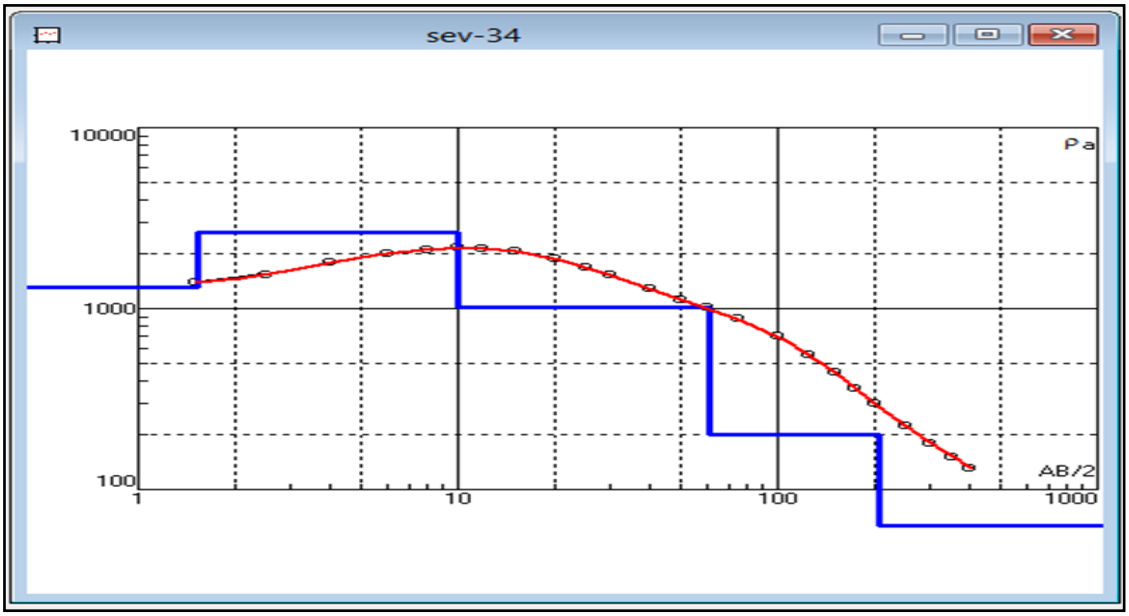
Localización Sondeo SEV-34

Arreglo Schlumberger SEV-34

Ilustración 70 Procedimiento de adquisición SEV-34 Coordenada E: 825990; N: 762396

Tabla 41 Valores de resultados SEV-34

SEV-34					
Capa	Profundidad de la base (m)	Espesor (m)	Resistividad (ohm - m)	Interpretación	Formación Geológica
1	1.61	1.61	37.2	Arenas y limos	Depósitos de Lahar (Q2lh)
2	19.3	17.7	158	Conglomerados de rocas volcánicas en matriz areno-tobacea soldada	
3	52.8	33.4	106	Conglomerados de rocas volcánicas en matriz areno-tobacea soldada	
4	212	159	49.9	Limos	
5	-	-	96.4	Arenas	



Gráfica 109 Curvas de resistividad aparente SEV-34
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.2.35 SEV-35

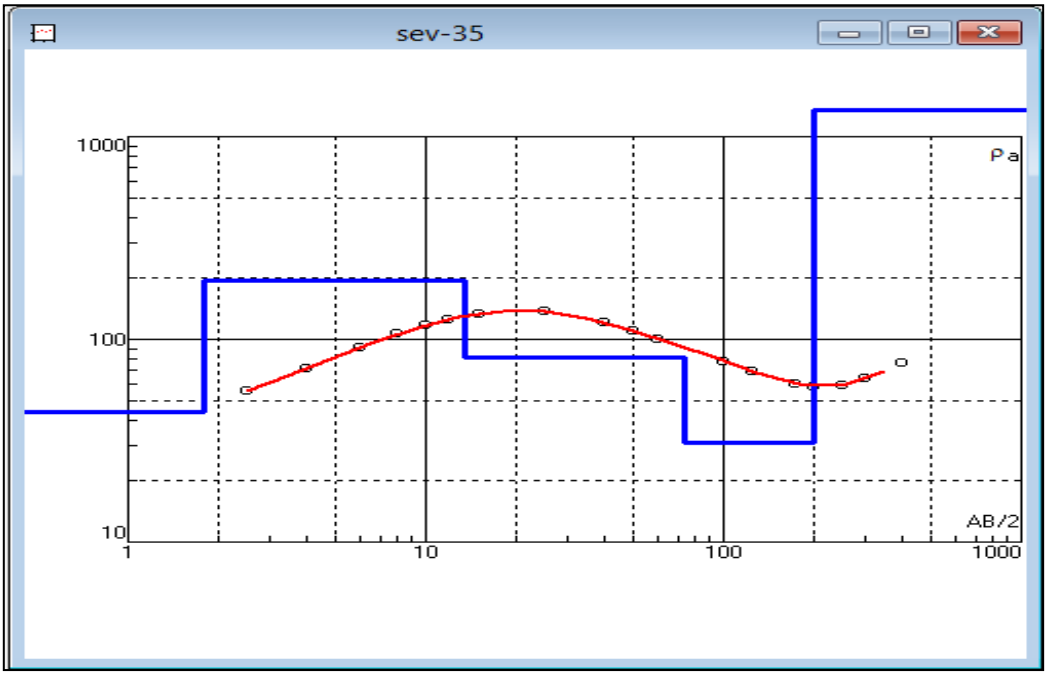
Localización Sondeo SEV-35

Arreglo Schlumberger SEV-35

Ilustración 71 Procedimiento de adquisición SEV-35 Coordenada E: 836347; N: 754257

Tabla 42 Valores de resultados SEV-35

SEV-35					
Capa	Profundidad de la base (m)	Espesor (m)	Resistividad (ohm - m)	Interpretación	Formación Geológica
1	1.8	1.8	43.8	Limos	Depósitos Aluviales Antiguos y/o Terrazas Altas (Q1al)
2	13.5	11.7	195	Arenas y gravas	
3	74	60.4	81.3	Arenas y limos	
4	201	127	30.9	Limos	
5	-	-	1352	Arenas y gravas	



Gráfica 110 Curvas de resistividad aparente SEV-35
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.2.36 SEV-36

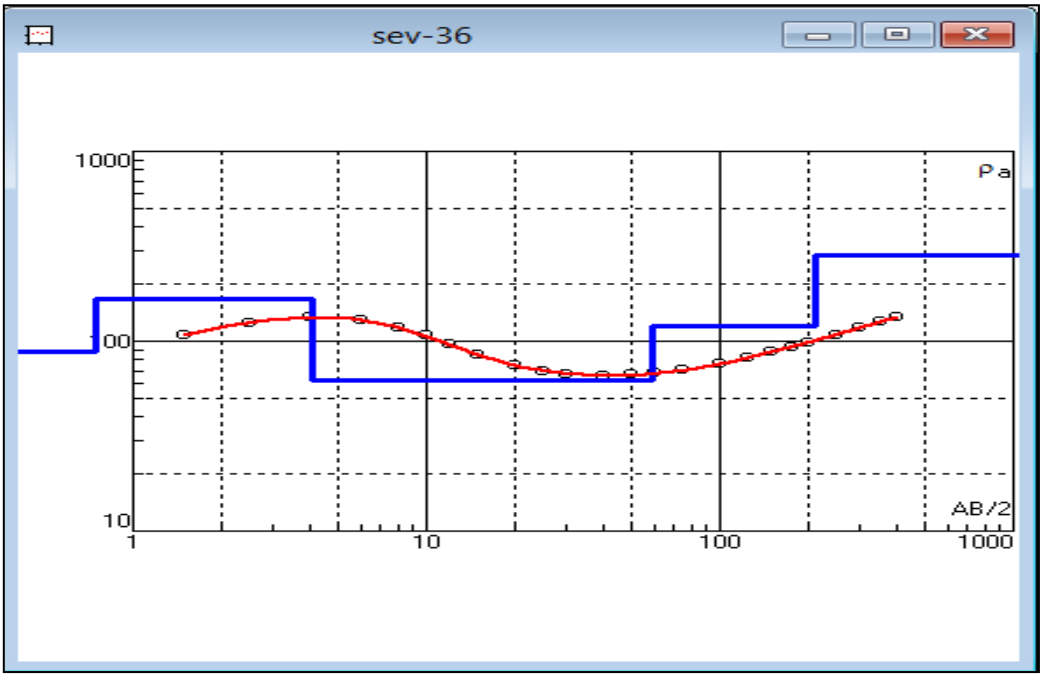
Localización Sondeo SEV-36

Arreglo Schlumberger SEV-36

Ilustración 72 Procedimiento de adquisición SEV-36 Coordenada E: 839581; N: 750480

Tabla 43 Valores de resultados SEV-36

SEV-36					
Capa	Profundidad de la base (m)	Espesor (m)	Resistividad (ohm - m)	Interpretación	Formación Geológica
1	0.75	0.75	88	Arenas y gravas	Depósitos Aluviales Antiguos y/o Terrazas Altas (Q1al)
2	4.05	3.3	167	Arenas	
3	58.4	54.3	62.2	Arenas y limos	
4	213	155	120	Arenas	
5	-	-	283	Arenas y gravas	



Gráfica 111 Curvas de resistividad aparente SEV-36
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.2.37 SEV-37

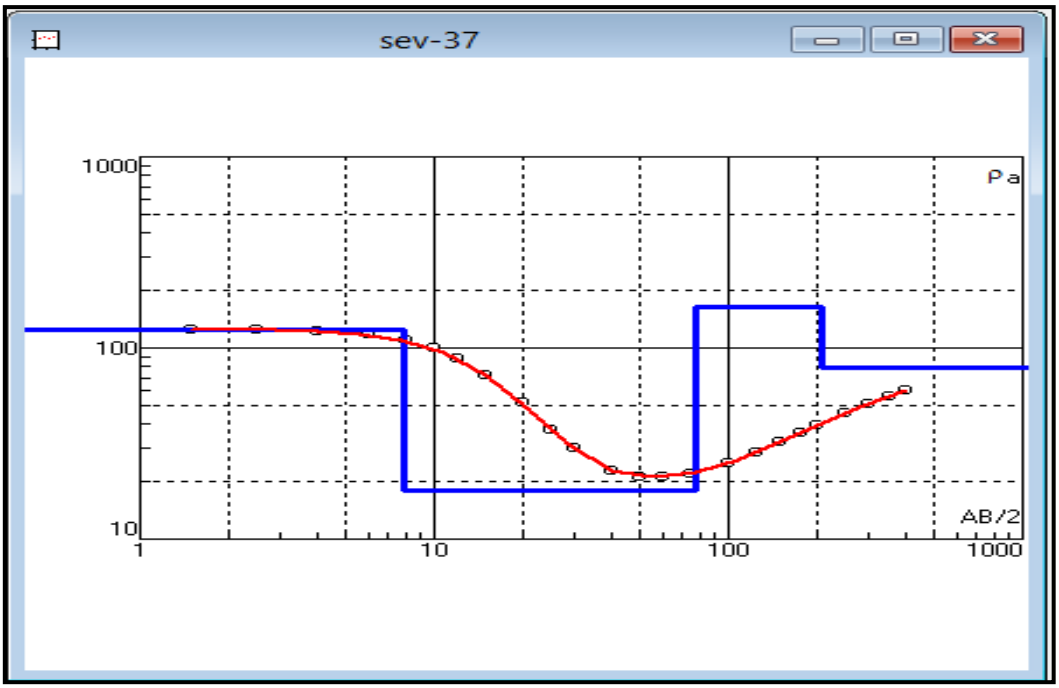
Localización Sondeo SEV-37

Arreglo Schlumberger SEV-37

Ilustración 73 Procedimiento de adquisición SEV-37 Coordenada E: 841344; N: 746934

Tabla 44 Valores de resultados SEV-37

SEV-37					
Capa	Profundidad de la base (m)	Espesor (m)	Resistividad (ohm - m)	Interpretación	Formación Geológica
1	7.9	7.9	125	Arenas y gravas	Depósitos Aluviales y/o Terrazas bajas (Q2al)
2	77.7	69.8	17.9	Limos	
3	206	128	164	Arenas y gravas	
4	-	-	79	Arenas y limos	



Gráfica 112 Curvas de resistividad aparente SEV-37
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.2.38 SEV-38

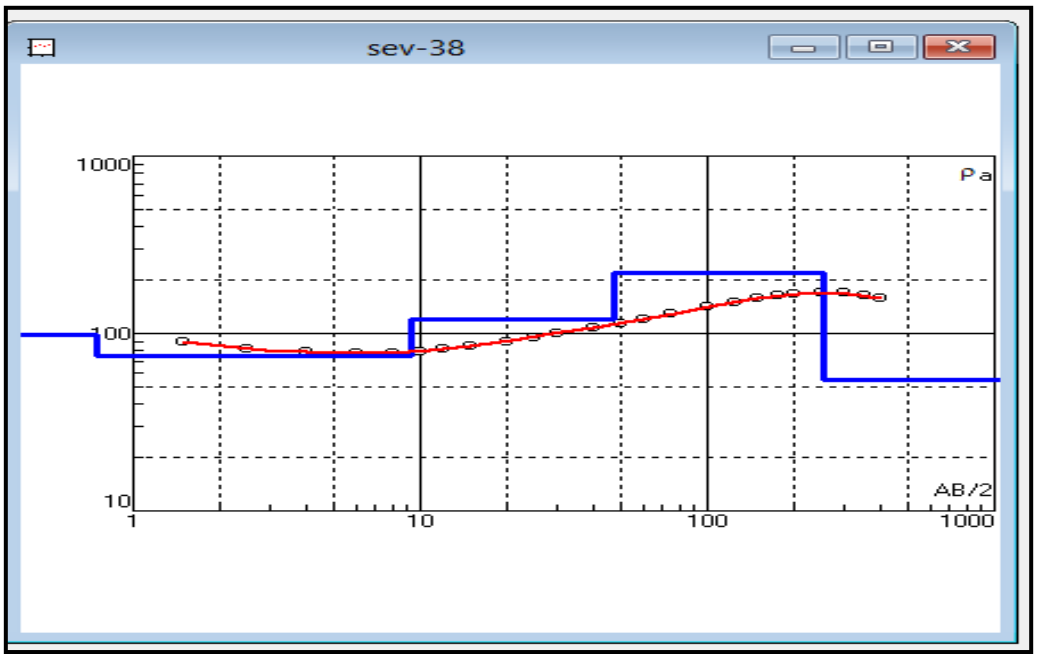
Localización Sondeo SEV-38

Arreglo Schlumberger SEV-38

Ilustración 74 Procedimiento de adquisición SEV-38 Coordenada E: 827727; N: 745712

Tabla 45 Valores de resultados SEV-38

SEV-38					
Capa	Profundidad de la base (m)	Espesor (m)	Resistividad (ohm - m)	Interpretación	Formación Geológica
1	0.75	0.75	98.2	Arenas y limos	Formación Gigante medio (N2gim)
2	9.38	8.63	74.6	Arenas y limos	
3	47.2	37.8	120	Areniscas conglomeraticas	
4	254	207	219	Tobas volcánicas	
5	-	-	54.6	Limolitas	



Gráfica 113 Curvas de resistividad aparente SEV-38
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.2.39 SEV-39

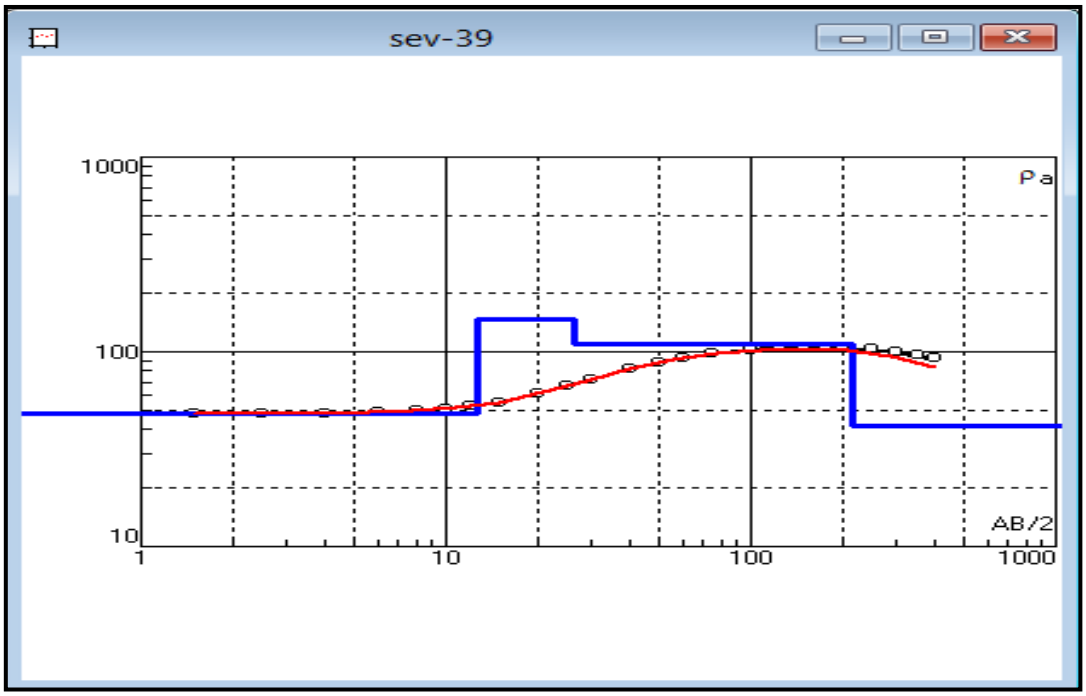
Localización Sondeo SEV-39

Arreglo Schlumberger SEV-39

Ilustración 75 Procedimiento de adquisición SEV-39 Coordenada E: 828942; N: 740486

Tabla 46 Valores de resultados SEV-39

SEV-39					
Capa	Profundidad de la base (m)	Espesor (m)	Resistividad (ohm - m)	Interpretación	Formación Geológica
1	12.7	12.7	48.31	Arenas y limos	Depósitos Aluviales y/o Terrazas Bajas (Q2al)
2	26.2	13.5	147	Arena	
3	215	189	110	Arena	
	-	-	41.6	Limos	



Gráfica 114 Curvas de resistividad aparente SEV-39
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.2.40 SEV-40

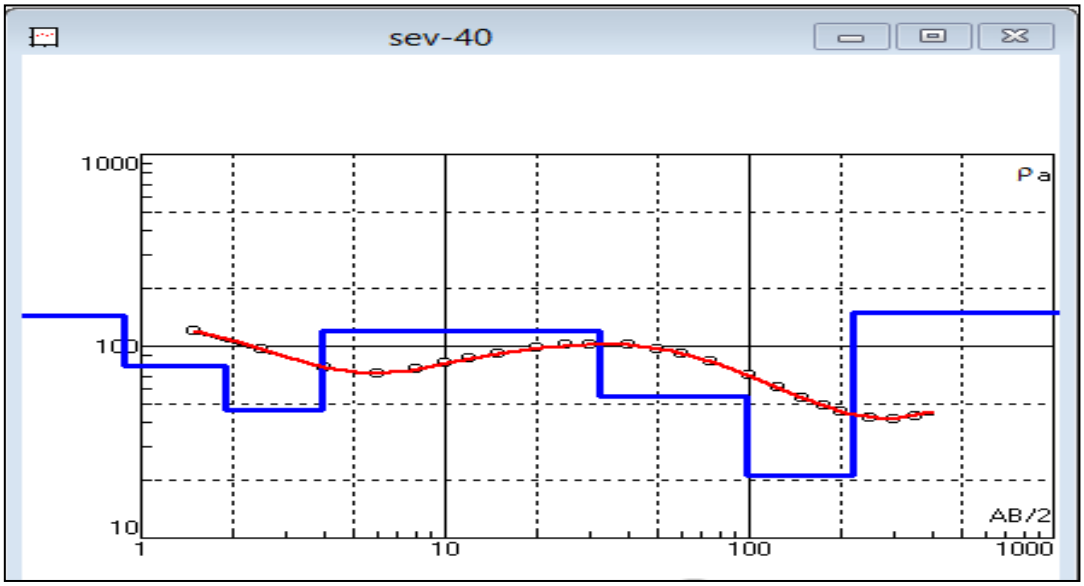
Localización Sondeo SEV-40

Arreglo Schlumberger SEV-40

Ilustración 76 Procedimiento de adquisición SEV-40 Coordenada E: 827776; N: 736746

Tabla 47 Valores de resultados SEV-40

SEV-40					
Capa	Profundidad de la base (m)	Espesor (m)	Resistividad (ohm - m)	Interpretación	Formación Geológica
1	0.9	0.9	144.1	Arenas	Formación Gigante medio (N2gim)
2	1.9	1.0	78.86	Arenas y limos	
3	3.9	2.0	46.42	Limos	
4	31.9	28.0	120.1	Arenas conglomeratica	
5	98.4	66.4	54.71	Limolita	
6	219.2	120.8	21.15	Arcillolita	
7	-	-	149.5	Arenas conglomeratica	



Gráfica 115 Curvas de resistividad aparente SEV-40
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.3 Mapas de Iso-resistividad:

Estos mapas permiten observar en un plano 2D la distribución de resistividades a una determinada profundidad. Con una buena densidad de SEV y combinando esta información con datos geológicos e hidrogeológicos, es posible obtener además de los contrastes de resistividad, información importante relacionada con la presencia de estructuras como fallas, profundidades de basamentos y cambios de salinida, determinar aproximadamente la geometría de las capas geoeléctricas con potencial acuífero, tanto en profundidad como en extensión lateral.

Mediante los software Geosoft Oasis montaj, ArcGis, y Autocad se procesan los datos, se analiza y se generan los mapas de iso-resistividad a diferentes profundidades; en todos los mapas se utilizan el método de interpolación Kriging con tamaño de pixel para cada celda de 250X250. Los rangos de color asociados a valores de resistividad, con el objeto de facilitar su interpretación muestra en general las resistividades más altas se representadas por tonalidades rojizas hasta magenta, las resistividades medias en tonalidades amarillas hasta verdes y las más bajas por la escala en tonalidades azules. Las curvas de igual valor de resistividad o isolíneas, están trazadas a intervalos de 100 Ohm-m.

La GDB se construye a partir del inventario de estudios geoelectricos registrados en el Departamento del Huila, donde se registran 348 SEVs obtenidos de la información de los expedientes de solicitud de concesión de aguas subterráneas, estudios y documentación oficial registrada en la **CAM**, adicionalmente se completa las zonas con vacíos de información con la adquisición de 40 SEVs y 36 MT para un total de 424 puntos de muestreo con diferentes profundidad de investigación alcanzada.

En la **Ilustración 77** se muestra el Modelo Digital del Terreno y la localización SEV´S y MT analizados para el presente estudio.

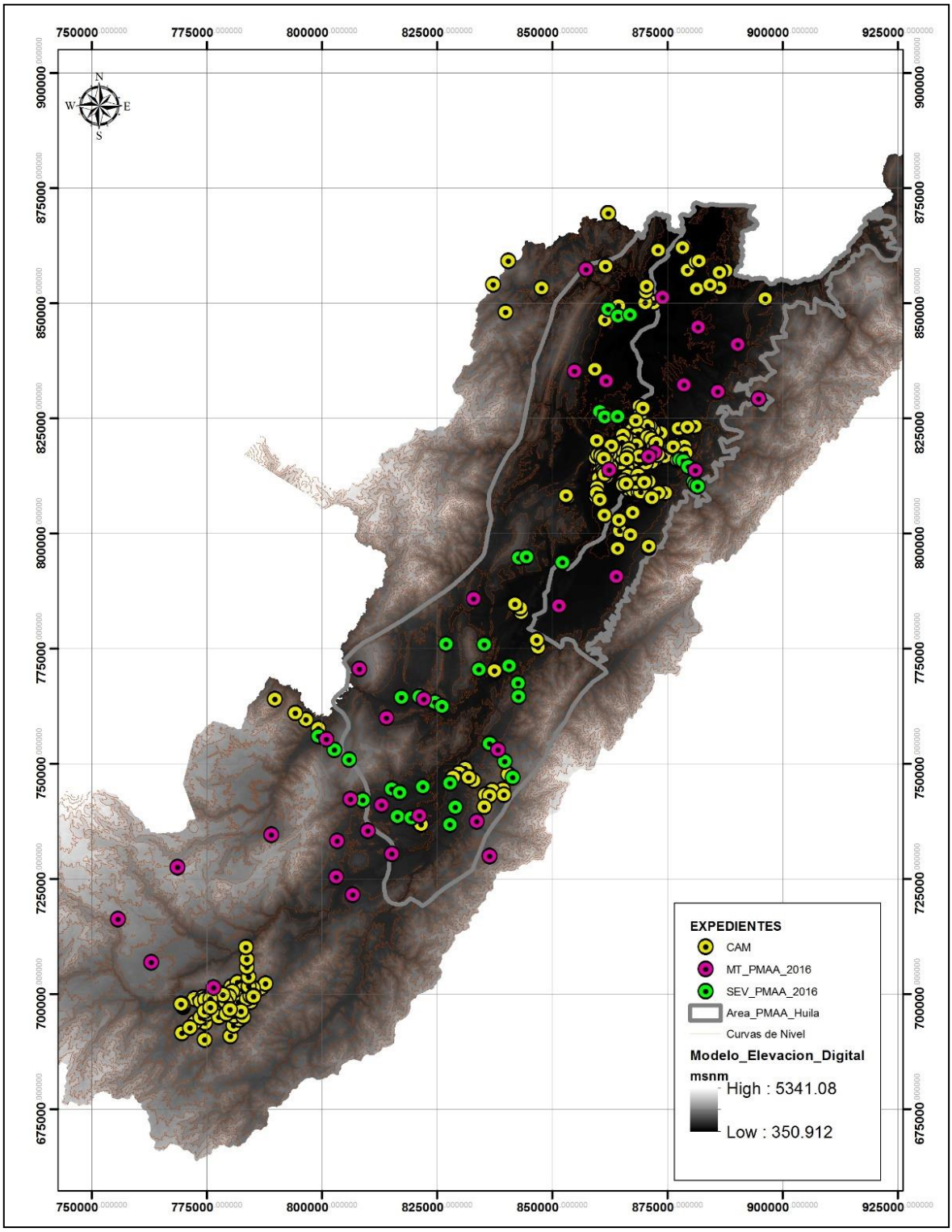


Ilustración 77DEM localización de SEV´s y MT
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

A continuación se presenta la interpretación de los diferentes modelo de iso-resistividades a la profundidad de 10m, 25m, 50m, 75m, 100m, 125m, 150m, 175m, 200m, 225m, 250m, 275m, 300m, 400m, 500m, 600m, 700m, 800m, 900m, 1.000m, 2.000m y 3.000m .(Ver **Anexo C-3 Mapas de Iso Resistividad**).

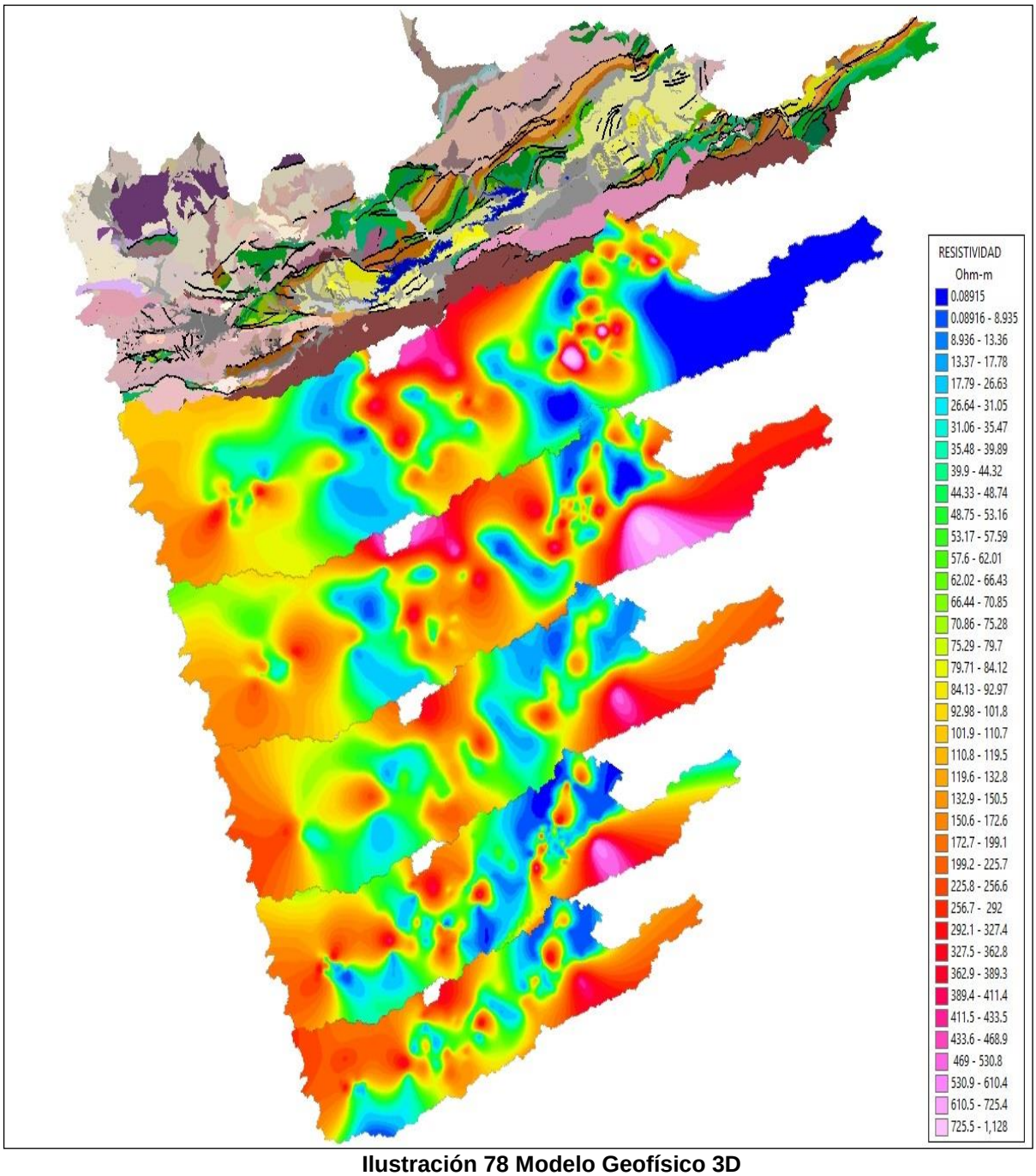


Ilustración 78 Modelo Geofísico 3D
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.3.1 Mapas de Iso-resistividad a 10m de profundidad:

En la **Ilustración 79** se muestra el Mapa de iso-resistividad a 10m, para la elaboración del mapa se implementa 424 puntos de muestreo los cuales se interpolan mediante el método Kriging. Finalmente se obtiene resistividades entre 1 - 1128 ohm-m.

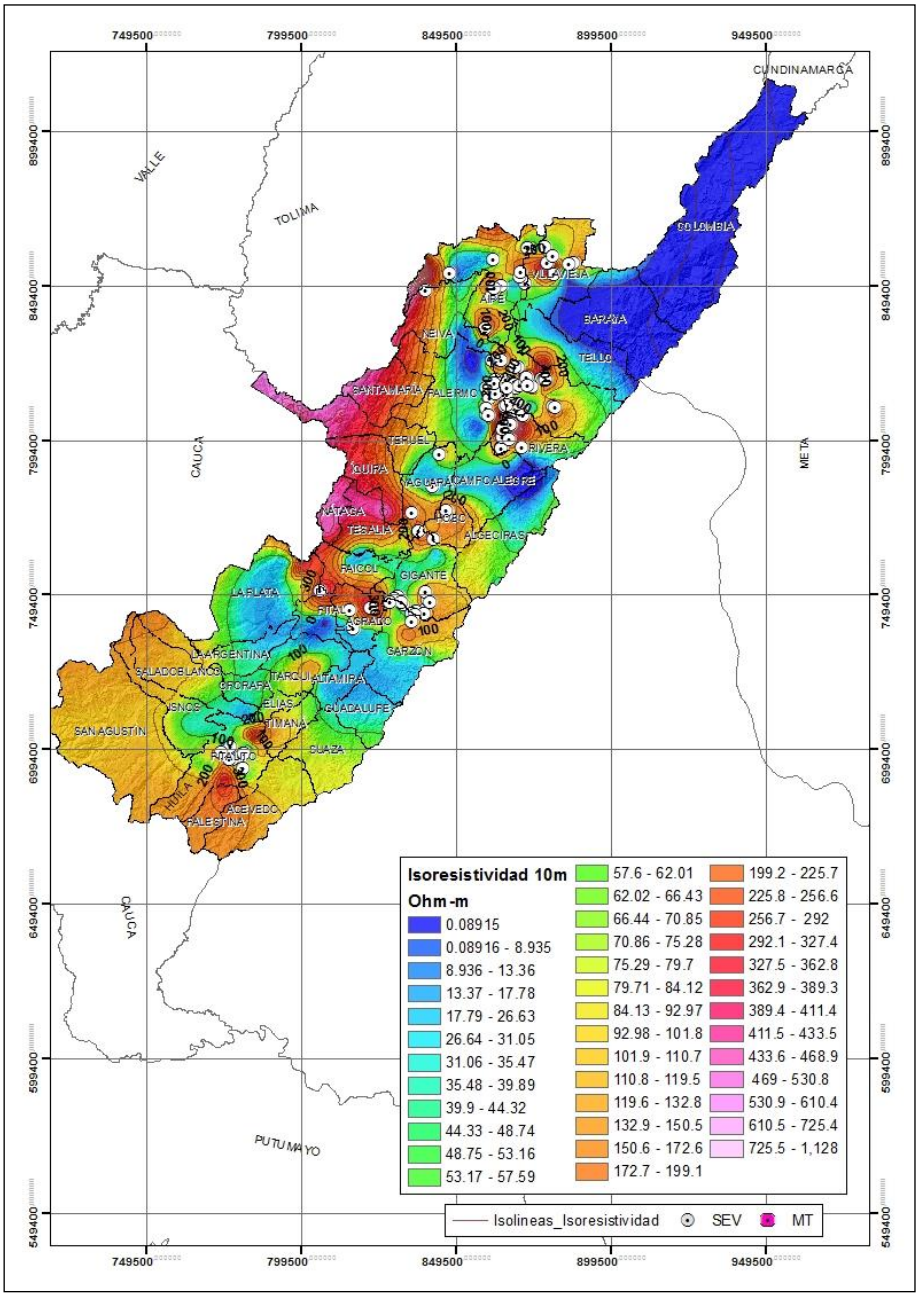


Ilustración 79 Mapa de iso-resistividades a 10m de profundidad
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.3.2 Mapas de Iso-resistividad a 25m de profundidad:

En la **Ilustración 80** muestra el Mapa de iso-resistividad a 25m, para la elaboración del mapa se implementa 401 puntos de muestreo los cuales se interpolan mediante el método Kriging. Finalmente se obtiene resistividades entre 1 -830 ohm-m.

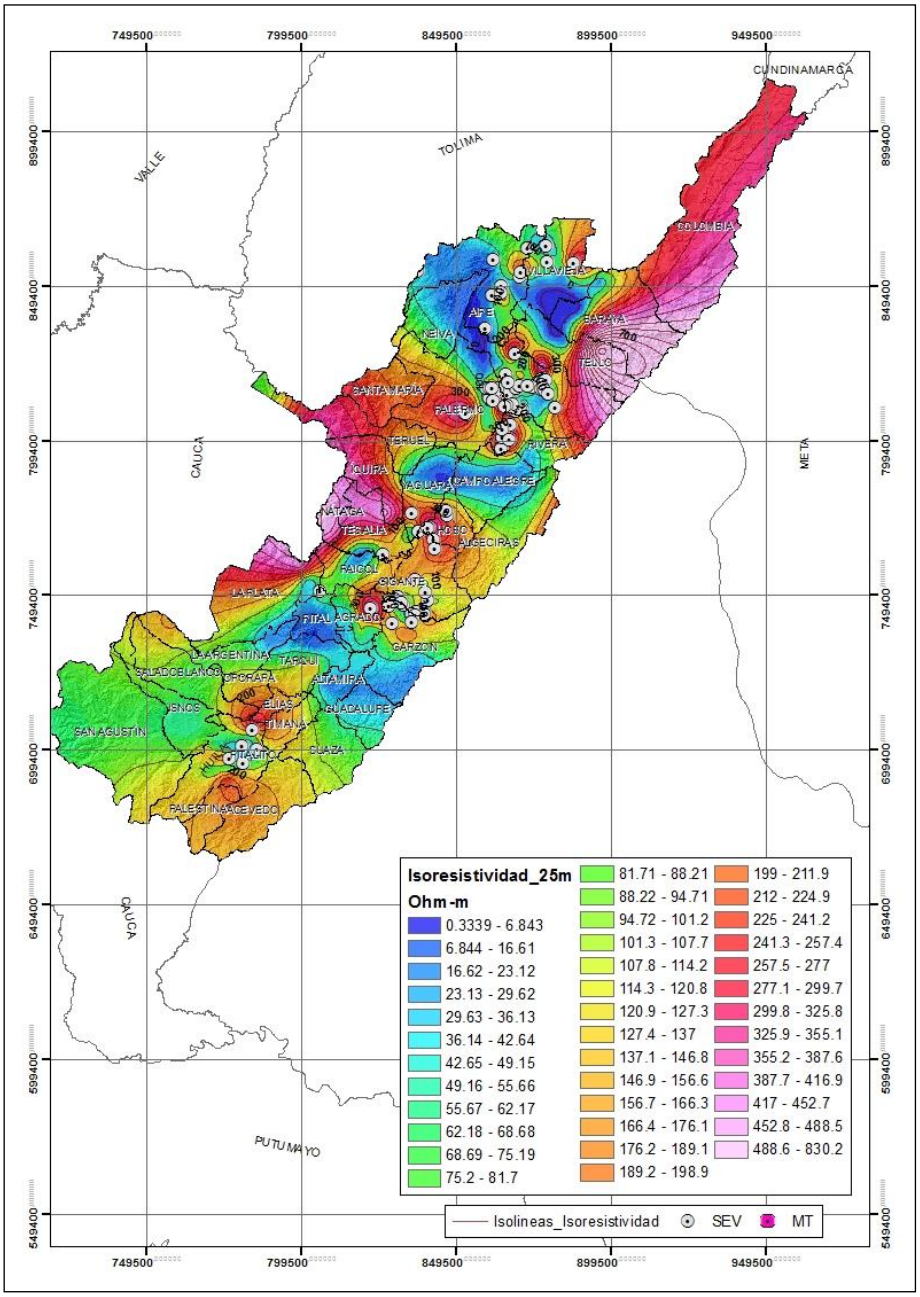


Ilustración 80 Mapa de iso-resistividades a 25m de profundidad.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.3.3 Mapas de Iso-resistividad a 50m de profundidad:

En la **Ilustración 81** muestra el Mapa de iso-resistividad a 50m, para la elaboración del mapa se implementa 350 puntos de muestreo los cuales se interpolan mediante el método Kriging. Finalmente se obtiene resistividades entre 1 - 544 ohm-m.

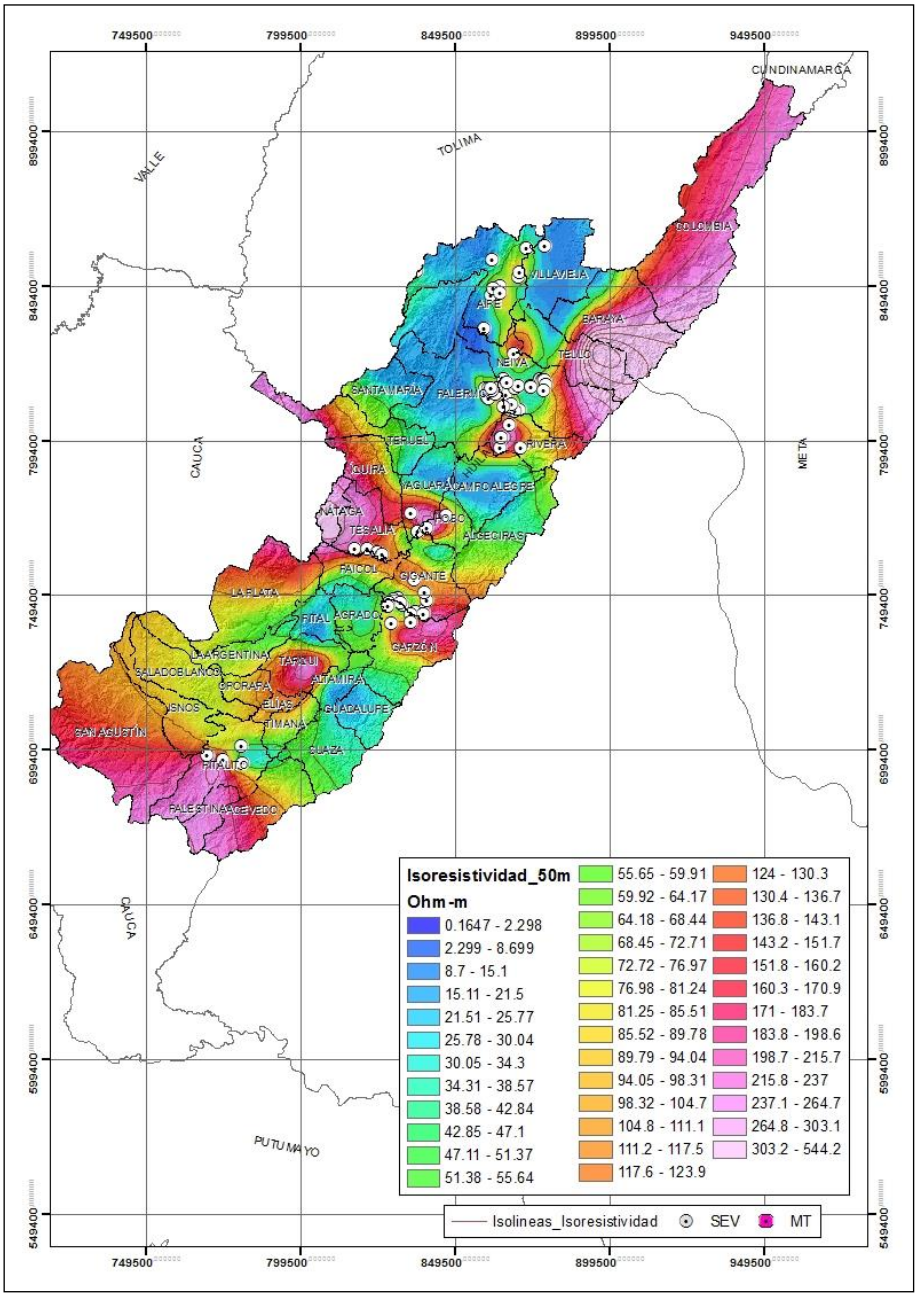


Ilustración 81 Mapa de iso-resistividades a 50m de profundidad.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.3.4 Mapas de Iso-resistividad a 75m de profundidad:

En la **Ilustración 82** muestra el Mapa de iso-resistividad a 75m, para la elaboración del mapa se implementa 308 puntos de muestreo los cuales se interpolan mediante el método Kriging. Finalmente se obtiene resistividades entre 1 - 588 ohm-m.

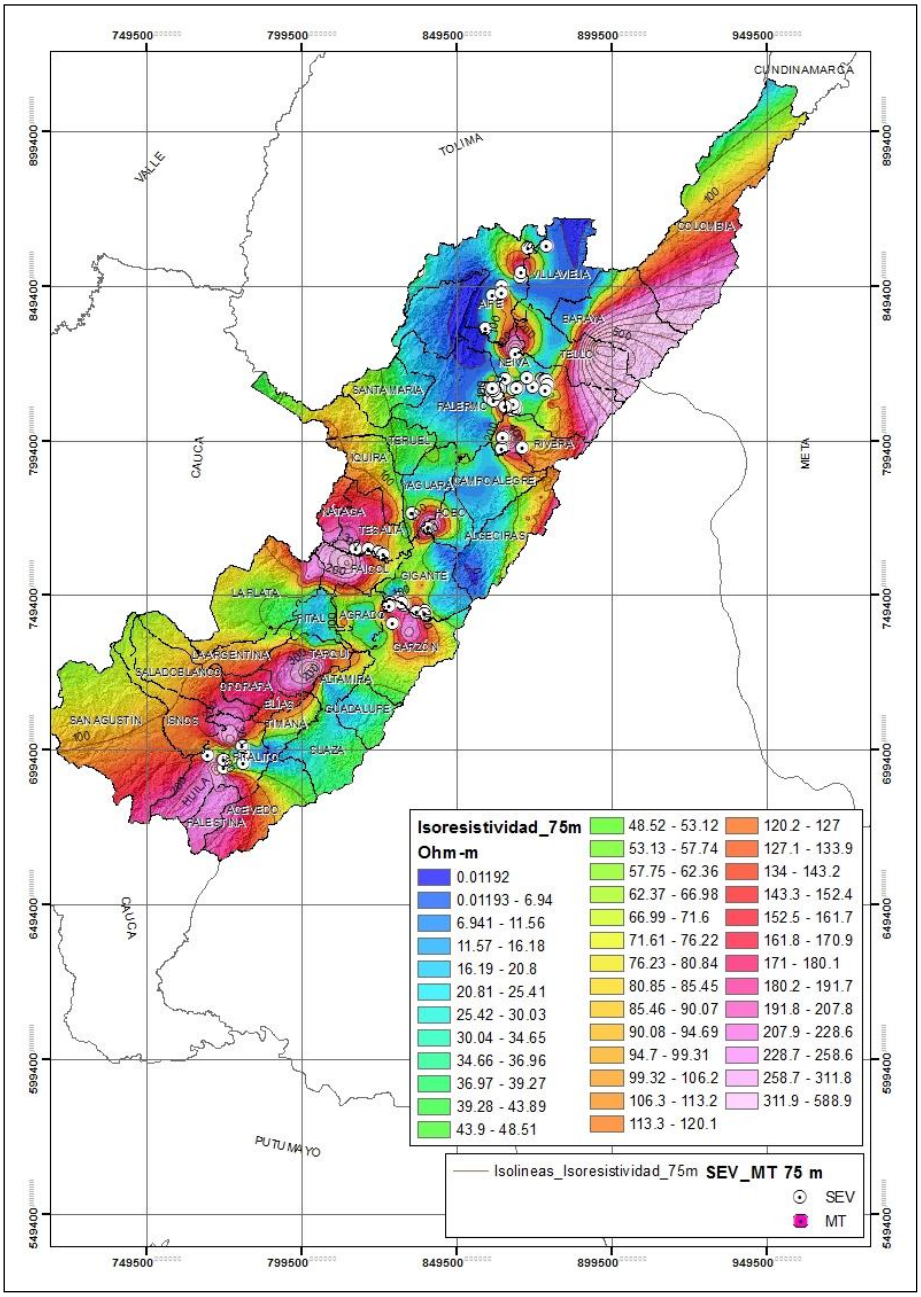


Ilustración 82 Mapa de Iso-resistividades a 75m de profundidad.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.3.5 Mapas de Iso-resistividad a 100m de profundidad:

En la **Ilustración 83** el Mapa de iso-resistividad a 100m, para la elaboración del mapa se implementa 279 puntos de muestreo los cuales se interpolan mediante el método Kriging. Finalmente se obtiene resistividades entre 1ohm-m y 438 ohm-m.

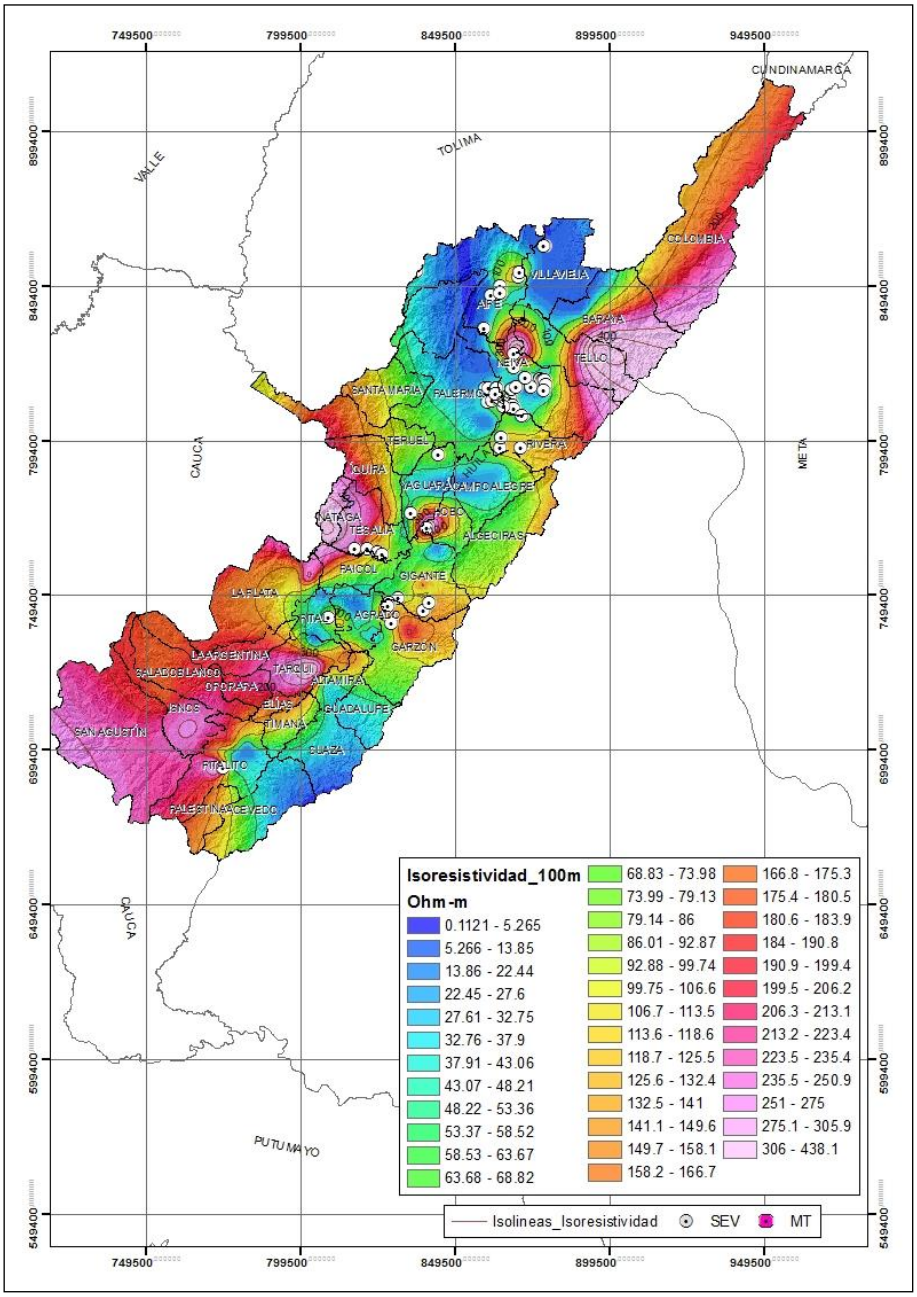


Ilustración 83 Mapa de Iso-resistividades a 100m de profundidad.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.3.6 Mapas de Iso-resistividad a 125m de profundidad:

En la **Ilustración 84** muestra el Mapa de iso-resistividad a 125m, para la elaboración del mapa se implementa 225 puntos de muestreo los cuales se interpolan mediante el método Kriging. Finalmente se obtiene resistividades entre 1 - 540 ohm-m.

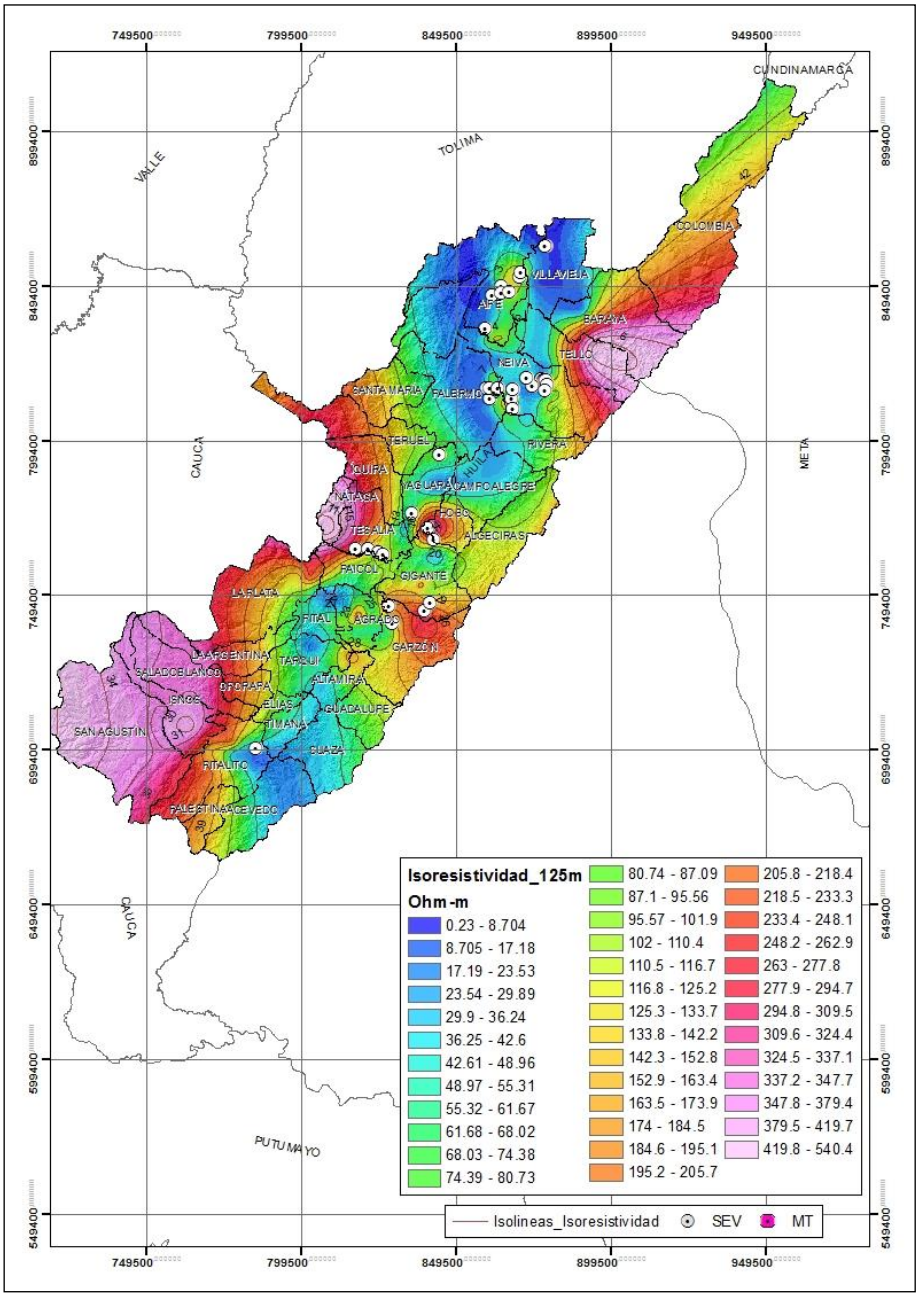


Ilustración 84 Mapa de Iso-resistividades a 125m de profundidad.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.3.7 Mapas de Iso-resistividad a 150m de profundidad.

En la **Ilustración 85** muestra el Mapa de iso-resistividad a 150m, para la elaboración del mapa se implementa 202 puntos de muestreo los cuales se interpolan mediante el método Kriging. Finalmente se obtiene resistividades entre 1 - 672 Ohm-m.

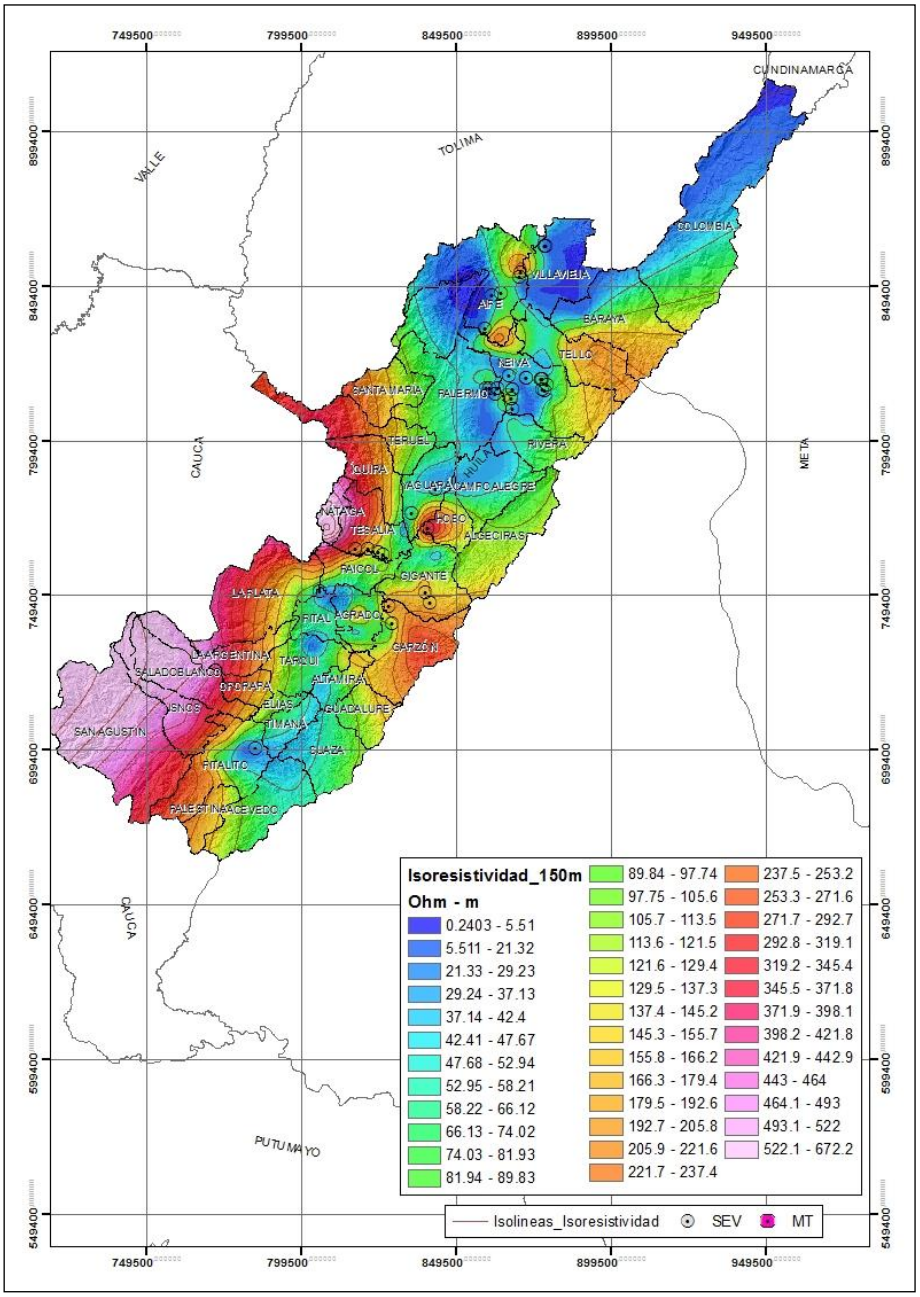


Ilustración 85 Mapa de iso-resistividades a 150m de profundidad
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.3.8 Mapas de Iso-resistividad a 175m de profundidad:

En la **Ilustración 86** muestra el Mapa de iso-resistividad a 175m, para la elaboración del mapa se implementa 168 puntos de muestreo los cuales se interpolan mediante el método Kriging. Finalmente se obtiene resistividades entre 16 - 679 Ohm-m.

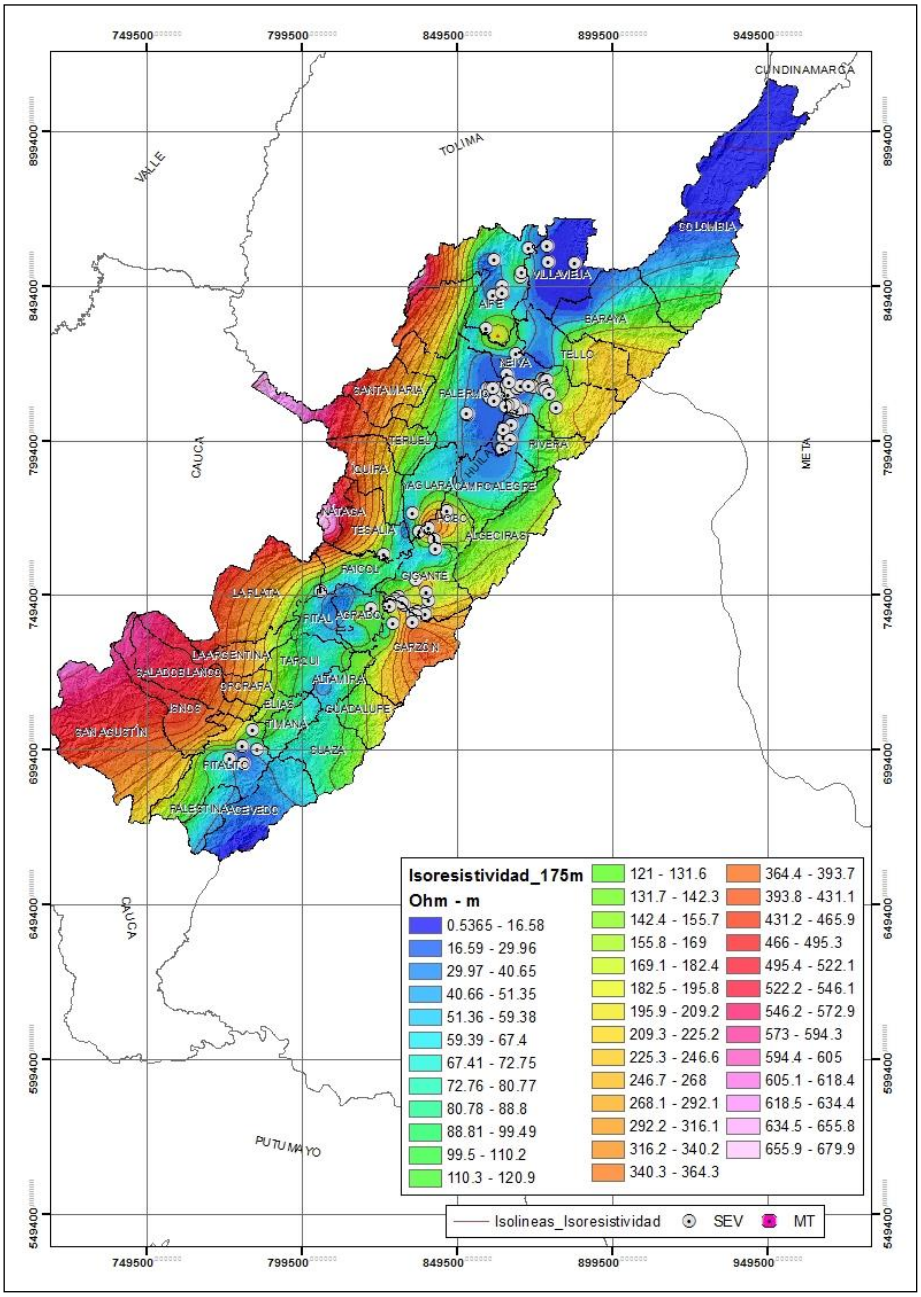


Ilustración 86 Mapa de iso-resistividades a 175m de profundidad
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.3.9 Mapas de Iso-resistividad a 200m de profundidad:

En la **Ilustración 87** muestra el Mapa de iso-resistividad a 200m, para la elaboración del mapa se implementa 152 puntos de muestreo los cuales se interpolan mediante el método Kriging. Finalmente se obtiene resistividades entre 1 - 1082 Ohm-m.

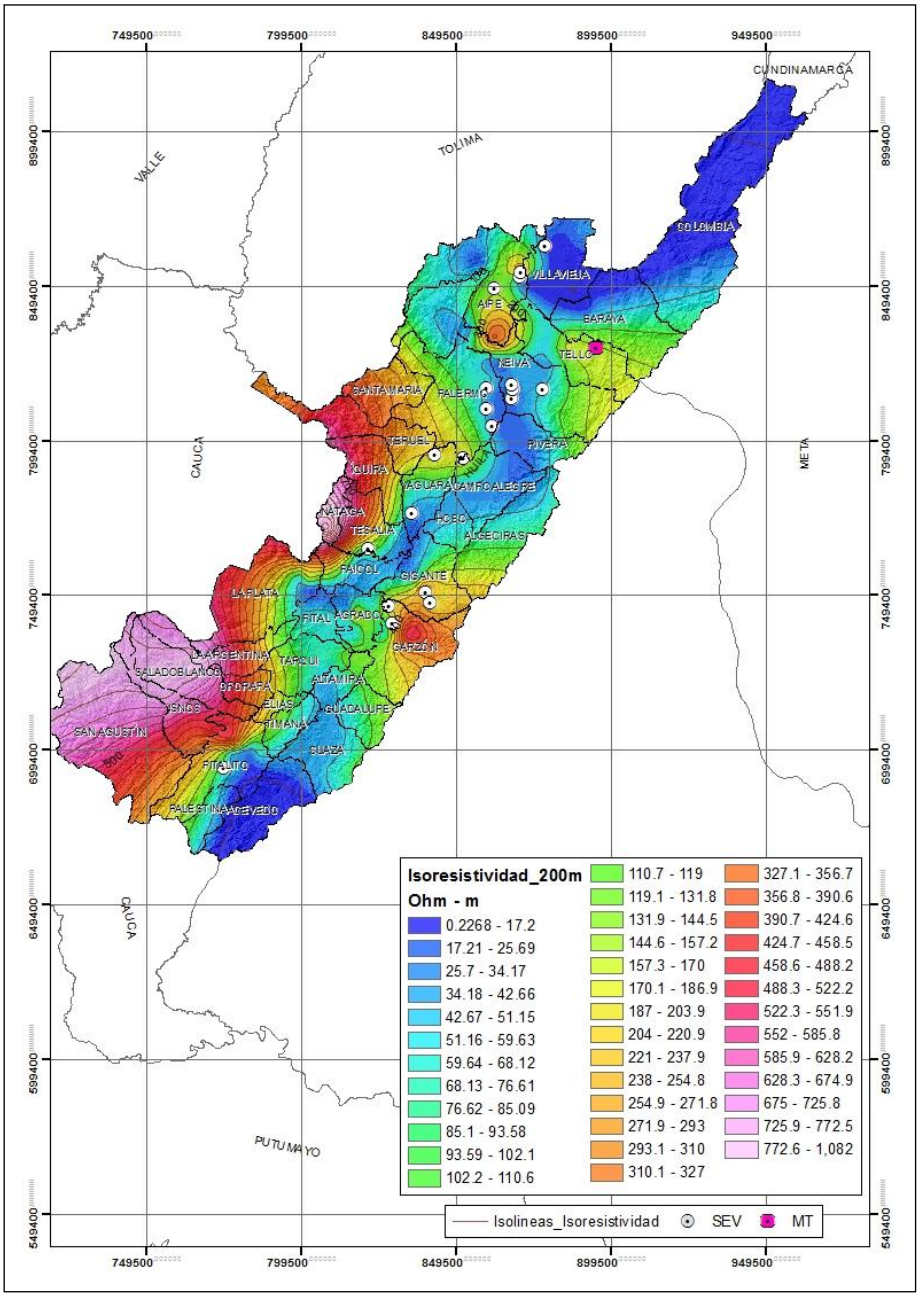


Ilustración 87 Mapa de iso-resistividades a 200m de profundidad
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.3.10 Mapas de Iso-resistividad a 225m de profundidad:

En la **Ilustración 88** muestra el Mapa de iso-resistividad a 225m, para la elaboración del mapa se implementa 84 puntos de muestreo los cuales se interpolan mediante el método Kriging. Finalmente se obtiene resistividades entre 1 - 1013 Ohm-m.

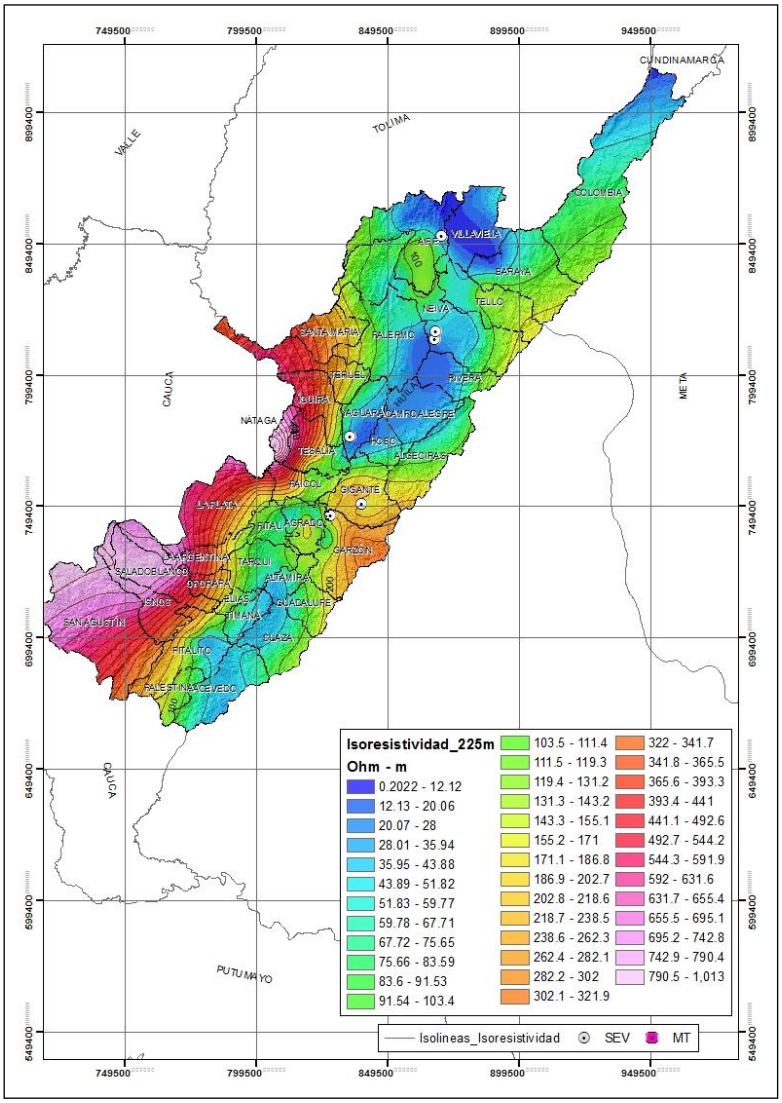


Ilustración 88 Mapa de iso-resistividades a 225m de profundidad
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.3.11 Mapas de Iso-resistividad a 275m de profundidad:

En la **Ilustración 89** muestra el Mapa de iso-resistividad a 275m, para la elaboración del mapa se implementa 68 puntos de muestreo los cuales se interpolan mediante el método Kriging. Finalmente se obtiene resistividades entre 2 - 1166 Ohm-m.

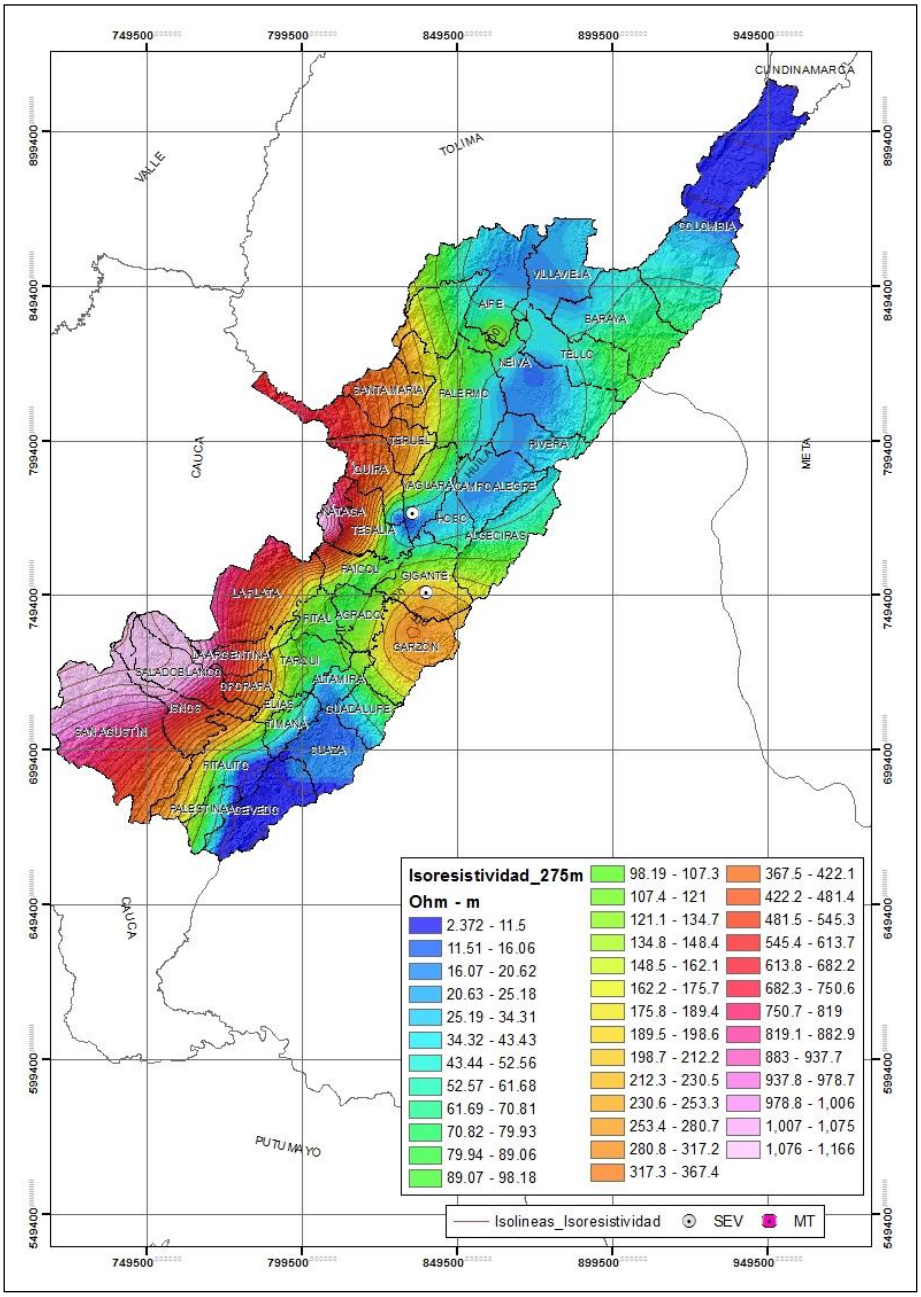


Ilustración 89 Mapa de iso-resistividades a 275m de profundidad
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.3.12 Mapas de Iso-resistividad a 300m de profundidad:

En la **Ilustración 90** muestra el Mapa de iso-resistividad a 300m, para la elaboración del mapa se implementa 56 puntos de muestreo los cuales se interpolan mediante el método Kriging. Finalmente se obtiene resistividades entre 1 - 2297 ohm-m.

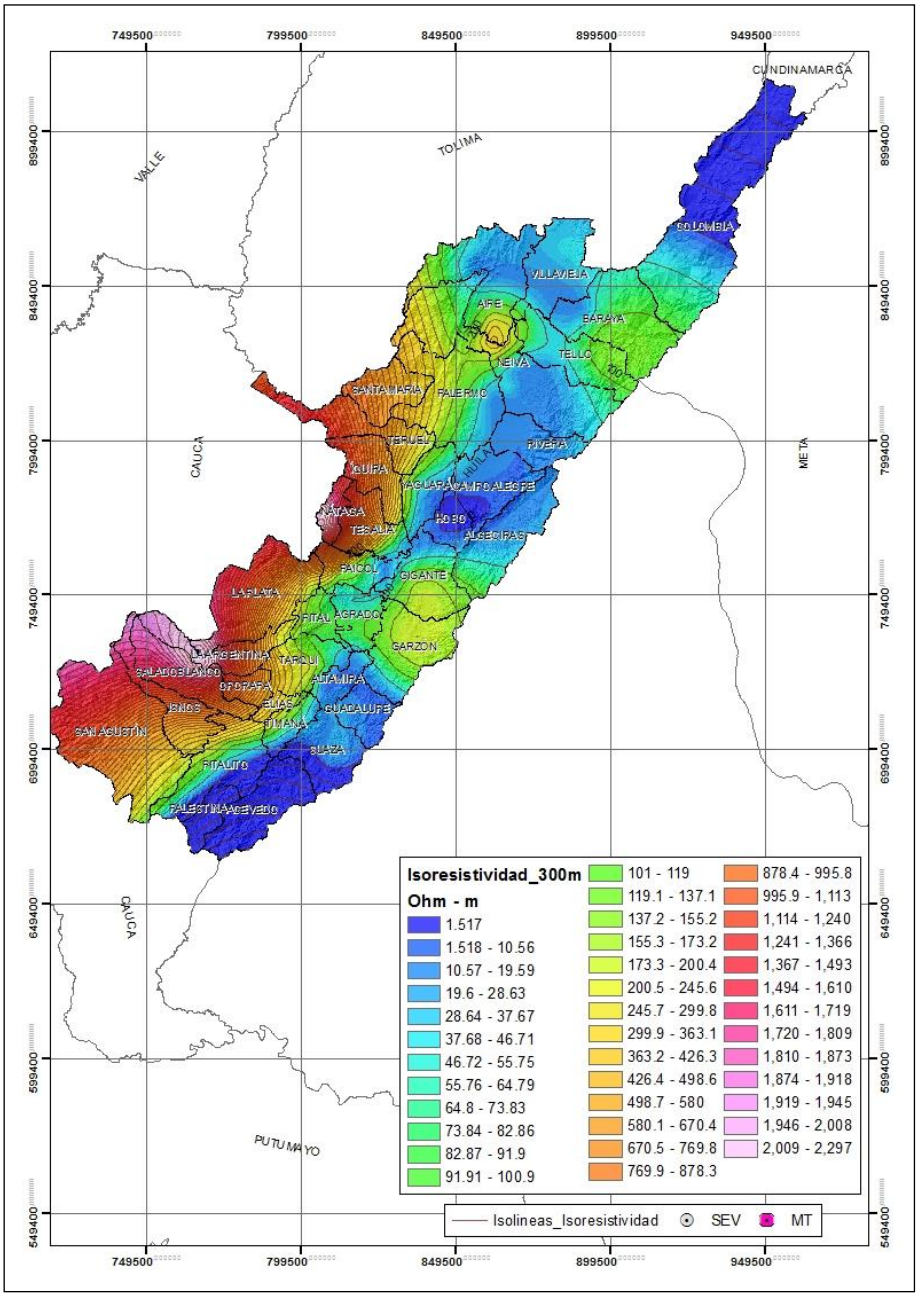


Ilustración 90 Mapa de iso-resistividades a 300m de profundidad
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.3.13 Mapas de Iso-resistividad a 400m de profundidad:

En la **Ilustración 91** muestra el Mapa de iso-resistividad a 400m, para la elaboración del mapa se implementa 39 puntos de muestreo los cuales se interpolan mediante el método Kriging. Finalmente se obtiene resistividades entre 3 - 1734 Ohm-m.

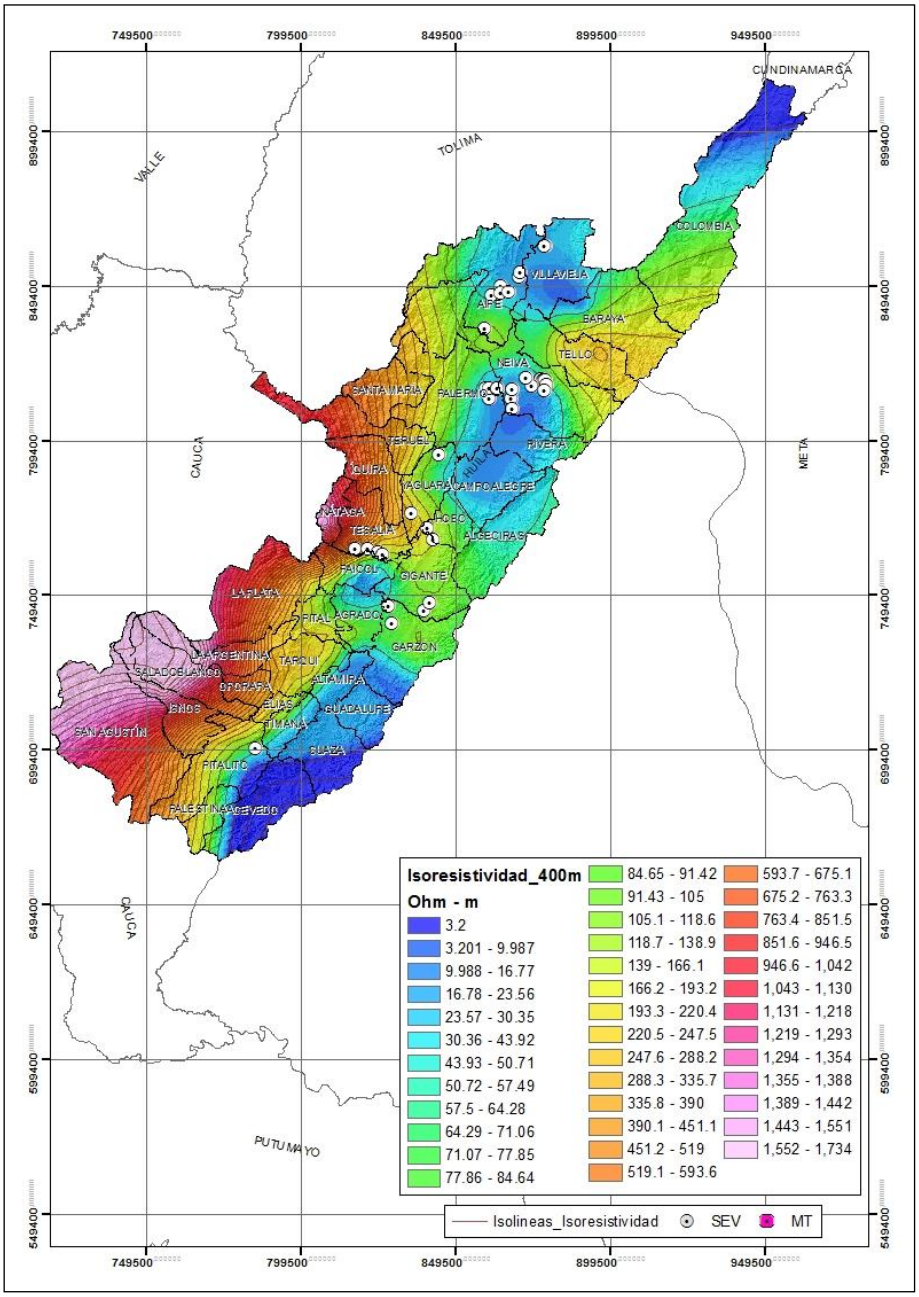


Ilustración 91 Mapa de iso-resistividades a 400m de profundidad.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.3.14 Mapas de Iso-resistividad a 500m de profundidad:

En la **Ilustración 92** muestra el Mapa de iso-resistividad a 500m, para la elaboración del mapa se implementa 36 puntos de muestreo los cuales se interpolan mediante el método Kriging. Finalmente se obtiene resistividades entre 1 - 953 ohm-m.

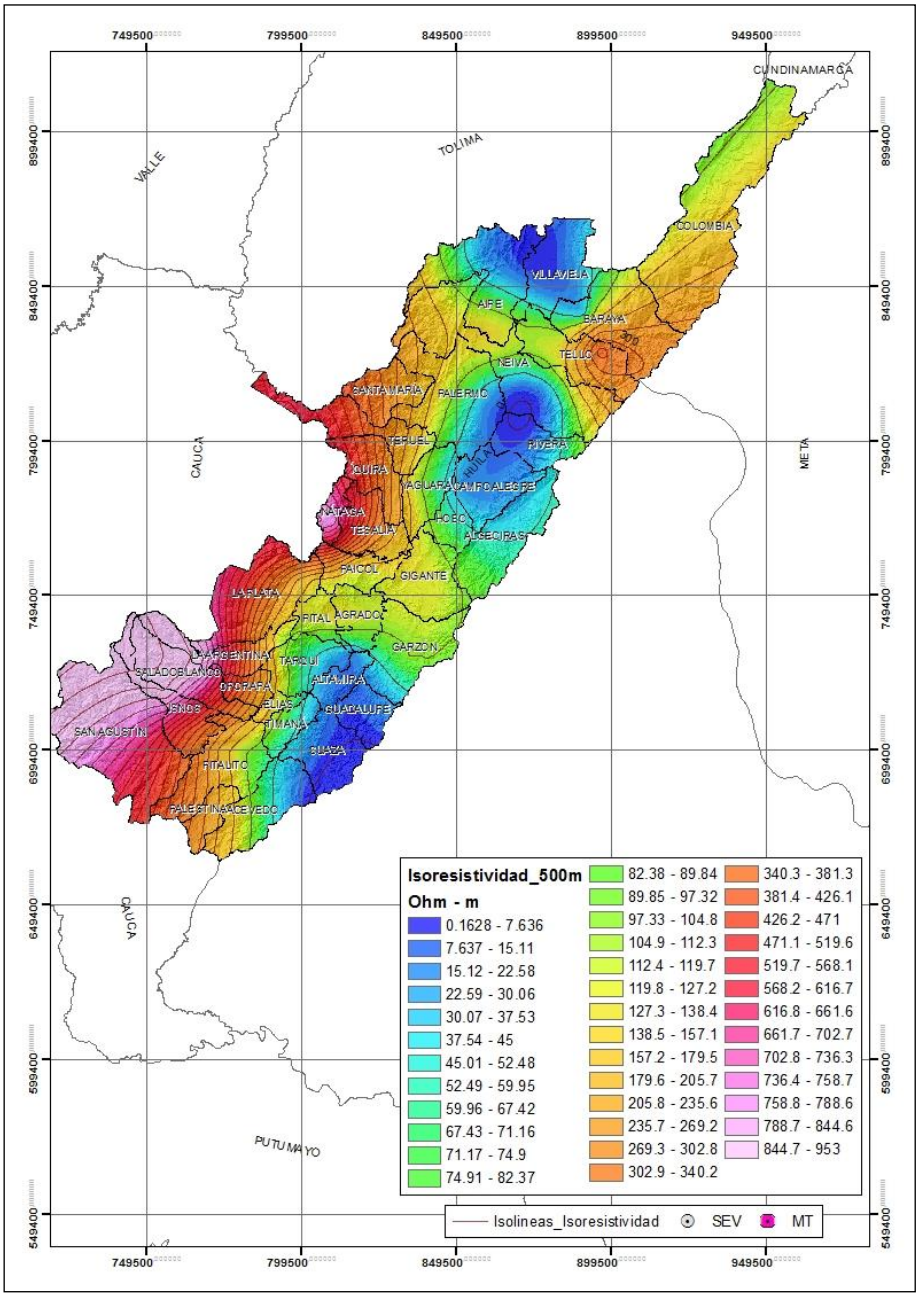


Ilustración 92 Mapa de iso-resistividades a 500m de profundidad.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.3.15 Mapas de Iso-resistividad a 600m de profundidad:

En la **Ilustración 93** muestra el Mapa de iso-resistividad a 600m, para la elaboración del mapa se implementa 35 puntos de muestreo los cuales se interpolan mediante el método Kriging. Finalmente se obtiene resistividades entre 1 - 1566 Ohm-m.

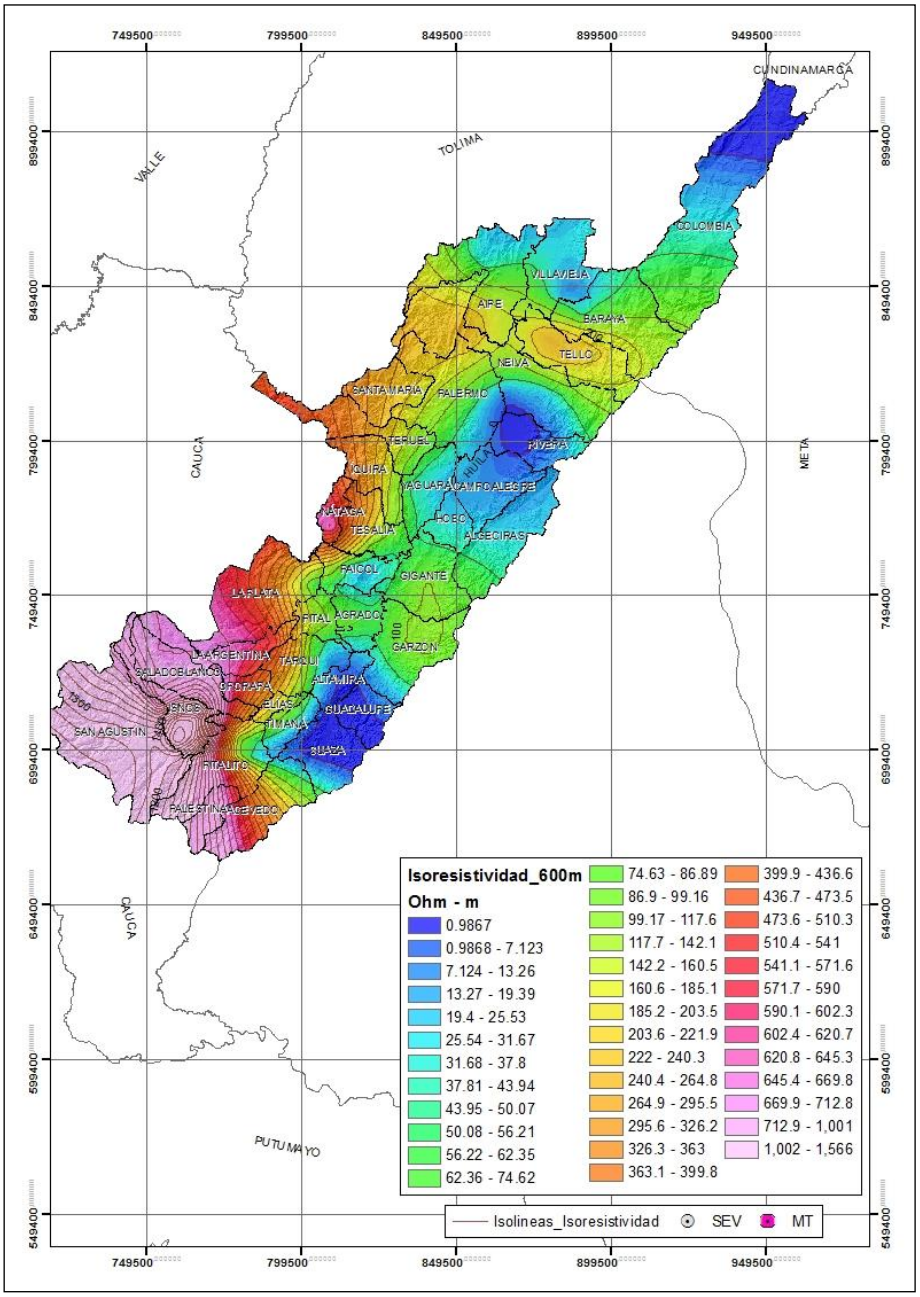


Ilustración 93 Mapa de iso-resistividades a 600m de profundidad
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.3.16 Mapas de Iso-resistividad a 700m de profundidad:

En la **Ilustración 94** muestra el Mapa de iso-resistividad a 700m, para la elaboración del mapa se implementa 32 puntos de muestreo los cuales se interpolan mediante el método Kriging. Finalmente se obtiene resistividades entre 1 - 806 ohm-m.

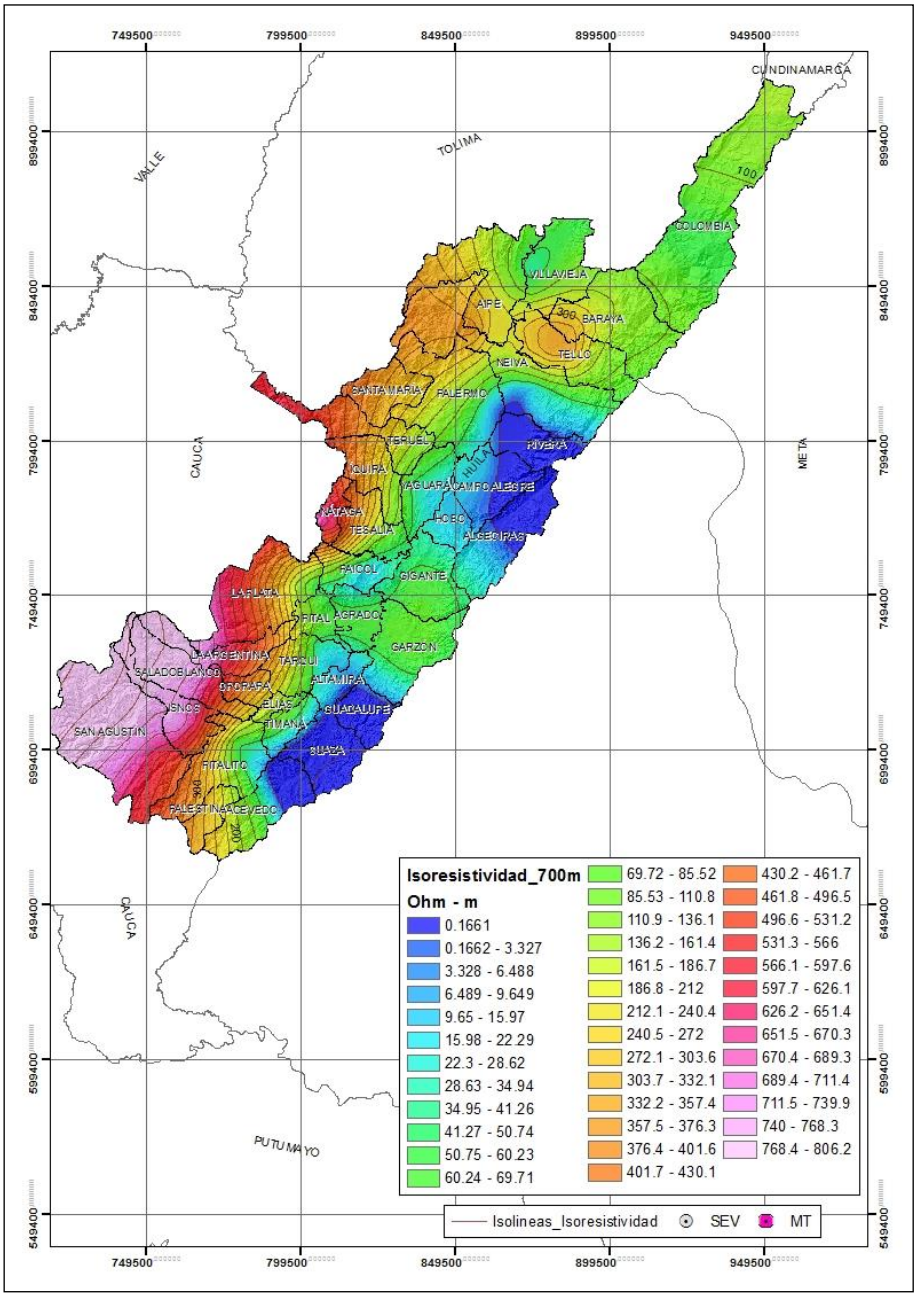


Ilustración 94 Mapa de iso-resistividades a 700m de profundidad.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.3.17 Mapas de Iso-resistividad a 800m de profundidad:

En la **Ilustración 95** muestra el Mapa de iso-resistividad a 800m, para la elaboración del mapa se implementa 32 puntos de muestreo los cuales se interpolan mediante el método Kriging. Finalmente se obtiene resistividades entre 1 - 924 ohm-m.

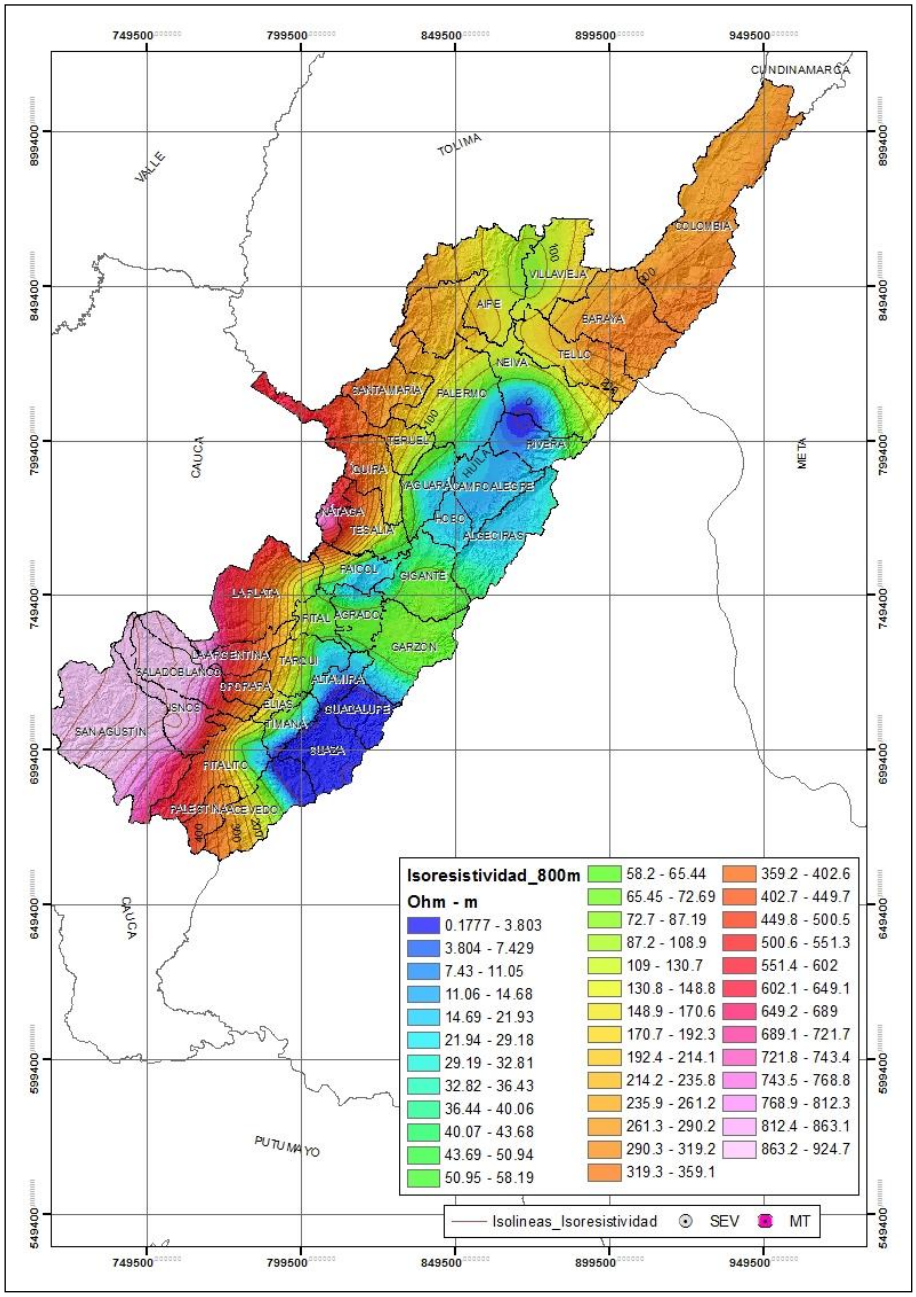


Ilustración 95 Mapa de iso-resistividades a 800m de profundidad
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.3.18 Mapas de Iso-resistividad a 900m de profundidad:

En la **Ilustración 96** muestra el Mapa de iso-resistividad a 900m, para la elaboración del mapa se implementa 32 puntos de muestreo los cuales se interpolan mediante el método Kriging. Finalmente se obtiene resistividades entre 1 - 841 ohm-m.

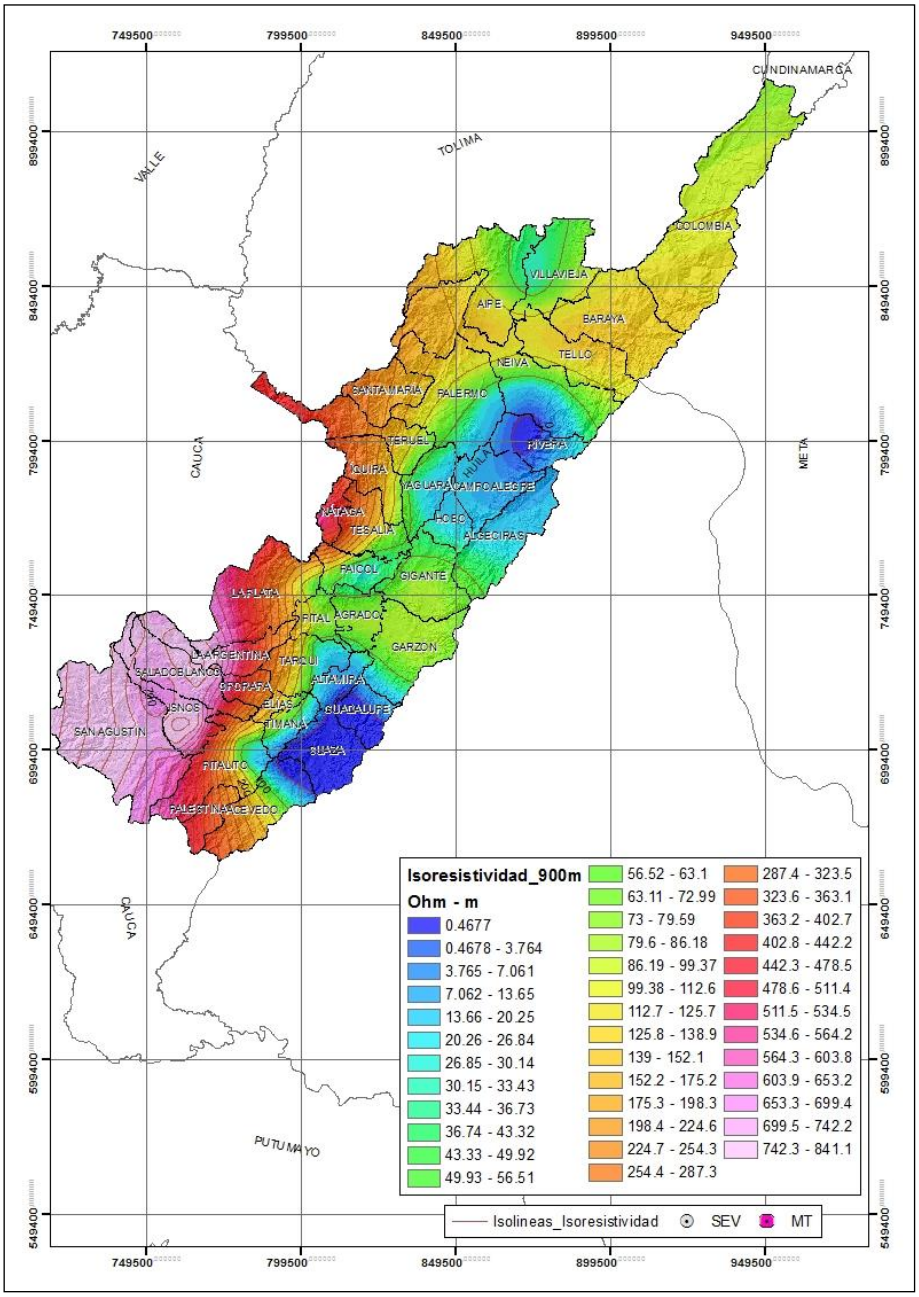


Ilustración 96 Mapa de iso-resistividades a 900m de profundidad
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.3.19 Mapas de Iso-resistividad a 1000m de profundidad:

En la **Ilustración 97** muestra el Mapa de iso-resistividad a 1000m, para la elaboración del mapa se implementa 32 puntos de muestreo los cuales se interpolan mediante el método Kriging. Finalmente se obtiene resistividades entre 1 - 841 ohm-m.

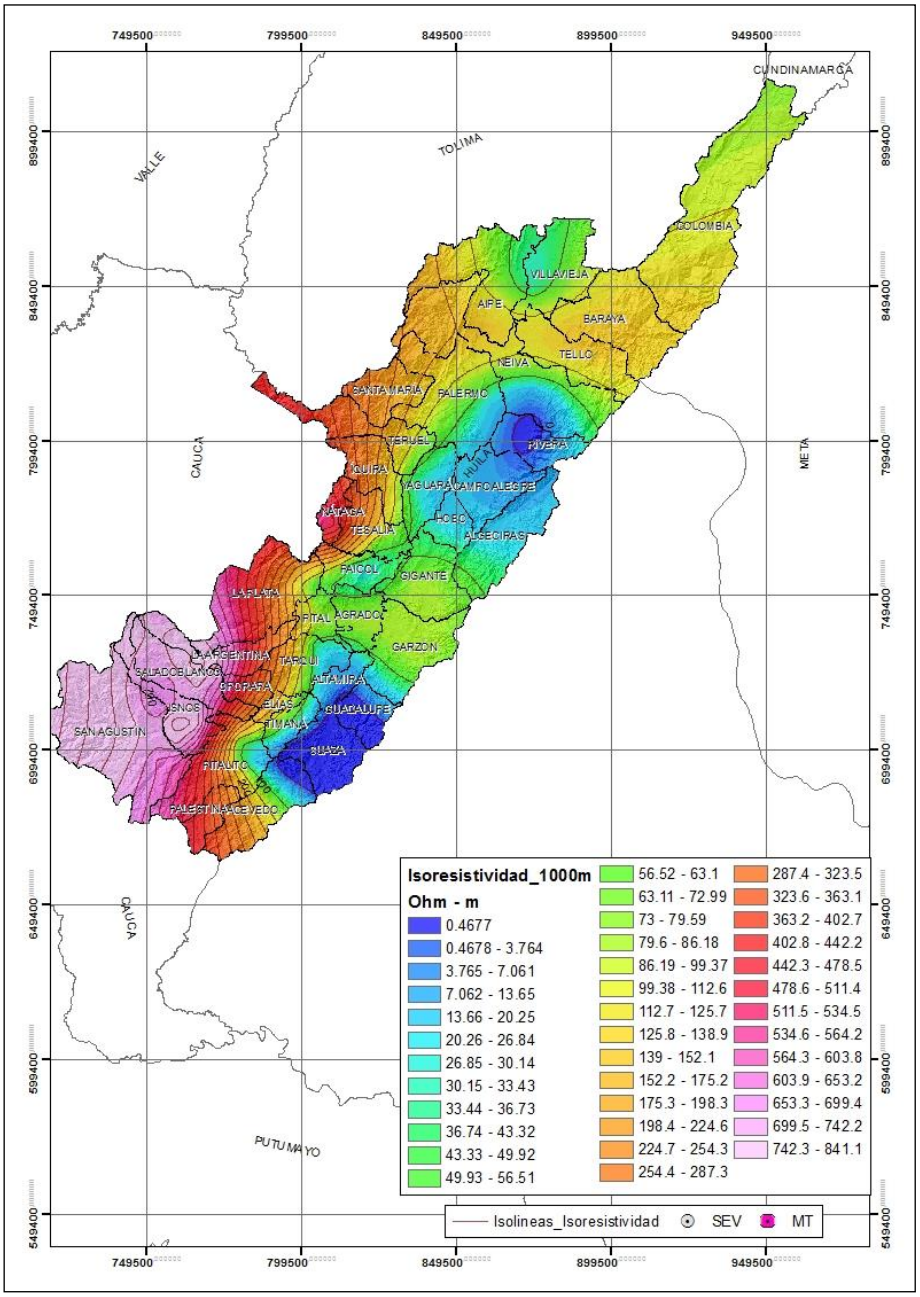


Ilustración 97 Mapa de iso-resistividades a 1000 m de profundidad
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.3.20 Mapas de Iso-resistividad a 2000m de profundidad:

En la **Ilustración 98** muestra el Mapa de iso-resistividad a 2000m, para la elaboración del mapa se implementa 25 puntos de muestreo los cuales se interpolan mediante el método Kriging. Finalmente se obtiene resistividades entre 1 - 841 ohm-m.

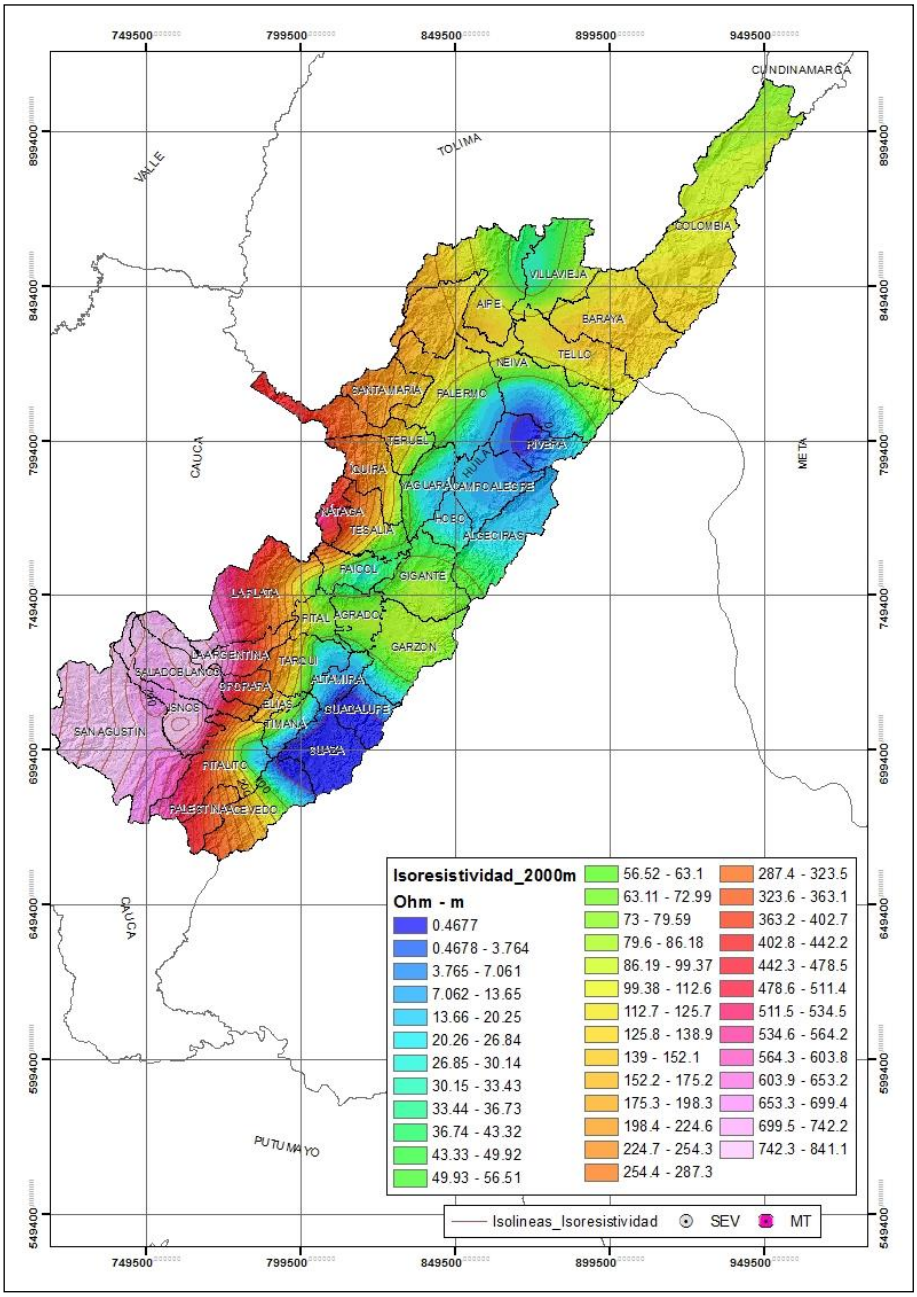


Ilustración 98 Mapa de iso-resistividades a 2000m de profundidad.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016.

2.4.3.3.21 Mapas de Iso-resistividad a 3000m de profundidad:

En la **Ilustración 99** muestra el Mapa de iso-resistividad a 3000m, para la elaboración del mapa se implementa 19 puntos de muestreo los cuales se interpolan mediante el método Kriging. Finalmente se obtiene resistividades entre 1 - 841 ohm-m.

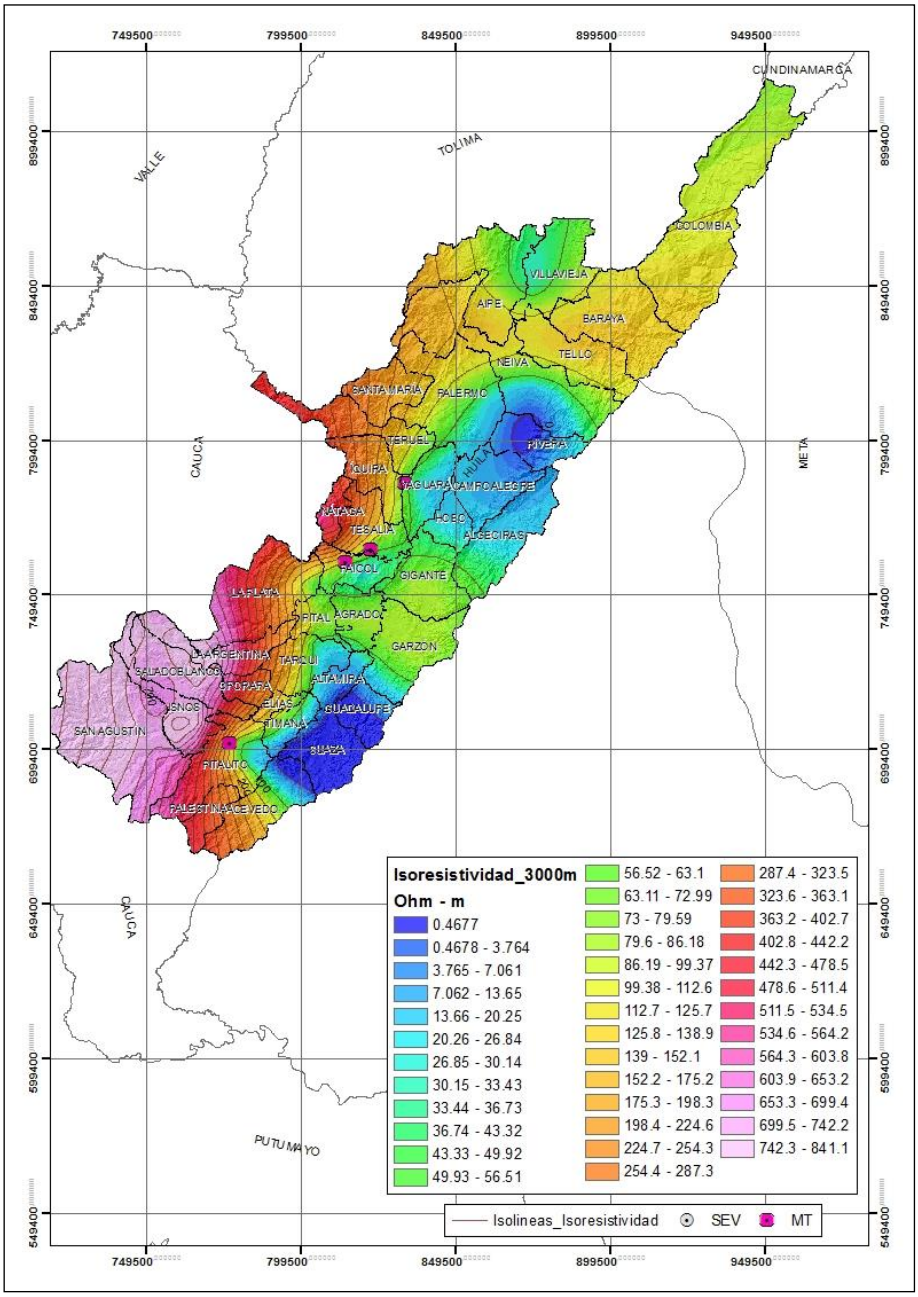


Ilustración 99 Mapa de iso-resistividades a 3000m de profundidad
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.4 Perfiles Geoeléctricos

En la **Ilustración 100** se muestra el mapa de localización de los perfiles geoeléctricos construidos para el presente estudio.

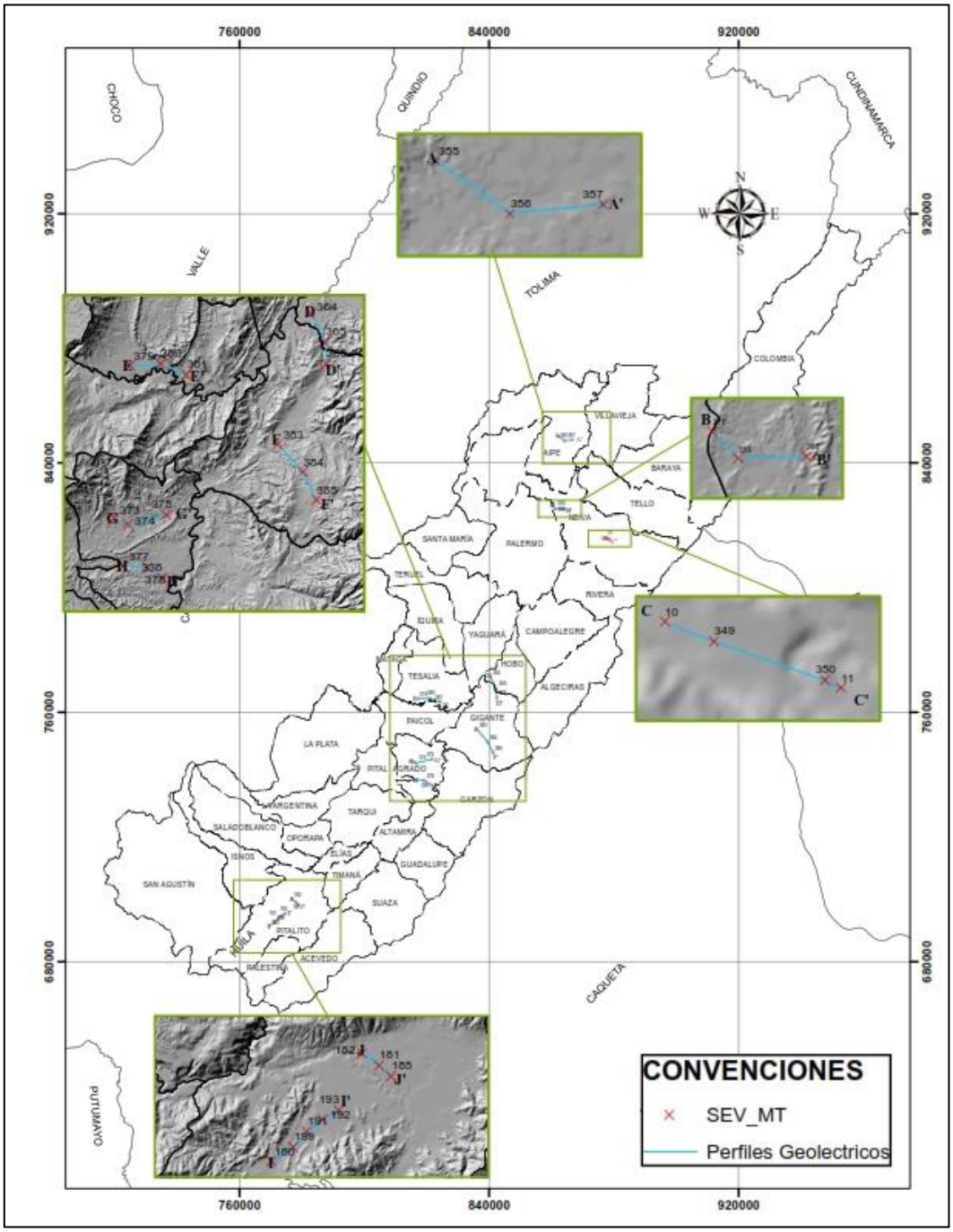


Ilustración 100 Localización Perfiles Geoelécticos
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.4.1 Perfil Geoeléctrico A-A´

En el perfil geoeléctrico A-A´ se correlacionaron los SEV-07, SEV-08 y SEV-09 del Gr.Honda (N1h), se determinó la existencia de cuatro (4) unidades geoeléctricas, las cuales se describen a continuación:

- Unidad geoeléctrica A: Esta unidad presenta valores de resistividad dentro del rango de 44 Ohm.m. y 72 Ohm.m. Su espesor varía entre 1,7 m. y 20,4 m. La unidad se interpretó como Limos.

- Unidad geoeléctrica B: La unidad B se encuentra dentro del rango de resistividad comprendido entre 281 Ohm.m. y 352 Ohm.m. Esta unidad se identificó con un espesor que se encuentra entre 5,4 m y 27,2 m. La unidad se interpretó como gravas.

- Unidad geoeléctrica C: Esta unidad presenta valores de resistividad dentro del rango de 107 Ohm.m. y 151 Ohm.m. Su espesor varía entre 19,4 m. y 129 m. La unidad se interpretó como Areniscas saturada.

- Unidad geoeléctrica D: Esta unidad presenta valores de resistividad dentro del rango de 21 Ohm.m. y 32 Ohm.m. Su espesor es variable hasta 45,5 m. La unidad se interpretó como Limolita. (Ver **Ilustración 101**)

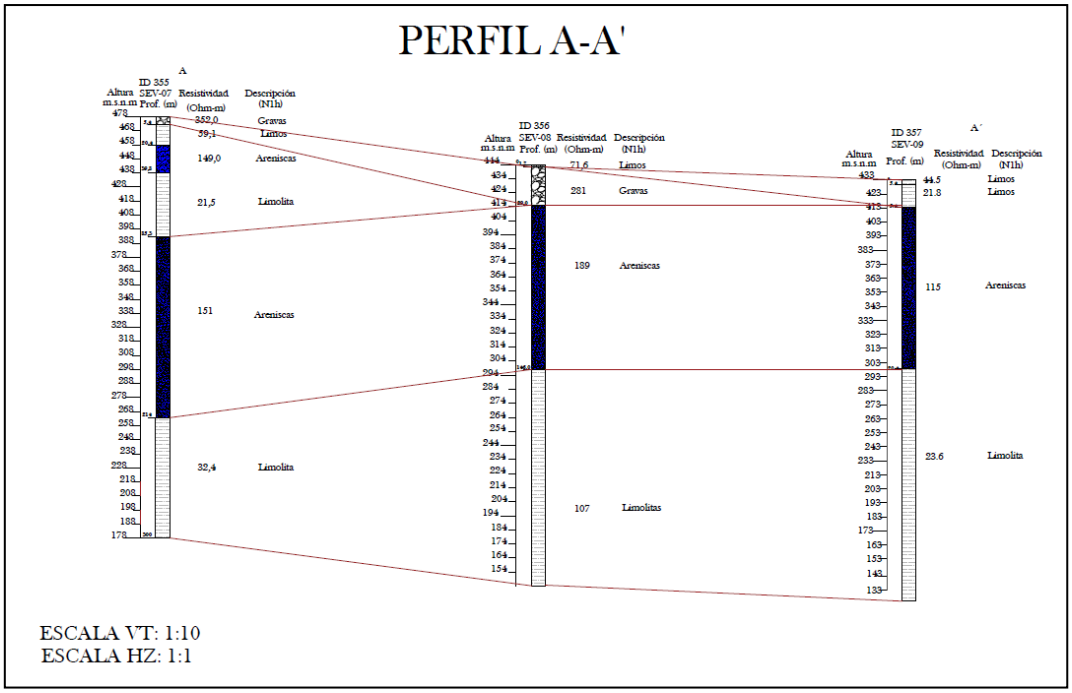


Ilustración 101 Perfil Geoeléctico A-A´
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.4.2 Perfil Geoeléctrico B-B´

En el perfil geoeléctrico B-B´ se correlacionaron los SEV-10, SEV-11 y SEV-12 Gr. Honda (N1h), se determinó la existencia de cinco (5) unidades geoeléctricas, las cuales se describen a continuación:

- Unidad geoeléctrica A: Esta unidad presenta valores de resistividad dentro del rango de 240 Ohm.m. y 353 Ohm.m. Su espesor varía entre 1,0 m. y 1,7 m. La unidad se interpretó como gravas.
- Unidad geoeléctrica B: La unidad B se encuentra dentro del rango de resistividad comprendido entre 20,1 Ohm.m. y 40,4 Ohm.m. Esta unidad se identificó con un espesor que se encuentra entre 0,8 m y 16,4 m. La unidad se interpretó como Limos.
- Unidad geoeléctrica C: Esta unidad presenta valores de resistividad dentro del rango de 8,28 Ohm.m. y 9,38 Ohm.m. Su espesor es variable hasta 1,1m. La unidad se interpretó como Arcilla.
- Unidad geoeléctrica D: Esta unidad presenta valores de resistividad dentro del rango de 22,1 Ohm.m. y 67,2 Ohm.m. Su espesor varía entre 77,9 m. y 193 m .La unidad se interpretó como Limolita saturada.
- Unidad geoeléctrica E: Esta unidad presenta valores de resistividad dentro del rango de 4,1 Ohm.m. y 10,9 Ohm.m. Su espesor varía entre 6,1 m. y 173 m. La unidad se interpretó como Arcillolitas (Ver **Ilustración 102)**

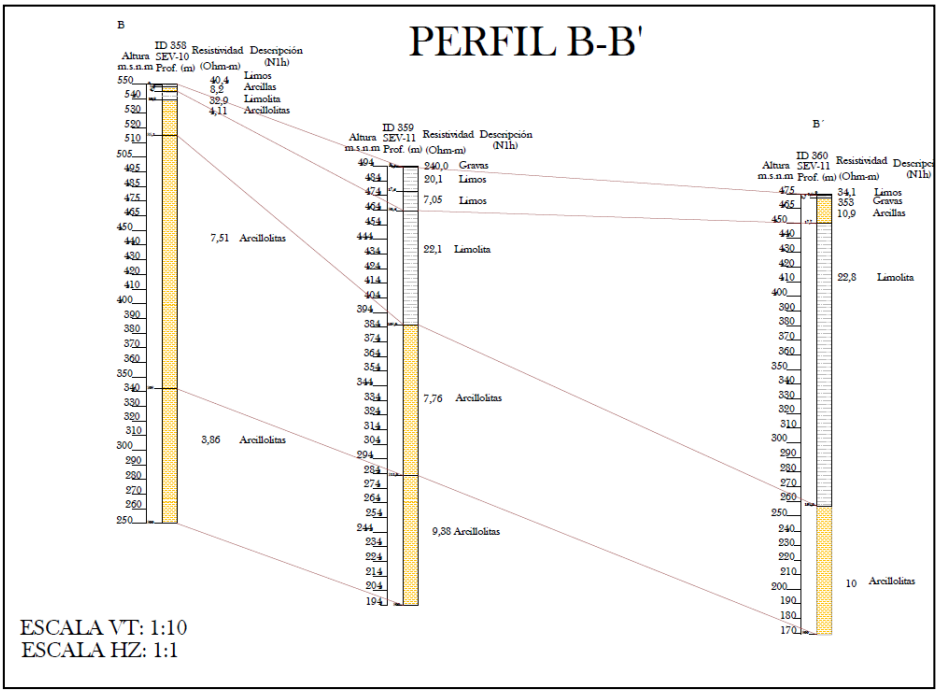


Ilustración 102 Perfil Geoeléctico B-B´
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.4.3 Perfil Geoeléctrico C-C´

En el perfil geoeléctrico C-C´ se correlacionaron los SEV-01, SEV-02, SEV-45 y SEV-46 sobre Depósitos Aluviales y/o Terrazas Bajas (Q2al) se determinó la existencia de cuatro (4) unidades geoeléctricas, las cuales se describen a continuación:

- Unidad geoeléctrica A: La unidad B se encuentra dentro del rango de resistividad comprendido entre 8,43 Ohm.m. La unidad se interpretó como Arcilla.

- Unidad geoeléctrica B: Esta unidad presenta valores de resistividad dentro del rango de 12,26 Ohm.m. y 73,9 Ohm.m. Su espesor varía entre 0,6 m. y 282,1m. La unidad se interpretó como Limos.

- Unidad geoeléctrica C: Esta unidad presenta valores de resistividad dentro del rango de 100,4 Ohm.m. y 114 Ohm.m. Su espesor varía entre 145,4 m. y 193,9 m. La unidad se interpretó como Arenas saturada.

- Unidad geoeléctrica D: Esta unidad presenta valores de resistividad dentro del rango de 223,9 Ohm.m. y 605,3 Ohm.m. Su espesor es variable de 1,3 hasta 3,73m. La unidad se interpretó como gravas. (Ver **Ilustración 103**)

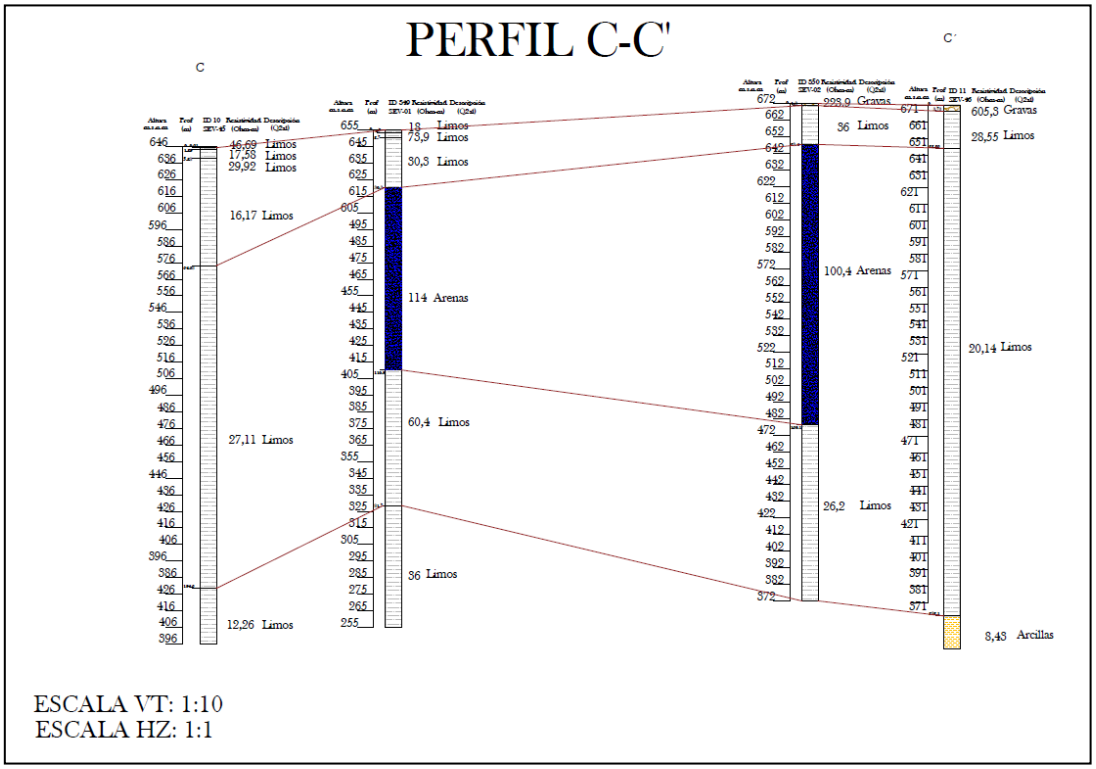


Ilustración 103 Perfil Geoeléctico C-C´
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.4.4 Perfil Geoeléctrico D-D´

En el perfil geoeléctrico D-D´ se correlacionaron los SEV-10, SEV-11 y SEV-12 de la Formación Gigante Medio (N2gim), se determinó la existencia de cinco (5) unidades geoeléctricas, las cuales se describen a continuación:

- Unidad geoeléctrica A: La unidad se encuentra dentro del rango de resistividad comprendido entre 6,3 y 9,03 Ohm.m. Con espesor de 0,9 a 4,39m. La unidad se interpretó como Arcilla.
- Unidad geoeléctrica B: Esta unidad presenta valores de resistividad dentro del rango de 16,8 Ohm.m y 97,1 Ohm.m. Su espesor varía entre 0,9 m. y 8,3m. La unidad se interpretó como Limos.
- Unidad geoeléctrica C: Esta unidad presenta valores de resistividad dentro del rango de 8,11 Ohm.m y 13,3 Ohm.m. Su espesor varía entre 24,1 m. y 70,5 m. La unidad se interpretó como Arcillolita.
- Unidad geoeléctrica D: Esta unidad presenta valores de resistividad dentro del rango de 14 Ohm.m y 70,5 Ohm.m. Su espesor varía entre 24,1 m. y 70,5 m. La unidad se interpretó como Limolita.
- Unidad geoeléctrica E: Esta unidad presenta valores de resistividad dentro del rango de 236 Ohm.m y 466 Ohm.m. Su espesor es variable de 6,1 hasta 9,7m. La unidad se interpretó como Tobas volcánicas.(Ver **Ilustración 104**)

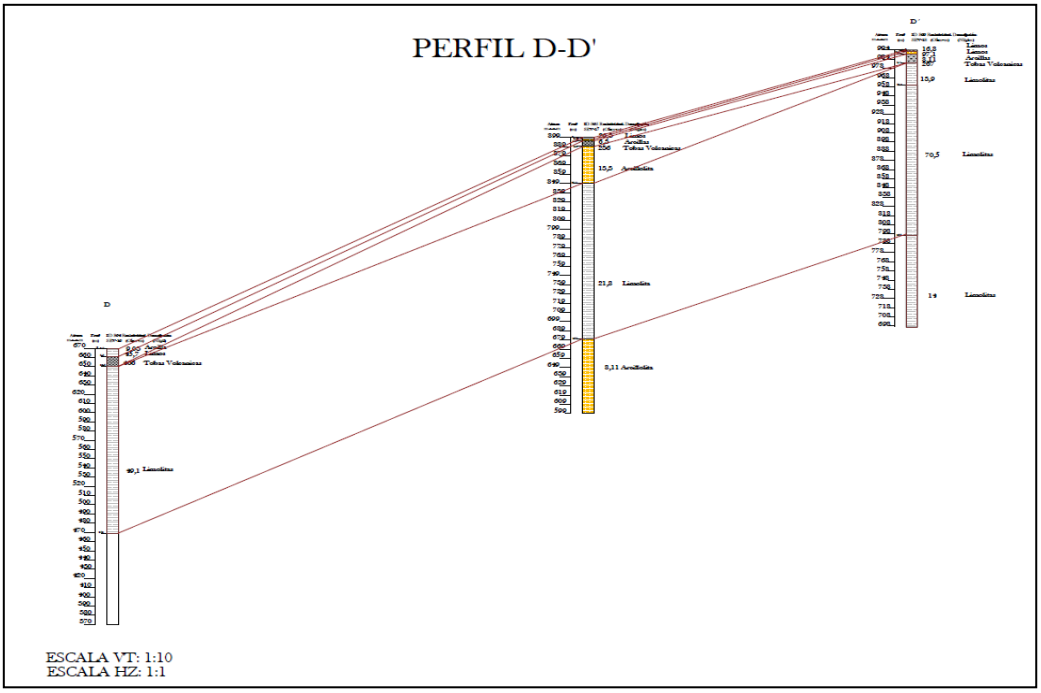


Ilustración 104 Perfil Geoeléctico D-D´
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.4.5 Perfil Geoeléctrico E-E´

En el perfil geoeléctrico E-E´ se correlacionaron los SEV-10, SEV-11 y SEV-12 de la Depósitos de Lahar (Q2lh), se determinó la existencia de dos (2) unidades geoeléctricas, las cuales se describen a continuación:

- Unidad geoeléctrica A: Esta unidad presenta valores de resistividad dentro del rango de 25,5 Ohm.m y 81,8 Ohm.m. Su espesor varía entre 1,22 m. y 176m. La unidad se interpretó como Limos.

- Unidad geoeléctrica B: Esta unidad presenta valores de resistividad dentro del rango de 100 Ohm.m y 373 Ohm.m. Su espesor varía entre 24,1 m. y 70,5 m. La unidad se interpretó como Conglomerados de rocas volcánicas en matriz areno-tobacea. (Ver **Ilustración 105**)

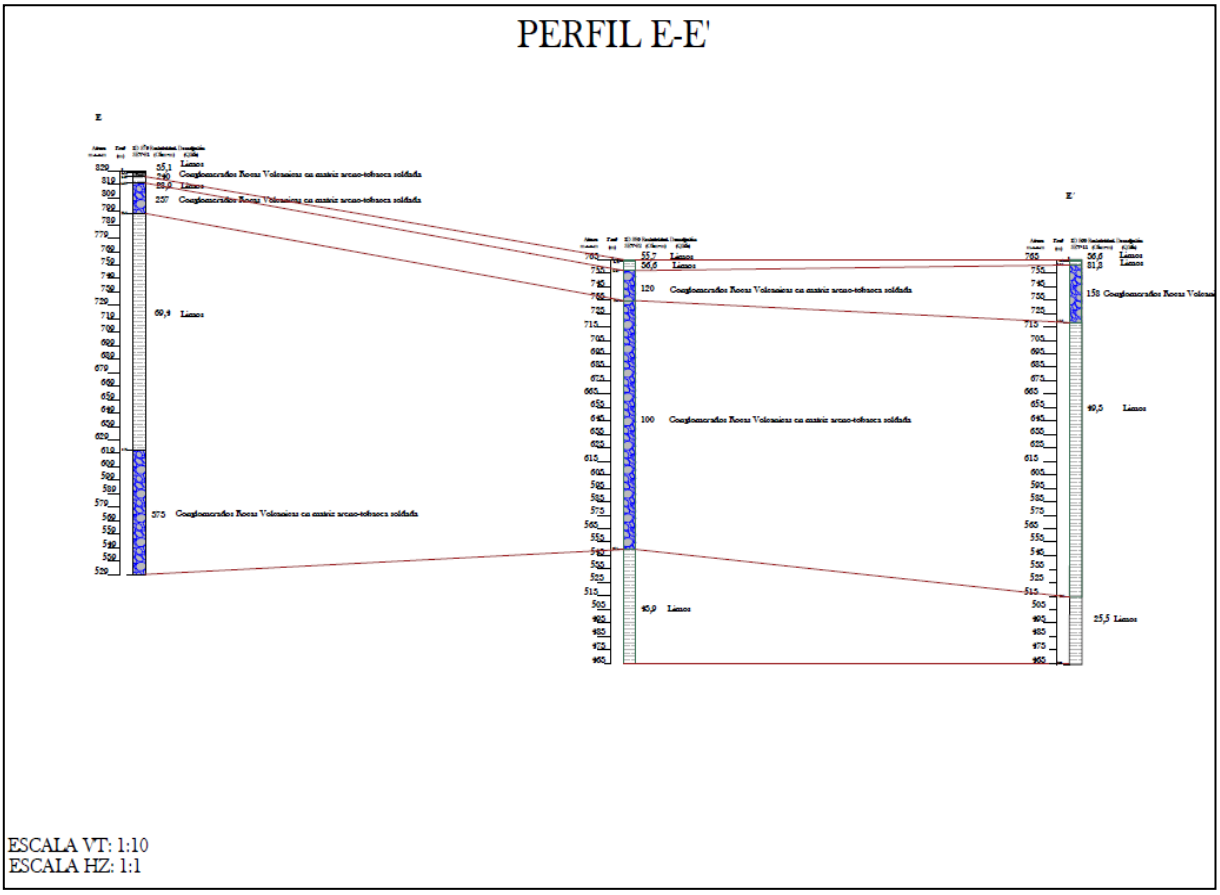


Ilustración 105 Perfil Geoeléctico E-E´
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.4.6 Perfil Geoeléctrico F-F´

En el perfil geoeléctrico F-F´ se correlacionaron los SEV-10, SEV-11 y SEV-12 de la Depósitos Aluviales Antiguos y/o Terrazas Altas
(Q1al), se determinó la existencia de tres (3) unidades geoeléctricas, las cuales se describen a continuación:

- Unidad geoeléctrica A: La unidad se encuentra dentro del rango de resistividad comprendido entre 17,9 y 88,0 Ohm.m. Con espesor de 0,75 a 62,2m. La unidad se interpretó como Limos.

- Unidad geoeléctrica B: Esta unidad presenta valores de resistividad dentro del rango de 120,0 Ohm.m y 195,0 Ohm.m. Su espesor es variable entre 3,3 y 155m. La unidad se interpretó como arenas.

- Unidad geoeléctrica C: Esta unidad presenta valores de resistividad dentro del rango de 283 Ohm.m y 1352 Ohm.m. Su espesor es variable. La unidad se interpretó como gravas. (Ver **Ilustración 106**)

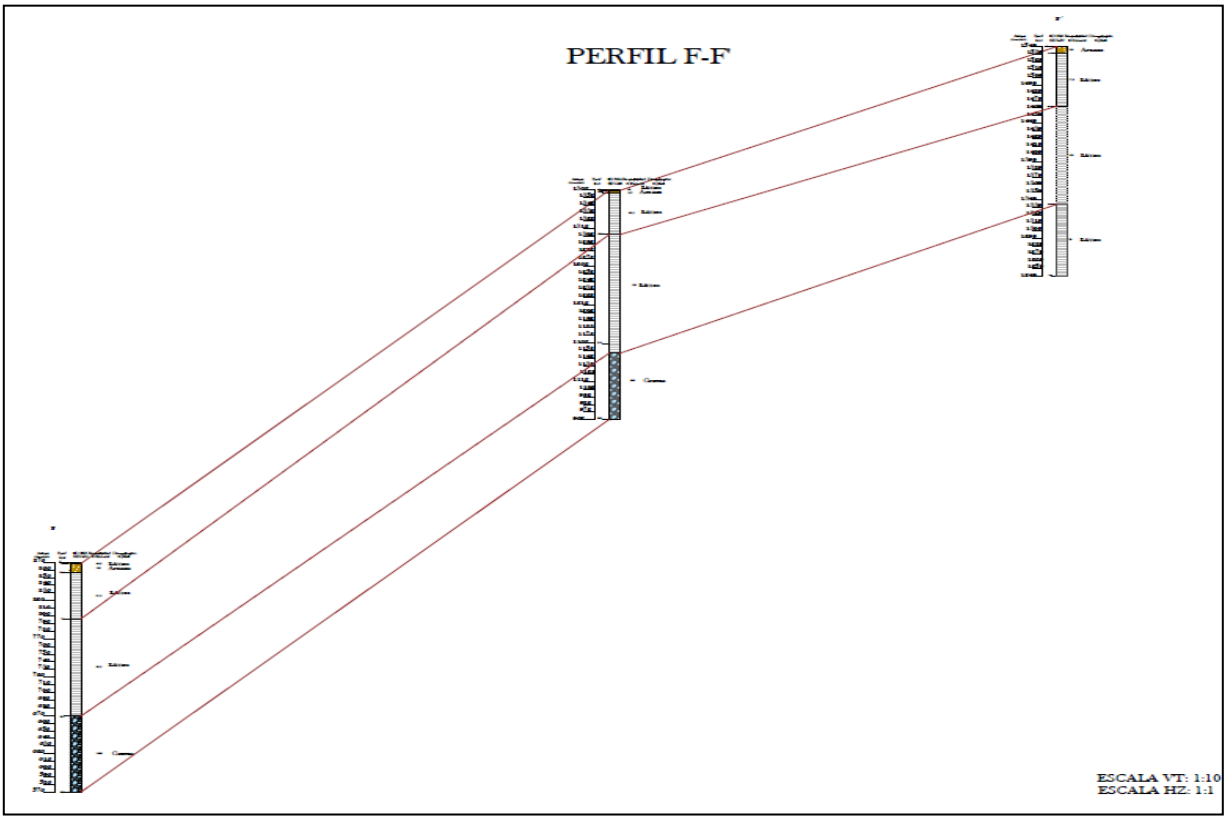


Ilustración 106 Perfil Geoeléctico F-F´
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.4.7 Perfil Geoeléctrico G-G´

En el perfil geoeléctrico G-G´ se correlacionaron los SEV-10, SEV-11 y SEV-12 de la Formación Gualanday medio (E2gym), se determinó la existencia de cinco (5) unidades geoeléctricas, las cuales se describen a continuación:

- Unidad geoeléctrica A: La unidad se encuentra dentro del rango de resistividad comprendido entre 15,3 y 42,7 Ohm.m. Con espesor de 0,9 a 149,5m. La unidad se interpretó como Limos.
- Unidad geoeléctrica B: Esta unidad presenta valores de resistividad dentro del rango de 136 Ohm.m y 185,7 Ohm.m. Su espesor varía entre 0,9 m. y 0,76m. La unidad se interpretó como gravas.
- Unidad geoeléctrica C: Esta unidad presenta valores de resistividad dentro del rango de 363,5 Ohm.m y 491 Ohm.m. Su espesor varía entre 3,9 m. y 1,1m. La unidad se interpretó como Arenas.
- Unidad geoeléctrica D: Esta unidad presenta valores de resistividad dentro del rango de 2,7 Ohm.m y 12,43 Ohm.m. Su espesor varía entre 132 m. y 183m. La unidad se interpretó como Arcillolita.
- Unidad geoeléctrica E: Esta unidad presenta valores de resistividad dentro del rango de 15,6 Ohm.m y 70,72 Ohm.m. Su espesor varía entre 12,9 m. y 82,9 m. La unidad se interpretó como Limolita.
- Unidad geoeléctrica F: Esta unidad presenta valores de resistividad dentro del rango de 156 Ohm.m y 207 Ohm.m. Su espesor es variable. La unidad se interpretó como Areniscas conglomeraticas. (Ver **Ilustración 107)**

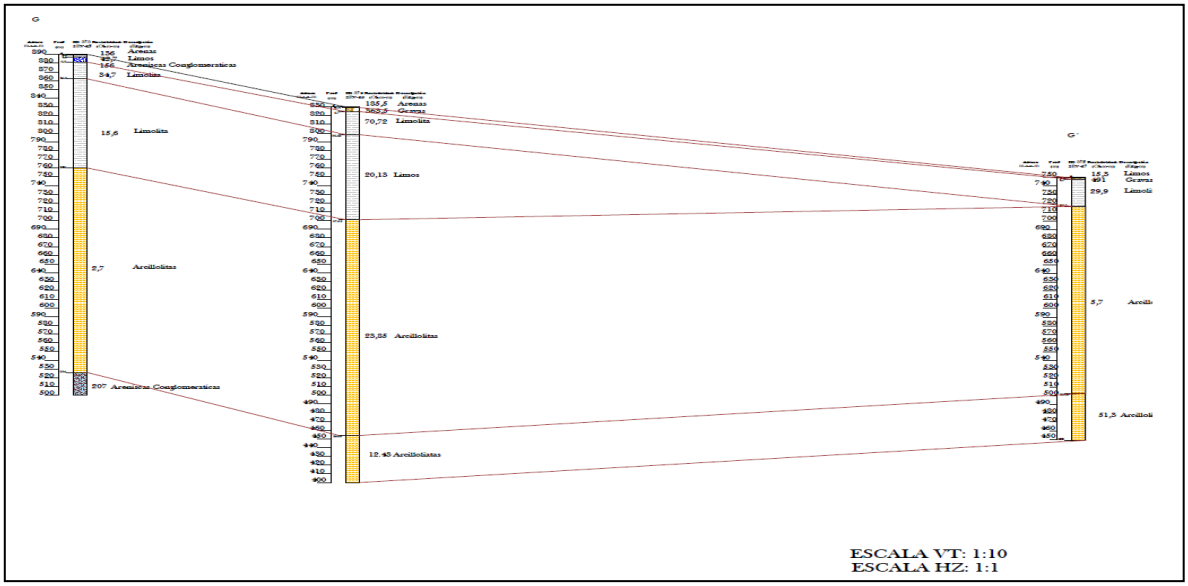


Ilustración 107 Perfil Geoeléctico G-G´
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.4.8 Perfil Geoeléctrico H-H´

En el perfil geoeléctrico H-H´ se correlacionaron los SEV-10, SEV-11 y SEV-12 de la Formación Gigante Medio (N2gim), se determinó la existencia de cinco (5) unidades geoeléctricas, las cuales se describen a continuación:

- Unidad geoeléctrica A: La unidad se encuentra dentro del rango de resistividad comprendido entre 14,0 y 78,86 Ohm.m. Con espesor de 1,0 a 16,2m. La unidad se interpretó como Limos.
- Unidad geoeléctrica B: Esta unidad presenta valores de resistividad dentro del rango de 144 Ohm.m. Su espesor varía entre 0,8 m. y 0,9m. La unidad se interpretó como Arenas.
- Unidad geoeléctrica C: Esta unidad presenta valores de resistividad dentro del rango de 9,8 Ohm.m y 13,3 Ohm.m. Su espesor alcanza 185m.La unidad se interpretó como Arcillolita.
- Unidad geoeléctrica D: Esta unidad presenta valores de resistividad dentro del rango de 14 Ohm.m y 70,5 Ohm.m. Su espesor varía entre 24,1 m. y 70,5 m. La unidad se interpretó como Limolita.
- Unidad geoeléctrica E: Esta unidad presenta valores de resistividad dentro del rango de 120,1 Ohm.m y 149,5 Ohm.m. Su espesor es variable de 10,41 hasta 158,0 m. La unidad se interpretó como Areniscas conglomeraticas.
- Unidad geoeléctrica F: Esta unidad presenta valores de resistividad dentro del rango de 255,2 Ohm.m y 1034 Ohm.m. Su espesor es variable. La unidad se interpretó como Gravas.(Ver **Ilustración 108)**

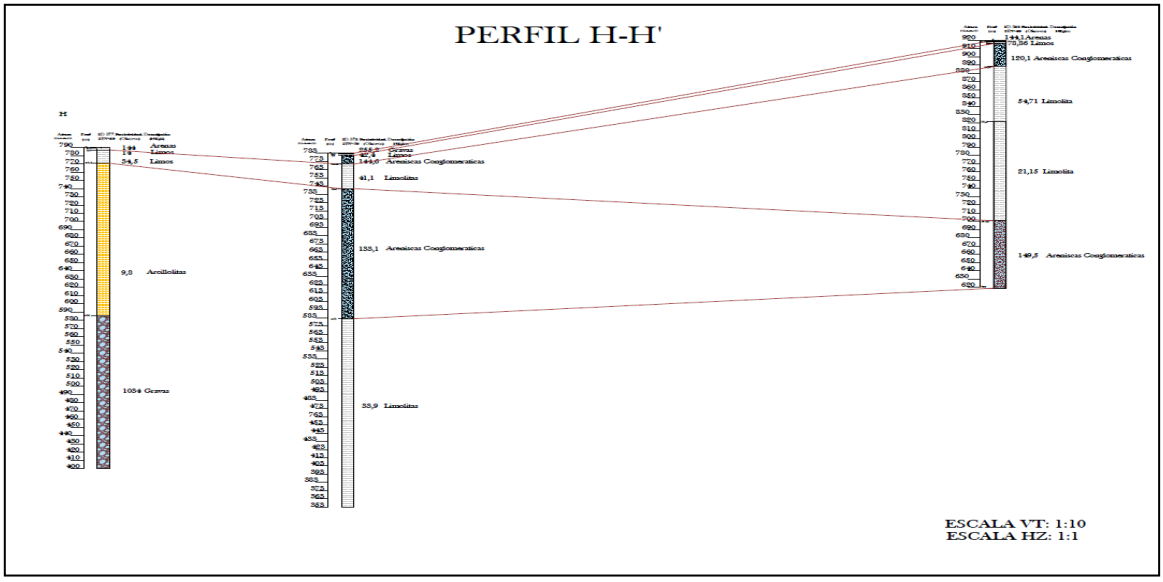


Ilustración 108 Perfil Geoeléctico H-H´
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.4.9 **Perfil Geoeléctrico I-I´**

En el perfil geoeléctrico I-I´ se correlacionaron los SEV-10, SEV-11 y SEV-12 de la Formación Gigante Medio (N2gim), se determinó la existencia de cinco (5) unidades geoeléctricas, las cuales se describen a continuación:

- Unidad geoeléctrica A: La unidad se encuentra dentro del rango de resistividad comprendido entre 46,42 y 98,2 Ohm.m. Con espesor de 0,75 a 12,7m. La unidad se interpretó como Limos.
- Unidad geoeléctrica B: Esta unidad presenta valores de resistividad dentro del rango de 144,1 Ohm.m y 147,1 Ohm.m. Su espesor varía entre 0,9 m. y 13,5 m. La unidad se interpretó como Arenas.
- Unidad geoeléctrica C: Esta unidad presenta valores de resistividad dentro del rango de 21,1 Ohm.m y 54,7 Ohm.m. Su espesor varía entre 66,4 y 120,8m. La unidad se interpretó como Limolita.
- Unidad geoeléctrica D: Esta unidad presenta valores de resistividad dentro del rango de 110 Ohm.m y 149,5 Ohm.m. Su espesor varía entre 28,0 m. y 189,0 m. La unidad se interpretó como Areniscas conglomeraticas.
- Unidad geoeléctrica E: Esta unidad presenta valores de resistividad dentro del rango de 219 Ohm.m. Su espesor es variable alcanza los 207m. La unidad se interpretó como Tobas volcánicas. (Ver **Ilustración 109)**

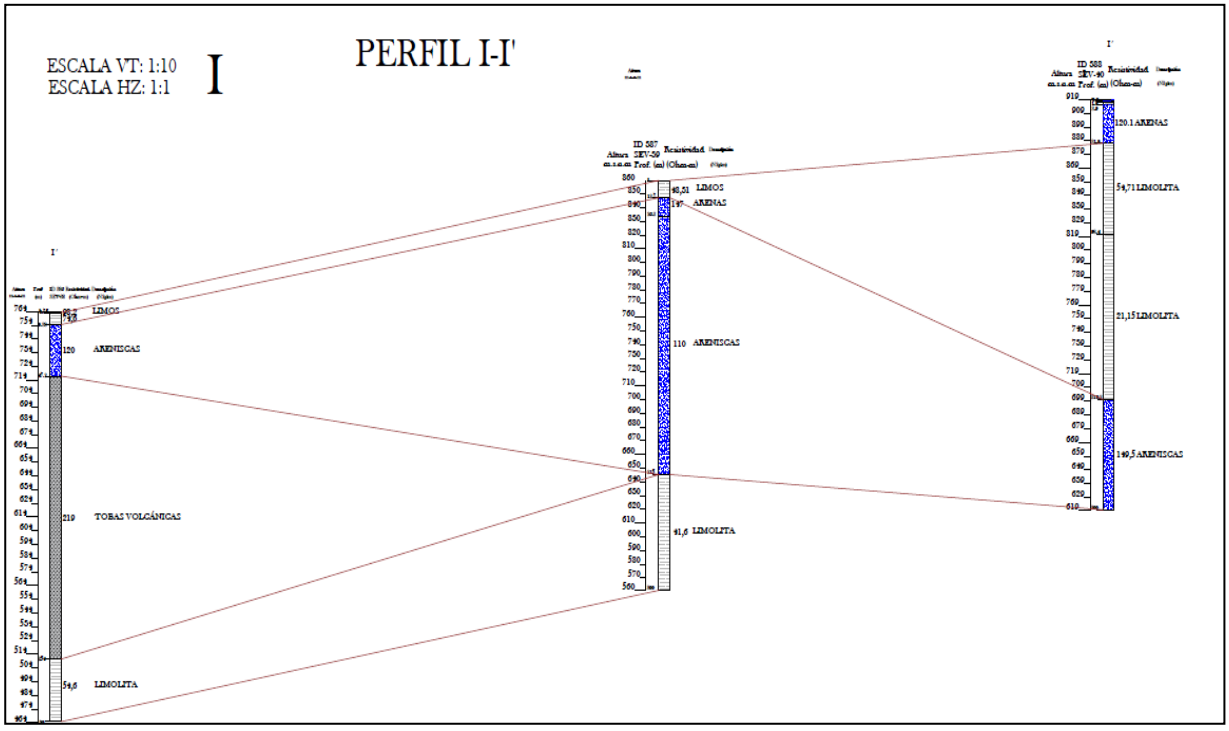


Ilustración 109 Perfil Geoeléctico I-I´
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.4.10Perfil Geoeléctricos I-I´

En la Ilustración 110 , se correlacionaron los SEV-08, SEV-09- SEV-12, adquiridos sobre Depósitos Fluviolacustres (Q1fl)), se determinó la existencia de cuatro (4) unidades geoeléctricas, las cuales se describen a continuación:

- Unidad geo eléctrica A: Esta unidad presenta valores de resistividad dentro del rango de 5 Ohm.m. Y 13.9 Ohm.m. Su espesor varía entre 18 m. y 135 m. La unidad se interpretó como Arcillas.

- Unidad geo eléctrica B: La unidad B se encuentra dentro del rango de resistividad comprendido entre 20 Ohm.m. Y 78.7 Ohm.m. Esta unidad se identificó con un espesor que se encuentra entre 1,7 m y 75.1 m. La unidad se interpretó como Limos.
- Unidad geo eléctrica C: Esta unidad presenta valores de resistividad dentro del rango de 167.2 Ohm.m. Y 195.8 Ohm.m. Su espesor varía entre 0,5 m. y 75 m. La unidad se interpretó como Arenas saturada.
- Unidad geo eléctrica D: Esta unidad presenta valores de resistividad dentro del rango de 230 Ohm.m. Y 383 Ohm.m. Su espesor varía entre 0,5 m. y 2,6 m. La unidad se interpretó como Gravas.
- Se determina que los Depósitos Fluviolacustre del Valle de Laboyos 0,5 m de espesor con 383,9 Ohm. m.
-

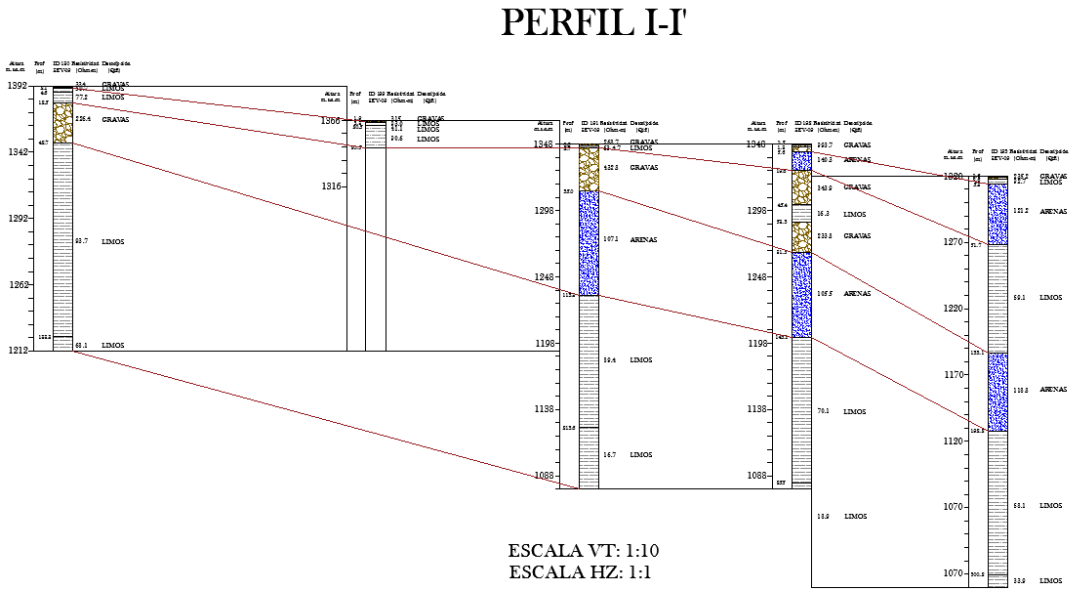


Ilustración 110 Perfil Geoeléctico I-I´
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.4.11 Perfil Geoeléctrico J-J´

En la Ilustración 111, se correlacionaron los SEV-07, SEV-26, SEV-18, SEV-19 y SEV-20, en Depósitos Fluviolacustres (Q1fl)), se determinó la existencia de cuatro (4) unidades geoeléctricas, las cuales se describen a continuación:

- Unidad geo eléctrica A: La unidad A se encuentra dentro del rango de resistividad comprendido entre 16,3 Ohm.m. y 92,7 Ohm.m. Esta unidad se identificó con un espesor que se encuentra entre 1,9 m y 146,1 m. La unidad se interpretó como Limos.
- Unidad geo eléctrica B: Esta unidad presenta valores de resistividad dentro del rango de 105,5 Ohm.m. y 129,6 Ohm.m. Su espesor varía entre 0,7 m. y 63,6 m. La unidad se interpretó como Arenas saturada.
- Unidad geo eléctrica C: Esta unidad presenta valores de resistividad dentro del rango de 226,4 Ohm.m. y 903,5 Ohm.m. Su espesor varía entre 0,6 m. y 32,3 m. La unidad se interpretó como Gravas.
- Se determina que los Depósitos Fluviolacustre del Valle de Laboyos superan los 150m de espesor.

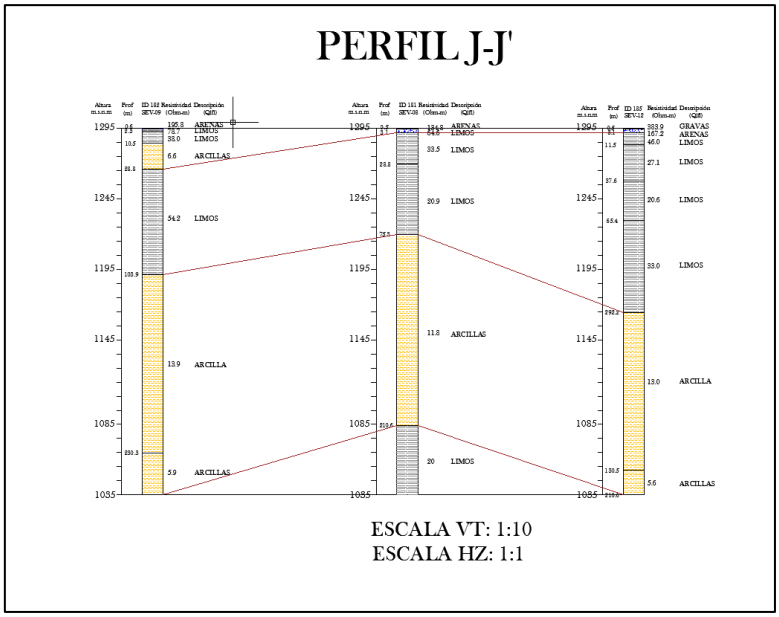


Ilustración 111 Perfil Geoeléctico J-J´
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.5 Espesores de las unidades con interés Hidrogeológico.

De la integración de los resultados obtenidos del modelo geológico e interpretación la geofísica, se logra caracterización de las principales de las Formaciones geológicas por su propiedad de resistividad, se determina los espesores de las unidades y espesor de potencial acuífero, presentados en la **Tabla 48.**

Se a clara que los espesores promedio de las Formaciones geológicas presentados a continuación, se asumen a partir de datos de exploración indirecta y de los cortes geológicos, por lo tanto para estudios de mayor detalle se requiere precisar la información con datos de exploración directa como los son de registros de perforación y los registros de geofísica de pozos.

Tabla 48 Caracterización de unidades geoeléctricas

Formación Geológica	Simbología	Resistividad (Ohm-m)	Espesor promedio de la unidad (m)	Espesor promedio de potencial Acuífero (m)
Depósitos Cuaternarios	Qalr	>300	-	-
	Q2c	2 – 300	1 - 145 (variable)	-
	Q2lh	29 - 240	75-250 (Variable)	-
	Q2al	18 - 224	200 – 250	
	Q1fl	2 - 100	150	10
	Q1al	12 - 283	175 - 250	200
Fm. Gigante	N2gim	6 - 267	500	220
	N2gii	9 – 240		125
Gr. Honda	N1h	4 – 281	1000	300
Grupo Gualanday	E2gys	10 - 500	3000	1300
	E2gym	2 – 364		200
	E2gyi	13 - 659		1000
Fm. Seca	K2E1sc	17 – 408	120 – 400	150
Fm. Guacacallo	N2Q1g	10-100	230	30
Gr. Guadalupe	K2g	5 – 40	200	150
Fm. Villeta	K2v	10 - 108	450	100
Fm. Caballos	K1c	100 - 672	650	630
Fm. Saldaña	T2Jsal	>100	-	-
Macizo de Garzón	Mp3mg	>500	-	-

Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

2.4.3.6 Interpretación de la sección sísmica de la Cuenca del Valle Superior del Magdalena

Con la finalidad de comprender la complejidad estructural de la Cuenca VSM, se interpreta desde el punto de vista de interés hidrogeológico la sección sísmica y el perfil estructural publicado por (ANH, 2009), del cual se obtiene una idea generalizada de la geometria del subsuelo y los cierres estructurales que premiten el almacenamiento de aguas subterraneas.

En la **Ilustración 112** se muestra la localización de la sección sísmica y el perfil estructural de la Cuenca VSM.

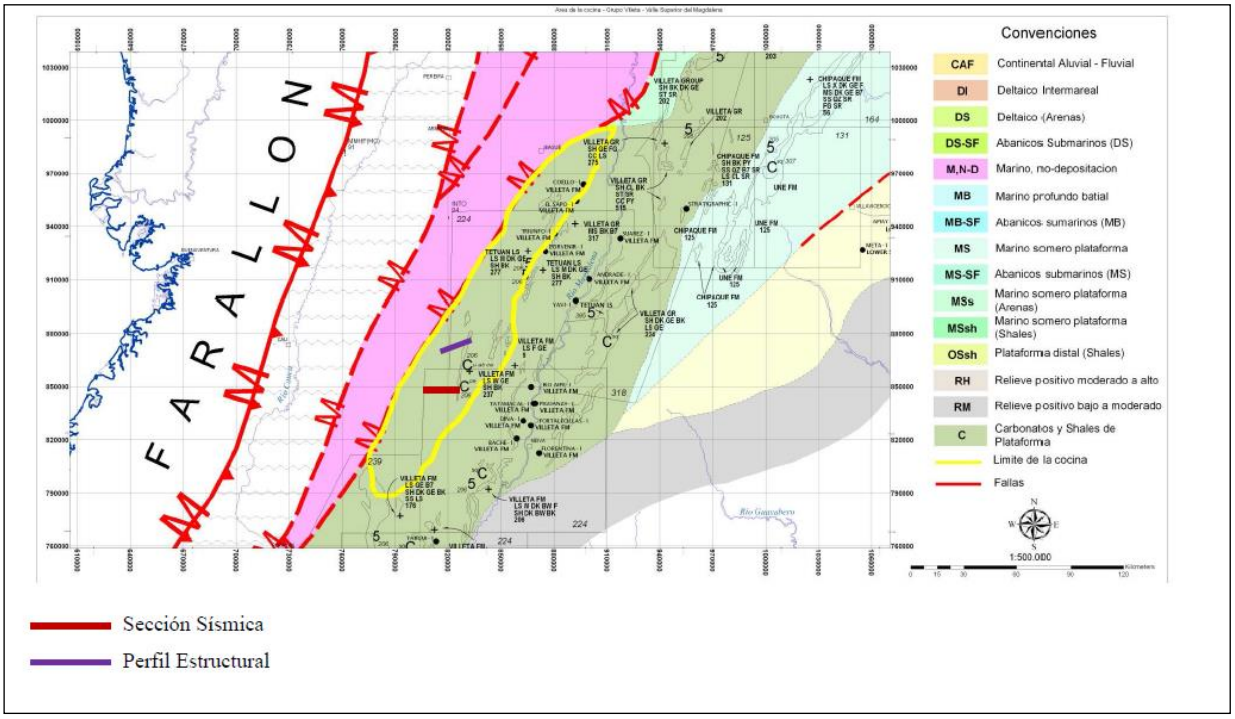


Ilustración 112 Mapa de localización de la sección sísmica y perfil estructural C-C´ y delimitación campos de hidrocarburos de la Cuenca del Valle Superior del Magdalena.
Fuente: (ANH, 2009)

La **Ilustración 113** representa un imagen apilada de la sección sísmica de la Cuenca VSM, que reconstruye un perfil con dirección SW – NE entre el Campo petrolero de San Francisco, Campo Dina y Campo Tello. Los reflectores sísmicos permiten identificar la complejidad estructural en subsuelo, de la cual se evidencia un sistema de fallas normales y/o cabalgamientos y pliegues de estructuras como el Anticlinal de San Francisco, el Sinclinal del Valle del Río Magdalena, y el Sinclinal de San Antonio.

Es importante resalta que los reflectores evidencia de las discordancias regionales del, que actúa como el limite o separación de los sistemas acuíferos.

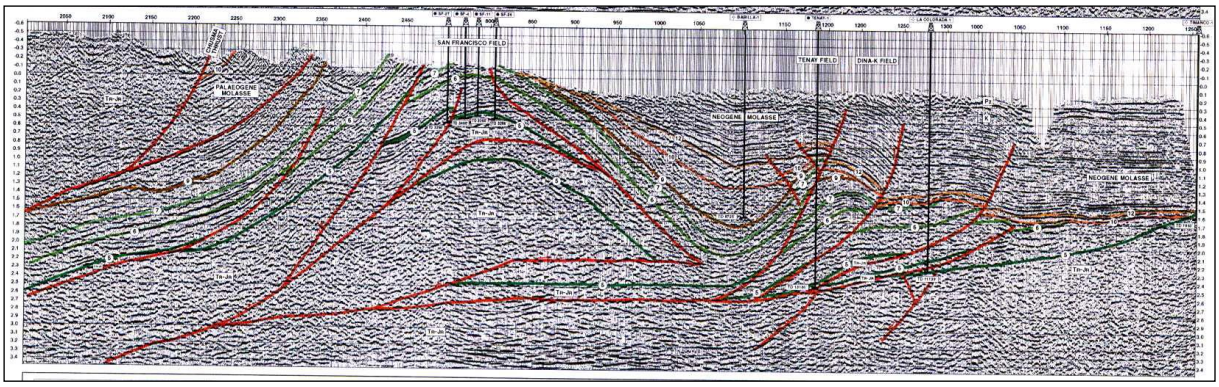


Ilustración 113 Sección sísmica interpretada de la Cuenca del Valle Superior del Magdalena.

Del perfil estructural C-C´ de la **Ilustración 114**, se interpreta que el relieve positivo del Anticlinal de San Francisco, actúa como una zona de recarga, ya que es el punto de divisoria de agua, el cual permite direcciones de flujo por ambos flancos de la estructura, además cuenta con características litología se facilita el transmisibilidad del agua desde superficie a profundidades mayores, es decir; permite la percolación del agua hasta la zonas contigua de la estructura del sinclinal ideal para el almacenamiento de agua subterránea. También se interpretada el salto topográfico del Cabalgamiento de Ceibas (3), como zona de recarga, ya permite direccionar las aguas de escorrentía atreves del plano de falla hasta percollar en el subsuelo.

En cuanto a las estructuras de potencial de reservorio de agua subterránea se presentan los sinclinales, los cuales se delimitan por barreras estructurales y litológicas. Al lado izquierdo de la **Ilustración 114** se observa el cierre estructural entre el cabalgamiento de Chusma (1), el flanco izquierdo del anticlinal de San Francisco y la discordancia entre la secuencia Terciarias y la Cretácica, y la barrera hidrogeológica del basamento formando el plegamiento de la secuencia Terciaria (E2gyi, E2gym, E2gys) y Cretácica (K2sc, K2g, K2v, K1c), que conforman un sistema de acuíferos confinados ideal para el cálculo de potencial hidrogeológico de agua subterránea.

La estructura del amplio sinclinal del Valle del Río Magdalena, se encuentra delimito al costado occidental por el Cabalgamiento de Dina (2) y al costado oriental por Cabalgamiento de Ceibas, formado un plegamiento de la secuencia desde los Depósitos Cuaternarios hasta el basamento, haciendo de siendo esta área de una gran importancia hidrogeológica por su capacidad de almacenamiento en la cual se encuentran varios sistemas acuíferos, como lo son los libre, semi-confinados y confinados.

Por último se presenta el sinclinal de San Antonio, limitado por el Cabalgamiento Ceibas y el Cabalgamiento de Garzón – Suarez (4), formando el plegamiento de la secuencia Terciaria (E2gyi, E2gym, E2gys) y Cretácica (K2E1sc, K2g, K2v, K1c), por lo tanto cuenta con las características de geometría y litología especiales para el almacenamiento de aguas subterráneas, que conforman un sistema de acuíferos confinados.

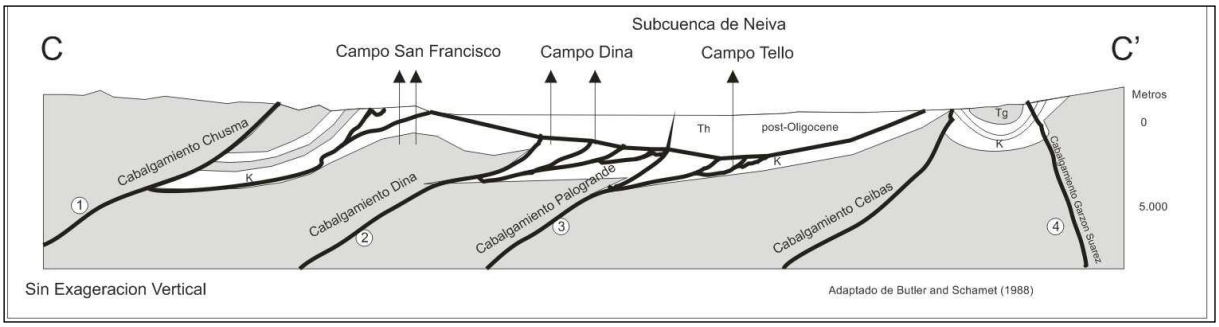


Ilustración 114 Perfil Estructural de la Cuenca del Valle Superior del Magdalena.

En general, se concluye que la provincia hidrogeológica del Valle Superior del Magdalena se encuentra dividida en dos principales sub-cuencas, siendo a su vez delimitadas por límites estructurales como discordancias, fallas y pliegues, así como también cierres o acuñamientos lito-estratigráfico.

3. INVENTARIO PUNTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA

Se establecen como puntos de agua subterránea, las construcciones profundas encaminadas en la extracción de agua del subsuelo, estos puntos se pueden clasificar en distintos sistemas de captación definidos en aljibes y pozos profundos y en algunos casos se puede generar captación de manera más superficial en manantiales y quebradas, que sirven como medios de descarga de los sistema de acuíferos presentes en la región.

Conocer a fondo la cantidad, calidad y características de estos sistemas de captación es de vital importancia para definir el Modelo Hidrogeológico, que estableceré la oferta, calidad y características físicas y químicas del recurso hídrico subterráneo.

Partiendo de la información secundaria recopilada de los expedientes existentes en la Corporación Autónoma del Alto Magdalena (CAM) se estructuro un inventario de los puntos de agua presentes en el Departamento que sirve como base para realizar el análisis del comportamiento hidráulico del sistema de acuíferos del Huila.

En este inventario se identificaron 730 puntos de agua subterránea, 62 cuerpos de agua superficiales entre Manantiales (42 puntos) y quebradas (20) y 113 puntos adicionales que cuentan con sus coordenadas de ubicación espacial pero no se cuenta con otra información como profundidad, niéveles estáticos u dinámicos, etc. que permita categorizarlos en alguno se los sistemas de captación anteriores, esto da un total de 905 puntos de agua inventariados lo largo del Departamento del Huila.

A continuación en la **Tabla 49** se presenta el resumen del inventario de puntos de agua del sistema de acuíferos presente en el Departamento de Huila.

Tabla 49 Resumen del inventario de puntos de agua

Tipo de Punto	Número de puntos	Porcentaje
Pozo Profundos	283	32%
Aljibes	447	49%
Manantiales y Quebradas	62	7%
Faltantes de Información	113	12%
TOTAL	905	

Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

Dentro del inventario resumen mostrado se puede apreciar que el sistema de captación más implementado en el Departamento es el de aljibes siendo el 49% de los puntos de captación de agua subterránea existentes en el Huila, seguido de los pozos profundos con un 32% de los puntos establecido en el inventario, adicionalmente se cuenta con un 7% de puntos en el registro del inventario de puntos que representan fuentes superficiales de agua como manantiales y quebradas del Departamento. Por último se establece una categoría de puntos con altos faltantes de información que hacen referencia a puntos existentes en los expedientes de la CAM pero con altos vacíos en información, en su gran mayoría solo cuentan coordenadas de su ubicación dentro del Departamento, de esta información recopilada en el inventario se cuentan con un 12% del total de puntos de agua existentes en el Departamento.

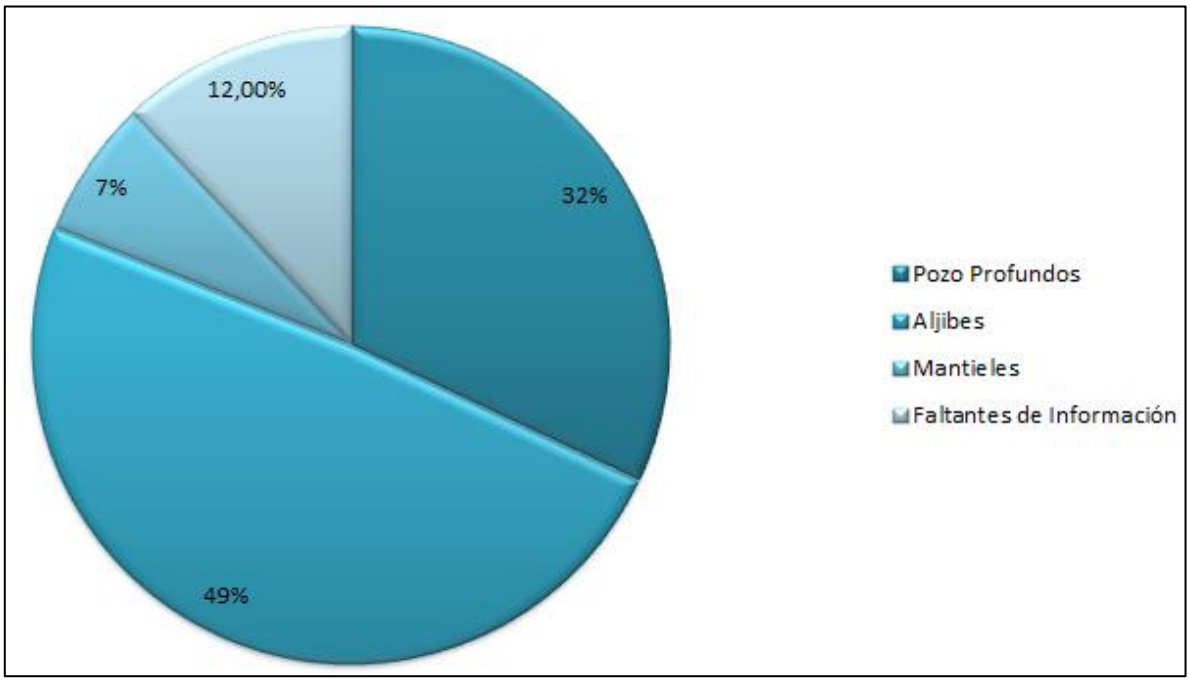


Ilustración 115 Tipos de puntos de agua
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

A partir del inventario de puntos de agua existentes en el Departamento del Huila se establece la distribución espacial de los puntos en el territorio, los cuales se muestran en la **Tabla 50**.

Tabla 50 Puntos de agua subterránea en los municipios del Huila

Municipio	Número de puntos	porcentaje
Agrado	2	0,2%
Aipe	60	6,6%
Baraya	20	2,2%
Campoalegre	64	7,0%
Colombia	1	0,1%
Gigante	4	0,4%
Hobo	7	0,8%
Neiva	392	43,2%
Paicol	1	0,1%
Palermo	125	13,8%
Pitalito	41	4,5%
Rivera	83	9,1%
Suaza	1	0,1%
Tarqui	1	0,1%
Tello	17	1,9%
Tesalia	2	0,2%
Villavieja	75	8,3%
Yaguara	3	0,3%
Garzón	1	0,1%
La Plata	2	0,2%
Oporapa	2	0,2%
Sin información	1	0,4%
Total	905	

Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

Con la información de la base de datos del inventario se realizaron la elaboración del mapa de ubicación de los puntos de agua dentro del perímetro del Departamento, donde se evidencia que la mayoría de puntos registrados se encuentran en el sector Centro, Noroccidental Y Nororiental entre los municipios de Campoalegre, Palermo, Rivera, Neiva, Tello, Aipe, Villa Vieja, Baraya, en la zona de descarga de los Ríos Cabrera, Magdalena, Ceibas, Baché, Loro y Yaya cabe resaltar que en la parte sur del Departamento se cuenta con escasa información de captación aguas subterráneas, donde se cuentan con registros de puntos de agua, la información es limitada y con grandes vacíos esto se muestra en la **Ilustración 116**

Del inventario de puntos de agua se puede resaltar que los pozos profundos existentes oscilan con profundidades entre los 20 y 610 metros con un promedio de alrededor de 117 metros para la captación en pozos profundos, de igual manera se establecieron profundadas de 1 a 20 metros para sistemas de captación tipo aljibe con una profundidad promedio de 9 metros, ratificando el sistema de aljibes como el medio de captación más implementado en el área del Departamento.

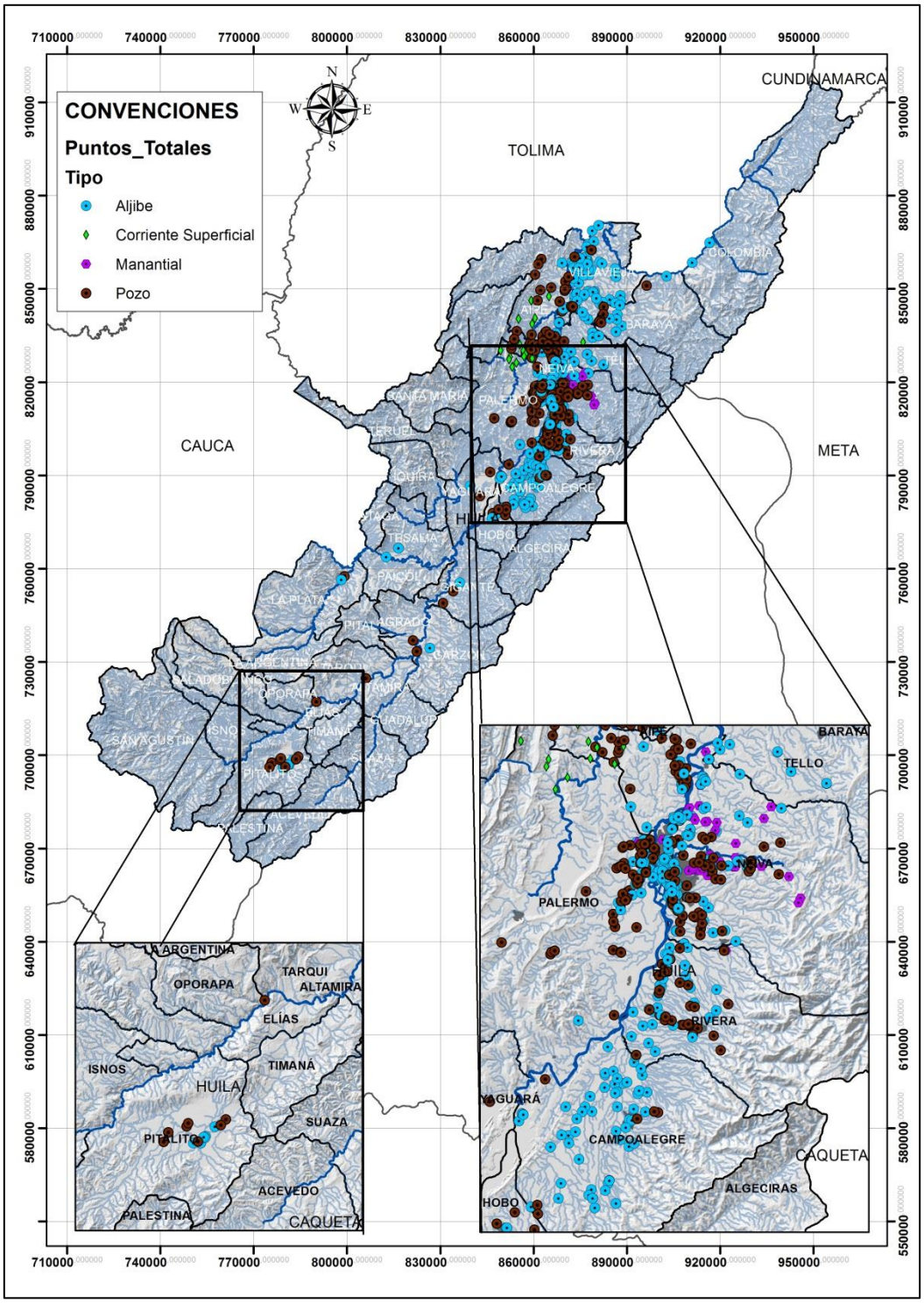


Ilustración 116 Ubicación puntos de agua subterránea
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

4. EVALUACIÓN HIDRÁULICA

La capacidad de almacenar y trasmitir el agua por parte de un acuífero debe ser cuantificada para evaluar las formaciones desde el punto de vista hidrológico. Por ello, se asocia a las formaciones con cuatro parámetros básicos en cuanto a su comportamiento respecto al agua que puedan contener y transmitir como los son: la porosidad y coeficiente de almacenamiento, permeabilidad y transmisividad. Estos parámetros definen las características de los acuíferos y su capacidad para almacenar y transmitir el agua subterránea que son la base del cálculo de drenaje, filtraciones, caudales de bombeo, tiempo de transito de sustancias transportadas por el agua subterránea, etc.

Como se mencionó en el ítem 3 (INVENTARIO PUNTOS DE AGUA) los datos fueron tomados para el presente estudio, de los expedientes de la Corporación Autónoma del Alto Magdalena (CAM), así como y del Estudio Hidrogeológico Del Valle de Laboyos Pitalito - Huila realizados por (SGI LTDA, 2004), de aquellos puntos del inventario de puntos de agua subterránea que contaron con información de pruebas de bombeo.

Inventariados 730 puntos de captación tipo Pozo profundo y Aljibe a lo largo de todo el Departamento, entre otros puntos donde se puede captar agua de origen subterráneo, se encuentran los manantiales y quebradas que para esta caracterización son de baja importancia, ya que solo serán de tenidos en cuenta los puntos que presenten información de pruebas de bombeo, la determinación de estos parámetros será la base de la caracterización hidráulica del presente estudio

El análisis de la totalidad de puntos de agua del Departamento estableció que para los tipos de captación de agua subterránea se cuentan con 730 puntos entre pozos profundos y aljibes, representado el 81 % de total de la base de datos donde 283 puntos son para los pozos profundos y 447 puntos para los puntos tipo aljibes.

Con el fin de determinar el comportamiento del sistemas de acuíferos con respeto de sus propiedades físicas se hace necesario evaluar, al acuífero con respecto al espesor de los materiales que lo componen y la caracterización geológica de los mismos, partiendo de este principio el sistema de captación tipo aljibe siendo el más somero, contemplándose entre 1 y 20 metros de profundidad y los puntos tipo pozo profundo con profundidades superiores a 20 metros, llegando hasta los 610 metros.

Partiendo de estos límites establecidos para cada tipo de tipo de captación se desarrolla la caracterización de cada uno de los parámetros hidráulicos tales como son profundidad de construcción, caudal del sistema de captación, Transmisividad del sistema, Conductividad hidráulica, capacidad específica de cada tipo de captación y por ultimo coeficiente de almacenamiento

4.1 PUNTOS DE CAPTACIÓN TIPO ALJIBE.

4.1.1 PROFUNDIDAD

Dentro de estos tipos de captación se cuenta con 447 puntos de agua que ofrecen información sobre la profundidad de la captación tipo aljibe, se determinaron valores mínimos de profundidad de 1 metro y valor máximo de 20 metros, estos datos se encuentran ubicados en los municipios de Agrado, Aipe, Baraya, Campoalegre, Garzón, Gigante, Hobo, La Plata, Neiva, Oporapa, Paicol, Palermo, Pitalito, Rivera, Tarqui, Tello; Tesalia, Villavieja, Yaguara en la **Ilustración 117** se muestra la ubicación espacial de los puntos de agua que registraron información sobre la profundidad de este tipo de captación (Ver **Anexo E-1 Hidráulica Aljibes mapa GE393-ERA-PSIG-PAL-001-00**)

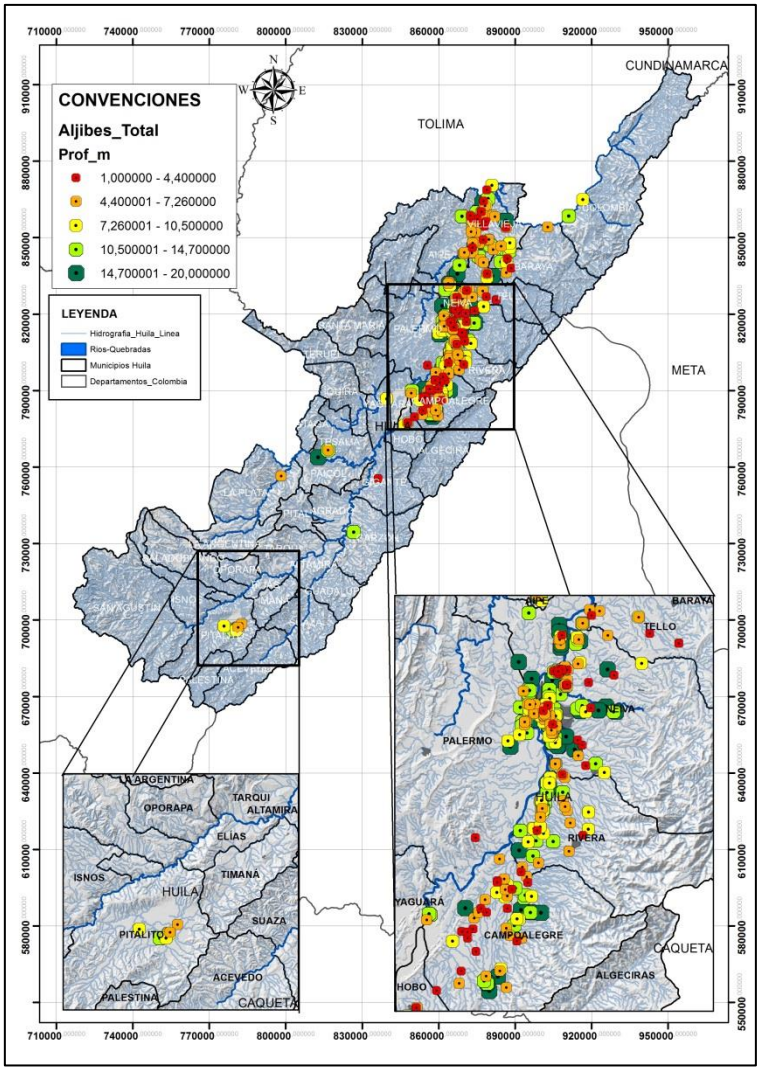


Ilustración 117 Mapa de ubicación espacial puntos de agua captación tipo aljibe- profundidad aljibes
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

4.1.2 CAUDAL (Q)

Se reportan valores de caudal para los puntos de aljibes entre 0.01 litros/segundo a 52 litros/segundo establecido un valor promedio de caudal 1.70 litros/segundo para los 247 registros con los que se cuenta.

En la **Ilustración 118** se presenta el mapa de ubicación espacial de los puntos de captación aljibe donde se evidencian los caudales de cada uno de estos (Ver **Anexo E-1 Hidráulica Aljibes mapa GE393-ERA-PSIG-QA-001-00**)

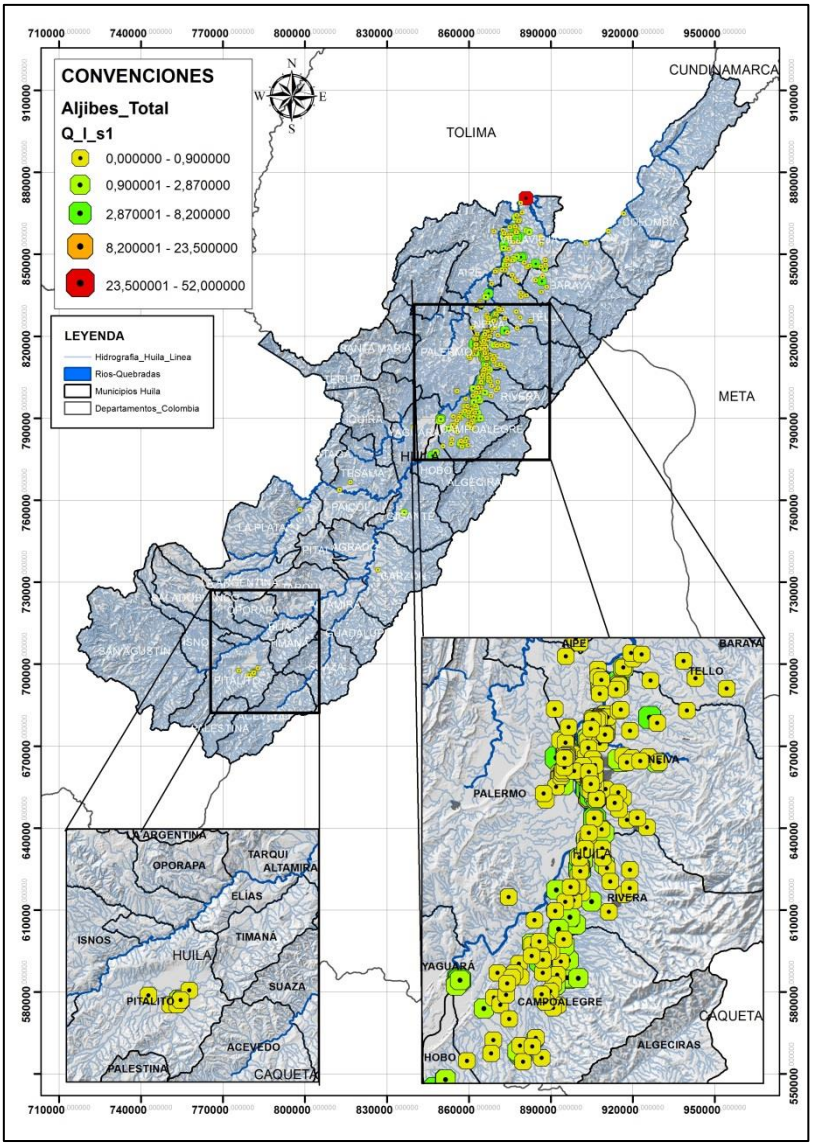


Ilustración 118 Mapa de ubicación espacial puntos de agua captación tipo aljibe- Caudal. Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

4.1.3 TRANSMISIVIDAD (T)

Dentro de análisis de Transmisividad de las captaciones tipo aljibe se establecen valores mínimos de Transmisividad de 2.83 metros^2/día y valores máximo de 868 metros^2/día en un grupo de 87 puntos de agua, ubicándolos en los municipios de Aipe, Campoalegre, Neiva, Palermo, Pitalito, Riviera, Tello, Tesalia, Villavieja.

La ubicación espacial de los puntos de agua que cuentan con registros de esta característica hidráulica se presenta a continuación en la **Ilustración 119** donde se muestran los valores correspondientes a cada uno de los 87 puntos de agua del inventario (Ver **Anexo E-1 Hidráulica Aljibes mapa GE393-ERA-PSIG-TSA-001-00**)

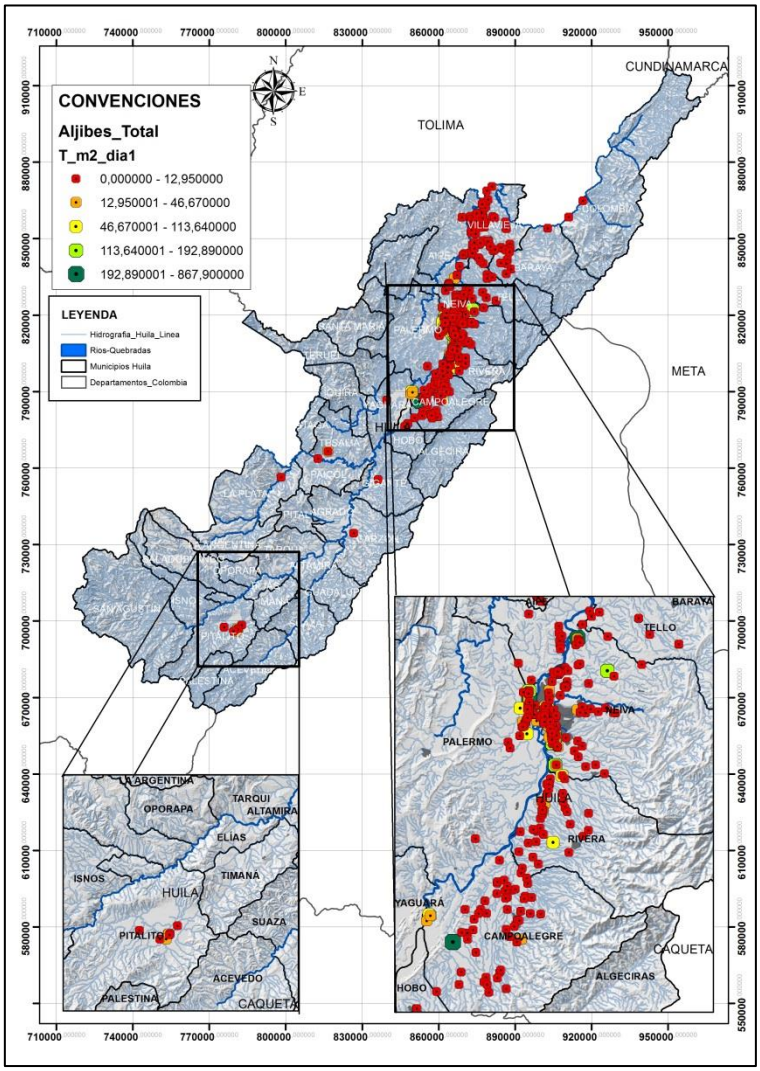


Ilustración 119 Mapa de ubicación espacial puntos de agua captación tipo aljibe-Transmisividad.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

4.1.4 CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA (K)

Dentro del análisis de esta característica hidráulica se cuentan con 60 puntos de agua con información de conductividad, dentro de estos registros se cuentan con valores entre 0.75 metros/día y 204 metro/día estableciendo un valor promedio de conductividad de 21.2 metros/día, ubicándose en los municipios, de Aipe, Campoalegre, Nieva, Palermo, Pitalito, Riviera, Tesalia, Villavieja.

La ubicación espacial de los puntos de agua que cuentan con registros de conductividad hidráulica se presenta a continuación en la **Ilustración 120** donde se muestran los valores correspondientes a cada uno de los 60 puntos que reportan este parámetro (Ver **Anexo E-1 Hidráulica Aljibes mapa GE393-ERA-PSIG-CHA-001-00**)

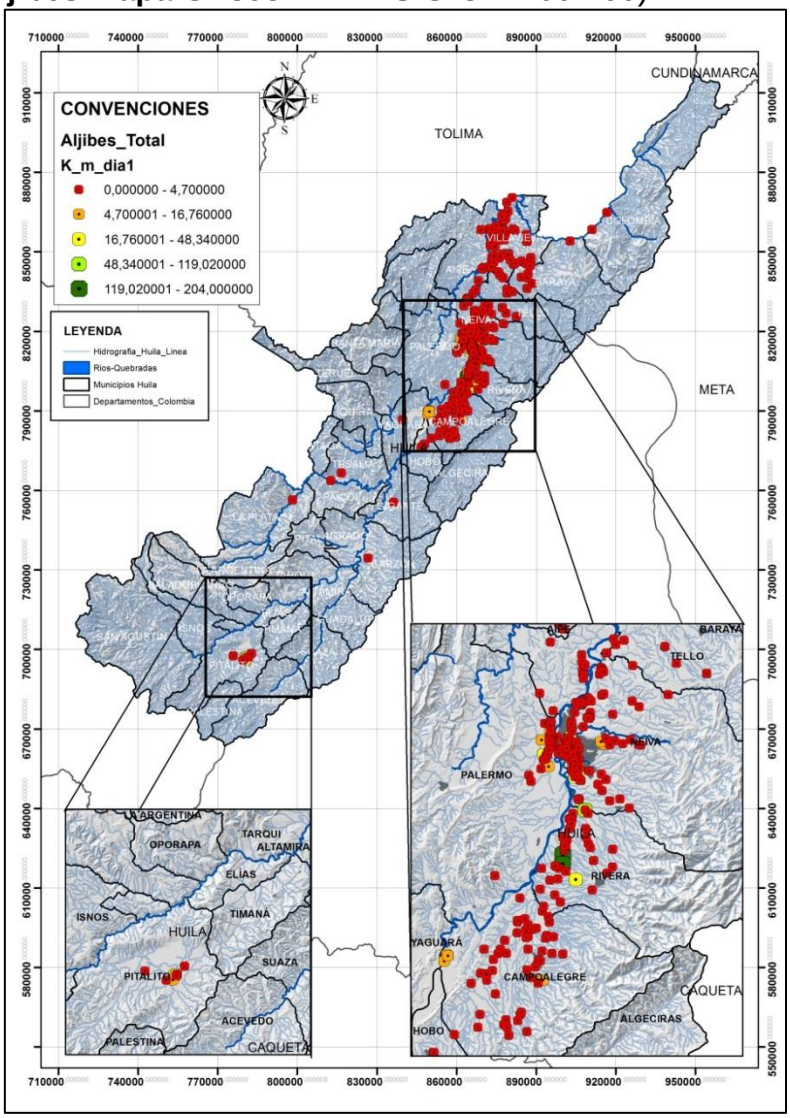


Ilustración 120 Mapa de ubicación espacial puntos de agua captación tipo aljibe- Conductividad hidráulica.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

4.1.5 CAPACIDAD ESPECÍFICA (CE)

Se reportan valores de capacidad específica para los puntos de captación de tipo aljibe entre 0.1 litros/segundo/metro a 11.33 litros/segundo/metro, establecido un valor promedio de caudal 2.04 litros/segundo/metro para los 57 registros con los que se cuenta.

En la **Ilustración 121** se presenta el mapa de ubicación espacial de los puntos de captación aljibe donde se evidencian cada uno de los puntos que reportaron valores de capacidad específica. (Ver **Anexo E-1 Hidráulica Aljibes mapa GE393-ERA-PSIG-CEA-001-00)**

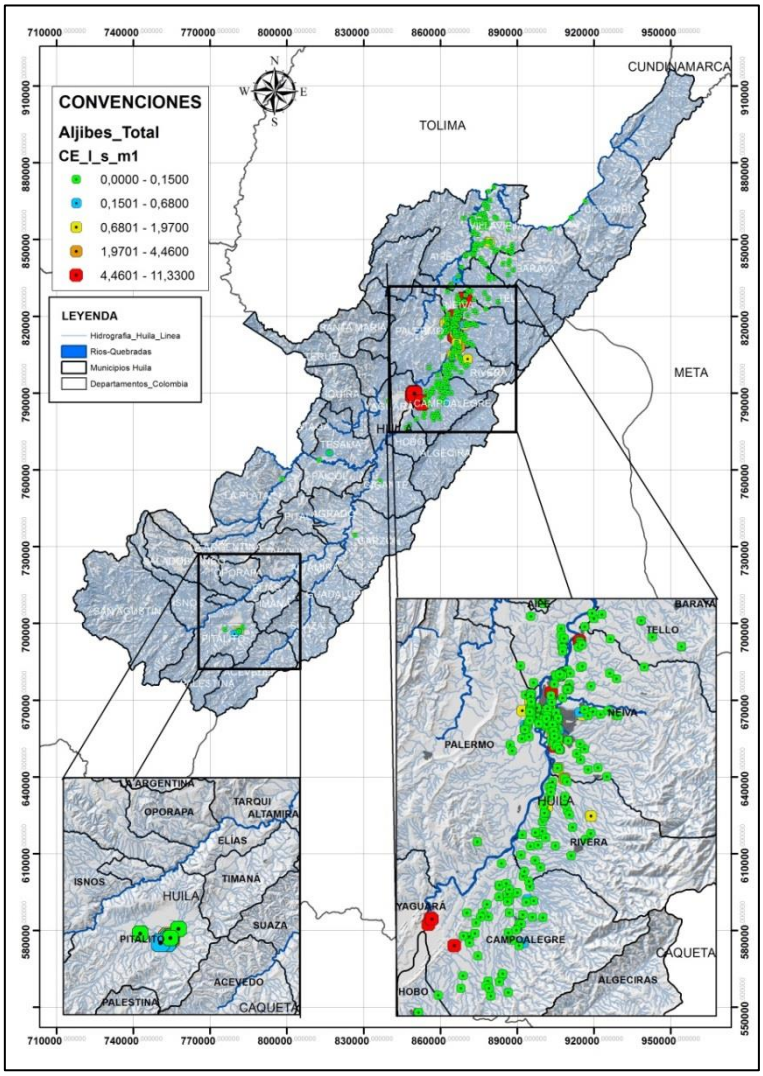


Ilustración 121 Mapa de ubicación espacial puntos de agua captación tipo aljibe- Capacidad especifica.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

4.1.6 COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO (SS).

En la caracterización de este parámetro se determinó valores mínimos de 0.09 a 2.2 cabe resaltar que este parámetro tiene unidad de medida adimensional ya que es resultado del cociente del volumen que fluye por las partículas de material con en el volumen que se retiene dentro de la matriz que contiene las partículas de material, dentro de este análisis se determinó que los 18 valores para esta característica pueden considerarse que representa zonas acuíferas de carácter libre, que según literatura (Vallejo.2002) se establece que para puntos de captación con valores de coeficiente de almacenamiento (SS) entre 0.3 y 0.3*10-2 se pueden considerar como zonas de acuíferos libre a semiconfinados, los puntos que reportaron esta característica se encuentran ubicados en los municipios Campoalegre, Neiva; Pitalito, Riviera.

La ubicación espacial de los puntos de agua que cuentan con registros de coeficiente de almacenamiento (SS) se presenta a continuación en la **Ilustración 122** donde se muestran los valores correspondientes a cada uno de los 18 puntos que reportan este parámetro en el inventario de puntos de agua (ver **Anexo E-1 Hidráulica Aljibes mapa GE393-ERA-PSIG-CAA-001-00)**

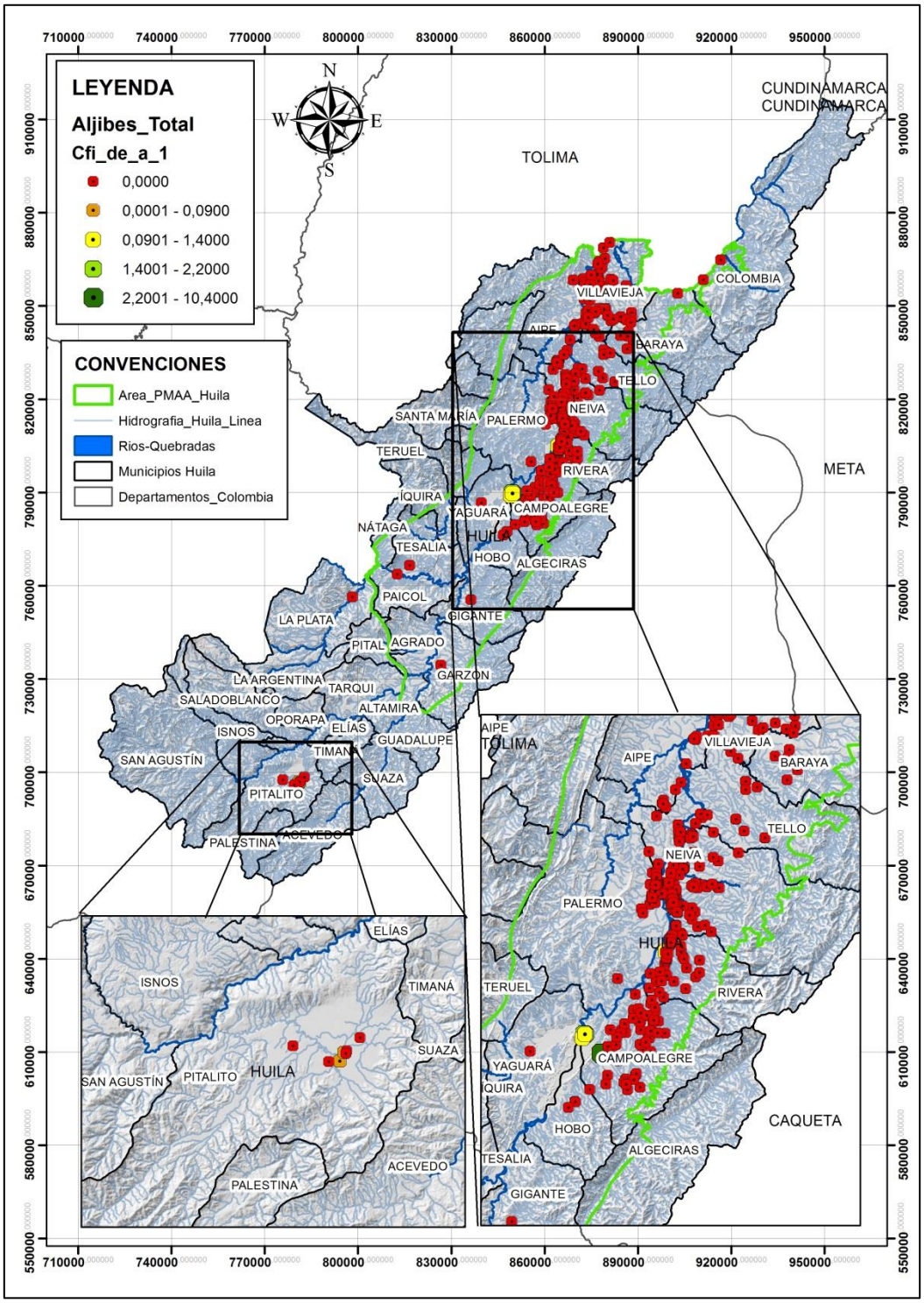


Ilustración 122 Mapa de ubicación espacial puntos de agua captación tipo aljibe- Coeficiente de almacenamiento.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

4.2 SISTEMA DE CAPTACIÓN TIPO POZO PROFUNDO

4.2.1 PROFUNDIDAD

Dentro de este sistema de captación se cuenta con 283 puntos de agua que ofrecen información sobre profundidad de construcción de cada uno de esos pozos profundos, que fue establecido al momento de realizar la prueba de bombeo de cada uno de estos pozos, se determinaron valores mínimos de profundad de 20 metros y valores máximos de 610 metros, estos datos se encuentran ubicados en los municipios de Baraya, Campoalegre, Agrado, Aipe Hobo, La Plata, Neiva, Gigante, La Plata, Neiva Palermo, Pitalito, Polonia, Tarqui Rivera, Viallaveja y Yaguara en la **Ilustración 123** se muestra la ubicación espacial de los puntos de agua que registraron información sobre profundidad del sistema de pozos (Ver **Anexo E-2 Hidráulica Pozos mapa GE393-ERA-PSIG-PPZ-001-00**)

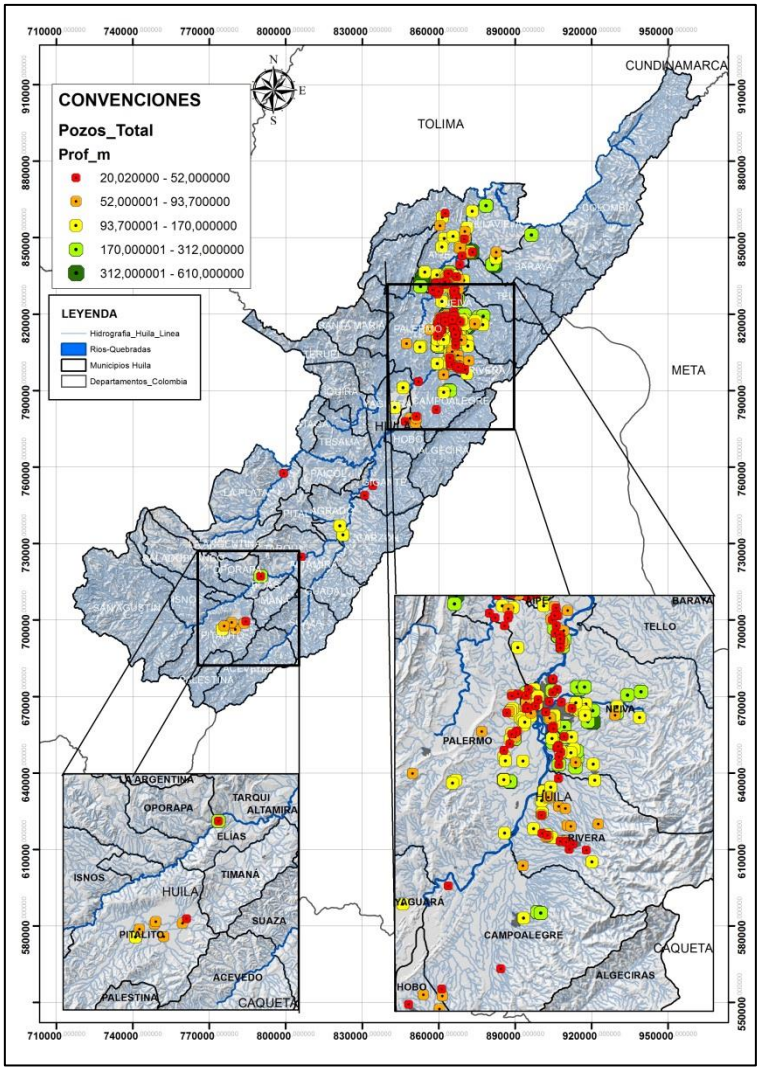


Ilustración 123 Mapa de ubicación espacial puntos de agua captación tipo Pozo profundo-profundidad (m).
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

4.2.2 **CAUDAL (Q)**

Se obtuvieron valores de caudal para los pozos profundos entre 0.02 litros/segundo a 61 litros/segundo establecido un valor promedio de caudal 7.60 litros/segundo para los 140 registros con los que se cuenta.

En la **Ilustración 124** se presenta el mapa de ubicación espacial de los puntos de captación pozo profundo donde se evidencian los caudales de cada uno de estos puntos (Ver **Anexo E-2 Hidráulica Pozos mapa GE393-ERA-PSIG-QP-001-00**).

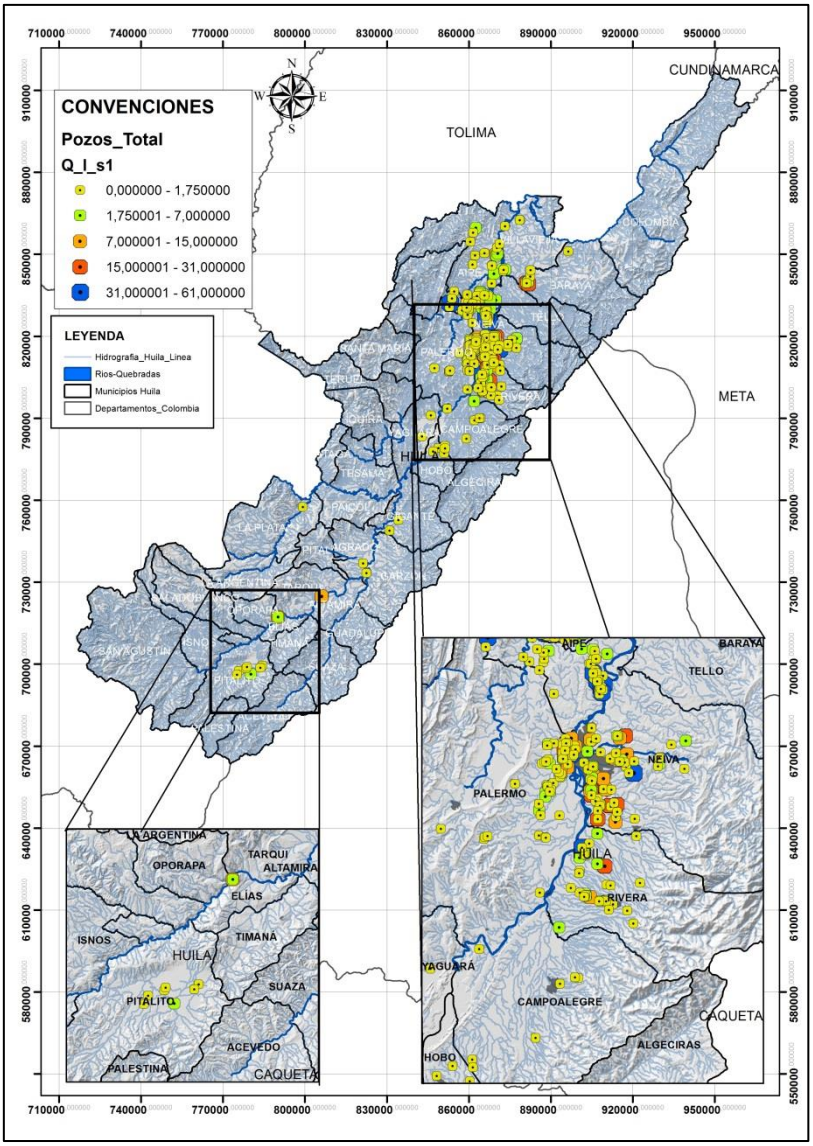


Ilustración 124 Mapa de ubicación espacial puntos de agua captación tipo pozo profundo-Caudal.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

4.2.3 TRANSMISIVIDAD (T)

Dentro de análisis de Transmisividad del sistema de captación tipo pozo profundo se lograron establecer valores mínimos de transmisividad de 0.46 metros2/día y valores máximo de 318 metros metros^2/día en un grupo de 83 puntos de agua, estableciendo un valor promedio de este aspecto de 64 metros2/día, ubicándose estos en los municipios de Aipe, Baraya, Neiva, Palermo y Riviera.

La ubicación espacial de los puntos de agua que cuentan con registros de esta característica hidráulica se presenta a continuación en la **Ilustración 125** donde se muestran los valores correspondientes a cada uno de los 83 puntos de agua del inventario (Ver **Anexo E-2 Hidráulica Pozos mapa GE393-ERA-PSIG-TSP-001-00**)

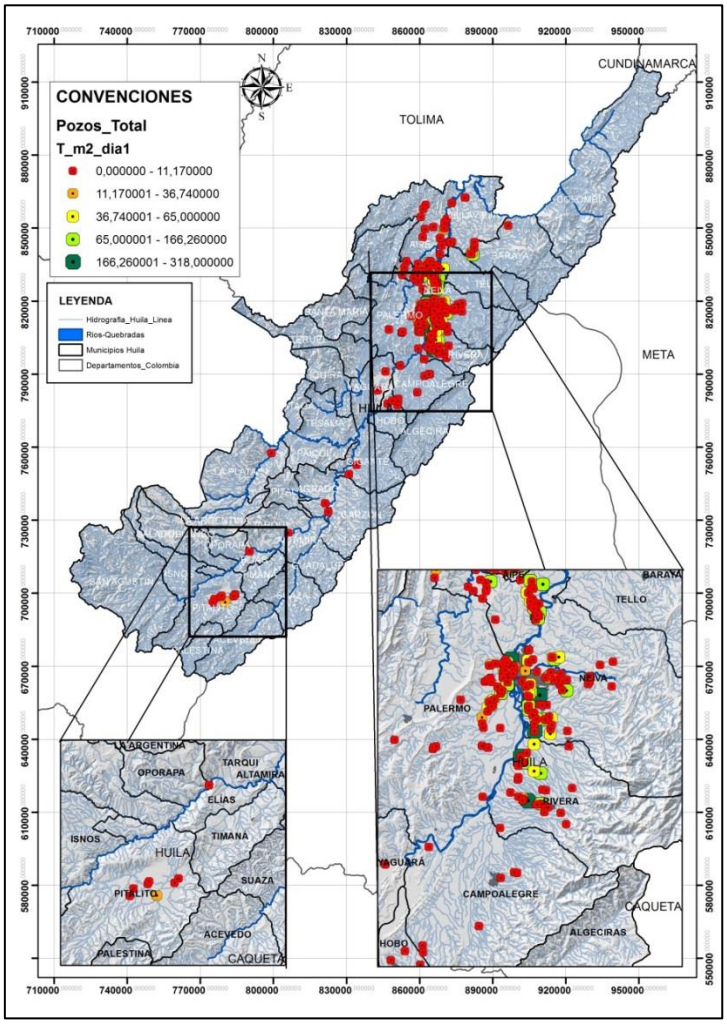


Ilustración 125 Mapa de ubicación espacial puntos de agua captación tipo pozo profundo - Transmisividad.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

4.2.4 CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA (K)

Dentro del análisis de esta característica se cuentan con 14 puntos de agua con información de conductividad hidráulica dentro del inventario de expedientes de la CAM, dentro de estos registros se cuentan con valores entre 1.12 metros/día y 207 metro/día estableciendo un valor promedio de conductividad de 28 metros/día, ubicándose en los municipios, de Aipe, Nieva, Palermo y Riviera.

La ubicación espacial de los puntos que cuentan con registros de conductividad hidráulica se presenta a continuación en la **Ilustración 126** donde se muestran los valores correspondientes a cada uno de los 14 puntos de agua. (Ver **Anexo E-2 Hidráulica Pozos mapa GE393-ERA-PSIG-TSP-001-00**)

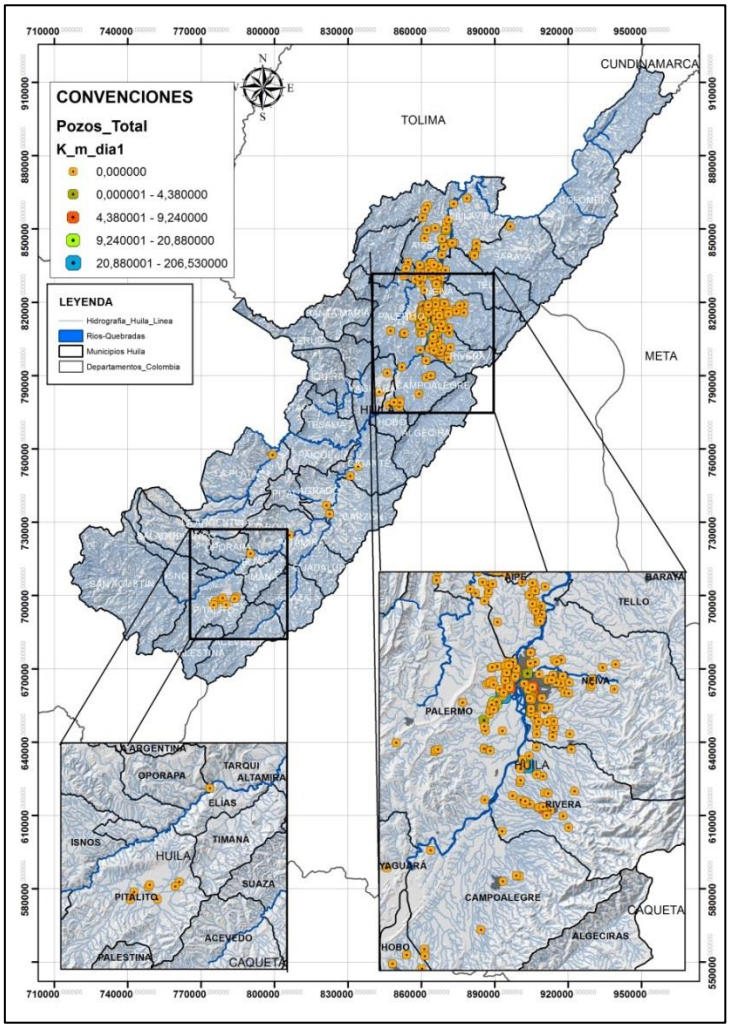


Ilustración 126 Mapa de ubicación espacial puntos de agua captación tipo pozo profundo - Conductividad hidráulica.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

4.2.5 CAPACIDAD ESPECÍFICA (CE)

Se obtuvieron valores de capacidad específica para las captación tipo pozos profundos entre 0.03 litros/segundo/metro a 9.66 litros/segundo/metro, establecido un valor promedio de capacidad de 0.85 litros/segundo/metro para los 36 registros con los que se cuenta.

En la **Ilustración 127** se presenta el mapa de ubicación espacial de los puntos de captación tipo pozo profundo donde se evidencia la capacidad específica de cada uno de estos puntos (Ver **Anexo E-2 Hidráulica Pozos mapa GE393-ERA-PSIG-CEP-001-00**)

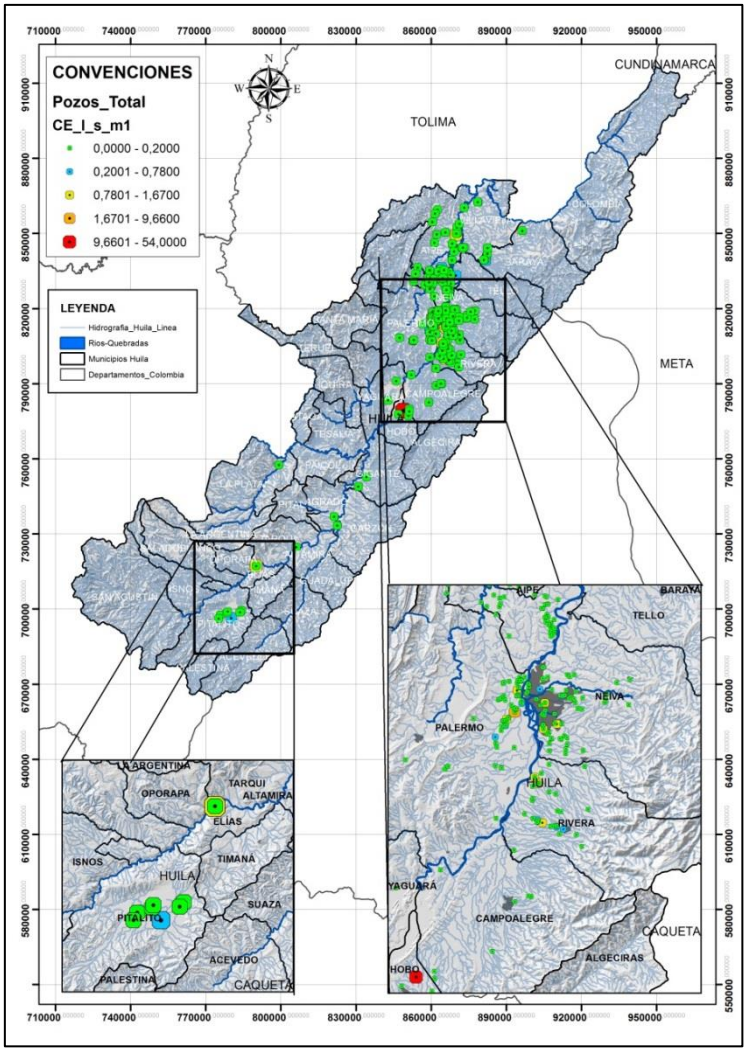


Ilustración 127 Mapa de ubicación espacial puntos de agua captación tipo pozo profundo- Capacidad especifica.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

4.2.6 COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO (SS).

En la caracterización de este parámetro se determinó valores mínimos de $3.55*10^{-17}$ a 0.15, con un valor promedio de 0.05, cabe resaltar que este parámetro tiene unidad de medida adimensional ya que es resultado del cociente del volumen que fluye por las partículas de material con en el volumen que se retiene dentro de la matriz que contiene las partículas de material, dentro de este análisis se determinó que los 36 valores para esta característica pueden considerarse que representa zonas acuíferas de carácter libre a confinado dependiendo de la formación geológica de donde se esté captando el recurso hídrico, según literatura (Vallejo.2002) se establece que para puntos de captación con valores de coeficiente de almacenamiento (SS) entre 0.3 y 0.3*10-2 se pueden considerar como zonas de acuíferos libre, zonas con rangos entre 10-3 y 10-4 como acuíferos semiconfinados y zonas con SS mayores a 10-4 se consideran como de presencia de acuíferos confinados, los puntos que reportaron esta característica se encuentran ubicados en los municipios Campoalegre, Neiva, Palermo, Pitalito, Riviera.

La ubicación espacial de los puntos de agua que cuentan con registros de coeficiente de almacenamiento (SS) se presenta a continuación en la **Ilustración 128** donde se muestran los valores correspondientes a cada uno de los 36 puntos que reportan este parámetro en el inventario de puntos de agua (ver **Anexo E-2 Hidráulica Pozos mapa GE393-ERA-PSIG-CAP-001-00)**

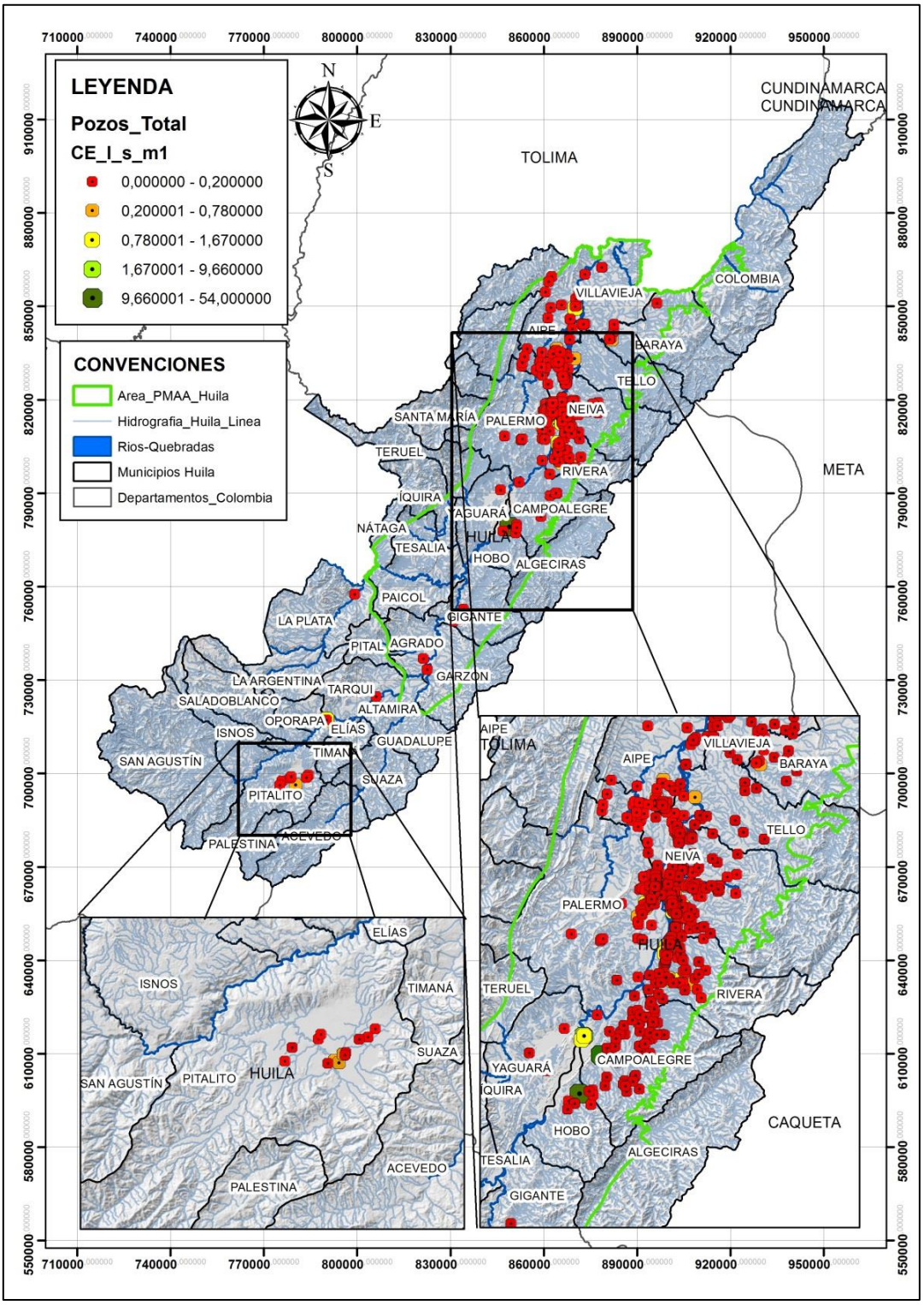


Ilustración 128 Mapa de ubicación espacial puntos de agua captación tipo pozo profundo-Coeficiente de almacenamiento.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

4.3 PUNTOS SUPERFICIALES DE AGUA TIPO MANANTIALES.

4.3.1 UBICACIÓN ESPACIAL

Es importante dentro de la caracterización de los sistemas de acuíferos de la zona de estudio la identificación y ubicación de los sitios que sirven como reservorios de agua, en este caso los manantiales son de gran importancia el estudio del agua subterránea ya que sirven como receptores de la descarga del flujo de agua proveniente de acuíferos ubicados en lugares de mayor pendiente.

Dentro de la identificación de estos lugares se establecieron 42 puntos agua superficial, clasificados dentro de los expedientes de la CAM como Manantiales, estos ubicados en los municipios de Neiva, Palermo y Rivera, en la **Ilustración 129**

4.3.2 CAUDAL (Q).

Se obtuvieron valores de caudal para estos lugares entre 0.01 litros/segundo a 1,41 litros/segundo establecido un valor promedio de caudal 0,32 litros/segundo para los 32 registros que cuentan con información de este parámetro.

En la **Ilustración 130** se presenta el mapa de ubicación espacial los puntos clasificados como manantiales, donde se evidencian los caudales de cada uno de estos (ver **Anexo E-3 Hidráulica Manantiales mapa GE393-ERA-PSIG-QM-001-00.**

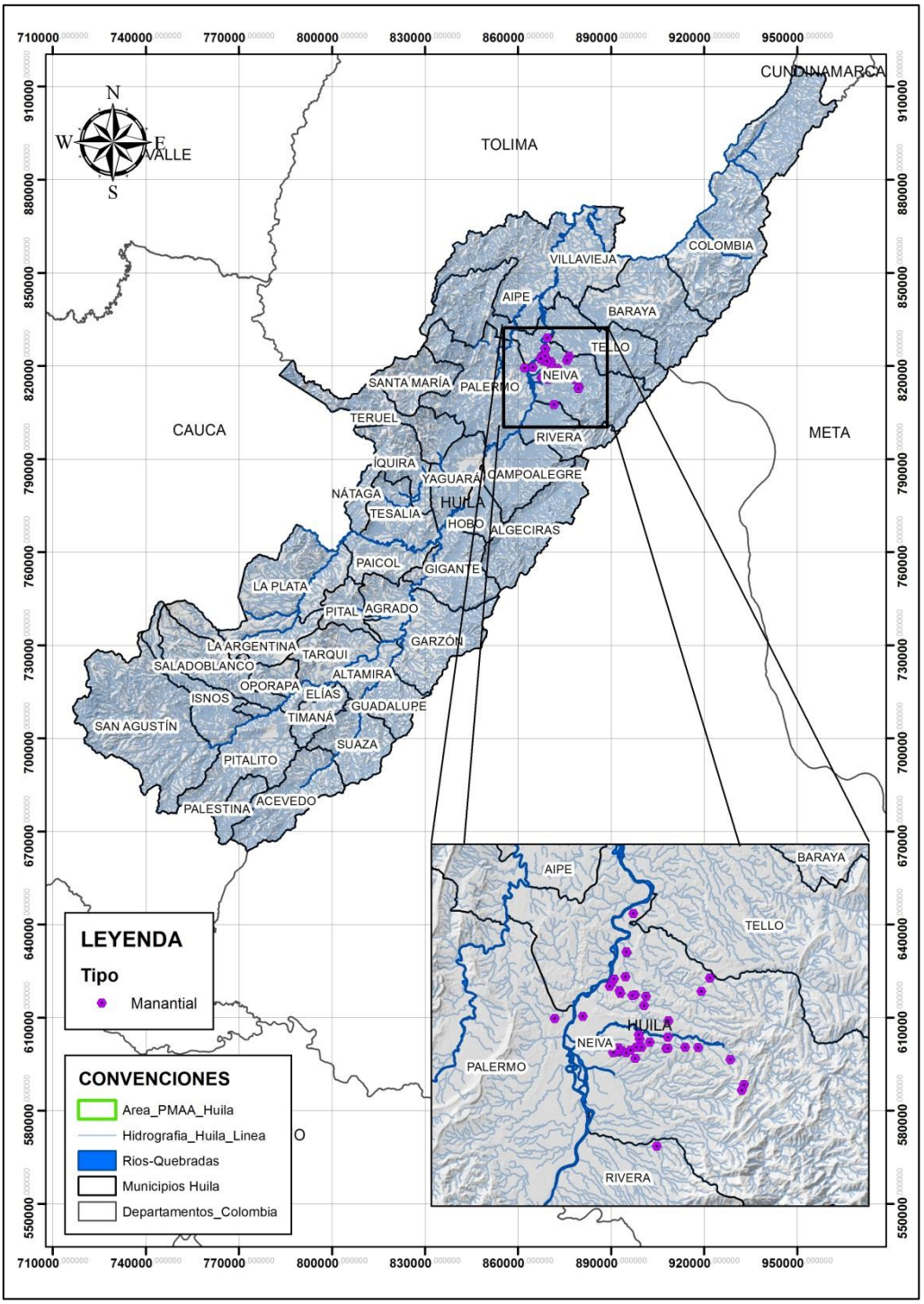


Ilustración 129 Mapa de ubicación espacial puntos de agua Manantiales.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

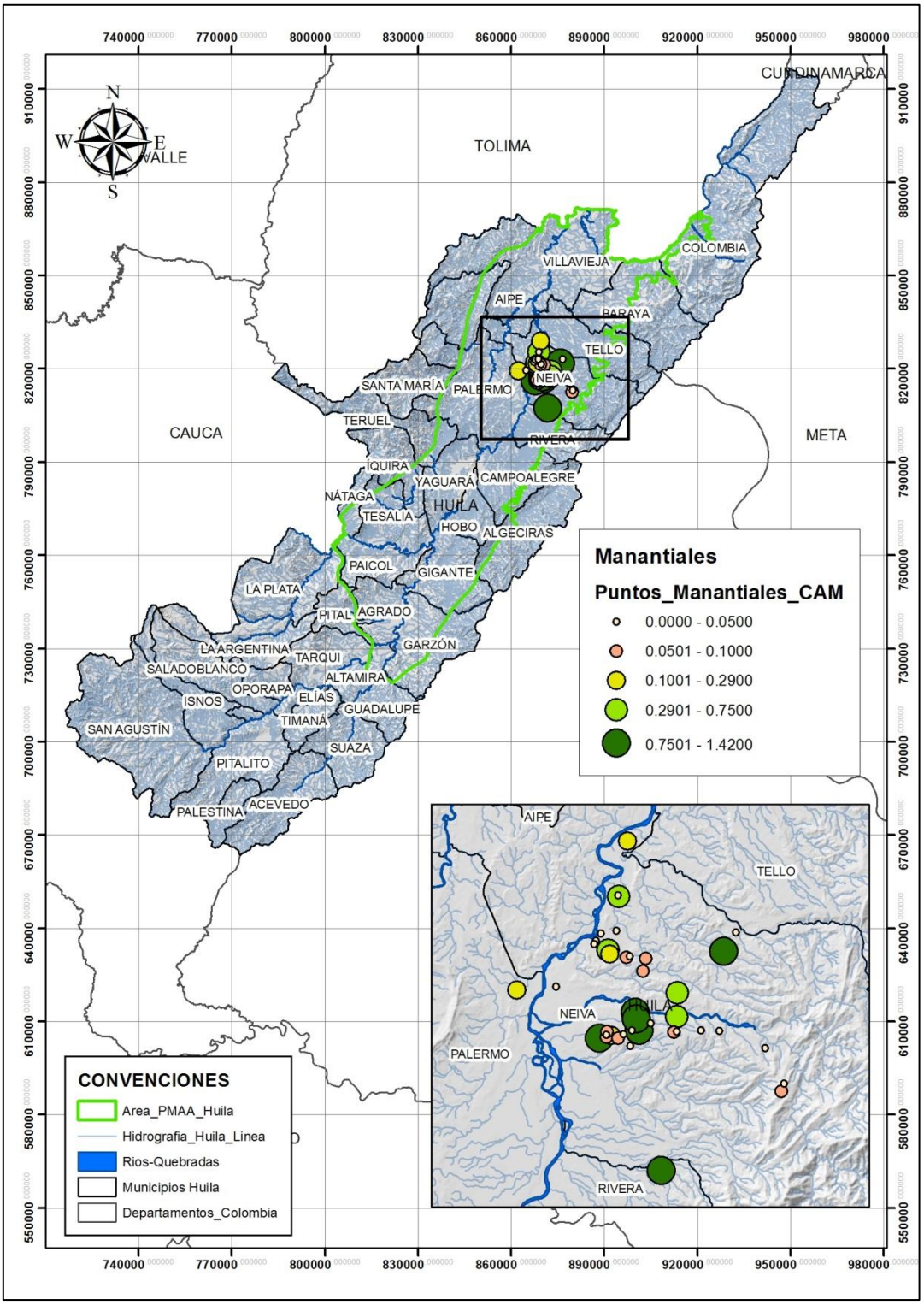


Ilustración 130 Mapa de ubicación espacial puntos de agua Manantiales-Caudal. Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

4.4 DETERMINACIÓN DE LOS SISTEMAS DE FLUJO SUBTERRÁNEO

4.4.1 ELABORACIÓN MAPA ISOPIEZAS.

Como se mencionó anteriormente, se contó con un total de 730 puntos de agua para puntos de captación de agua subterránea, resaltando los puntos tipo aljibe con profundidades entre 1 y 20 metros, donde en estos se registran valores de niveles estáticos, para 294 puntos, cabe resaltar que los niveles estáticos presentan valores entre 0.05 m y 19.85m y un nivel promedio de 4.6 metros de lámina de agua paras las captaciones más someras y se contó con un total de 119 puntos de agua para puntos de captación tipo pozo profundo, con niveles estáticos, entre 0.7m y 116.3 m, presentando un nivel promedio 19.2 metros.

Con esta estos niveles se determinaron las cotas reales (msnm) de la lámina de agua de cada uno de estos puntos con respeto a la topografía de la zona de estudio, estas conocidas como Isopiezas, con el fin de establecer el nivel regional de la tabla de agua para la zona de estudio.

Los niveles estáticos varían entre valores mínimos de 350 m.s.n.m hasta 1870 m.s.n.m ubicándose los niveles más bajos en los municipios de Villa vieja, Neiva, Colombia, Palermo y Aipe con valores entre 350 y 475 m.s.n.m, y los valores más altos se establecen en 1610 m.s.n.m a 1870 m.s.n.m ubicándose en los municipios de Campoalegre, Hobo, Algeciras, Rivera, Teruel, Santa María, Iquira y Pitalito, en la **Ilustración 131** se muestra el mapa de isopiezas (ver **Anexo E-4-1 Mapa de Isopiezas GE393-ERA-PSIG-MIZ-001-00)** generado a partir de los niveles de estáticos de los puntos de captación de agua subterránea (Aljibes y pozo profundos)

Basados en las isopiezas elaboradas a partir de los niveles estáticos reportados en los expedientes de los puntos de agua de tipo aljibe y pozo profundo se definió el régimen de dirección de flujo regional que tendrá el agua subterránea (líneas de dirección de flujo), las cuales indican el vector de movimiento que se presentara en los sistemas de acuíferos libres, semiconfinados y confinados en el área de estudio.

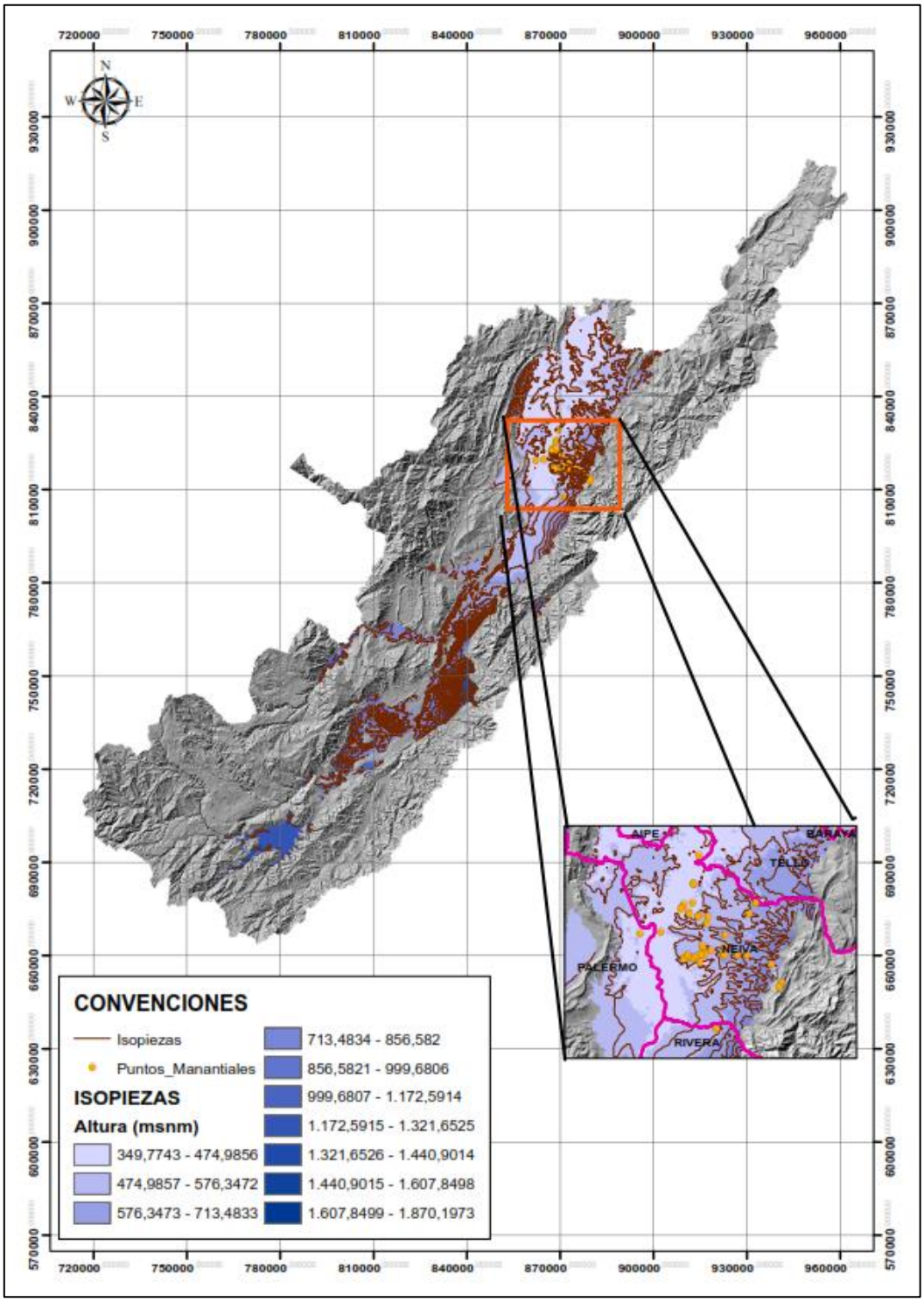


Ilustración 131 Mapa de Isopiezas para niveles estáticos de los puntos de captación de agua subterránea (aljibes y pozos profundos)
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

4.4.2 DIRECCIÓN DE FLUJO REGIONAL

Basados en las isopiezas de los puntos de captación tipo pozo profundo y aljibe se estableció el posible movimiento que tendrá el flujo de agua subterránea en el área de estudio, esta dirección se establece de manera regional, evidenciando la probable trayectoria que tendrá el agua a lo largo de la zona de estudio, teniendo en cuenta todas las posibles zonas acuíferas que se encuentran dentro del Departamento del Huila.

De manera particular mostrando la posible dirección que tendrán el agua en cada uno de los sistemas acuíferos identificadas para este estudio, y viendo como es la interacción de la dirección de flujo en base a su zona de recarga, litología y disposición estructural.

Se elaboraron las líneas de dirección de flujo para los puntos de captación más representativos de la zona de estudio (aljibes y pozos profundos) conjuntamente a esto por la baja cantidad de información representativa con la que se cuenta y a la gran extinción de terreno a estudiar, se establece que la información con la que se cuenta es muy reducida para generar una representación detallada para cada tipo de captación por independiente.

A continuación en la **Ilustración 132** (ver **Anexo E-4-2 Dirección de flujo Regional GE393-ERA-PSIG-DFR-001-00**) se presentan el mapa de dirección de flujo para puntos captación tipo aljibe y pozos profundos, en este se establecieron intervalos de cambio de nivel cada 50 metros para el polígono de estudio que permitieran apreciar el cambio de niveles a lo largo del Departamento del Huila, evidenciando que la zona de los complejos montañosos serán los principales aportes a la recarga para el sistema de acuíferos, según la trayectoria evidenciada en el mapa de direcciones de flujo regional, se establece que la descarga de los acuíferos se dará principalmente en la llanura de inundación del rio Magdalena y en el rio magdalena.

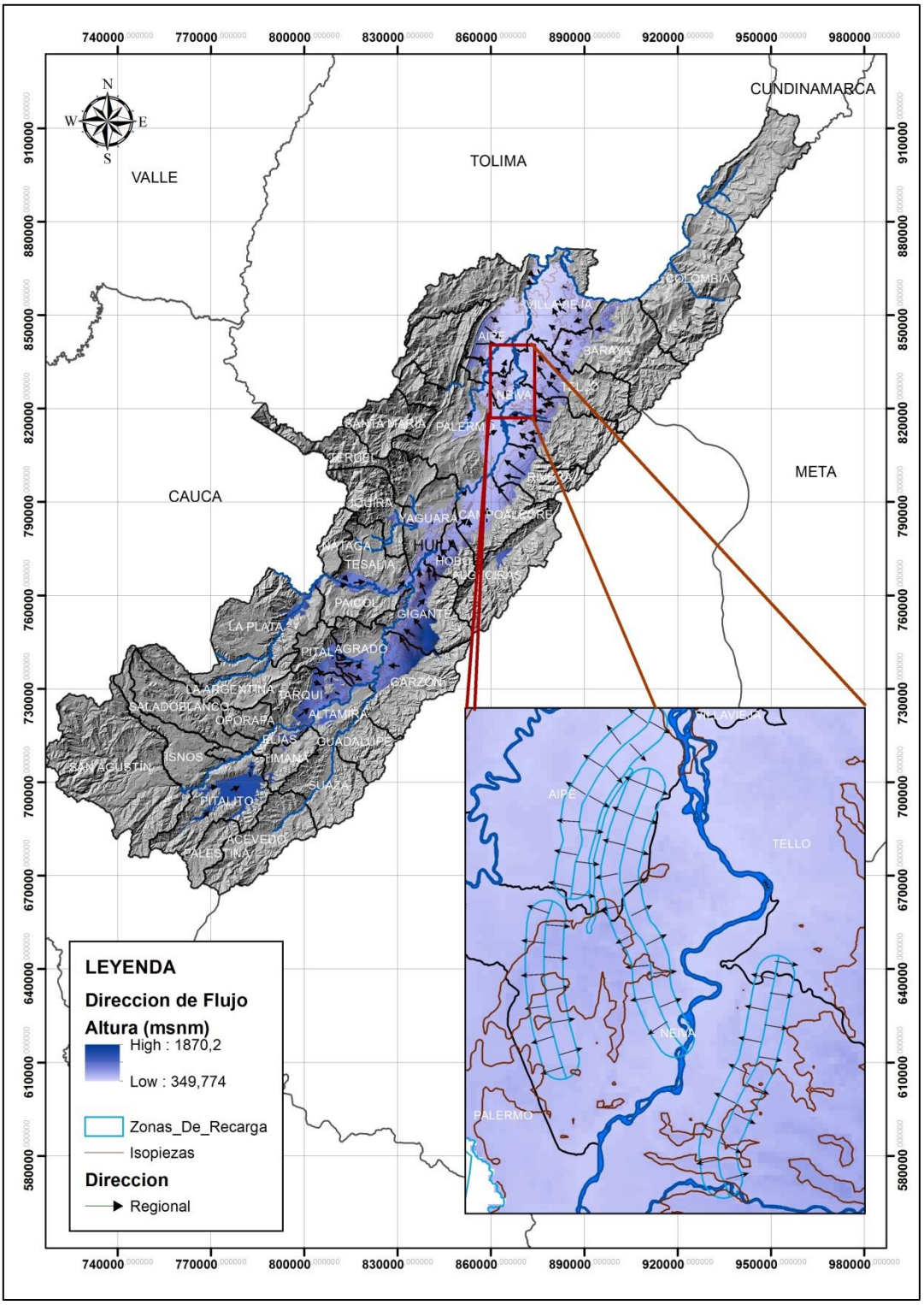


Ilustración 132 Mapa de dirección de flujo
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

4.4.3 DIRECCIÓN DE FLUJO LOCAL

El estudio microscópico del comportamiento de un medio poroso es extraordinariamente complejo dada la forma complicada de los poros y canalículos. La circulación del agua subterránea se rige principalmente por la ley de Darcy y a partir de ella puede llegarse a expresar el flujo en forma de ecuaciones diferenciales cuyo estudio será objeto del modelo numérico presentado en el la Fase Diagnostico del PMMAA.

Afortunadamente se puede estimar de carácter macroscópico la dirección de los flujos de agua subterráneas transitan a través de materiales litológicos permeables considerando la velocidad de infiltración y tres parámetros fundamentales: la permeabilidad, la porosidad y el coeficiente de almacenamiento, así como también la disposición de las estructuras geológicas, como por ejemplo los alto topográfico o estructuras de anticlinales y zonas donde le tectonismo forma fracturas y fallas que conducen agua al de acuífero. Por lo general las aguas infiltradas descargan en los bajos topográficos como lo son las estructuras de sinclinales, llanuras de inundación y en los ápices de los conos de deyección en donde se almacenan el agua subterránea.

En la **Ilustración 133** se presenta el esquema en planta de las líneas de flujos locales para el área de estudio para cada una de las estructuras identificada de interés hidrogeológico (Ver **Anexo GE393-PMAA-PSIG-DFR-001-00**).

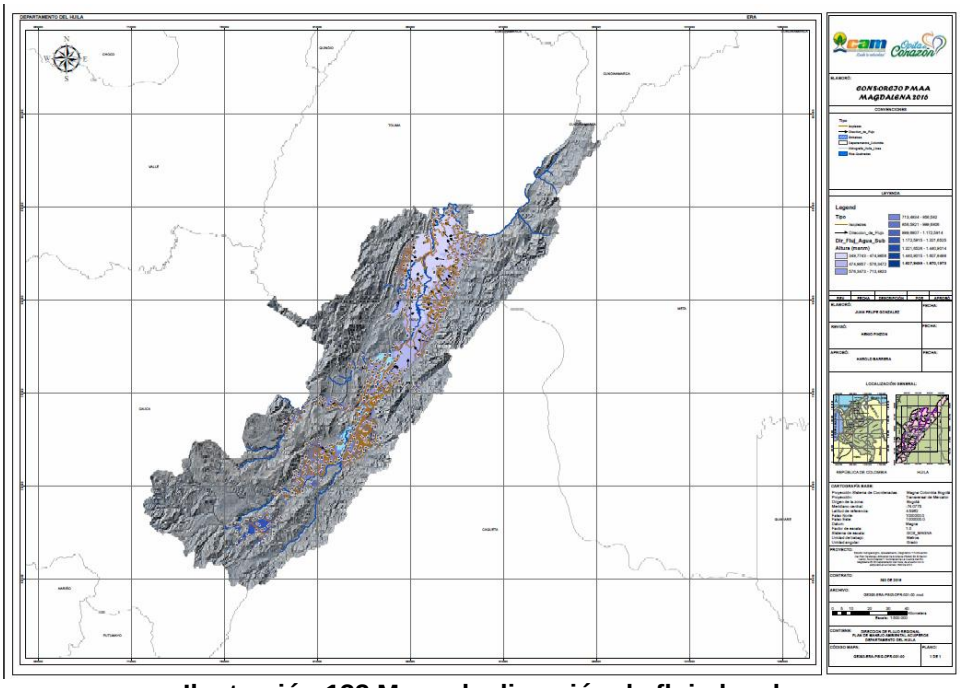


Ilustración 133 Mapa de dirección de flujo local
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

5. EVALUACIÓN HIDROLÓGICA

Es fundamental realizar la caracterización hidrológica de la zona de la cuenca alta del magdalena con el fin de establecer los aspectos climáticos que se ven ligados en la carga y descarga del sistema de acuíferos del Departamento del Huila.

Estos parámetros se establecieron partiendo de datos históricos de estaciones meteorológicas operadas por el instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), situadas a lo largo del Departamento del Huila, Para el presente estudio, fueron analizadas las estaciones climatológicas, pluviométricas, pluviográficas, sinópticas principales y agro meteorológicas disponibles.

En la **Tabla 51** y **Tabla 52** se presentan las estaciones de medición de precipitación y temperatura representativas de la zona de estudio, las cuales presentan registros para el análisis requerido para los componentes climáticos para el Estudio Regional de Agua subterránea (ERA). Además en el **Anexo F-1 Información Hidroclimatológica Estaciones ERA**, se presentan los datos de las estaciones de medición del IDEAM.

5.1 CARACTERIZACIÓN DE LA RED METEOROLÓGICA EXISTENTE

5.1.1 ESTACIONES MEDIDORAS DE PRECIPITACIÓN

Las estaciones medidoras de precipitación en la zona de estudio para el análisis de precipitación el Departamento del Huila se seleccionaron con registros iguales o mayores a 15 años; sin embargo, para algunos parámetros, en especial algunos climatológicos, debido a la escasa información disponible, fue necesario seleccionar algunas estaciones con registros de tiempo menor, pero aun así, representativos de la zona de estudio.

Para el análisis de precipitación del Departamento, fueron 170 las estaciones útiles en principio para el desarrollo del presente estudio, categorizadas como pluviométricas, pluviográficas, climatológicas ordinarias, climatológicas principales, sinópticas secundarias y agrometereológicas, localizadas en el Departamento. En la **Tabla 51** se muestran las estaciones medidoras de precipitación, indicando su código, tipo, municipio, coordenadas y elevación.

5.1.2 ESTACIONES MEDIDORAS DE TEMPERATURA

Para el análisis de temperatura del Departamento, fueron 42 las estaciones útiles en principio para el desarrollo del presente estudio, categorizadas como climatológicas ordinarias, climatológicas principales, sinópticas secundarias y agrometereológicas, localizadas en el Departamento. En la **Tabla 52** se muestran las estaciones medidoras de temperatura, indicando su código, tipo, municipio, coordenadas y elevación

Tabla 51 Estaciones medidoras de precipitación localizadas en el Departamento del Huila

CÓDIGO	TE	NOMBRE DE ESTACIÓN	DPTO.	NOMBRE MUNICIPIO	COORDENADAS		ELEV.
					LATITUD	LONGITUD	(msnm)
21030080	PM	ACEVEDO [21030080]	HUILA	ACEVEDO	1.8084	-75.8898	1350.0
21030040	PM	ACEVEDO ICEL [21030040]	HUILA	ACEVEDO	1.8333	-75.8667	1350.0
21040010	PM	AGRADO [21040010]	HUILA	AGRADO	2.2500	-75.7667	905.0
21105030	CO	ALGECIRAS [21105030]	HUILA	ALGECIRAS	2.5217	-75.3223	1150.0
21100020	PM	ALGECIRAS-HDA SATI [21100020]	HUILA	ALGECIRAS	2.5500	-75.3167	1100.0
21025020	CO	ALTAMIRA [21025020]	HUILA	ALTAMIRA	2.0667	-75.8000	1352.0
21020020	PM	ALTAMIRA [21020020]	HUILA	ALTAMIRA	2.0667	-75.8000	1080.0
21025030	CO	ALTAMIRA EL GRIFO [21025030]	HUILA	ALTAMIRA	2.0792	-75.7362	1368.0
21010190	PM	ALTO DEL OBISPO [21010190]	HUILA	SAN AGUSTÍN	1.8498	-76.2501	1700.0
21110420	PG	ANTENA CERRO NEIVA [21110420]	HUILA	NEIVA	2.8500	-75.2000	2030.0
21040020	PM	ANTENA TV [21040020]	HUILA	AGRADO	2.3340	-75.7285	2210.0
21115020	SS	APTO BENITO SALAS [21115020]	HUILA	NEIVA	2.9488	-75.2931	439.0
21100140	PM	ARCADIA LA [21100140]	HUILA	ALGECIRAS	2.4348	-75.4009	1380.0
21050060	PM	ARGENTINA LA [21050060]	HUILA	LA ARGENTINA	2.1991	-75.9723	1500.0
21140030	PM	ARIZONA [21140030]	HUILA	BARAYA	3.2764	-74.9360	638.0
21145020	CO	ARIZONA [21145020]	HUILA	BARAYA	3.2764	-74.9360	638.0
21080090	PG	ARMENIA LA [21080090]	HUILA	TERUEL	2.8500	-75.5500	2700.0
21100150	PM	ARROLIMA [21100150]	HUILA	CAMPOALEGRE	2.6500	-75.3500	500.0
21010130	PM	BAJO FRUTAL [21010130]	HUILA	SAN AGUSTÍN	1.8103	-76.2438	1660.0
21145010	CO	BANQUITO EL [21145010]	HUILA	COLOMBIA	3.3833	-74.8500	800.0
21110070	PM	BARAYA [21110070]	HUILA	BARAYA	3.1503	-75.0573	615
21115110	AM	BARAYA [21115110]	HUILA	BARAYA	3.1500	-75.0667	635.0
21010230	PM	BETANIA TV [21010230]	HUILA	SAN AGUSTÍN	1.9058	-76.3043	1949.0
21045010	CO	BETULIA LA [21045010]	HUILA	AGRADO	2.2816	-75.7051	780.0
21110230	PM	BOCA LA [21110230]	HUILA	VILLAVIEJA	3.1833	-75.2667	430.0
21115120	CO	BOCA LA [21115120]	HUILA	VILLAVIEJA	3.1833	-75.2667	420.0
21090090	PM	BUENAVISTA [21090090]	HUILA	PALERMO	2.8333	-75.3500	520.0
21080120	PG	BUENAVISTA HDA [21080120]	HUILA	IQUIRA	2.6500	-75.7333	1720.0
21100010	PM	CAMPOALEGRE [21100010]	HUILA	CAMPOALEGRE	2.6833	-75.3333	490.0
21010140	PM	CANDELA LA [21010140]	HUILA	SAN AGUSTÍN	1.8644	-76.3608	1940.0
21080050	PM	CARACOL EL [21080050]	HUILA	TERUEL	2.7667	-75.6000	1080.0
21090140	PM	CARDO 2 EL [21090140]	HUILA	PALERMO	2.8833	-75.3833	480.0
21090100	PM	CARDO EL [21090100]	HUILA	PALERMO	2.8833	-75.3833	480.0
21130060	PM	CARMEN EL [21130060]	HUILA	PALERMO	3.0071	-75.5592	2250.0
21090060	PM	CASA BOMBAS 1 JUNC [21090060]	HUILA	PALERMO	2.7833	-75.3333	450.0
21090120	PM	CASA BOMBAS 2 [21090120]	HUILA	PALERMO	2.7833	-75.3667	455.0

CÓDIGO	TE	NOMBRE DE ESTACIÓN	DPTO.	NOMBRE MUNICIPIO	COORDENADAS		ELEV.
					LATITUD	LONGITUD	(msnm)
21110410	PG	COLONIA LA HDA [21110410]	HUILA	NEIVA	2.8000	-75.0833	2100
21060100	PM	CRISTALINA LA HDA [21060100]	HUILA	GIGANTE	2.3172	-75.5036	1460.0
21090020	PM	CUCHARO EL [21090020]	HUILA	PALERMO	2.8556	-75.3992	620.0
21035030	CO	CUEVA LOS GUARACHOS [21035030]	HUILA	ACEVEDO	1.5833	-76.0000	2225.0
21055020	CP	ESC AGR LA PLATA [21055020]	HUILA	LA PLATA	2.3783	-75.8913	1070.0
21010170	PM	ESC BELEN [21010170]	HUILA	ISNOS	1.9014	-76.1725	1700.0
21040070	PM	ESCALERETA LA [21040070]	HUILA	AGRADO	2.2167	-75.6833	700.0
21060080	PM	GARZÓN [21060080]	HUILA	GARZÓN	2.1901	-75.6051	990.0
21060030	PM	GIGANTE 1 [21060030]	HUILA	GIGANTE	2.4000	-75.5500	1332.0
21060070	PM	GIGANTE 2 [21060070]	HUILA	GIGANTE	2.3889	-75.5381	850.0
21110430	PG	GIRONDA LA HDA [21110430]	HUILA	NEIVA	2.9061	-75.1204	1060.0
21030050	PM	GUADALUPE [21030050]	HUILA	GUADALUPE	2.0263	-75.7754	893.0
21110440	PM	GUADUAL EL [21110440]	HUILA	RIVERA	2.7957	-75.2393	735.0
21050140	PM	HATILLO EL [21050140]	HUILA	TESALIA	2.5108	-75.6157	900.0
21110180	PM	HATO BOGOTÁ [21110180]	HUILA	TELLO	3.0360	-75.1597	591.0
21110040	PM	HATO MILAGRO [21110040]	HUILA	TELLO	3.0749	-75.1684	548.0
21080100	PM	HERRERAS LAS [21080100]	HUILA	TERUEL	2.7728	-75.6131	1800.0
21090130	PM	HIDROBETANIA [21090130]	HUILA	YAGUARA	2.7000	-75.4333	500.0
21095020	CP	HIDROBETANIA [21095020]	HUILA	CAMPOALEGRE	2.7134	-75.4249	500.0
21105060	CP	HIDROBETANIA [21105060]	HUILA	CAMPOALEGRE	2.7134	-75.4249	500.0
21060090	PM	HOBO EL [21060090]	HUILA	HOBO	2.5748	-75.4355	636.0
21010250	PM	HORNITOS [21010250]	HUILA	ISNOS	1.9778	-76.2535	2000.0
21010110	PM	INSFOPAL [21010110]	HUILA	PITALITO	1.8449	-76.0744	1265.0
21085020	CO	IQUIRA [21085020]	HUILA	IQUIRA	2.6522	-75.6293	1095.0
21030090	PM	JAGUA LA [21030090]	HUILA	GARZÓN	2.1696	-75.6777	755.0
21135050	CO	JULIA LA [21135050]	HUILA	NEIVA	3.0988	-75.5300	1691.0
21095010	CO	JUNCAL EL [21095010]	HUILA	PALERMO	2.8288	-75.3312	460.0
21090150	PM	JUNCALITO [21090150]	HUILA	PALERMO	2.8500	-75.3167	450.0
21010040	PM	LAGUNA LA [21010040]	HUILA	PITALITO	1.9615	-76.0857	1334.0
21115140	CO	LAURELES LOS [21115140]	HUILA	BARAYA	3.0940	-74.9211	2100.0
21145070	CO	LEGIOSA LA [21145070]	HUILA	COLOMBIA	3.3110	-74.7029	1476.0
21035040	CO	LIBANO EL [21035040]	HUILA	SUAZA	1.8684	-75.8278	1045.0
21140130	PG	LIBANO EL [21140130]	HUILA	COLOMBIA	3.6455	-74.6669	2000.0
21100030	PM	LLANO AZUL [21100030]	HUILA	CAMPOALEGRE	2.6500	-75.4000	600.0
21130170	PM	MANGA LA HDA [21130170]	HUILA	AIPE	3.2000	-75.2667	450.0
21115160	AM	MANILA LA HDA [21115160]	HUILA	BARAYA	3.1332	-75.0815	600.0
21010060	PM	MEDIANIA [21010060]	HUILA	ISNOS	2.0208	-76.1721	1763.0

CÓDIGO	TE	NOMBRE DE ESTACIÓN	DPTO.	NOMBRE MUNICIPIO	COORDENADAS		ELEV.
					LATITUD	LONGITUD	(msnm)
21050190	PM	MEREMBERG HDA [21050190]	HUILA	LA PLATA	2.2181	-76.1174	2220.0
21110160	PM	MESA REDONDA [21110160]	HUILA	TELLO	3.1185	-75.1990	500.0
21080040	PM	MICROCUENCA 1 [2108004]	HUILA	TERUEL	2.7667	-75.6000	1140.0
21080080	PG	MINA LA [21080080]	HUILA	TERUEL	2.7931	-75.6320	1800.0
21140080	PM	MIRAFLORES [21140080]	HUILA	COLOMBIA	3.4805	-74.7438	1049.0
21010210	PM	MONTECRISTO [21010210]	HUILA	PITALITO	1.7138	-76.1889	1674.0
21010220	PM	MORELIA [21010220]	HUILA	SALADOBLANCO	2.0659	-76.2017	1625.0
21050090	PM	NATAGA [21050090]	HUILA	NATAGA	2.5514	-75.8065	1545.0
21110460	PM	NEIVA [21110460]	HUILA	NEIVA	2.9398	-75.2429	593.0
21115040	CO	NEIVA GJA [21115040]	HUILA	NEIVA	2.9500	-75.3000	438.0
21100080	PM	NUEVO PARAISO [21100080]	HUILA	ALGECIRAS	2.6153	-75.2067	1525.0
21040030	PM	OPORAPA [21040030]	HUILA	OPORAPA	2.0322	-75.9954	1641.0
21130080	PM	ORGANOS [21130080]	HUILA	NEIVA	3.1208	-75.4923	800.0
21050150	PM	PAEZ PAICOL RADIO [21050150]	HUILA	PAICOL	2.4584	-75.7583	788.0
21115100	CO	PALACIO-VEGALARGA [21115100]	HUILA	NEIVA	2.9426	-75.0666	1100.0
21100120	PM	PALCO EL [21100120]	HUILA	CAMPOALEGRE	2.7000	-75.2333	880.0
21120030	PM	PALERMO [21120030]	HUILA	PALERMO	2.9041	-75.4433	600.0
21125020	CO	PALERMO [21125020]	HUILA	PALERMO	2.8822	-75.4451	550.0
21010100	PM	PALESTINA [21010100]	HUILA	PALESTINA	1.7248	-76.1333	1530.0
21090040	PM	PAPAGAYO HDA [21090040]	HUILA	PALERMO	2.7776	-75.3475	460.0
21120010	PM	PARAGUAY HDA [21120010]	HUILA	PALERMO	2.9778	-75.4854	1300.0
21015030	CP	PARQUE ARQUEOLÓGICO [21015030]	HUILA	SAN AGUSTÍN	1.8885	-76.2950	1800.0
21130050	PM	PÉREZ HDA [21130050]	HUILA	AIPE	3.2436	-75.2559	450.0
21100040	PM	PIRAVANTE HDA [21100040]	HUILA	CAMPOALEGRE	2.7333	-75.2833	500.0
21060040	PM	PITA LA [21060040]	HUILA	GARZÓN	2.2020	-75.5486	1330.0
21010030	PM	PITALITO [21010030]	HUILA	PITALITO	1.8667	-76.0167	1320.0
21015010	CO	PITALITO [21015010]	HUILA	PITALITO	1.8667	-76.0167	1320.0
21110330	PM	POLONIA [21110330]	HUILA	VILLAVIEJA	3.1874	-75.2184	429.0
21115070	CO	PORTAL EL [21115070]	HUILA	TELLO	3.0149	-75.0730	1300.0
21110090	PM	POTOSI [21110090]	HUILA	VILLAVIEJA	3.3873	-75.1700	400
21100100	PM	POTOSI HDA [21100100]	HUILA	CAMPOALEGRE	2.6968	-75.2989	550
21105040	CO	POTOSI HDA [21105040]	HUILA	CAMPOALEGRE	2.6968	-75.2989	680
21120040	PM	POTRERITO [21120040]	HUILA	AIPE	3.1411	-75.3795	850
21125030	CO	POTRERITO [21125030]	HUILA	AIPE	3.1411	-75.3795	850
21130110	PG	PRAGA [21130110]	HUILA	AIPE	3.2686	-75.4907	1085
21040040	PM	PTE BALSEADERO RAD [21040040]	HUILA	AGRADO	2.2324	-75.6486	688
21020050	PM	PTE SALADOBLANCO R [21020050]	HUILA	ELÍAS	1.9842	-76.0138	1046

CÓDIGO	TE	NOMBRE DE ESTACIÓN	DPTO.	NOMBRE MUNICIPIO	COORDENADAS		ELEV.
					LATITUD	LONGITUD	(msnm)
21110130	PG	PUEBLO NUEVO [21110130]	HUILA	NEIVA	2.8055	-75.0853	1580
21100090	PM	PUERTA COLORADA HD [21100090]	HUILA	ALGECIRAS	2.5667	-75.3000	1160
21030030	PM	RESINA [21030030]	HUILA	GUADALUPE	1.9167	-75.7000	1915
21035020	CO	RESINA [21035020]	HUILA	GUADALUPE	1.9139	-75.6790	2102
21060110	PM	RIOLORO [21060110]	HUILA	GIGANTE	2.3215	-75.6247	721
21120130	PM	RIONEGRO HDA [21120130]	HUILA	PALERMO	2.9119	-75.4261	560
21110210	PM	RIVERA-CUCOLANDIA [21110210]	HUILA	RIVERA	2.7667	-75.2333	600
21105050	CP	ROSALES LOS [21105050]	HUILA	CAMPOALEGRE	2.6163	-75.4179	553
21030060	PM	SAN ADOLFO [21030060]	HUILA	ACEVEDO	1.7143	-76.0221	1345
21010070	PM	SAN AGUSTÍN [21010070]	HUILA	SAN AGUSTÍN	1.8500	-76.3000	1720
21140390	PM	SAN ALFONSO [21140390]	HUILA	VILLAVIEJA	3.3734	-75.1101	420
21145040	AM	SAN ALFONSO [21145040]	HUILA	VILLAVIEJA	3.3734	-75.1101	440
21030110	PM	SAN ANTONIO DEL PE [21030110]	HUILA	GARZÓN	2.0778	-75.6819	1190
21120080	PM	SAN FRANCISCO [21120080]	HUILA	NEIVA	3.0833	-75.4333	852
21125040	CO	SAN FRANCISCO [21125040]	HUILA	NEIVA	3.0833	-75.4333	800
21140040	PG	SAN ISIDRO [21140040]	HUILA	CABRERA	4.5833	-74.6333	1960
21115060	CO	SAN JOSE [21115060]	HUILA	VILLAVIEJA	3.3292	-75.1841	400
21010050	PM	SAN JOSE DE ISNOS [21010050]	HUILA	ISNOS	1.9316	-76.2149	1720
21080110	PG	SAN JOSE HDA [21080110]	HUILA	TESALIA	2.5787	-75.7187	1000
21140100	PM	SAN JUANITO [21140100]	HUILA	VILLAVIEJA	3.4230	-75.1046	368
21130040	PM	SAN LUIS [21130040]	HUILA	NEIVA	3.0806	-75.4847	1140
21130070	PM	SAN PEDRO [21130070]	HUILA	AIPE	3.2500	-75.4500	850
21085030	CO	SAN RAFAEL [21085030]	HUILA	TERUEL	2.7604	-75.5827	1030
21050160	PM	SAN VICENTE [21050160]	HUILA	LA PLATA	2.3171	-76.0101	1745
21090110	PM	SANTA BÁRBARA [21090110]	HUILA	PALERMO	2.8655	-75.3399	454
21015020	CO	SEVILLA [21015020]	HUILA	PITALITO	1.8217	-76.1248	1320
21110310	PM	SINAI HDA [21110310]	HUILA	VILLAVIEJA	3.3333	-75.2000	400
21140060	PM	STA. ANA [21140060]	HUILA	COLOMBIA	3.5833	-74.7500	1100
21145080	CO	STA. ANA [21145080]	HUILA	COLOMBIA	3.5898	-74.7029	1410
21100070	PG	STA. BÁRBARA FCA [21100070]	HUILA	ALGECIRAS	2.5617	-75.2351	1750
21090030	PM	STA. CECILIA [21090030]	HUILA	PALERMO	2.9167	-75.3167	450
21110400	PG	STA. HELENA [21110400]	HUILA	NEIVA	2.8511	-75.1082	1160
21115050	AM	STA. HELENA [21115050]	HUILA	BARAYA	3.1333	-75.0667	1735
21125010	CO	STA. MARÍA [21125010]	HUILA	SANTA MARÍA	2.9426	-75.5838	1300
21080070	PM	STA. ROSA HDA [21080070]	HUILA	YAGUARA	2.6369	-75.5809	650
21145060	CO	STO. DOMINGO [21145060]	HUILA	BARAYA	3.2307	-74.9434	1275
21140140	PM	STO. DOMINGO D C [21140140]	HUILA	BARAYA	3.2500	-74.8667	1300

CÓDIGO	TE	NOMBRE DE ESTACIÓN	DPTO.	NOMBRE MUNICIPIO	COORDENADAS		ELEV.
					LATITUD	LONGITUD	(msnm)
21010200	PM	SULCHOMISCO [21010200]	HUILA	SAN AGUSTÍN	1.8536	-76.3176	1800
21010180	PM	TABOR EL [21010180]	HUILA	PALESTINA	1.6953	-76.1552	1700
21040050	PM	TARQUI [21040050]	HUILA	TARQUI	2.1088	-75.8228	830
21110380	PM	TELLO [21110380]	HUILA	TELLO	3.0500	-75.1500	520
21085040	CO	TERPEYA COLOMBIA [21085040]	HUILA	IQUIRA	2.6628	-75.6656	1650
21050100	PM	TESALIA 1 [21050100]	HUILA	TESALIA	2.4833	-75.7167	990
21050290	PM	TESALIA 2 [21050290]	HUILA	TESALIA	2.4913	-75.7285	825
21140110	PM	TOMO EL [21140110]	HUILA	VILLAVIEJA	3.3454	-75.0974	440
21120090	PM	TOTUMO EL [21120090]	HUILA	PALERMO	2.8703	-75.4910	700
21080130	PG	TOTUMO EL HDA [21080130]	HUILA	IQUIRA	2.5938	-75.6212	790
21040060	PM	TRES ESQUINAS [21040060]	HUILA	PITAL	2.1994	-75.7794	805
21140010	PM	VENADO EL [21140010]	HUILA	COLOMBIA	3.2916	-74.9040	584
21110290	PM	VICTORIA LA [21110290]	HUILA	VILLAVIEJA	3.3496	-75.1703	400
21010160	PM	VILLA FÁTIMA [21010160]	HUILA	SAN AGUSTÍN	1.8996	-76.3933	1724
21115150	CO	VILLARANZA [21115150]	HUILA	NEIVA	2.9333	-75.2000	740
21115080	CO	VILLAVIEJA FFCC [21115080]	HUILA	VILLAVIEJA	3.2225	-75.2163	430
21020040	PM	VISO EL [21020040]	HUILA	ELÍAS	2.0154	-75.9078	1070
21120100	PM	VOLCÁN EL [21120100]	HUILA	PALERMO	2.8650	-75.5666	1105
21105020	CO	VUELTA LA [21105020]	HUILA	CAMPOALEGRE	2.6500	-75.3667	500
21080030	PM	YAGUARA [21080030]	HUILA	YAGUARA	2.6696	-75.5289	600
21050170	PM	YARUMAL [21050170]	HUILA	NATAGA	2.6524	-75.7589	1950
21110120	PM	YEGUERA LA [21110120]	HUILA	VILLAVIEJA	3.3053	-75.2008	400
21065040	CO	ZULUAGA [21065040]	HUILA	GARZÓN	2.2525	-75.5294	1270

Nota: PM: Pluviométrica
PG: Pluviográfica
SS: Sinóptica Secundaria
CO: Climatológica Ordinaria
CP: Climatológica Principal
AM: Agrometereológica

Fuente: IDEAM

Tabla 52 Estaciones medidoras de temperatura localizadas en el Departamento del Huila.

CODIGO	TE	NOMBRE DE ESTACIÓN	DPTO.	NOMBRE MUNICIPIO	COORDENADAS		ELEV. (msnm)
					LATITUD	LONGITUD	
21115110	AM	BARAYA [21115110]	HUILA	BARAYA	3.1500	-75.0667	635.0
21115160	AM	MANILA LA HDA [21115160]	HUILA	BARAYA	3.1332	-75.0815	600.0
21105030	CO	ALGECIRAS [21105030]	HUILA	ALGECIRAS	2.5217	-75.3223	1150.0
21025020	CO	ALTAMIRA [21025020]	HUILA	ALTAMIRA	2.0667	-75.8000	1352.0
21025030	CO	ALTAMIRA EL GRIFO [21025030]	HUILA	ALTAMIRA	2.0792	-75.7362	1368.0
21115020	SS	APTO BENITO SALAS [21115020]	HUILA	NEIVA	2.9488	-75.2931	439.0
21145020	CO	ARIZONA [21145020]	HUILA	BARAYA	3.2764	-74.9360	638.0
21145010	CO	BANQUITO EL [21145010]	HUILA	COLOMBIA	3.3833	-74.8500	800.0
21045010	CO	BETULIA LA [21045010]	HUILA	AGRADO	2.2816	-75.7051	780.0
21115120	CO	BOCA LA [21115120]	HUILA	VILLAVIEJA	3.1833	-75.2667	420.0
21035030	CO	CUEVA LOS GUARACHOS [21035030]	HUILA	ACEVEDO	1.5833	-76.0000	2225.0
21055020	CP	ESC AGR LA PLATA [21055020]	HUILA	LA PLATA	2.3783	-75.8913	1070.0
21095020	CP	HIDROBETANIA [21095020]	HUILA	CAMPOALEGRE	2.7134	-75.4249	500.0
21105060	CP	HIDROBETANIA [21105060]	HUILA	CAMPOALEGRE	2.7134	-75.4249	500.0
21085020	CO	IQUIRA [21085020]	HUILA	IQUIRA	2.6522	-75.6293	1095.0
21135050	CO	JULIA LA [21135050]	HUILA	NEIVA	3.0988	-75.5300	1691.0
21095010	CO	JUNCAL EL [21095010]	HUILA	PALERMO	2.8288	-75.3312	460.0
21115140	CO	LAURELES LOS [21115140]	HUILA	BARAYA	3.0940	-74.9211	2100.0
21145070	CO	LEGIOSA LA [21145070]	HUILA	COLOMBIA	3.3110	-74.7029	1476.0
21035040	CO	LIBANO EL [21035040]	HUILA	SUAZA	1.8684	-75.8278	1045.0
21115040	CO	NEIVA GJA [21115040]	HUILA	NEIVA	2.9500	-75.3000	438.0
21115100	CO	PALACIO-VEGALARGA [21115100]	HUILA	NEIVA	2.9426	-75.0666	1100.0
21125020	CO	PALERMO [21125020]	HUILA	PALERMO	2.8822	-75.4451	550.0
21015030	CP	PARQUE ARQUEOLOGIC [21015030]	HUILA	SAN AGUSTIN	1.8885	-76.2950	1800.0
21115070	CO	PORTAL EL [21115070]	HUILA	TELLO	3.0149	-75.0730	1300.0
21105040	CO	POTOSI HDA [21105040]	HUILA	CAMPOALEGRE	2.6968	-75.2989	680
21035020	CO	RESINA [21035020]	HUILA	GUADALUPE	1.9139	-75.6790	2102
21105050	CP	ROSALES LOS [21105050]	HUILA	CAMPOALEGRE	2.6163	-75.4179	553
21145040	AM	SAN ALFONSO [21145040]	HUILA	VILLAVIEJA	3.3734	-75.1101	440
21125040	CO	SAN FRANCISCO [21125040]	HUILA	NEIVA	3.0833	-75.4333	800
21115060	CO	SAN JOSE [21115060]	HUILA	VILLAVIEJA	3.3292	-75.1841	400
21085030	CO	SAN RAFAEL [21085030]	HUILA	TERUEL	2.7604	-75.5827	1030
21015020	CO	SEVILLA [21015020]	HUILA	PITALITO	1.8217	-76.1248	1320
21145080	CO	STA ANA [21145080]	HUILA	COLOMBIA	3.5898	-74.7029	1410
21115050	AM	STA HELENA [21115050]	HUILA	BARAYA	3.1333	-75.0667	1735
21125010	CO	STA MARIA [21125010]	HUILA	SANTA MARIA	2.9426	-75.5838	1300
21145060	CO	STO DOMINGO [21145060]	HUILA	BARAYA	3.2307	-74.9434	1275
21085040	CO	TERPEYA COLOMBIA [21085040]	HUILA	IQUIRA	2.6628	-75.6656	1650
21115150	CO	VILLARANZA [21115150]	HUILA	NEIVA	2.9333	-75.2000	740
21115080	CO	VILLAVIEJA FFCC [21115080]	HUILA	VILLAVIEJA	3.2225	-75.2163	430
21105020	CO	VUELTA LA [21105020]	HUILA	CAMPOALEGRE	2.6500	-75.3667	500
21065040	CO	ZULUAGA [21065040]	HUILA	GARZON	2.2525	-75.5294	1270

Nota:
SS: Sinoptica Secundaria
CO: Climatológica Ordinaria
CP: Climatológica Principal
AM: Agrometereológica

Fuente: IDEAM

A continuación, en la **Ilustración 134**, se muestran las estaciones de medición de lluvias y temperatura ubicadas en la zona del Departamento del Huila.

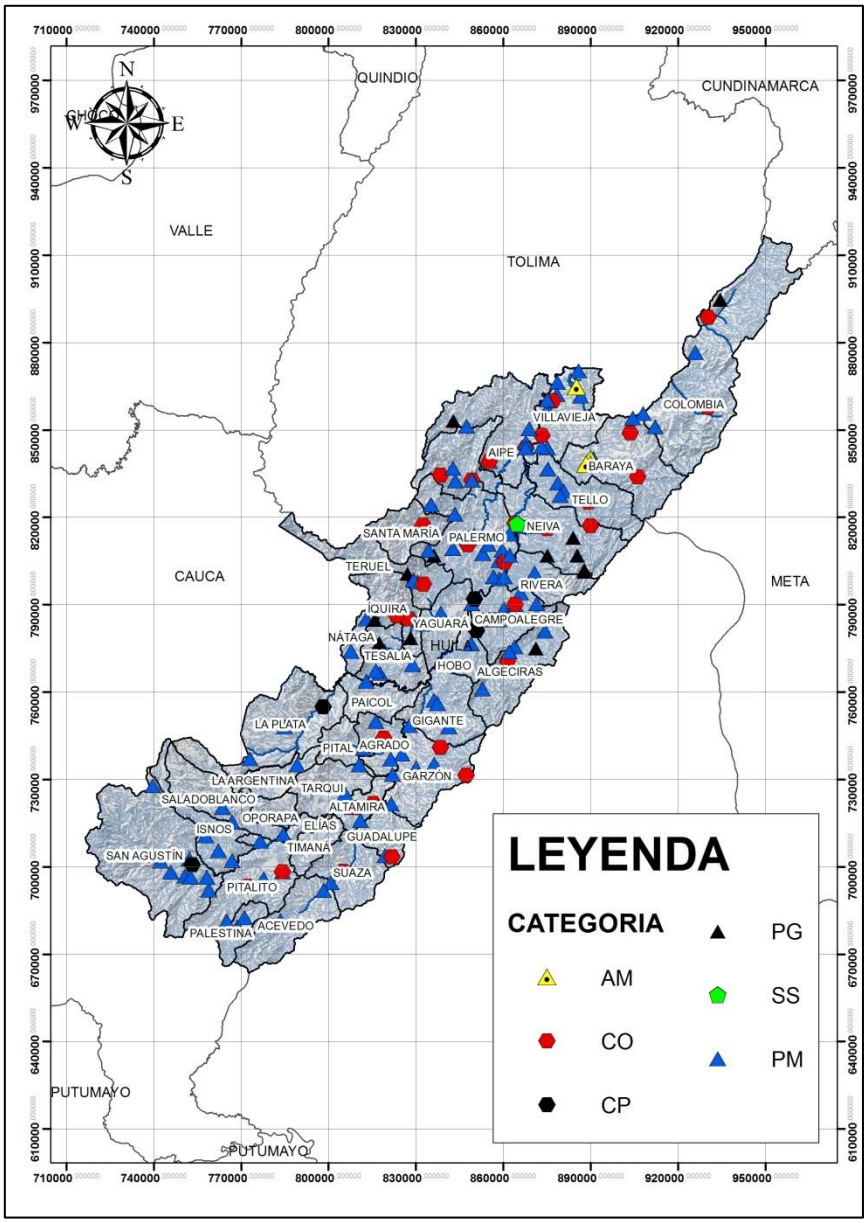


Ilustración 134 Localización de las estaciones de medición en la zona de estudio
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

Para determinar las condiciones de precipitación y temperatura de las cuencas dentro del Departamento, debe contemplarse los registros mayores o iguales a 15 años. Dentro del presente estudio, se contempla el análisis de la distribución temporal y espacial de los diferentes parámetros climatológicos tomando los valores medios mensuales multianuales originados desde la información diaria disponible, así como su distribución espacial por medio de las isolíneas de precipitación y temperatura (Isoyetas e Isotermas), y a partir de las relaciones de cada parámetro con la altura, para las demás variables en estudio.

5.2 CARACTERIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE LAS VARIABLES CLIMATOLÓGICAS.

Para hacer el análisis de los parámetros de precipitación y temperatura de la zona de estudio, es necesario revisar la calidad de la información existente. Por esta razón se debe revisar que las series de datos sean continuas, suficientes y homogéneas.

Dentro de los estudios de la climatología, la precipitación se considerada el parámetro determinante en la regulación, dinámica y generación del recurso hídrico, tanto superficial como subterránea. La precipitación funge como el componente más importante del ciclo hidrológico, garantizando la recarga de los acuíferos, la escorrentía superficial y la evaporación, y permitiendo el desarrollo de los seres vivos sobre el planeta. Se origina en la atmósfera, a partir de las nubes, cargadas de humedad que alcanzan su punto de saturación y se precipitan ayudadas por la fuerza de la gravedad. Cuando la velocidad del viento ascendente es alta, evita que las gotas de agua precipiten y las eleva hasta que se forma el granizo y vence la fuerza de gravedad precipitando en forma sólida. Por las razones expuestas anteriormente se tomará la precipitación, como la variable climatológica representativa de cada estación. Es decir que el tratamiento de datos y la selección de las estaciones en la zona de proyecto, se realizara sobre la variable mencionada anteriormente.

A continuación, se definen tres (3) criterios para seleccionar las estaciones, con las cuales se va a realizar el análisis de precipitación y temperatura sobre la zona de proyecto.

5.2.1 SELECCIÓN DE LAS ESTACIONES SEGÚN EL ÁREA DE INFLUENCIA MEDIANTE POLÍGONOS DE THIESSEN.

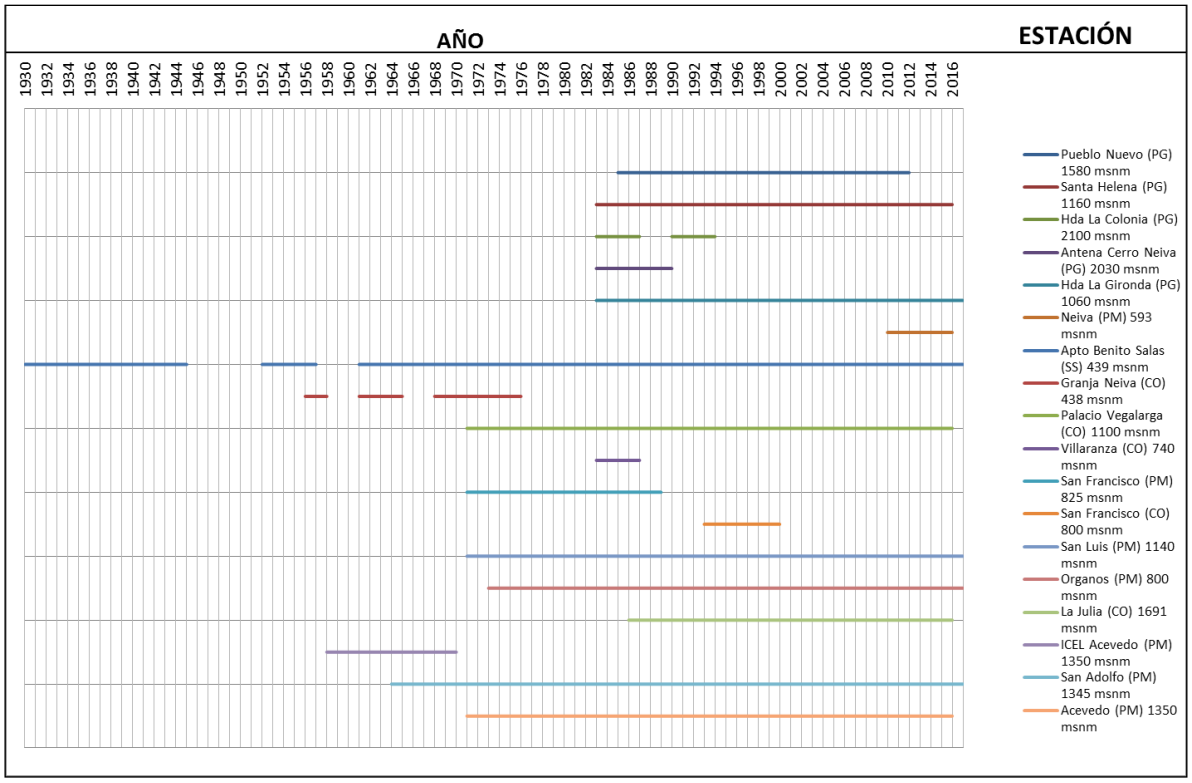
Para el análisis climático de la zona de estudio y las áreas de drenaje aferentes a esta, se recopiló la información de la zona en el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Sin embargo, como el análisis climatológico e hidrológico será realizado a nivel departamental, serán seleccionadas las estaciones de medición presentes a lo largo del mismo.

5.2.2 SELECCIÓN DE LAS ESTACIONES SEGÚN PERIODO DE REGISTRO Y TIPO DE ESTACIÓN.

Como segundo criterio de selección se analizó el periodo de registro de las estaciones para los parámetros de Precipitación y Temperatura.

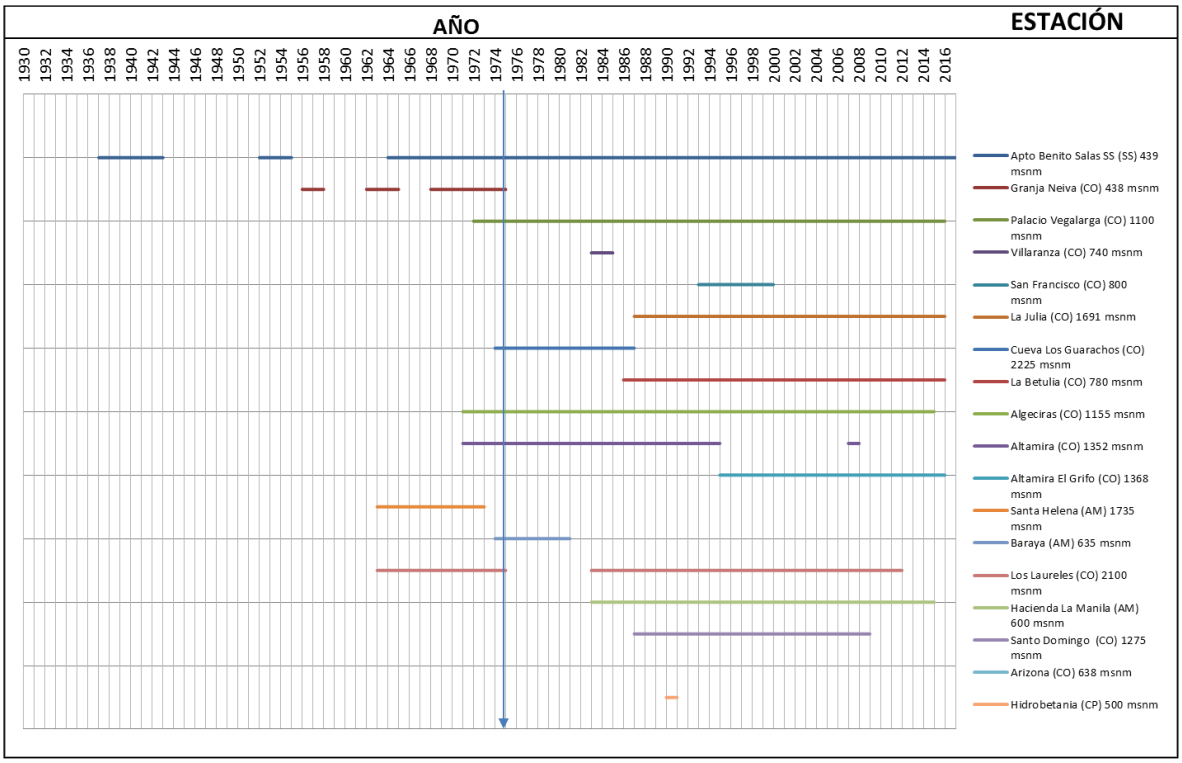
En la **Gráfica 116**, se presenta el grafico del periodo de registro de un grupo de estaciones de precipitación, para observar el periodo de registro de las demás estaciones, remitirse al **Anexo F-3-1 Registro Precipitación.**



Gráfica 116 Diagrama de barras de registros históricos de precipitación total mensual en estaciones medidoras de precipitación.
Fuente: IDEAM

De igual forma, se presenta el grafico del periodo de registro de un grupo de estaciones medidoras de temperatura en la **Gráfica 117** para observar el periodo de registro de las demás estaciones, se debe remitirse al **Anexo F-3-2 Registro Temperatura**.

Una vez se revisó el periodo de registro de cada una de las estaciones; bajo este criterio de selección, se descartaron 41 estaciones medidoras de precipitación y 16 de temperatura, debido a que el periodo de registro era muy insuficiente para realizar los análisis posteriores con el fin de presentar la recarga a nivel anual. Posteriormente se realizó el análisis de homogeneidad y consistencia para finalmente escoger las estaciones representativas de la zona de estudio.



Gráfica 117 Diagrama de barras de registros históricos de temperatura media mensual en estaciones medidoras de temperatura.
Fuente: IDEAM

5.2.3 COMPLEMENTACIÓN DE DATOS A NIVEL DIARIO.

Para determinar los valores diarios faltantes en las estaciones seleccionadas para el análisis pluviométrico y de temperatura en el Departamento del Huila, se establecieron correlaciones entre cada estación con datos faltantes y las estaciones localizadas en los alrededores de la misma, según disponibilidad, con el fin de estimar los valores diarios faltantes.

Utilizando la información diaria de las estaciones objeto de estudio, se revisó cuales tenían datos faltantes. Posterior a esto se definió como criterio para correlacionar las estaciones la ubicación de las mismas, es decir, se realizó la correlación de la estación que tenía datos faltantes con las estaciones más cercanas. Una vez se tenían los valores de R^2 para cada caso se usaban las ecuaciones con mejor coeficiente de correlación para completar los datos faltantes.

Debido a la cantidad de estaciones que se manejan y en base al criterio expuesto anteriormente, se dividió el Departamento en seis (6) grupos de análisis, en base a la cercanía de las estaciones. En la **Ilustración 135** se presentan estos grupos.

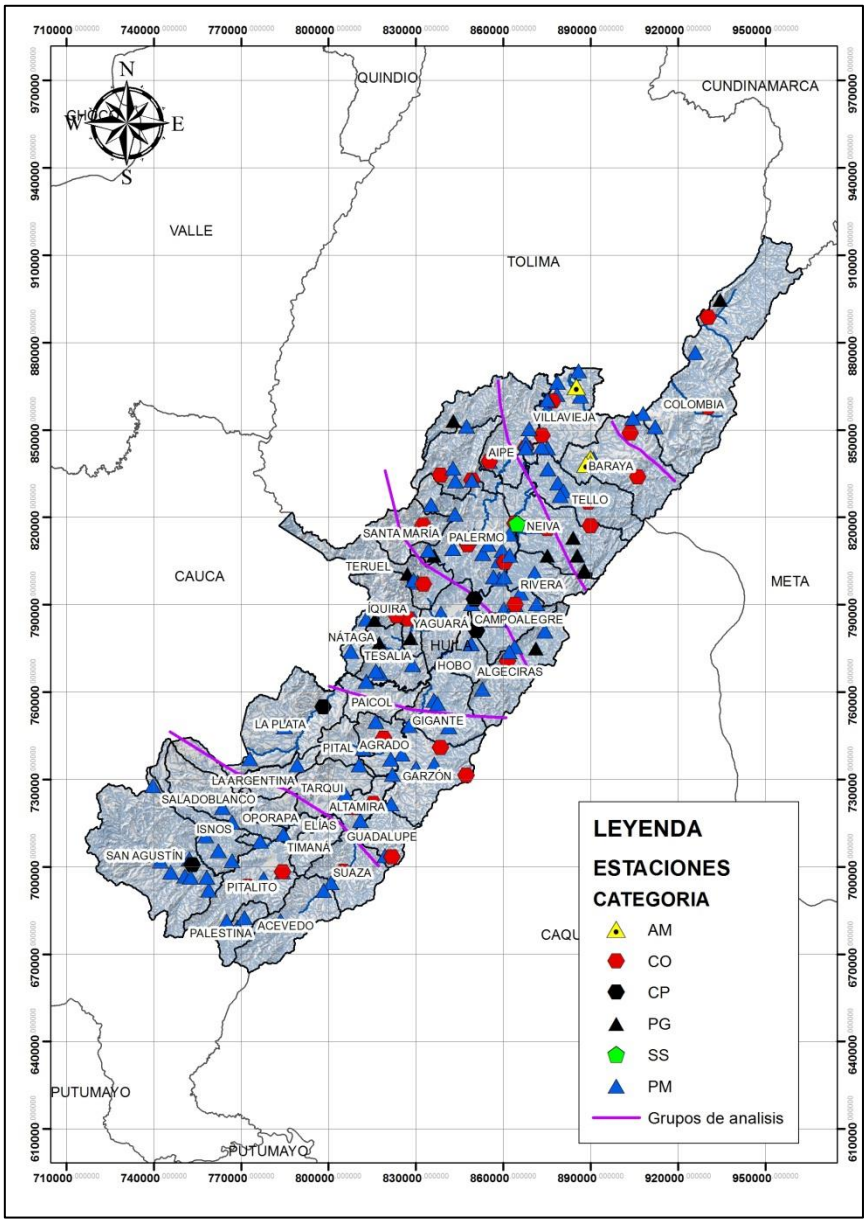


Ilustración 135 Grupos de Análisis Para la Complementación de Datos Diarios
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

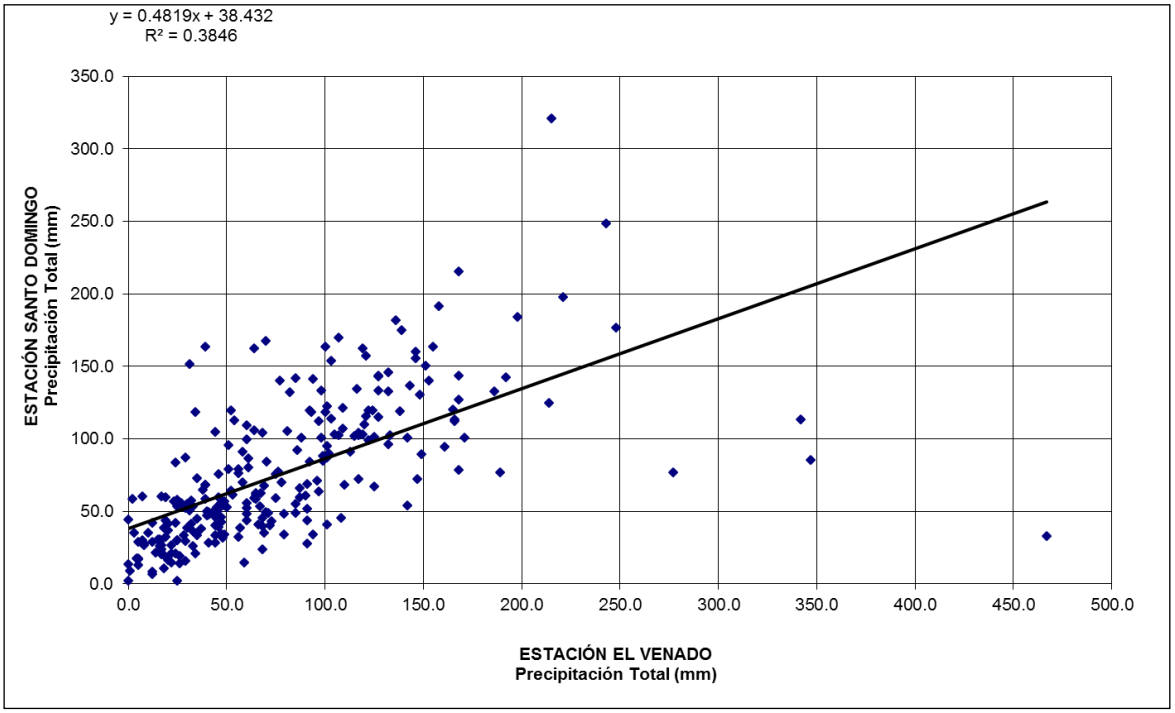
La complementación de datos solamente se realizó con registros diarios, debido a que, teniendo esta información completa, los datos a nivel mensual y anual quedaba también quedaba completa.

Como la ecuación de la línea de tendencia es lineal, ésta siempre va a presentar un corte en el eje “y” sobre el grafico de correlación. Debido a esto al reemplazar un valor de cero sobre la ecuación, siempre se va a tener un valor a completar diferente de cero. Sin embargo, para los casos en que la estación con datos presentaba valores iguales a cero, se asumió el mismo valor para complementar los datos faltantes.

Hay que tener en cuenta que el coeficiente de correlación para datos tomados a nivel diario es muy bajo, debido a que estos datos presentan una variación significativa.

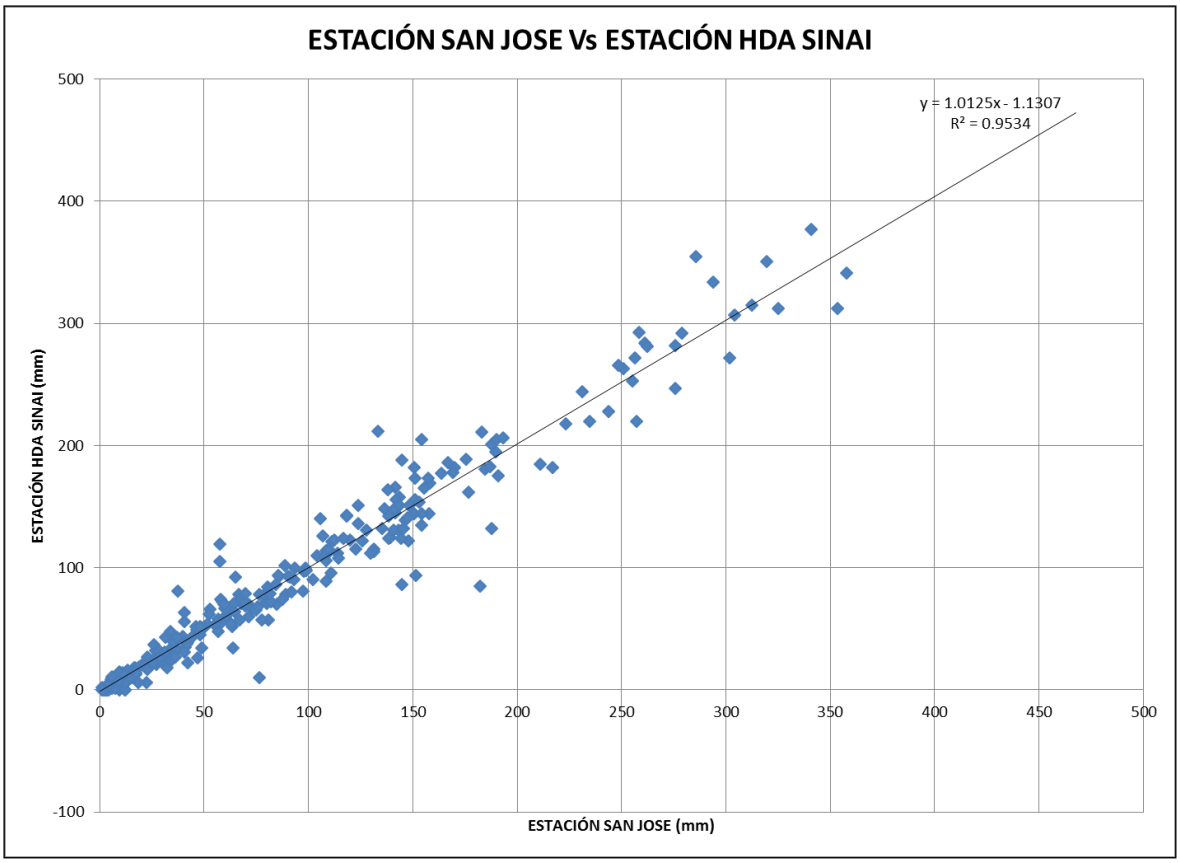
A continuación, se presentan la correlación realizada para una de las estaciones de precipitación de cada uno de los grupos de análisis en la **Gráfica 118** a la **Gráfica 123** Además también se presenta la correlación para una de las estaciones de medición de temperatura en la **Gráfica 124**.

Para las demás estaciones, se debe remitirse al **Anexo F-4 Correlaciones Estaciones de medición, Gráfica 118, Gráfica 119, Gráfica 120, Gráfica 121, Gráfica 122** e **Gráfica 123** en el caso de la precipitación; y la **Gráfica 124** en el caso de la temperatura.



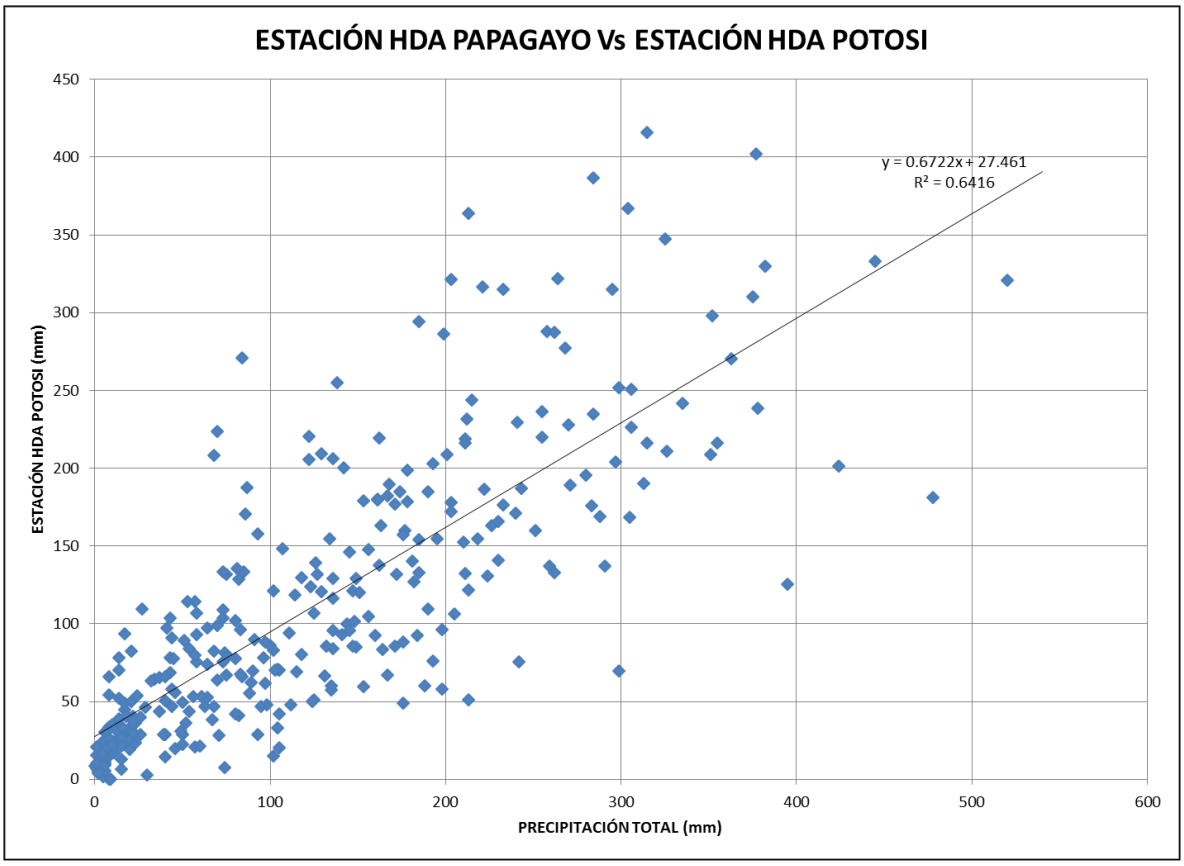
Gráfica 118 Análisis de Correlación - Precipitación Media Mensual con Datos Originales - Estación El Venado vs. Estación Santo Domingo – Grupo 1
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

La correlación entre las estaciones El venado y Santo Domingo presentada en la **Gráfica 118** generó como resultado un coeficiente de correlación de 0.3846, el cual puede considerarse como un valor bajo, pero con el fin de no perder la información registrada en la estación El Venado, dada su localización en la zona de estudio, y teniendo en cuenta que la complementación de los datos se hace a nivel diario, lo cual implica que es un poco difícil predecir la lluvia diaria en una determinada zona, se decidió tomar la correlación entre las estaciones seleccionadas y complementar de esta manera los valores diarios.



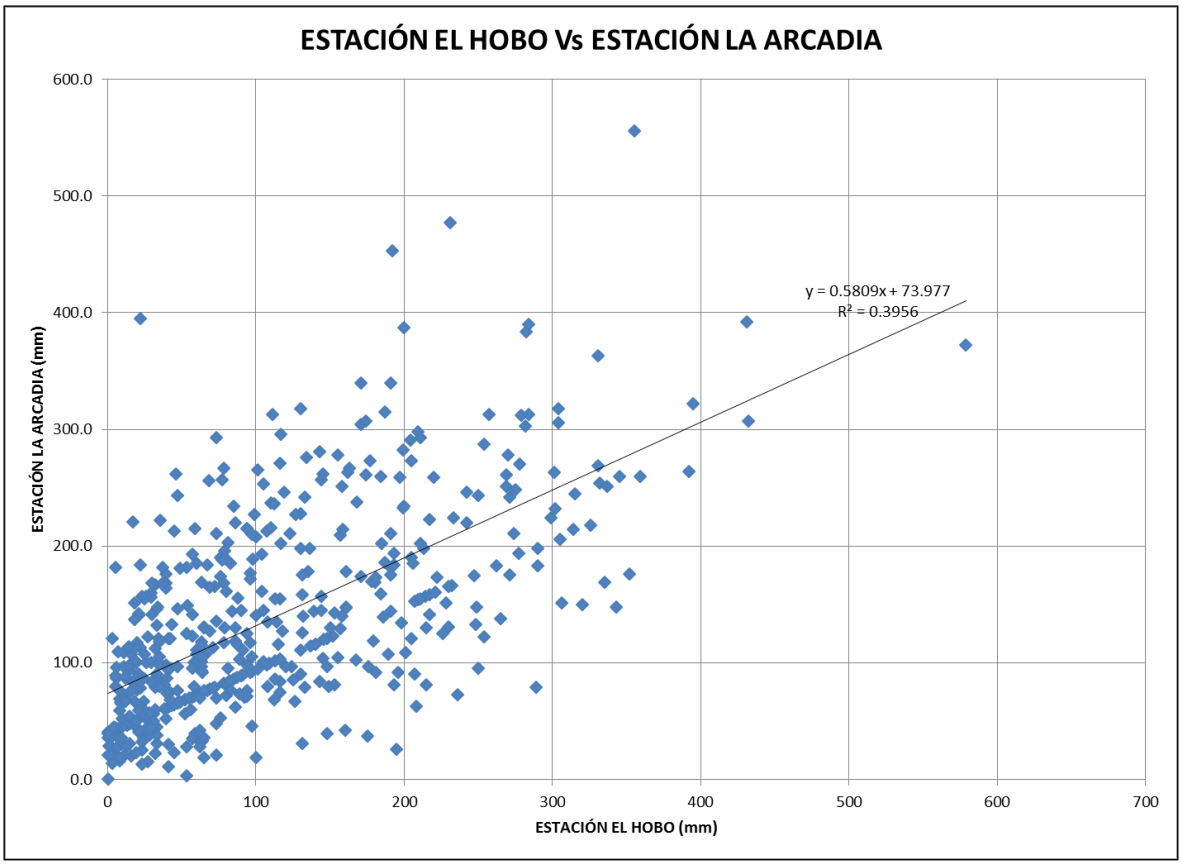
Gráfica 119 Análisis de Correlación - Precipitación Media Mensual con Datos Originales - Estación El San José vs. Estación Hda Sinaí – Grupo 2
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

La correlación entre las estaciones San José y Hda Sinaí presentada en la **Gráfica 119** generó como resultado un coeficiente de correlación de 0.9534, el cual es un valor muy óptimo para poder realizar la complementación de datos diarios faltantes



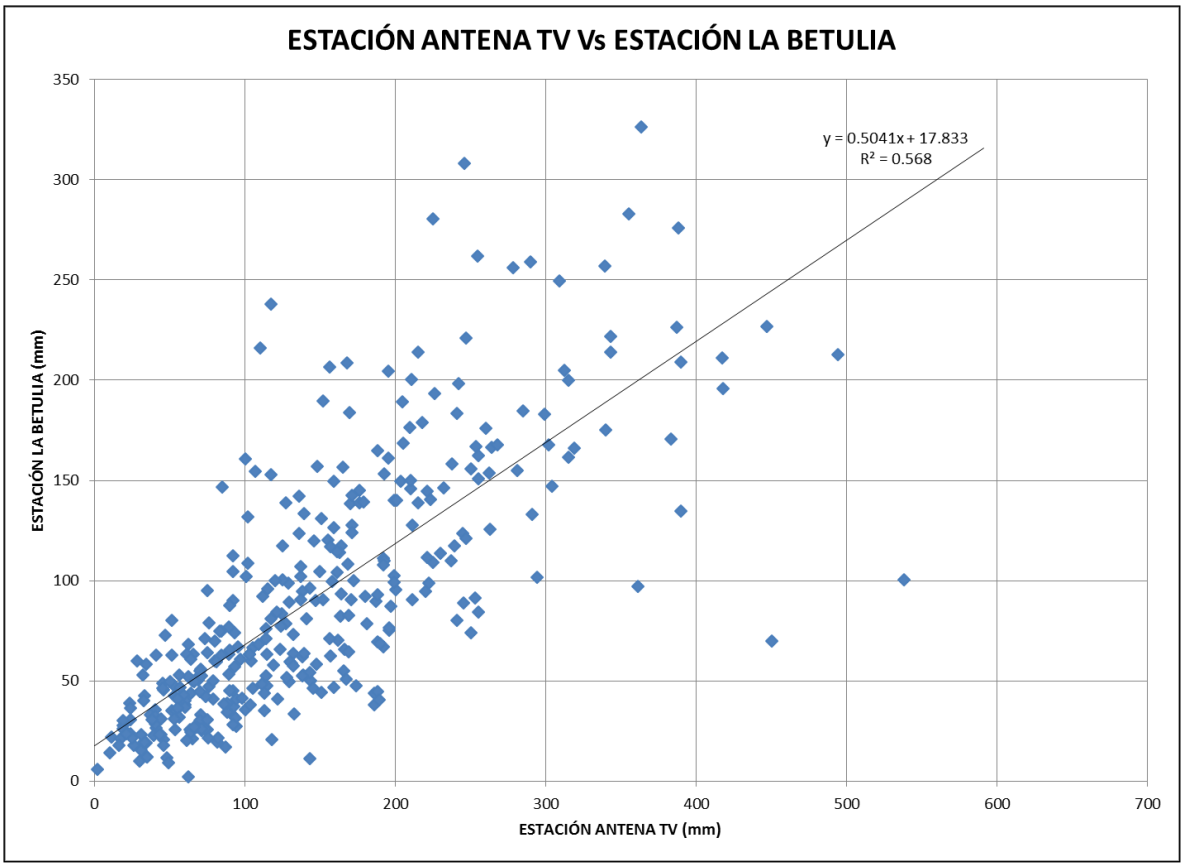
Gráfica 120 Análisis de Correlación - Precipitación Media Mensual con Datos Originales - Estación El Hda Papagayo vs. Estación Hda Potosí – Grupo 3
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

La correlación entre las estaciones El Hda. Papagayo y Hda. Potosí presentada en la **Gráfica 120** generó como resultado un coeficiente de correlación de 0.6416, el cual puede considerarse como un valor medio - alto, pero con el fin de no perder la información registrada en la estación Hda. Papagayo, dada su localización en la zona de estudio, y teniendo en cuenta que la complementación de los datos se hace a nivel diario, lo cual implica que es un poco difícil predecir la lluvia diaria en una determinada zona, se decidió tomar la correlación entre las estaciones seleccionadas y complementar de esta manera los valores diarios.



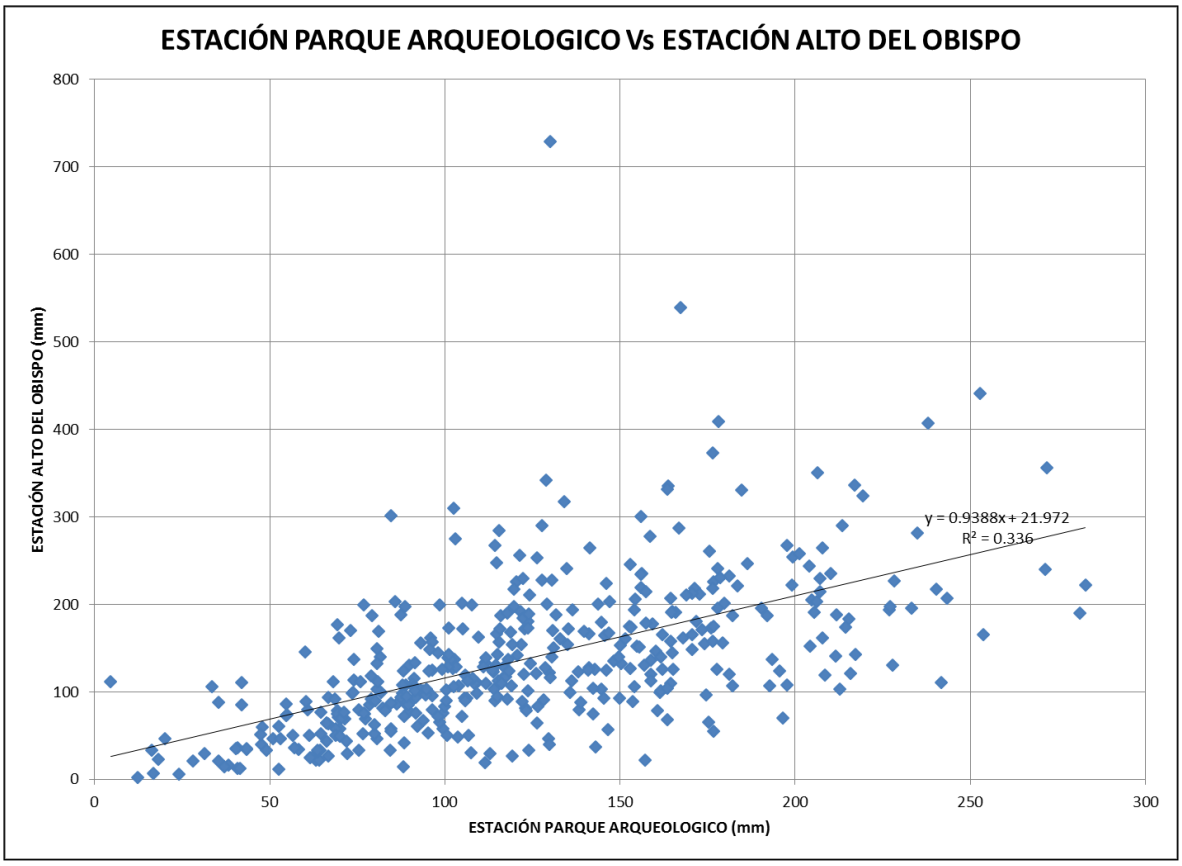
Gráfica 121 Análisis de Correlación - Precipitación Media Mensual con Datos Originales - Estación El Hobo vs. Estación La Arcadia – Grupo 4
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

La correlación entre las estaciones El Hobo y La Arcadia presentada en la **Gráfica 121** generó como resultado un coeficiente de correlación de 0.3956, el cual puede considerarse como un valor medio, pero con el fin de no perder la información registrada en la estación El Hobo dada su localización en la zona de estudio, y teniendo en cuenta que la complementación de los datos se hace a nivel diario, lo cual implica que es un poco difícil predecir la lluvia diaria en una determinada zona, se decidió tomar la correlación entre las estaciones seleccionadas y complementar de esta manera los valores diarios.



Gráfica 122 Análisis de Correlación - Precipitación Media Mensual con Datos Originales - Estación El Antena TV vs. Estación La Betulia – Grupo 5
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

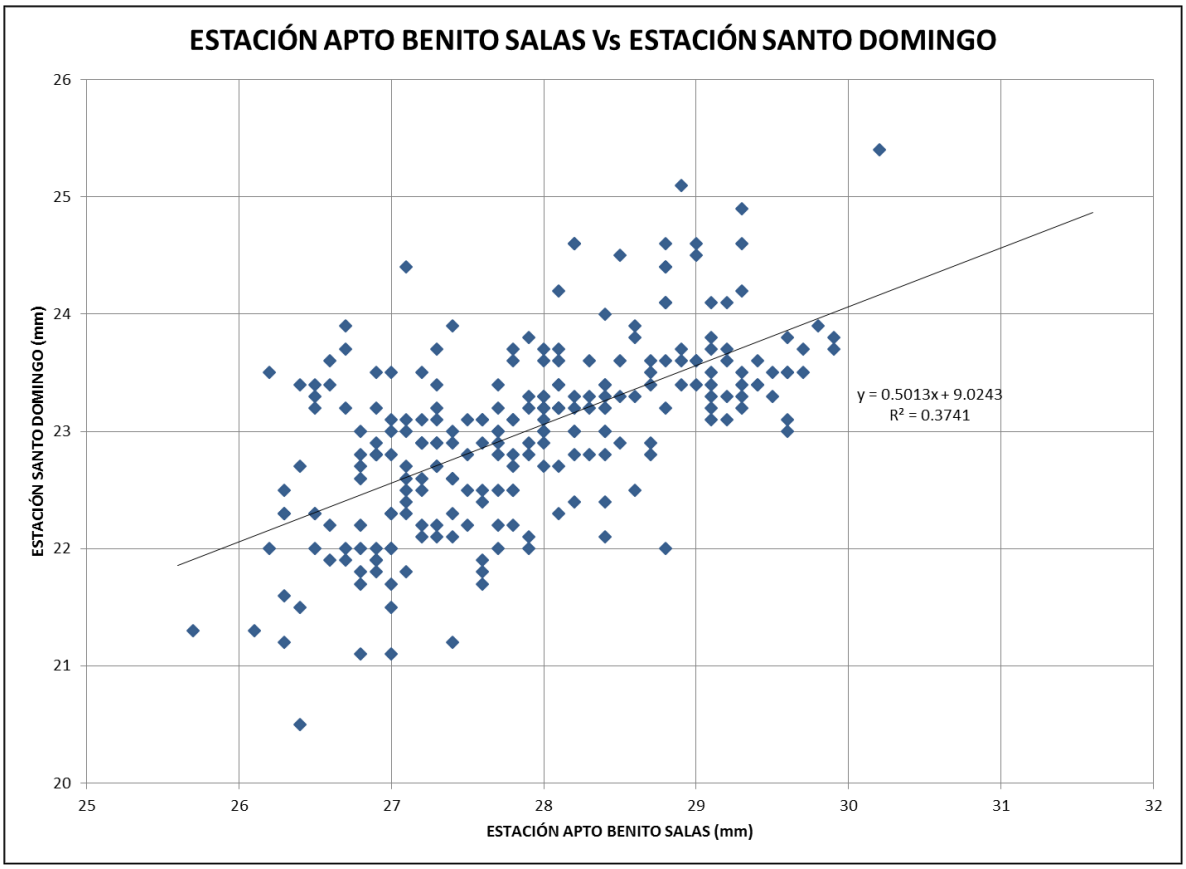
La correlación entre las estaciones San Antena TV y la Betulia presentada en la **Gráfica 122** generó como resultado un coeficiente de correlación de 0.568, el cual es un valor bueno para poder realizar la complementación de datos diarios faltantes.



Gráfica 123 Análisis de Correlación - Precipitación Media Mensual con Datos Originales - Estación Parque Arqueológico vs. Estación Alto del Obispo – Grupo 6.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

La correlación entre las estaciones Parque Arqueológico y Alto del Obispo presentada en la **Gráfica 123** generó como resultado un coeficiente de correlación de 0.336, el cual puede considerarse como un valor bajo, pero con el fin de no perder la información registrada en la estación El Parque Arqueológico dada su localización en la zona de estudio, y teniendo en cuenta que la complementación de los datos se hace a nivel diario, lo cual implica que es un poco difícil predecir la lluvia diaria en una determinada zona, se decidió tomar la correlación entre las estaciones seleccionadas y complementar de esta manera los valores diarios.

En el caso de las estaciones de medición de la temperatura, si bien se dio prioridad al criterio de la cercanía entre las estaciones para realizar las correlaciones y complementar los datos diarios, debido a que sólo quedaron 26 estaciones para todo el Departamento, se realizó el ejercicio de correlación entre todas ellas. A continuación en la **Gráfica 124** se presenta una de estas.



Gráfica 124 Análisis de Correlación Temperatura Media Mensual con Datos Originales - Estación Parque Apto Benito Salas vs. Estación Santo Domingo.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

La correlación entre las estaciones Apto Benito Salas y Santo Domingo presentada en la **Gráfica 124** generó como resultado un coeficiente de correlación de 0.3741, el cual puede considerarse como un valor medio, pero con el fin de no perder la información registrada en la estación Apto Benito Salas dada su localización en la zona de estudio, se decidió tomar la correlación entre las estaciones seleccionadas y complementar de esta manera los valores diarios.

5.2.4 ANÁLISIS DE HOMOGENEIDAD Y CONSISTENCIA

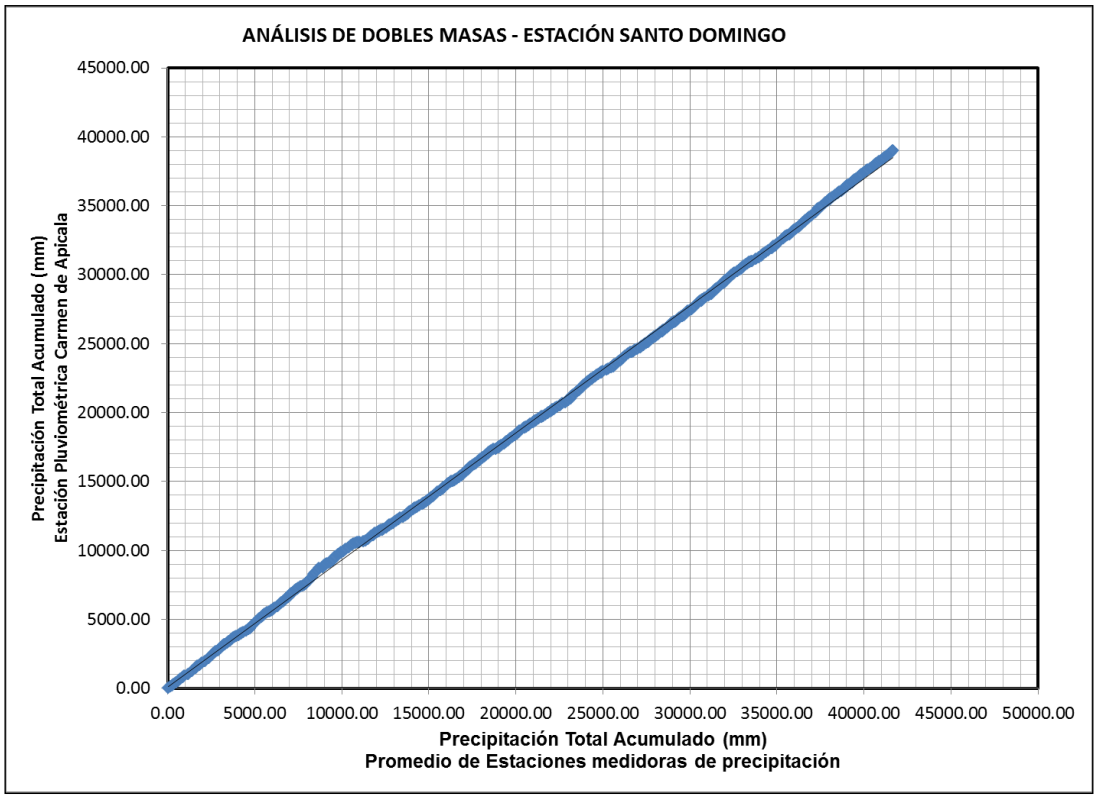
Se realizó el análisis de homogeneidad y consistencia de los datos, únicamente sobre la variable de precipitación total, la cual se tomó como representativa de todas las estaciones. Esto se hizo con el fin de observar si había alguna anomalía en las mediciones de las estaciones, teniendo en cuenta el periodo de registro que se recibió de cada estación.

Los periodos de registro de las estaciones, se definieron en un solo intervalo de comparación el cual está definido entre enero de 1975 a diciembre de 2016. Durante este periodo se realizó el análisis de dobles masas correspondiente a los valores de precipitación total dentro de cada intervalo de registro.

En un análisis de dobles masas, la pendiente de la recta que resulta debe ser igual para todo el periodo de registro analizado. En caso contrario, existen problemas en la toma de datos de la estación que se está analizando. Usualmente, para tener una mayor validez, el análisis de dobles masas se hace entre la estación que se analiza y el promedio de los valores de las estaciones a su alrededor.

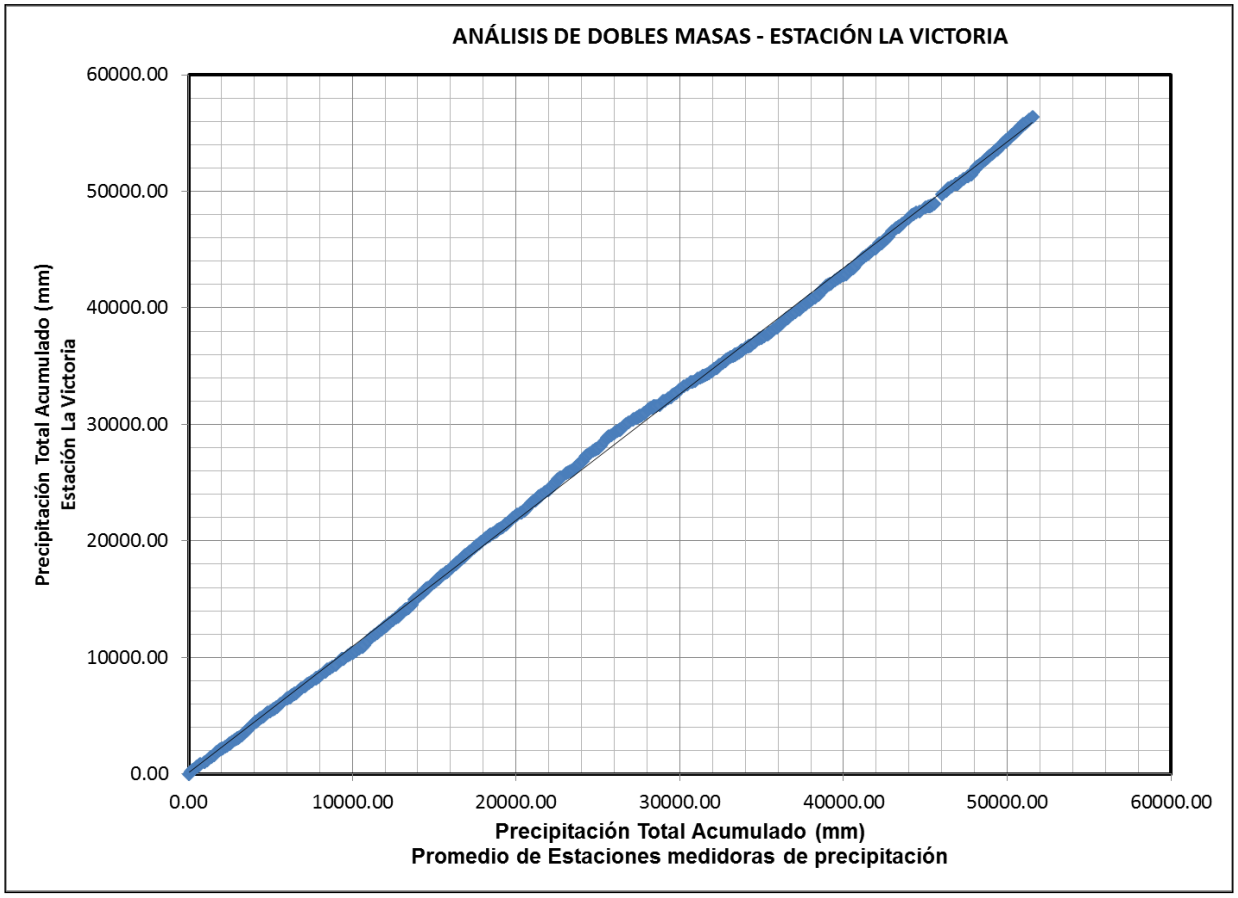
Se realizó el análisis de dobles masas para todas las estaciones de precipitación, con el fin de verificar la homogeneidad de los datos, bajo la consideración que las estaciones adyacentes a la estación analizada tenían condiciones hidrológicas homogéneas (debido a la cercanía entre estaciones lo anterior se debe cumplir).

A continuación se presentan las gráficas de análisis de dobles masas de una estación por cada grupo de análisis. Para evidenciar todas en su totalidad, se debe remitir al **Anexo F-5 Análisis de doble masas de estaciones – Gráfica 125 a Gráfica 130**



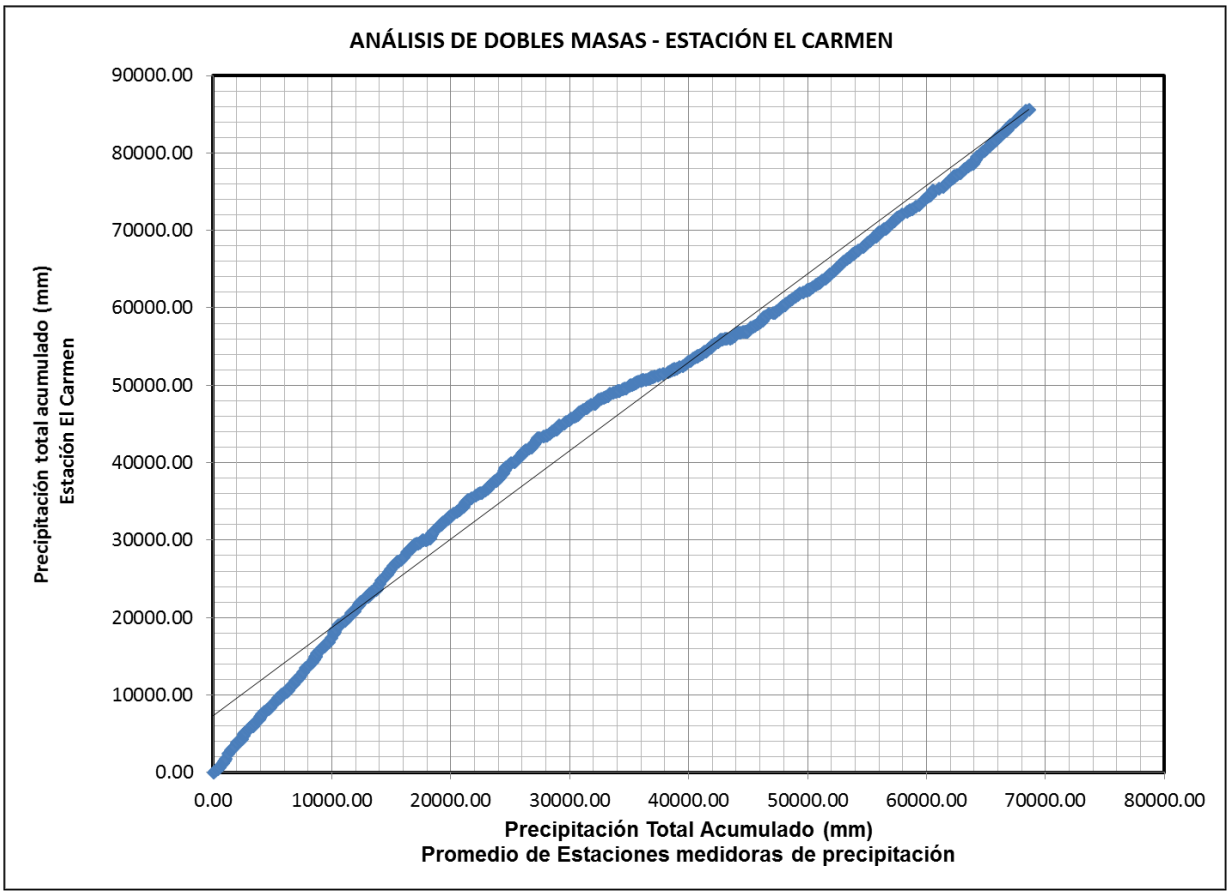
Gráfica 125 Análisis de Dobles Masas Estación Santo Domingo – Grupo No. 1
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

En la **Gráfica 125** se observa que hay una relación lineal constante entre los valores de precipitación total acumulados de la estación Santo Domingo y los valores de precipitación total promedio acumulada de las estaciones adyacentes. Con lo cual se puede decir que, para esta estación, no se presentan anomalías en los datos tomados por el aparato y por lo tanto los datos climatológicos arrojados por esta estación son homogéneos, consistentes y aceptables.



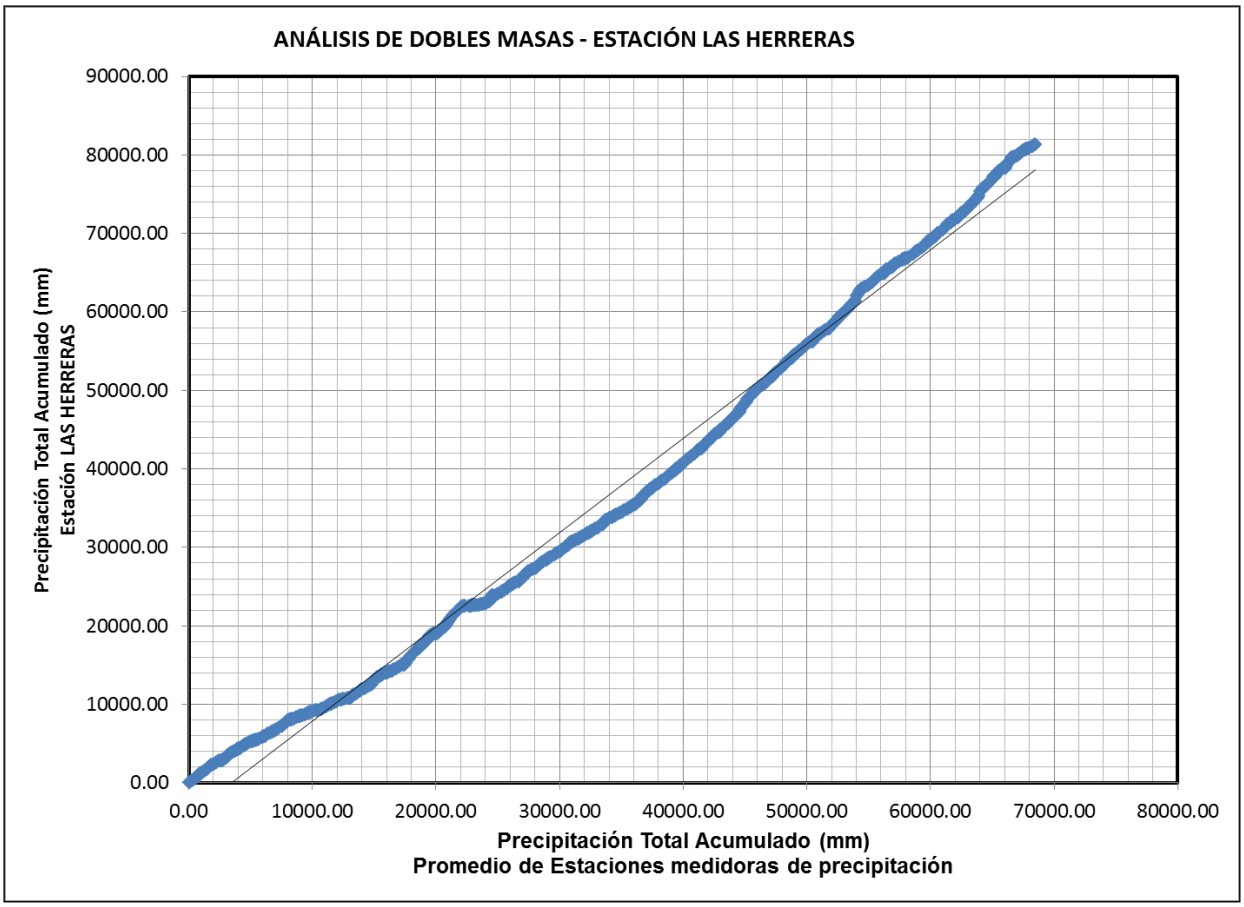
Gráfica 126 Análisis de Dobles Masas Estación La Victoria – Grupo No. 2
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

En la **Gráfica 126** se observa que hay una relación lineal constante entre los valores de precipitación total acumulados de la estación La Victoria y los valores de precipitación total promedio acumulada de las estaciones adyacentes. Con lo cual se puede decir que, para esta estación, no se presentan anomalías en los datos tomados por el aparato y por lo tanto los datos climatológicos arrojados por esta estación son homogéneos, consistentes y aceptables.



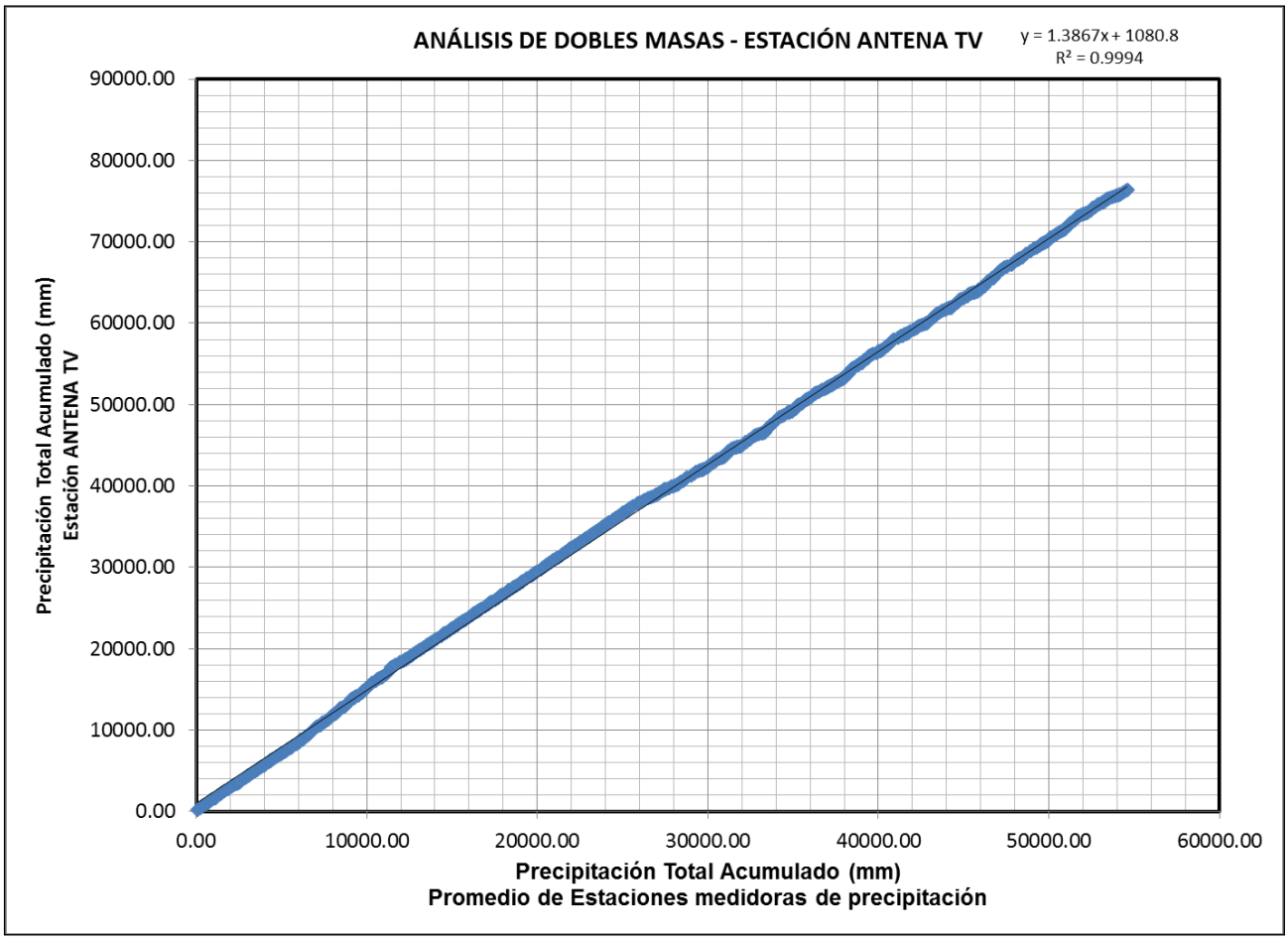
Gráfica 127 Análisis de Dobles Masas Estación El Carmen – Grupo No. 3
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

En la **Gráfica 127** se observa que no hay una relación lineal constante entre los valores de precipitación total acumulados de la estación El Carmen y los valores de precipitación total acumulados las estaciones adyacentes, ya que se presentan múltiples pendientes y adicional no hay una tendencia de los datos definida. Se observa, entonces, que hay anomalías en los datos registrados. Lo anterior se puede presentar por un cambio en las condiciones del aparato registrador, cambio de lugar de la estación, o modificaciones en el método de obtención de los datos. Por las razones anteriormente expuestas esta estación queda descartada para análisis posteriores.



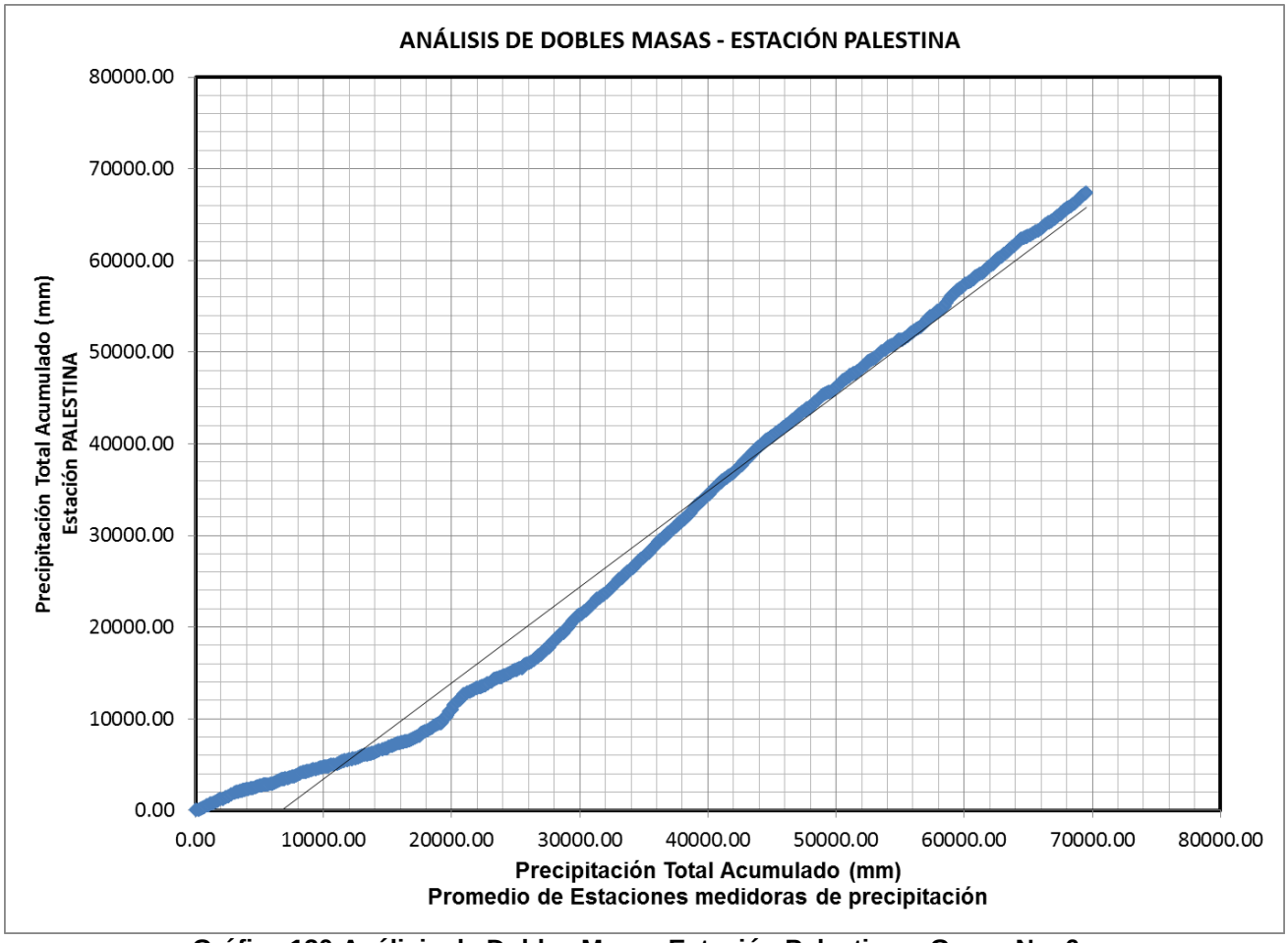
Gráfica 128 Análisis de Dobles Masas Estación Las Herreras – Grupo No. 4
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

En la **Gráfica 128** se observa que no hay una relación lineal constante entre los valores de precipitación total acumulados de la estación Las Herreras y los valores de precipitación total acumulados las estaciones adyacentes, ya que se presentan múltiples pendientes y adicional no hay una tendencia de los datos definida. Se observa, entonces, que hay anomalías en los datos registrados. Lo anterior se puede presentar por un cambio en las condiciones del aparato registrador, cambio de lugar de la estación, o modificaciones en el método de obtención de los datos. Por las razones anteriormente expuestas esta estación queda descartada para análisis posteriores.



Gráfica 129 Análisis de Dobles Masas Estación Antena TV – Grupo No. 5
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

En la **Gráfica 129** se observa que hay una relación lineal constante entre los valores de precipitación total acumulados de la estación Antena TV y los valores de precipitación total promedio acumulada de las estaciones adyacentes. Con lo cual se puede decir que, para esta estación, no se presentan anomalías en los datos tomados por el aparato y por lo tanto los datos climatológicos arrojados por esta estación son homogéneos, consistentes y aceptables.



Gráfica 130 Análisis de Dobles Masas Estación Palestina – Grupo No. 6
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

En la **Gráfica 130** se observa que no hay una relación lineal constante entre los valores de precipitación total acumulados de la estación Palestina y los valores de precipitación total acumulados las estaciones adyacentes, ya que se presentan múltiples pendientes y adicional no hay una tendencia de los datos definida. Se observa, entonces, que hay anomalías en los datos registrados. Lo anterior se puede presentar por un cambio en las condiciones del aparato registrador, cambio de lugar de la estación, o modificaciones en el método de obtención de los datos. Por las razones anteriormente expuestas esta estación queda descartada para análisis posteriores.

Finalmente, se presentan en la **Tabla 53** las estaciones medidoras de precipitación escogidas, mientras que en la **Tabla 54** se presentan las estaciones medidoras de temperatura. En la **Ilustración 136** se presenta la ubicación de las estaciones con las cuales se va a realizar el estudio.

Tabla 53 Estaciones medidoras de Precipitación Seleccionadas

CÓDIGO	TE	NOMBRE DE ESTACIÓN	DPTO.	NOMBRE MUNICIPIO	COORDENADAS		ELEV.
					LATITUD	LONGITUD	(msnm)
21030080	PM	ACEVEDO [21030080]	HUILA	ACEVEDO	1.8084	-75.8898	1350.0
21040010	PM	AGRADO [21040010]	HUILA	AGRADO	2.2500	-75.7667	905.0
21105030	CO	ALGECIRAS [21105030]	HUILA	ALGECIRAS	2.5217	-75.3223	1150.0
21040020	PM	ANTENA TV [21040020]	HUILA	AGRADO	2.3340	-75.7285	2210.0
21115020	SS	APTO BENITO SALAS [21115020]	HUILA	NEIVA	2.9488	-75.2931	439.0
21100140	PM	ARCADIA LA [21100140]	HUILA	ALGECIRAS	2.4348	-75.4009	1380.0
21140030	PM	ARIZONA [21140030]	HUILA	BARAYA	3.2764	-74.9360	638.0
21010130	PM	BAJO FRUTAL [21010130]	HUILA	SAN AGUSTÍN	1.8103	-76.2438	1660.0
21110070	PM	BARAYA [21110070]	HUILA	BARAYA	3.1503	-75.0573	615
21010230	PM	BETANIA TV [21010230]	HUILA	SAN AGUSTÍN	1.9058	-76.3043	1949.0
21045010	CO	BETULIA LA [21045010]	HUILA	AGRADO	2.2816	-75.7051	780.0
21090090	PM	BUENAVISTA [21090090]	HUILA	PALERMO	2.8333	-75.3500	520.0
21010140	PM	CANDELA LA [21010140]	HUILA	SAN AGUSTÍN	1.8644	-76.3608	1940.0
21090060	PM	CASA BOMBAS 1 JUNC [21090060]	HUILA	PALERMO	2.7833	-75.3333	450.0
21090120	PM	CASA BOMBAS 2 [21090120]	HUILA	PALERMO	2.7833	-75.3667	455.0
21060100	PM	CRISTALINA LA HDA [21060100]	HUILA	GIGANTE	2.3172	-75.5036	1460.0
21090020	PM	CUCHARO EL [21090020]	HUILA	PALERMO	2.8556	-75.3992	620.0
21055020	CP	ESC AGR LA PLATA [21055020]	HUILA	LA PLATA	2.3783	-75.8913	1070.0
21010170	PM	ESC BELEN [21010170]	HUILA	ISNOS	1.9014	-76.1725	1700.0
21040070	PM	ESCALERETA LA [21040070]	HUILA	AGRADO	2.2167	-75.6833	700.0
21060080	PM	GARZÓN [21060080]	HUILA	GARZÓN	2.1901	-75.6051	990.0
21060070	PM	GIGANTE 2 [21060070]	HUILA	GIGANTE	2.3889	-75.5381	850.0
21110430	PG	GIRONDA LA HDA [21110430]	HUILA	NEIVA	2.9061	-75.1204	1060.0
21030050	PM	GUADALUPE [21030050]	HUILA	GUADALUPE	2.0263	-75.7754	893.0
21110440	PM	GUADUAL EL [21110440]	HUILA	RIVERA	2.7957	-75.2393	735.0
21050140	PM	HATILLO EL [21050140]	HUILA	TESALIA	2.5108	-75.6157	900.0
21110180	PM	HATO BOGOTÁ [21110180]	HUILA	TELLO	3.0360	-75.1597	591.0
21110040	PM	HATO MILAGRO [21110040]	HUILA	TELLO	3.0749	-75.1684	548.0
21060090	PM	HOBO EL [21060090]	HUILA	HOBO	2.5748	-75.4355	636.0
21010250	PM	HORNITOS [21010250]	HUILA	ISNOS	1.9778	-76.2535	2000.0
21010110	PM	INSFOPAL [21010110]	HUILA	PITALITO	1.8449	-76.0744	1265.0
21085020	CO	IQUIRA [21085020]	HUILA	IQUIRA	2.6522	-75.6293	1095.0
21030090	PM	JAGUA LA [21030090]	HUILA	GARZÓN	2.1696	-75.6777	755.0
21135050	CO	JULIA LA [21135050]	HUILA	NEIVA	3.0988	-75.5300	1691.0
21095010	CO	JUNCAL EL [21095010]	HUILA	PALERMO	2.8288	-75.3312	460.0

CÓDIGO	TE	NOMBRE DE ESTACIÓN	DPTO.	NOMBRE MUNICIPIO	COORDENADAS		ELEV.
					LATITUD	LONGITUD	(msnm)
21010040	PM	LAGUNA LA [21010040]	HUILA	PITALITO	1.9615	-76.0857	1334.0
21115140	CO	LAURELES LOS [21115140]	HUILA	BARAYA	3.0940	-74.9211	2100.0
21035040	CO	LIBANO EL [21035040]	HUILA	SUAZA	1.8684	-75.8278	1045.0
21140130	PG	LIBANO EL [21140130]	HUILA	COLOMBIA	3.6455	-74.6669	2000.0
21115160	AM	MANILA LA HDA [21115160]	HUILA	BARAYA	3.1332	-75.0815	600.0
21010060	PM	MEDIANIA [21010060]	HUILA	ISNOS	2.0208	-76.1721	1763.0
21050190	PM	MEREMBERG HDA [21050190]	HUILA	LA PLATA	2.2181	-76.1174	2220.0
21110160	PM	MESA REDONDA [21110160]	HUILA	TELLO	3.1185	-75.1990	500.0
21140080	PM	MIRAFLORES [21140080]	HUILA	COLOMBIA	3.4805	-74.7438	1049.0
21010210	PM	MONTECRISTO [21010210]	HUILA	PITALITO	1.7138	-76.1889	1674.0
21010220	PM	MORELIA [21010220]	HUILA	SALADOBLANCO	2.0659	-76.2017	1625.0
21050090	PM	NATAGA [21050090]	HUILA	NATAGA	2.5514	-75.8065	1545.0
21100080	PM	NUEVO PARAISO [21100080]	HUILA	ALGECIRAS	2.6153	-75.2067	1525.0
21040030	PM	OPORAPA [21040030]	HUILA	OPORAPA	2.0322	-75.9954	1641.0
21130080	PM	ORGANOS [21130080]	HUILA	NEIVA	3.1208	-75.4923	800.0
21115100	CO	PALACIO-VEGALARGA [21115100]	HUILA	NEIVA	2.9426	-75.0666	1100.0
21100120	PM	PALCO EL [21100120]	HUILA	CAMPOALEGRE	2.7000	-75.2333	880.0
21125020	CO	PALERMO [21125020]	HUILA	PALERMO	2.8822	-75.4451	550.0
21090040	PM	PAPAGAYO HDA [21090040]	HUILA	PALERMO	2.7776	-75.3475	460.0
21120010	PM	PARAGUAY HDA [21120010]	HUILA	PALERMO	2.9778	-75.4854	1300.0
21015030	CP	PARQUE ARQUEOLÓGICO [21015030]	HUILA	SAN AGUSTÍN	1.8885	-76.2950	1800.0
21130050	PM	PÉREZ HDA [21130050]	HUILA	AIPE	3.2436	-75.2559	450.0
21060040	PM	PITA LA [21060040]	HUILA	GARZÓN	2.2020	-75.5486	1330.0
21110330	PM	POLONIA [21110330]	HUILA	VILLAVIEJA	3.1874	-75.2184	429.0
21115070	CO	PORTAL EL [21115070]	HUILA	TELLO	3.0149	-75.0730	1300.0
21110090	PM	POTOSI [21110090]	HUILA	VILLAVIEJA	3.3873	-75.1700	400
21100100	PM	POTOSI HDA [21100100]	HUILA	CAMPOALEGRE	2.6968	-75.2989	550
21120040	PM	POTRERITO [21120040]	HUILA	AIPE	3.1411	-75.3795	850
21130110	PG	PRAGA [21130110]	HUILA	AIPE	3.2686	-75.4907	1085
21040040	PM	PTE BALSEADERO RAD [21040040]	HUILA	AGRADO	2.2324	-75.6486	688
21020050	PM	PTE SALADOBLANCO R [21020050]	HUILA	ELÍAS	1.9842	-76.0138	1046
21110130	PG	PUEBLO NUEVO [21110130]	HUILA	NEIVA	2.8055	-75.0853	1580
21060110	PM	RIOLORO [21060110]	HUILA	GIGANTE	2.3215	-75.6247	721
21120130	PM	RIONEGRO HDA [21120130]	HUILA	PALERMO	2.9119	-75.4261	560
21105050	CP	ROSALES LOS [21105050]	HUILA	CAMPOALEGRE	2.6163	-75.4179	553
21030060	PM	SAN ADOLFO [21030060]	HUILA	ACEVEDO	1.7143	-76.0221	1345
21140390	PM	SAN ALFONSO [21140390]	HUILA	VILLAVIEJA	3.3734	-75.1101	420

CÓDIGO	TE	NOMBRE DE ESTACIÓN	DPTO.	NOMBRE MUNICIPIO	COORDENADAS		ELEV.
					LATITUD	LONGITUD	(msnm)
21115060	CO	SAN JOSE [21115060]	HUILA	VILLAVIEJA	3.3292	-75.1841	400
21010050	PM	SAN JOSE DE ISNOS [21010050]	HUILA	ISNOS	1.9316	-76.2149	1720
21080110	PG	SAN JOSE HDA [21080110]	HUILA	TESALIA	2.5787	-75.7187	1000
21140100	PM	SAN JUANITO [21140100]	HUILA	VILLAVIEJA	3.4230	-75.1046	368
21130040	PM	SAN LUIS [21130040]	HUILA	NEIVA	3.0806	-75.4847	1140
21085030	CO	SAN RAFAEL [21085030]	HUILA	TERUEL	2.7604	-75.5827	1030
21050160	PM	SAN VICENTE [21050160]	HUILA	LA PLATA	2.3171	-76.0101	1745
21090110	PM	SANTA BÁRBARA [21090110]	HUILA	PALERMO	2.8655	-75.3399	454
21015020	CO	SEVILLA [21015020]	HUILA	PITALITO	1.8217	-76.1248	1320
21110310	PM	SINAI HDA [21110310]	HUILA	VILLAVIEJA	3.3333	-75.2000	400
21145080	CO	STA. ANA [21145080]	HUILA	COLOMBIA	3.5898	-74.7029	1410
21100070	PG	STA. BÁRBARA FCA [21100070]	HUILA	ALGECIRAS	2.5617	-75.2351	1750
21090030	PM	STA. CECILIA [21090030]	HUILA	PALERMO	2.9167	-75.3167	450
21110400	PG	STA. HELENA [21110400]	HUILA	NEIVA	2.8511	-75.1082	1160
21125010	CO	STA. MARÍA [21125010]	HUILA	SANTA MARÍA	2.9426	-75.5838	1300
21080070	PM	STA. ROSA HDA [21080070]	HUILA	YAGUARA	2.6369	-75.5809	650
21145060	CO	STO. DOMINGO [21145060]	HUILA	BARAYA	3.2307	-74.9434	1275
21010180	PM	TABOR EL [21010180]	HUILA	PALESTINA	1.6953	-76.1552	1700
21050290	PM	TESALIA 2 [21050290]	HUILA	TESALIA	2.4913	-75.7285	825
21140110	PM	TOMO EL [21140110]	HUILA	VILLAVIEJA	3.3454	-75.0974	440
21120090	PM	TOTUMO EL [21120090]	HUILA	PALERMO	2.8703	-75.4910	700
21080130	PG	TOTUMO EL HDA [21080130]	HUILA	IQUIRA	2.5938	-75.6212	790
21040060	PM	TRES ESQUINAS [21040060]	HUILA	PITAL	2.1994	-75.7794	805
21110290	PM	VICTORIA LA [21110290]	HUILA	VILLAVIEJA	3.3496	-75.1703	400
21115080	CO	VILLAVIEJA FFCC [21115080]	HUILA	VILLAVIEJA	3.2225	-75.2163	430
21020040	PM	VISO EL [21020040]	HUILA	ELÍAS	2.0154	-75.9078	1070
21120100	PM	VOLCÁN EL [21120100]	HUILA	PALERMO	2.8650	-75.5666	1105
21080030	PM	YAGUARA [21080030]	HUILA	YAGUARA	2.6696	-75.5289	600
21050170	PM	YARUMAL [21050170]	HUILA	NATAGA	2.6524	-75.7589	1950
21110120	PM	YEGUERA LA [21110120]	HUILA	VILLAVIEJA	3.3053	-75.2008	400
21065040	CO	ZULUAGA [21065040]	HUILA	GARZÓN	2.2525	-75.5294	1270

Nota: PM: Pluviométrica
PG: Pluviográfica
SS: Sinóptica Secundaria
CO: Climatológica Ordinaria
CP: Climatológica Principal
AM: Agrometereológica

Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

Tabla 54 Estaciones medidoras de Precipitación Seleccionadas

CODIGO	TE	NOMBRE DE ESTACIÓN	DPTO.	NOMBRE MUNICIPIO	COORDENADAS		ELEV. (msnm)
					LATITUD	LONGITUD	
21105030	CO	ALGECIRAS [21105030]	HUILA	ALGECIRAS	2.5217	-75.3223	1150.0
21115020	SS	APTO BENITO SALAS [21115020]	HUILA	NEIVA	2.9488	-75.2931	439.0
21045010	CO	BETULIA LA [21045010]	HUILA	AGRADO	2.2816	-75.7051	780.0
21055020	CP	ESC AGR LA PLATA [21055020]	HUILA	LA PLATA	2.3783	-75.8913	1070.0
21085020	CO	IQUIRA [21085020]	HUILA	IQUIRA	2.6522	-75.6293	1095.0
21135050	CO	JULIA LA [21135050]	HUILA	NEIVA	3.0988	-75.5300	1691.0
21095010	CO	JUNCAL EL [21095010]	HUILA	PALERMO	2.8288	-75.3312	460.0
21115140	CO	LAURELES LOS [21115140]	HUILA	BARAYA	3.0940	-74.9211	2100.0
21145070	CO	LEGIOSA LA [21145070]	HUILA	COLOMBIA	3.3110	-74.7029	1476.0
21035040	CO	LIBANO EL [21035040]	HUILA	SUAZA	1.8684	-75.8278	1045.0
21115160	AM	MANILA LA HDA [21115160]	HUILA	BARAYA	3.1332	-75.0815	600.0
21115100	CO	PALACIO-VEGALARGA [21115100]	HUILA	NEIVA	2.9426	-75.0666	1100.0
21125020	CO	PALERMO [21125020]	HUILA	PALERMO	2.8822	-75.4451	550.0
21015030	CP	PARQUE ARQUEOLOGIC [21015030]	HUILA	SAN AGUSTIN	1.8885	-76.2950	1800.0
21115070	CO	PORTAL EL [21115070]	HUILA	TELLO	3.0149	-75.0730	1300.0
21105040	CO	POTOSI HDA [21105040]	HUILA	CAMPOALEGRE	2.6968	-75.2989	680
21105050	CP	ROSALES LOS [21105050]	HUILA	CAMPOALEGRE	2.6163	-75.4179	553
21145040	AM	SAN ALFONSO [21145040]	HUILA	VILLAVIEJA	3.3734	-75.1101	440
21115060	CO	SAN JOSE [21115060]	HUILA	VILLAVIEJA	3.3292	-75.1841	400
21015020	CO	SEVILLA [21015020]	HUILA	PITALITO	1.8217	-76.1248	1320
21145080	CO	STA ANA [21145080]	HUILA	COLOMBIA	3.5898	-74.7029	1410
21125010	CO	STA MARIA [21125010]	HUILA	SANTA MARIA	2.9426	-75.5838	1300
21145060	CO	STO DOMINGO [21145060]	HUILA	BARAYA	3.2307	-74.9434	1275
21085040	CO	TERPEYA COLOMBIA [21085040]	HUILA	IQUIRA	2.6628	-75.6656	1650
21115080	CO	VILLAVIEJA FFCC [21115080]	HUILA	VILLAVIEJA	3.2225	-75.2163	430
21065040	CO	ZULUAGA [21065040]	HUILA	GARZON	2.2525	-75.5294	1270

Nota:
SS: Sinoptica Secundaria
CO: Climatológica Ordinaria
CP: Climatológica Principal
AM: Agrometereológica

Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

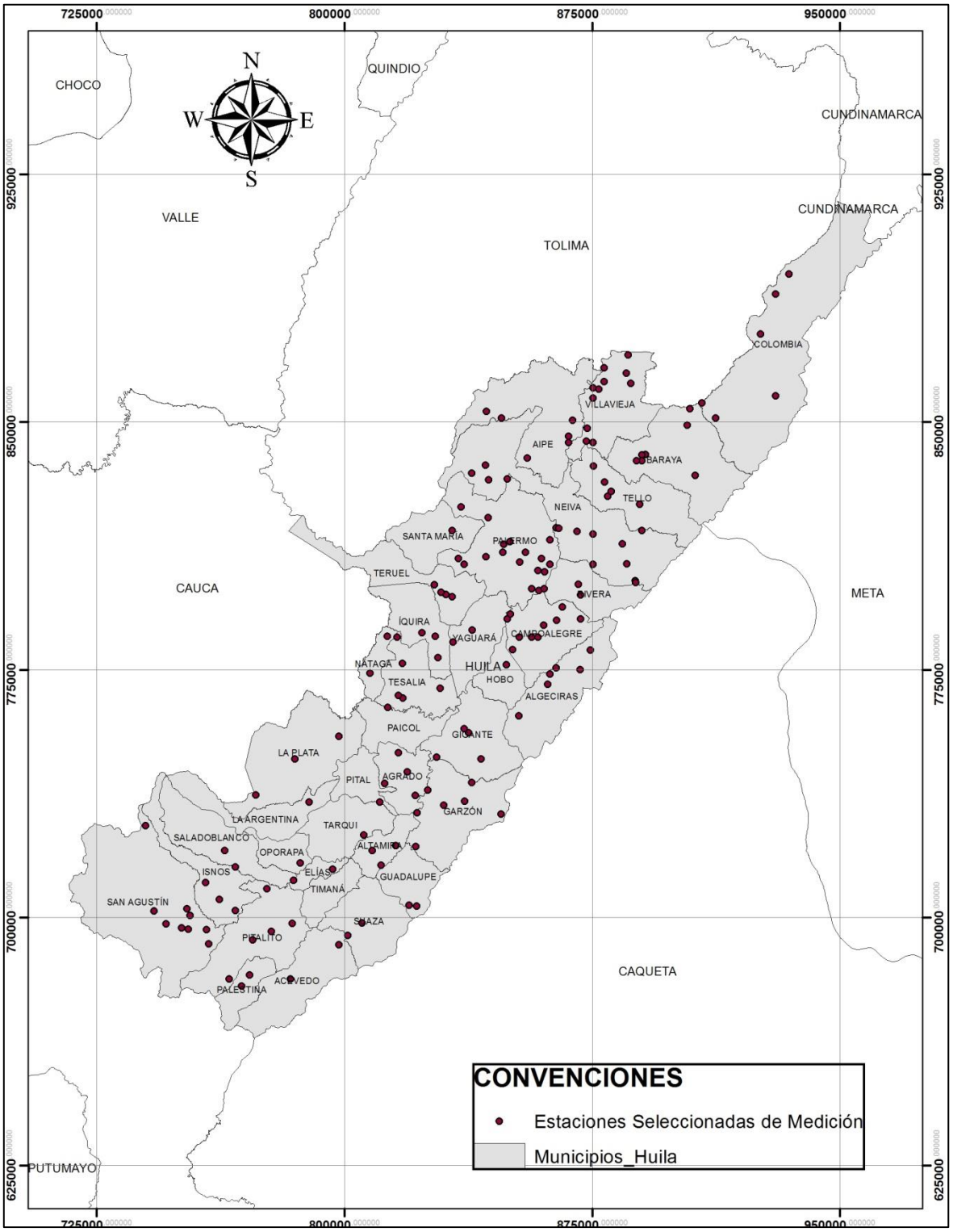


Ilustración 136 Mapa Estaciones Seleccionas de Medición.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

5.3 COMPORTAMIENTO PARÁMETROS CLIMATOLÓGICOS.

A continuación, se presenta la caracterización espacial del clima en la cuenca hidrográfica en ordenación en un contexto regional, teniendo en cuenta la información disponible tratada para las variables climáticas.

Para el Estudio Regional de Agua subterránea (ERA), se seleccionó 3 años representativos como el año promedio, año seco y año húmedo. En el caso del año promedio, se seleccionó el promedio de todos los años registrados, mientras que para el año seco y el año húmedo se seleccionó el año 2015 y 2011 respectivamente. Esto debido a que los datos de precipitación muestran que estos años presentaron el mayor exceso o déficit de precipitación de todo el registro para la gran mayoría de las estaciones, y en segunda instancia, ya que el IDEAM reconoce estos años como años con un fenómeno marcado del niño y la niña.

5.3.1 PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL AÑO PROMEDIO.

El régimen de las precipitaciones en Colombia en la zona Andina, se rige por el paso de la zona de Confluencia Inter Tropical, la cual consiste en una banda de baja presión que se desplaza en el territorio nacional de sur a norte en el primer semestre del año y norte a sur en el segundo, generando un régimen de tipo bimodal a lo largo del año.

En el **Anexo F-7-1 Precipitación Año Promedio** se presentan las isolíneas de precipitación a nivel mensual (enero a diciembre), y a su vez se presentan las isolíneas de precipitación Total, mientras que en la **Ilustración 137** se presentan las isolíneas de precipitación total de la zona de estudio a nivel anual.

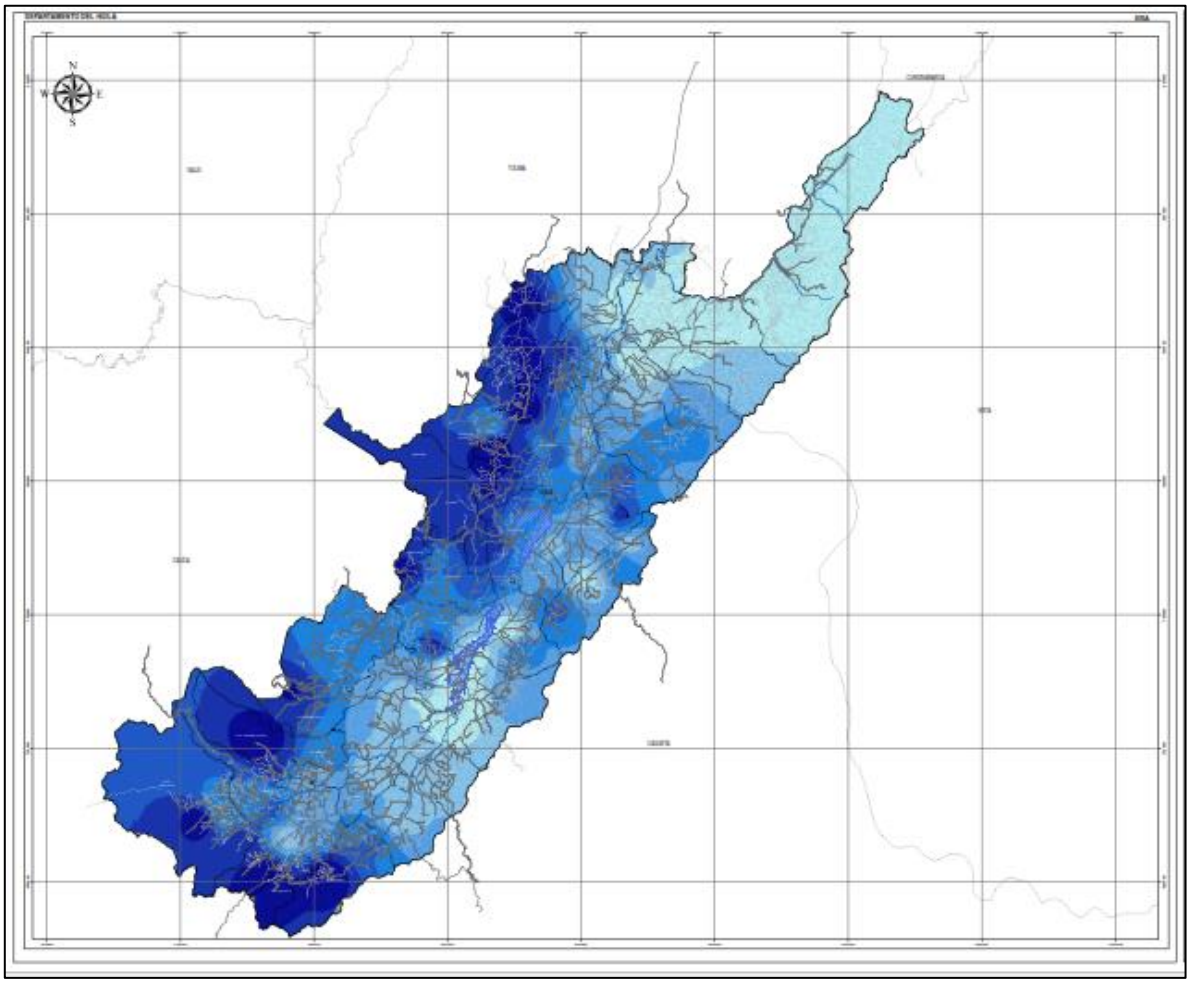


Ilustración 137 Isolíneas de precipitación total para el Departamento del Huila – Año Promedio
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

Para las isolíneas de precipitación total, se observa que los valores fluctúan entre los 908 mm y 2316 mm, y que la precipitación es máxima en la zona Occidental y sur del Departamento, disminuyendo hacia el centro, norte y oriente de la zona de estudio.

5.3.2 PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL AÑO SECO.

En el **Anexo F-7-2 Precipitación Año Seco** se presentan las isolíneas de precipitación a nivel mensual (enero a diciembre), y a su vez se presentan las isolíneas de precipitación Total, mientras que en la **Ilustración 138** se presentan las isolíneas de precipitación total de la zona de estudio a nivel anual.

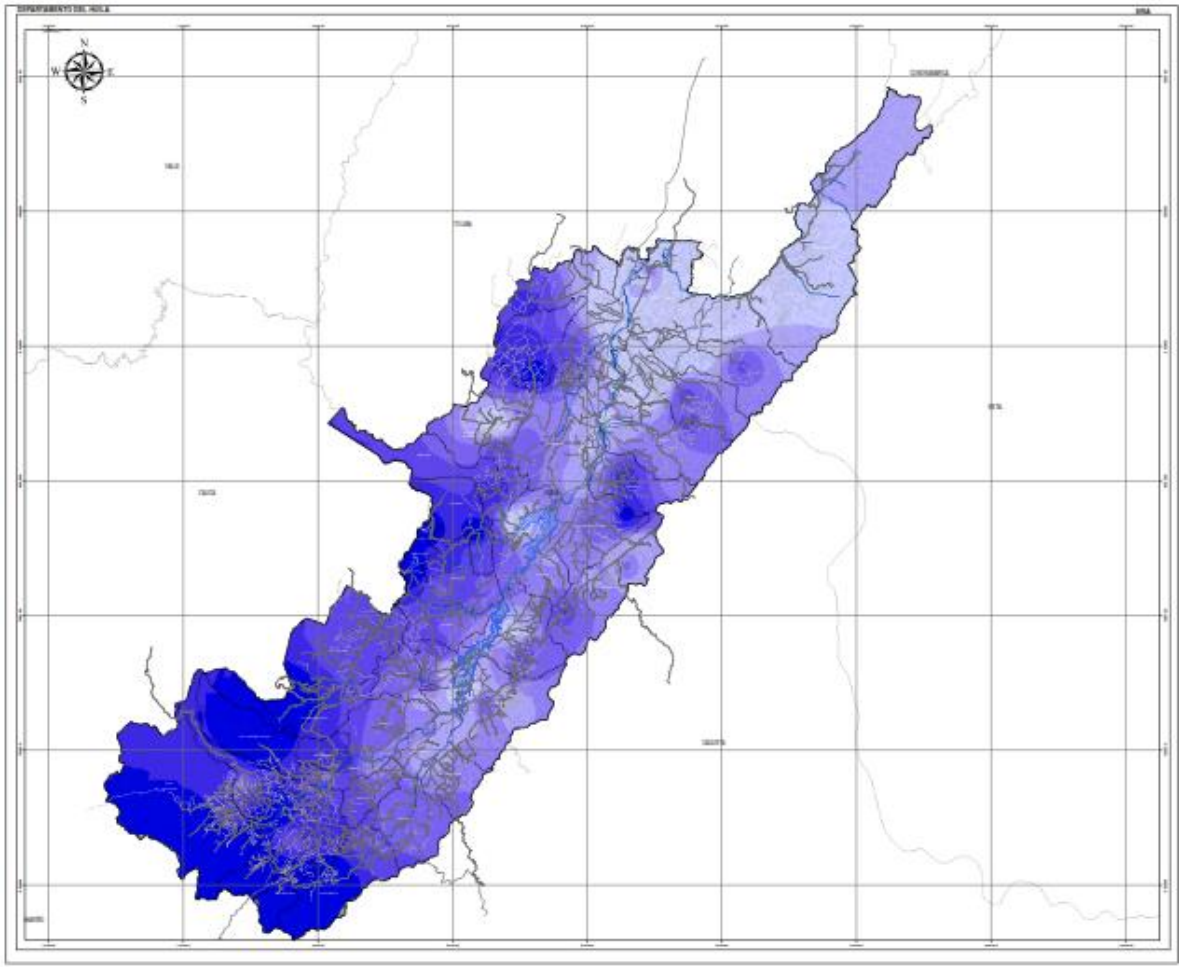


Ilustración 138 Isolíneas de precipitación total para el Departamento del Huila – Año Seco
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

Para las isolíneas de precipitación total del año seco, se observa que los valores fluctúan entre los 360 mm y 1764 mm, y que la precipitación es máxima en la zona sur del Departamento, disminuyendo hacia el centro, norte y oriente de la zona de estudio

5.3.3 PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL AÑO HÚMEDO.

En el **Anexo F-7-3 Precipitación Año Húmedo** se presentan las isolíneas de precipitación a nivel mensual (enero a diciembre), y a su vez se presentan las isolíneas de precipitación Total, mientras que en la **Ilustración 139** se presentan las isolíneas de precipitación total de la zona de estudio a nivel anual.

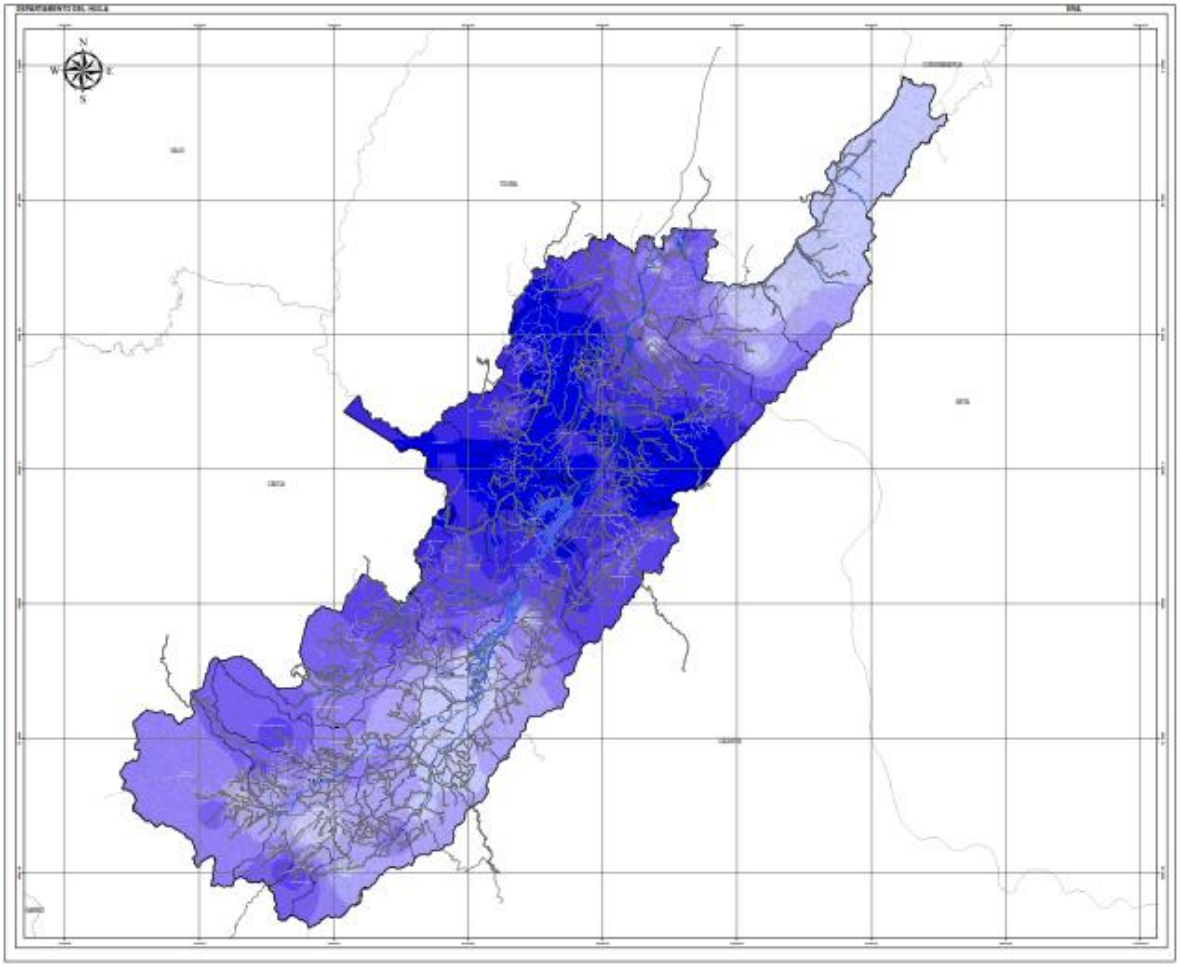


Ilustración 139 Isolíneas de precipitación total para el Departamento del Huila – Año húmedo
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

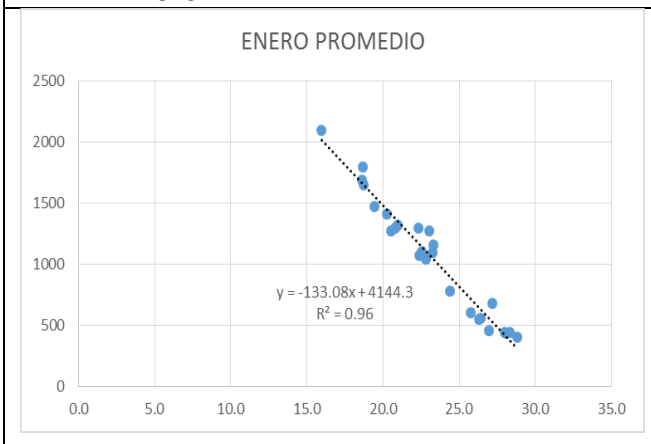
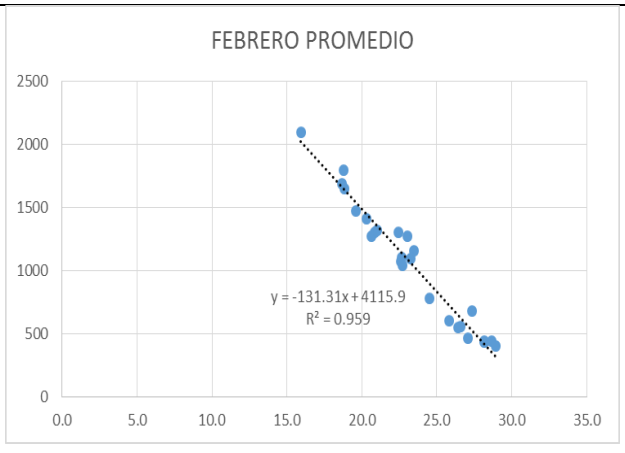
Para las isolíneas de precipitación total del año húmedo, se observa que los valores fluctúan entre los 988 mm y 3817 mm, y que la precipitación es máxima en la zona central del Departamento, disminuyendo hacia el norte y sur de la zona de estudio.

5.3.4 TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE AÑO PROMEDIO.

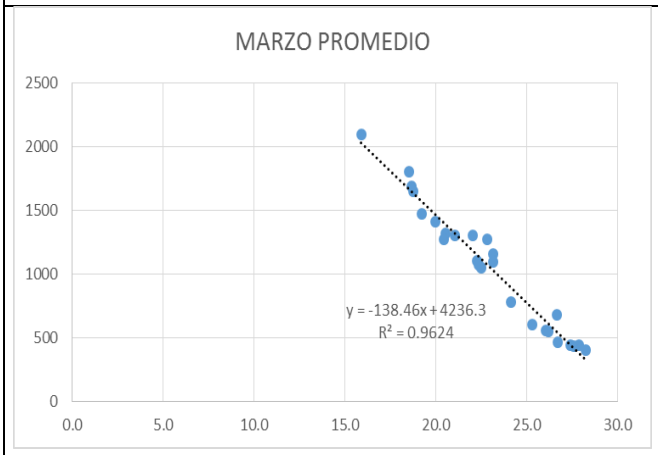
La variable climatológica de temperatura media indica la cantidad de energía calorífica que hay acumulada en el aire en un momento y lugar determinados. Proviene de los rayos que emite el sol, es decir, la radiación solar que llega hasta la tierra. La temperatura y la presión del aire son dos elementos del clima que poseen una relación inversamente proporcional: cuanto mayor sea la temperatura del aire en un determinado sitio, menor será su presión y el aire ascenderá. De manera inversa, cuando el aire es más frío y se presentan menores temperaturas, la presión atmosférica aumenta por compresión en los lugares donde ésta desciende. Así, donde la temperatura del aire aumenta, el tiempo atmosférico tenderá a ser inestable y se pueden producir lluvias e incluso tormentas. Donde la temperatura del aire desciende, el tiempo será más estable y se presentarán días soleados sin nubes y con el ambiente seco. Del mismo modo, se presenta una relación inversa entre esta variable climatológica y la altitud, es decir que, a mayor altura menor temperatura y viceversa.

Una vez analizadas las estaciones en la zona de estudio, se trazaron las isotermas, calculadas a partir del gradiente de temperatura obtenido con las estaciones medidoras de este parámetro.

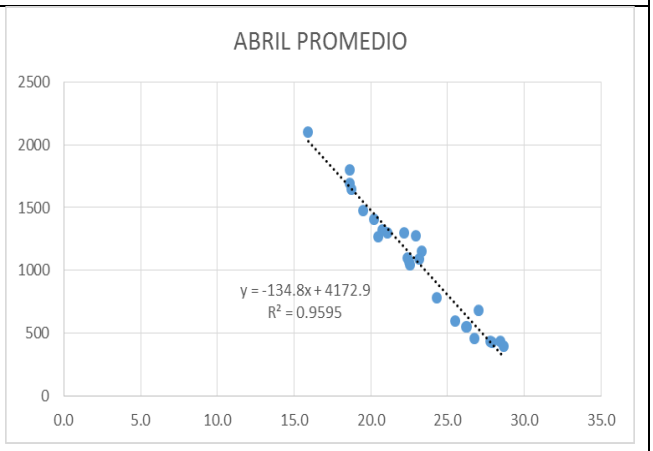
En la **Gráfica 131** se presentan los gradientes de temperatura, con los valores registrados en las estaciones climatológicas localizadas en la zona y sus alrededores para cada mes, y a su vez se presentan las ecuaciones respectivas.

Enero	Febrero
	

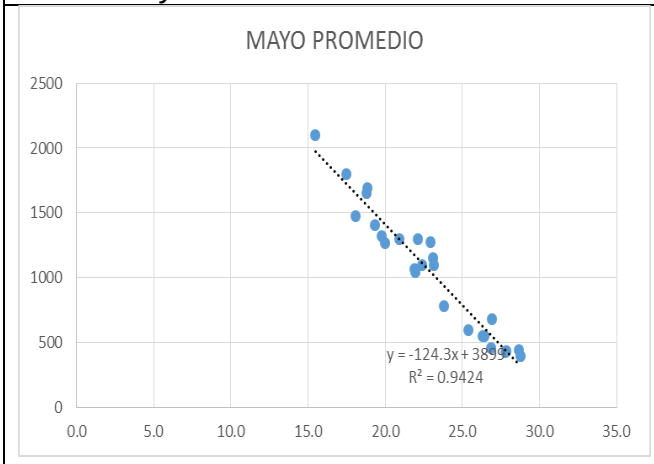
Marzo



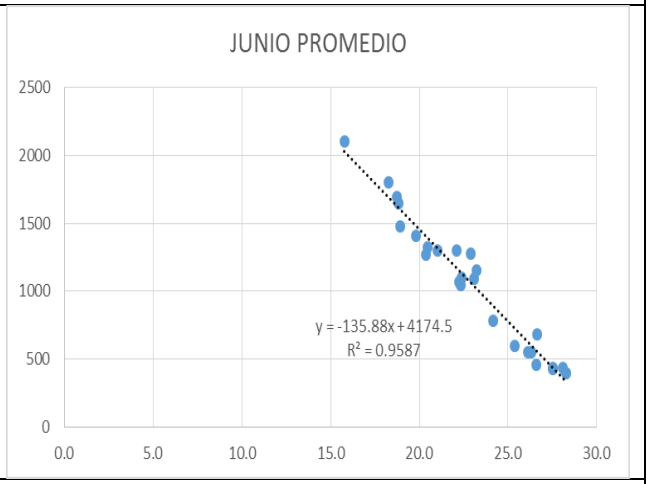
Abril



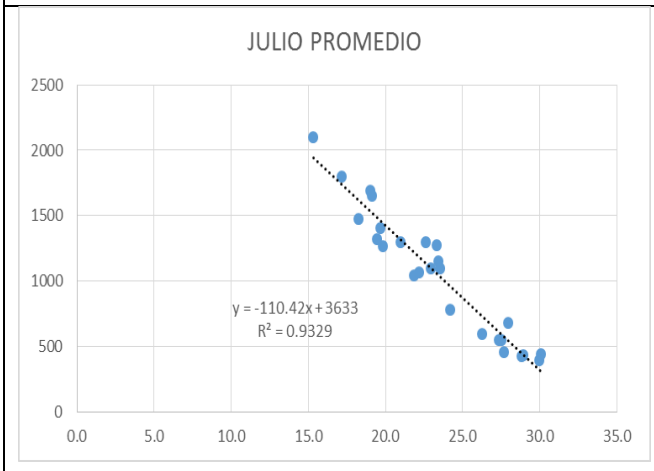
Mayo



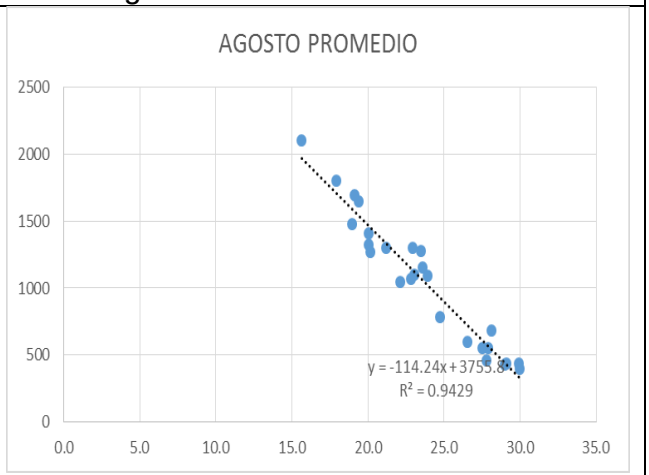
Junio



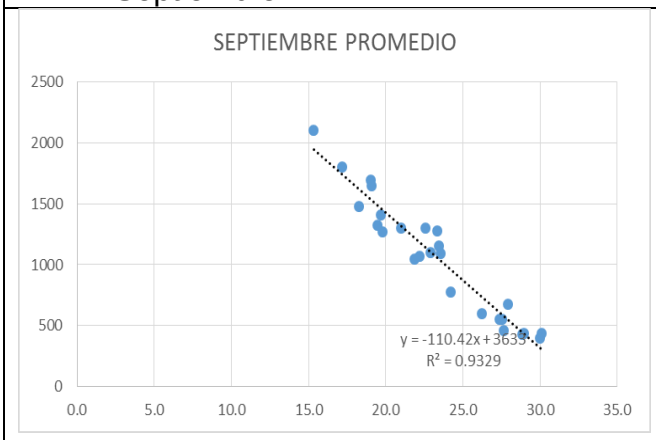
Julio



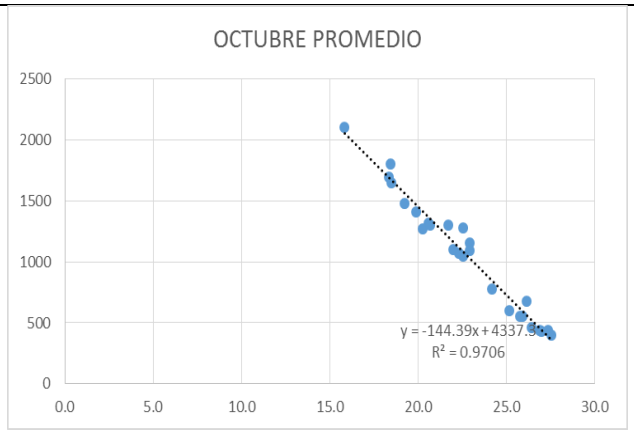
Agosto



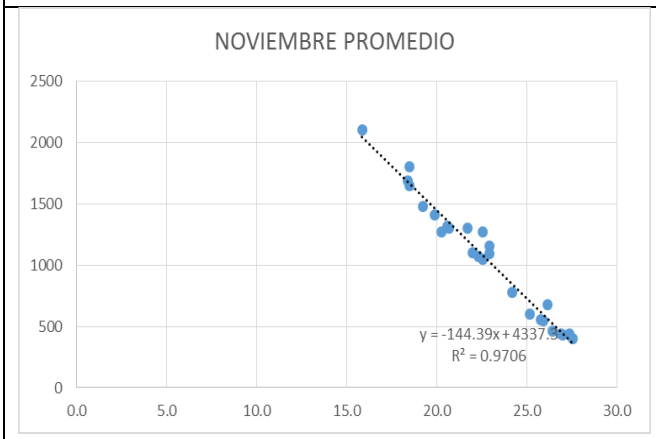
Septiembre



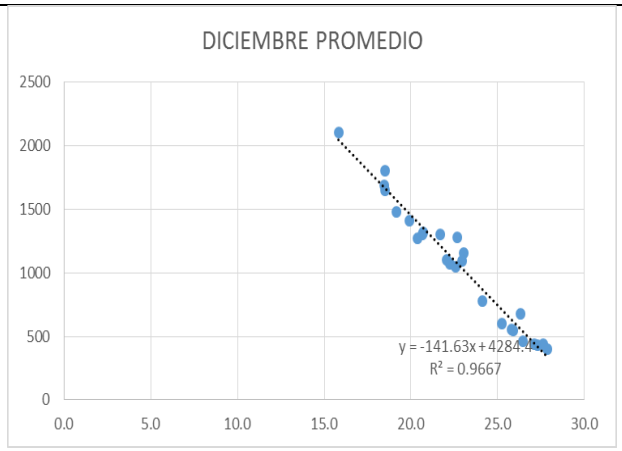
Octubre



Noviembre



Diciembre



Gráfica 131 Gradiente de temperatura media mensual y promedio anual del Departamento del Huila – Año Promedio
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

Teniendo en cuenta los gradientes de temperatura media a nivel mensual para las estaciones seleccionadas, se procedió a calcular las isotermas de la zona, es así como en el **Anexo F-8-1 Temperatura Año Promedio** se presentan las isolíneas de temperatura a nivel mensual.

En la **Ilustración 140** se presentaron las isotermas de temperatura promedio del mes de diciembre para el año promedio, donde se observa que los valores más altos se presentan al centro y norte de la zona de estudio, con registros del orden de los 23.5 °C a los 27.6 °C.

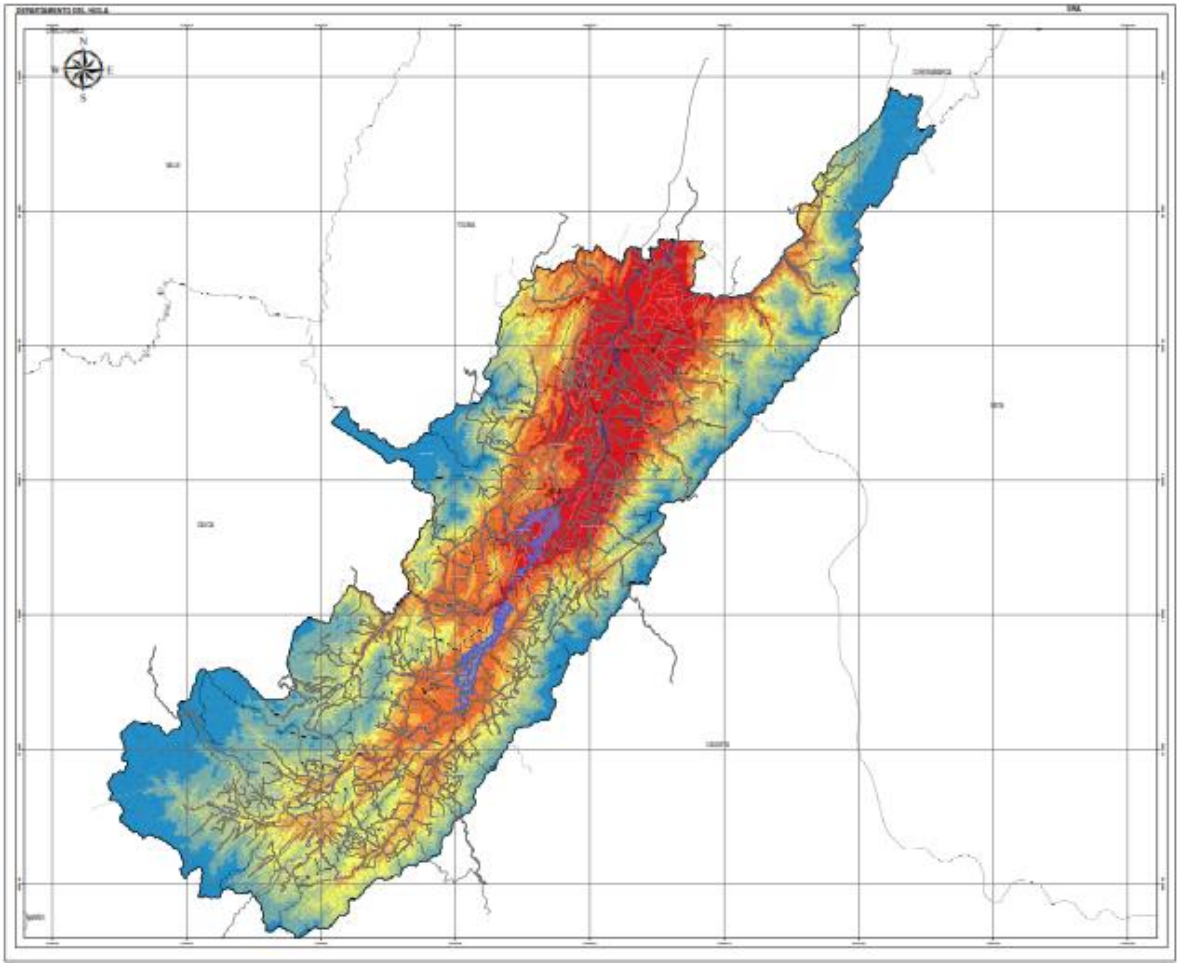


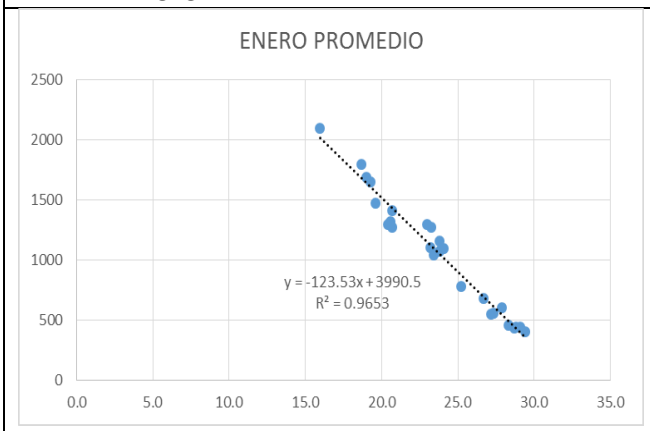
Ilustración 140 Isolíneas de temperatura media para el Departamento del Huila – Año Promedio
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

5.3.5 TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE AÑO SECO.

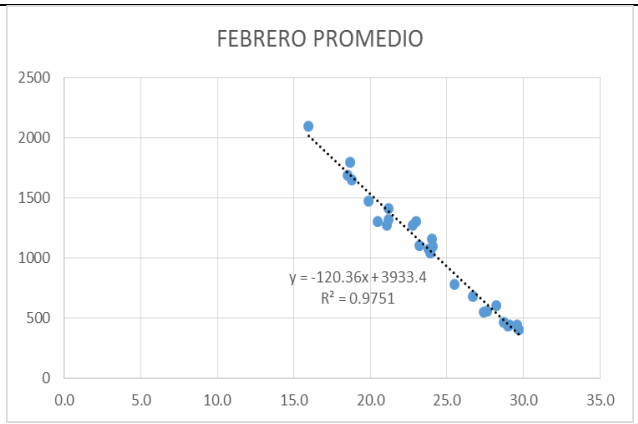
Una vez analizadas las estaciones en la zona de estudio, se trazaron las isotermas, calculadas a partir del gradiente de temperatura obtenido con las estaciones medidoras de este parámetro.

En la **Gráfica 132** se presentan los gradientes de temperatura, con los valores registrados en las estaciones climatológicas localizadas en la zona y sus alrededores para cada mes, y a su vez se presentan las ecuaciones respectivas.

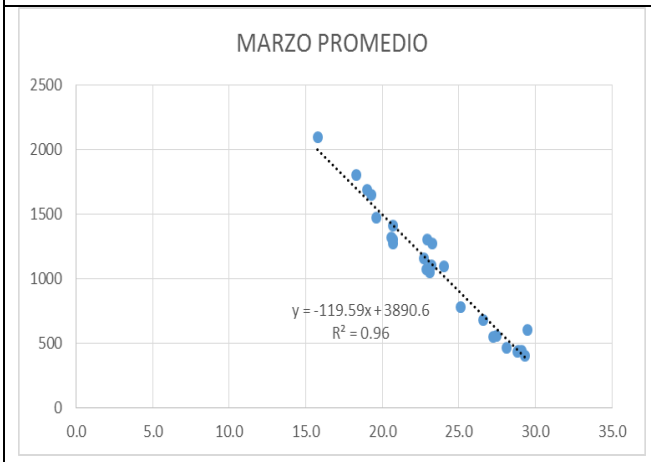
Enero



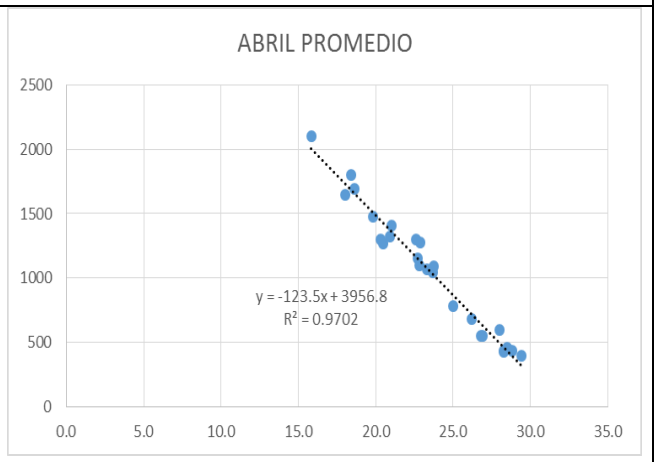
Febrero



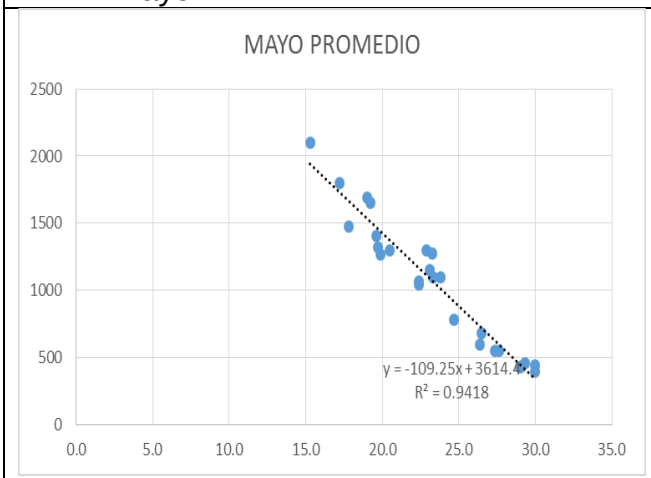
Marzo



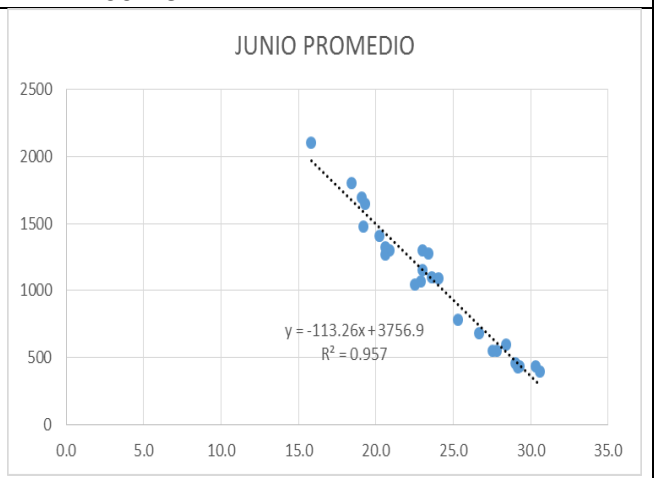
Abril



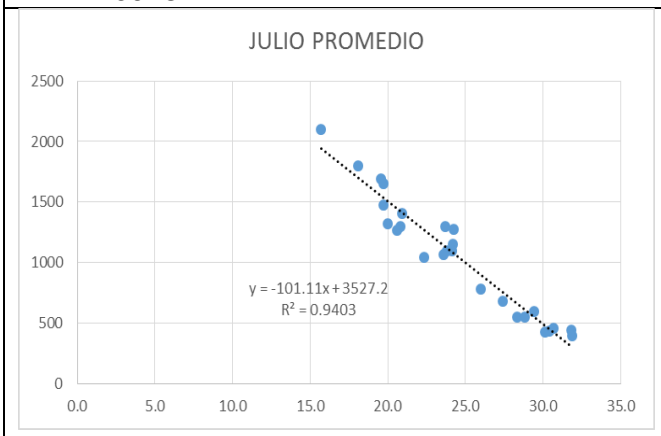
Mayo



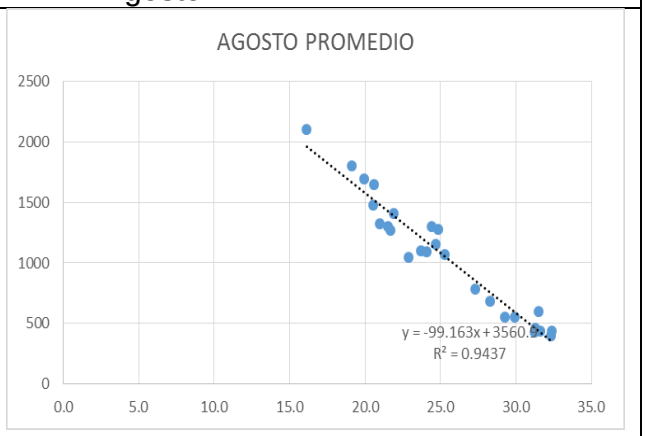
Junio



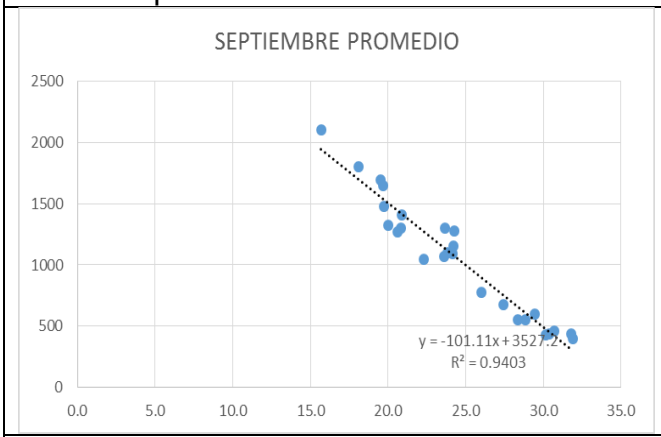
Julio



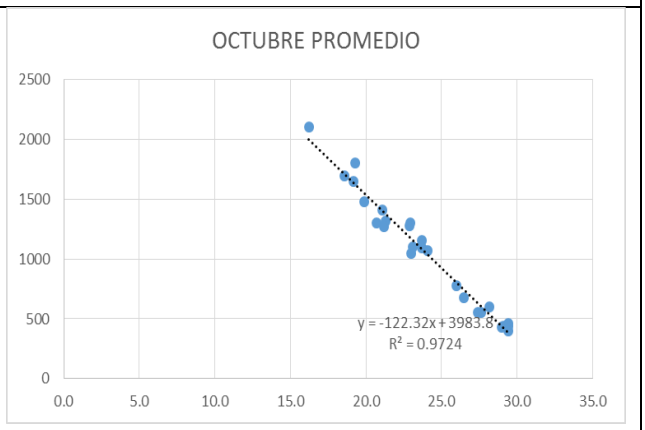
Agosto



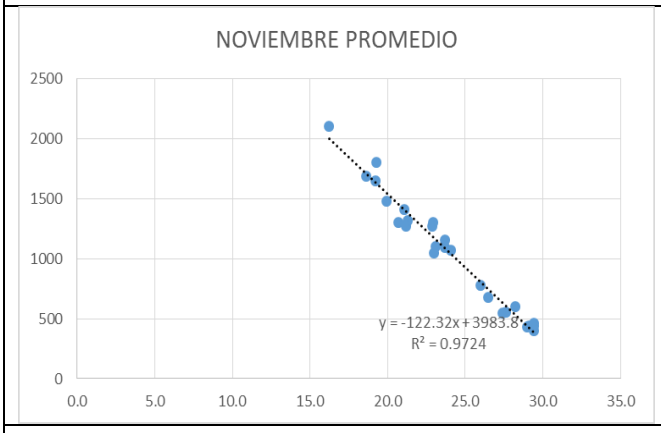
Septiembre



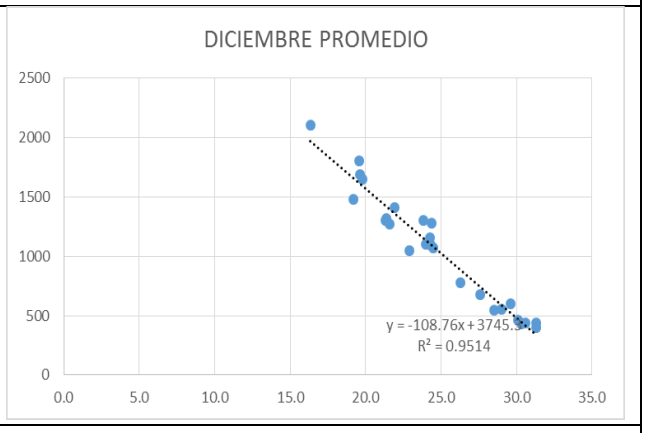
Octubre



Noviembre



Diciembre



Gráfica 132 Gradiente de temperatura media mensual y promedio anual del Departamento del Huila – Año Seco
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

Teniendo en cuenta los gradientes de temperatura media a nivel mensual para las estaciones seleccionadas, se procedió a calcular las isotermas de la zona, es así como en el **Anexo F-8-2 Temperatura Año seco** se presentan las isolíneas de temperatura a nivel mensual.

En la **Ilustración 141** se presentaron las isotermas de temperatura promedio del mes de diciembre para el año seco, donde se observa que los valores más altos se presentan al centro y norte de la zona de estudio, con registros del orden de los 25.6 °C a los 30.9 °C.

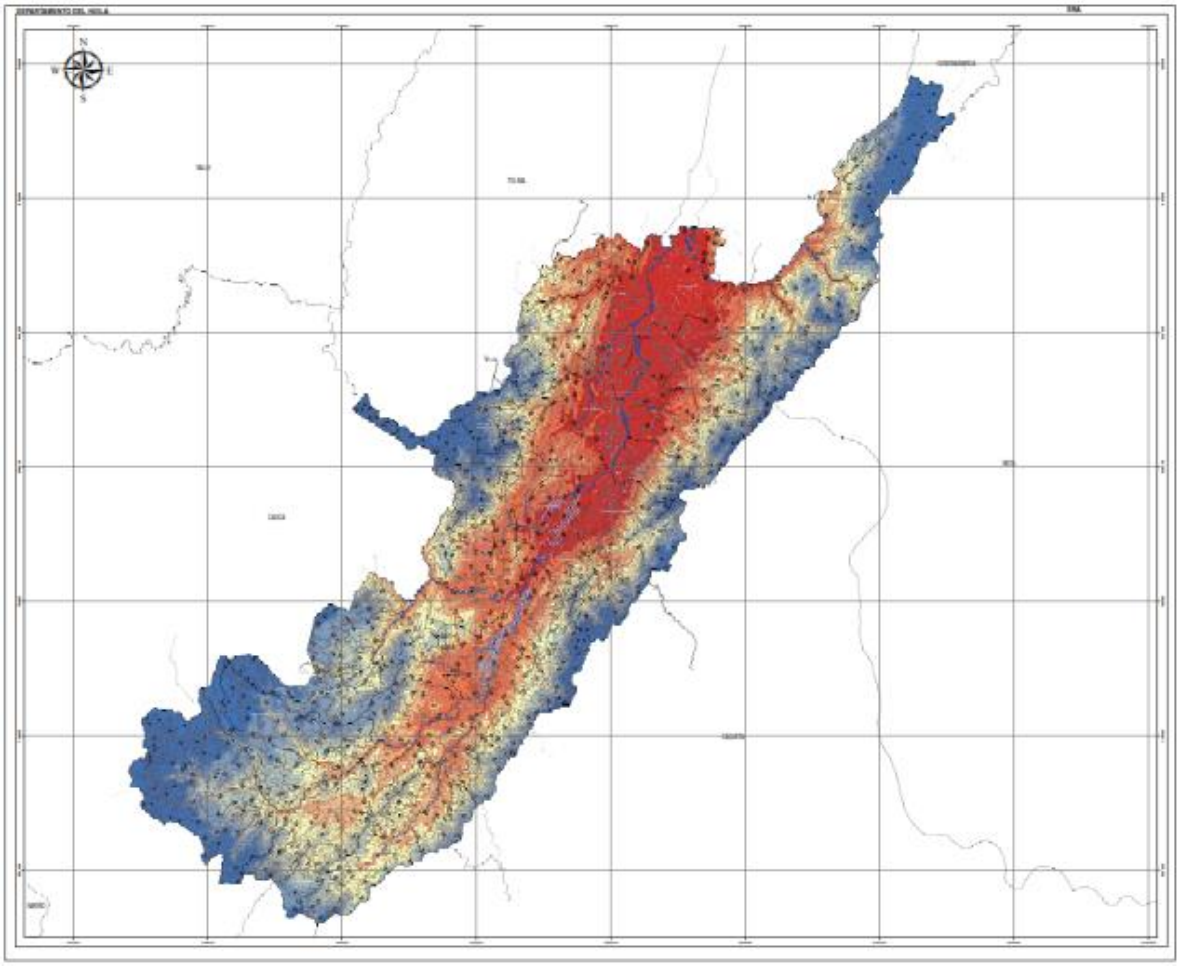


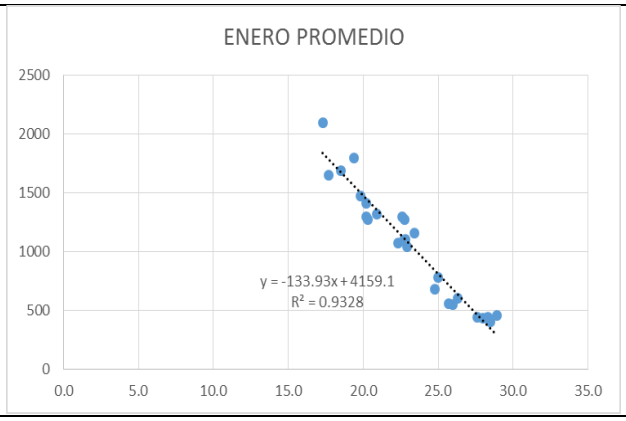
Ilustración 141 Isolíneas de temperatura media para el Departamento del Huila – Seco
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

5.3.6 TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE AÑO HÚMEDO.

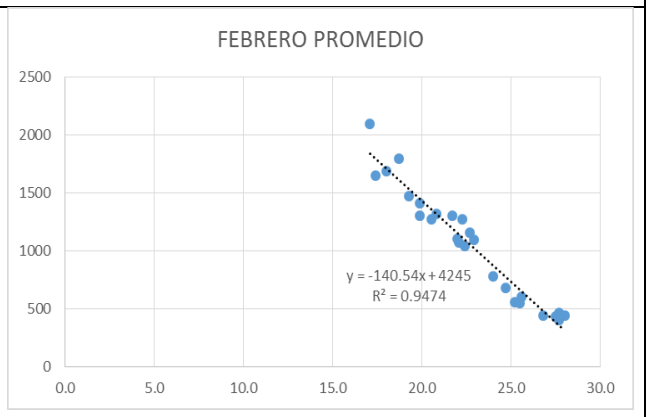
Una vez analizadas las estaciones en la zona de estudio, se trazaron las isotermas, calculadas a partir del gradiente de temperatura obtenido con las estaciones medidoras de este parámetro.

En la **Gráfica 133** se presentan los gradientes de temperatura, con los valores registrados en las estaciones climatológicas localizadas en la zona y sus alrededores para cada mes, y a su vez se presentan las ecuaciones respectivas.

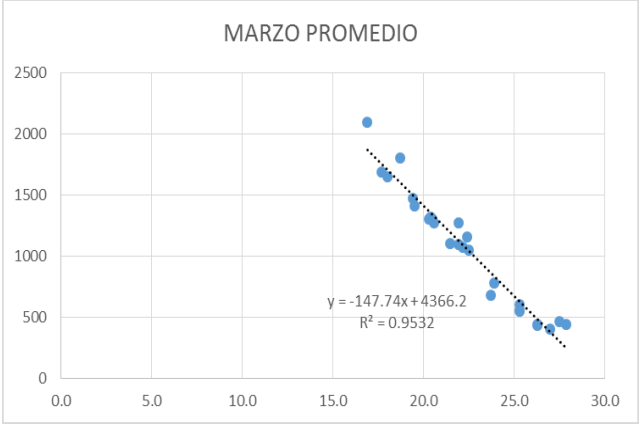
Enero



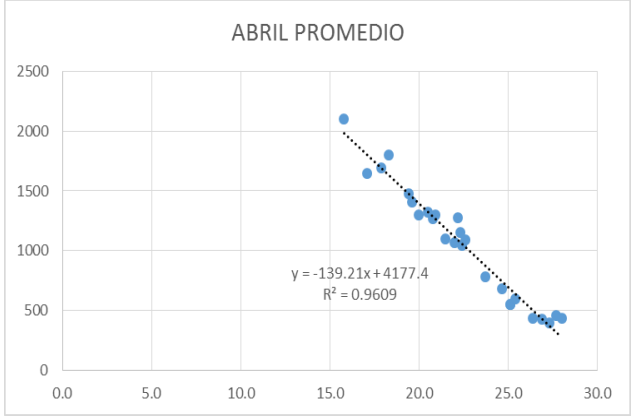
Febrero



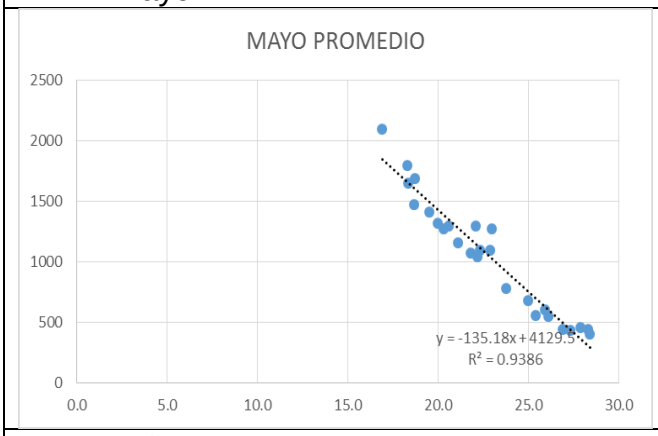
Marzo



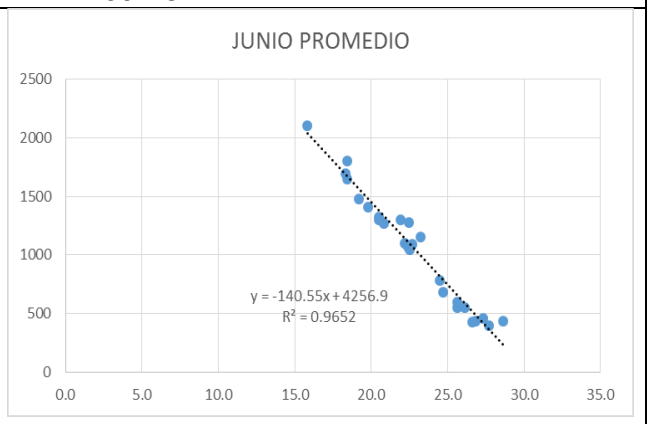
Abril



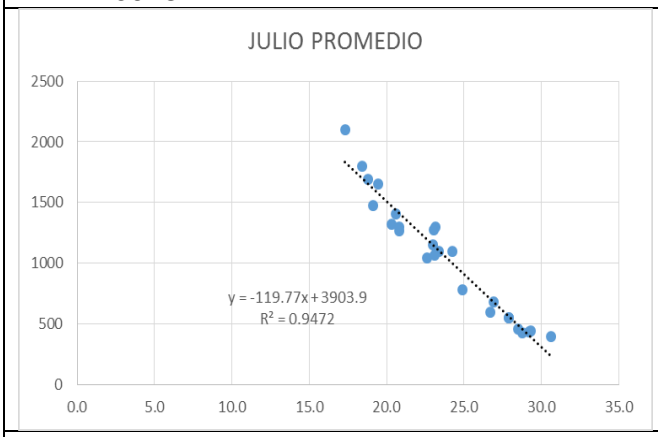
Mayo



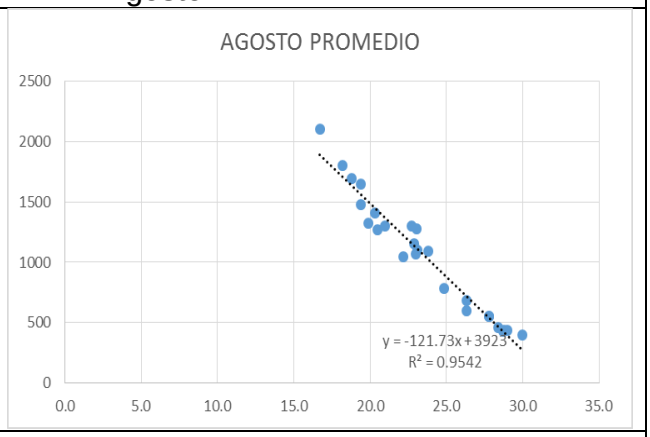
Junio



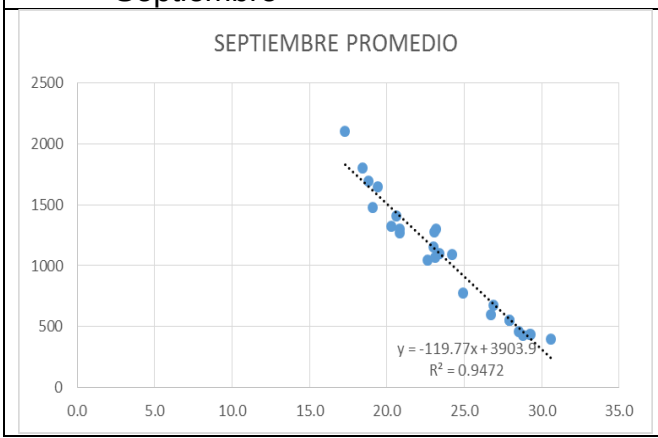
Julio



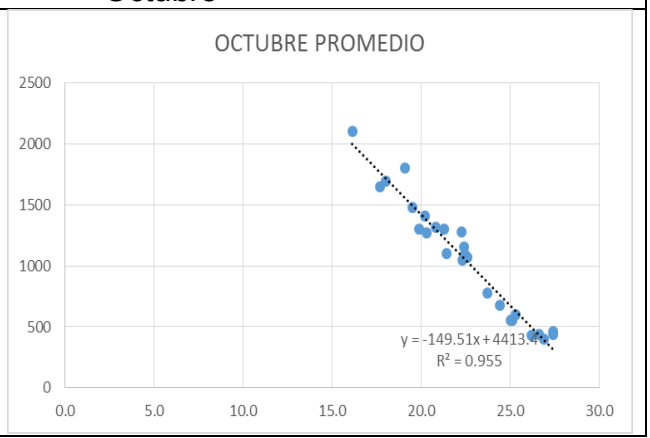
Agosto

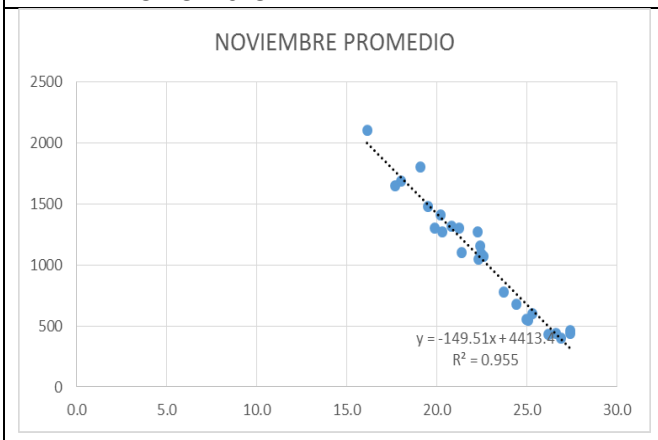
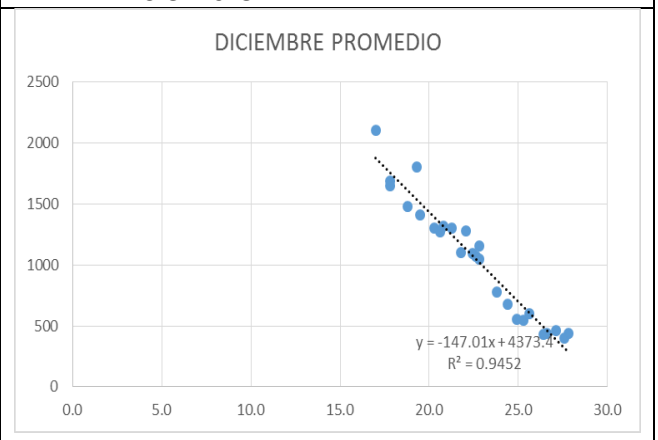


Septiembre



Octubre



Noviembre	Diciembre
	

Gráfica 133 Gradiente de temperatura media mensual y promedio anual del Departamento del Huila – Año Húmedo
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

Teniendo en cuenta los gradientes de temperatura media a nivel mensual para las estaciones seleccionadas, se procedió a calcular las isotermas de la zona, es así como en el **Anexo F-8-3 Temperatura Año Húmedo** presentan las isolíneas de temperatura a nivel mensual.

En la **Ilustración 142** se presentaron las isotermas de temperatura promedio del mes de diciembre para el año húmedo, donde se observa que los valores más altos se presentan al centro y norte de la zona de estudio, con registros del orden de los 23.2 °C a los 27.1 °C.

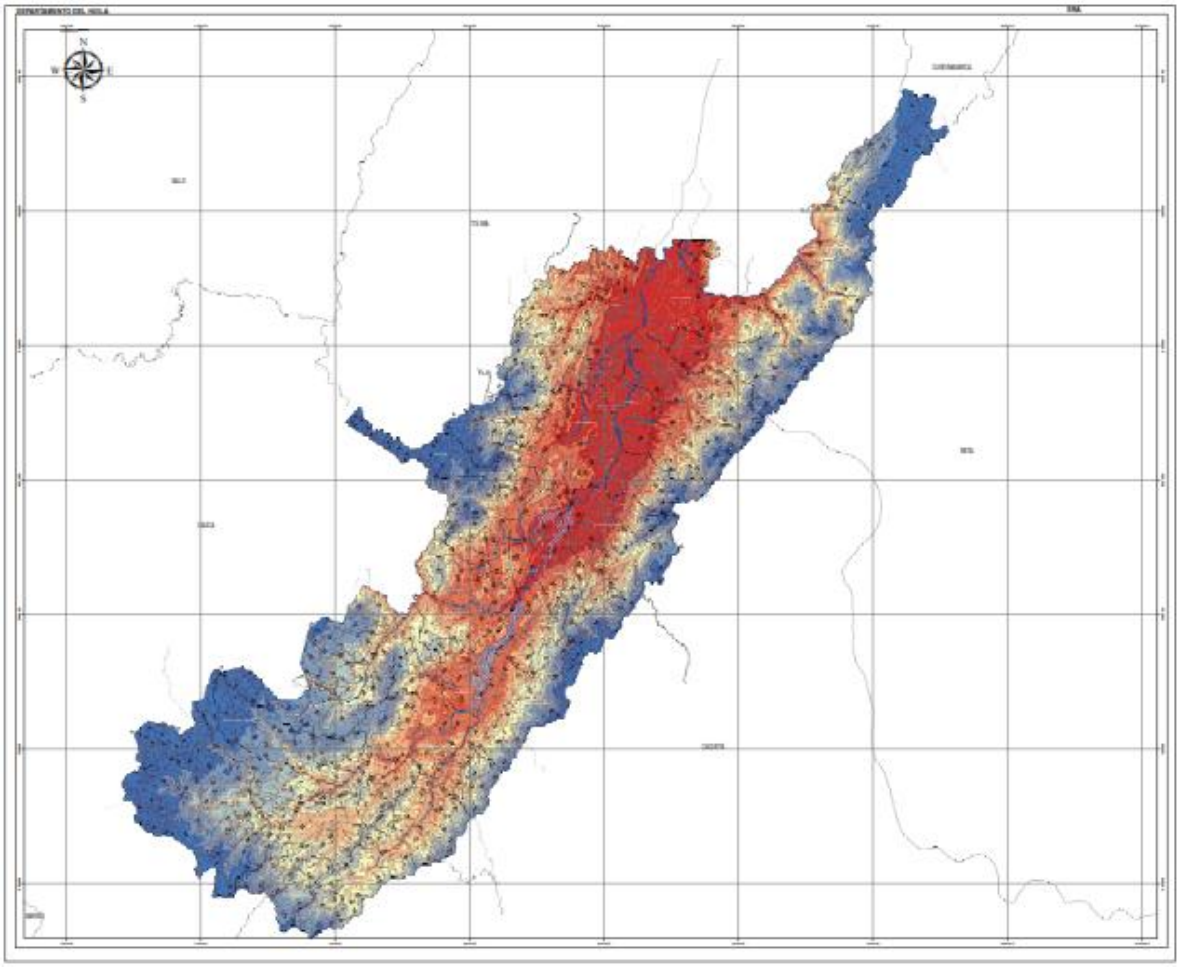


Ilustración 142 Isolíneas de temperatura media para el Departamento del Huila – Año Húmedo
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

5.3.7 EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL A NIVEL ANUAL Y MENSUAL AÑO PROMEDIO.

Este parámetro se define como la pérdida de agua observada en una superficie líquida o sólida saturada, por evaporación y por transpiración de las plantas, que ocurriría en el caso que hubiera un adecuado abastecimiento de humedad de agua al suelo en todo momento.

Para la determinación de este fenómeno se ejecutan usualmente estudios en dos sentidos: elaboración de fórmulas teórico-empíricas (métodos de estimación) y elaboración de aparatos y métodos de medida (métodos de medida).

En este caso para el cálculo de este parámetro se utilizará el método de estimación de Thornwaite, el cual consiste en la correlación de datos de evapotranspiración potencial medida en evapotranspirómetros localizados en hoyas hidrológicas, con datos de temperatura media mensual y longitud del día.

Entonces para un mes de 30 días e insolación diaria de 12 horas, se observa en las ecuaciones (1), (2), (3) y (4) que:

$$(1)\quad Ej = [(10tj / I)\ a] * 1.6$$

En donde:

Ej: Evapotranspiración potencial mensual del mes j, no ajustada (cm).

tj: Temperatura media mensual del mes j, (°C).

I: Índice de calor

$$(2)\quad a = 0.675 \times 10^{-6}\ I^3 - 0.771\ X\ 10^{-4}\ I^2 + 1.792 \times 10^{-2}\ I + 0.49$$

Y el índice de calor es igual a:

$$(3)\quad I = \sum ij$$

(4) ij = (tj/5)1.514, para los meses de enero a diciembre

Los valores obtenidos de Ej deben ser ajustados a la longitud del día y al número de días en el mes. Debido a dicho ajuste, los valores de Ej obtenidos deben ser multiplicados por el factor de corrección el cual depende de la latitud y el mes.

Los mapas de evapotranspiración potencial en el año promedio para la zona en estudio se presentaron en el **Anexo F-9-1Isolineas Evapotranspiración Año Promedio**, estos

fueron calculados con la herramienta Map Algebra del software ArcMap 10.1 y con los mapas de isolíneas de temperatura media para el año promedio presentados anteriormente para cada mes.

En la **Ilustración 143** se presenta la evapotranspiración total para el año promedio en la zona de estudio, en la cual se observa que, en la parte nor oriental, en la zona del desierto de la Tatacoa, por ser la parte más baja y con mayor temperatura, se presentan los valores más altos de evapotranspiración potencial los cuales están en el orden de 1586 a 2064 mm.

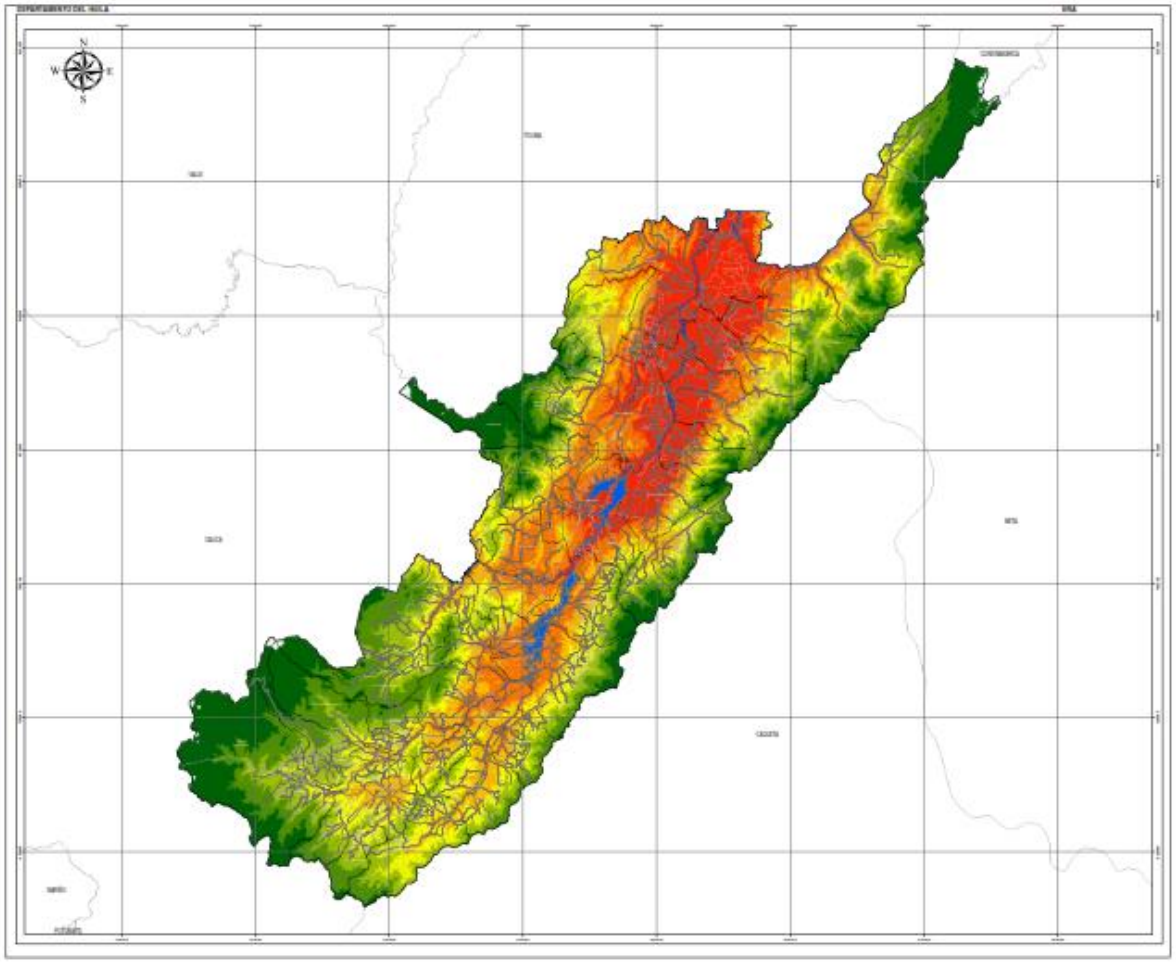


Ilustración 143 Isolíneas de evapotranspiración potencial total para el Departamento del Huila – Año Promedio
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

5.3.8 EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL A NIVEL ANUAL Y MENSUAL AÑO SECO.

Los mapas de evapotranspiración potencial en el año seco para la zona en estudio se presentaron en el **Anexo F-9-2 Isolineas Evapotranspiración Año Seco**, estos fueron calculados con la herramienta Map Algebra del software ArcMap 10.1 y con los mapas de isolíneas de temperatura media para el año seco presentados anteriormente para cada mes.

En la **Ilustración 144** se presenta la evapotranspiración total para el año seco en la zona de estudio, en la cual se observa que, en la parte nor oriental, en la zona del desierto de la Tatacoa, por ser la parte más baja y con mayor temperatura, se presentan los valores más altos de evapotranspiración potencial los cuales están en el orden de 2029 a 2747 mm.

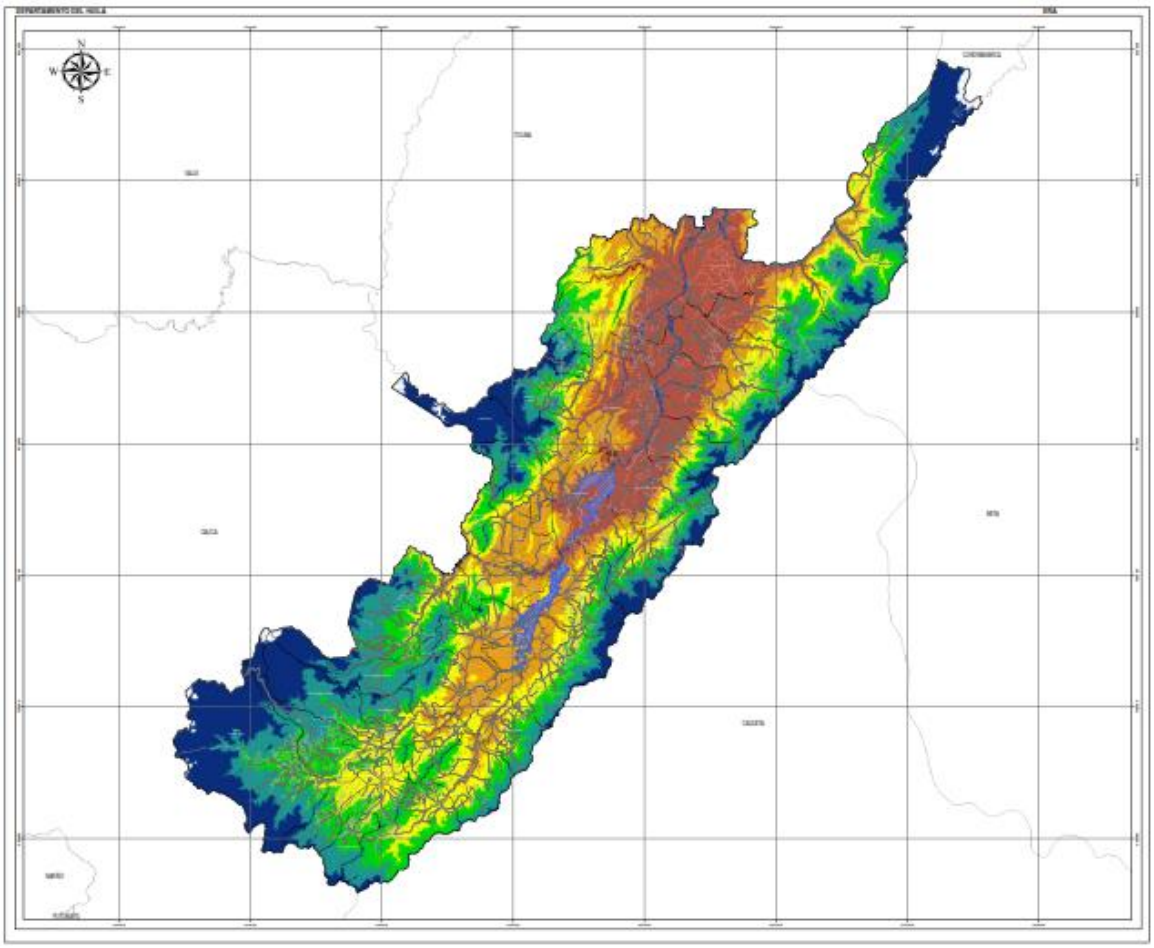


Ilustración 144 Isolíneas de evapotranspiración potencial total para el Departamento del Huila – Año Seco.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

5.3.9 EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL A NIVEL ANUAL Y MENSUAL AÑO HÚMEDO.

Los mapas de evapotranspiración potencial en el año húmedo para la zona en estudio se presentaron en el **Anexo F-9-3 Isolineas Evapotranspiración Año Húmedo**, estos fueron calculados con la herramienta Map Algebra del software ArcMap 10.1 y con los mapas de isolíneas de temperatura media para el año húmedo presentados anteriormente para cada mes.

En la **Ilustración 145** se presenta la evapotranspiración total para el año seco en la zona de estudio, en la cual se observa que, en la parte nor oriental, en la zona del desierto de la Tatacoa, por ser la parte más baja y con mayor temperatura, se presentan los valores más altos de evapotranspiración potencial los cuales están en el orden de 1477 a 1890 mm.

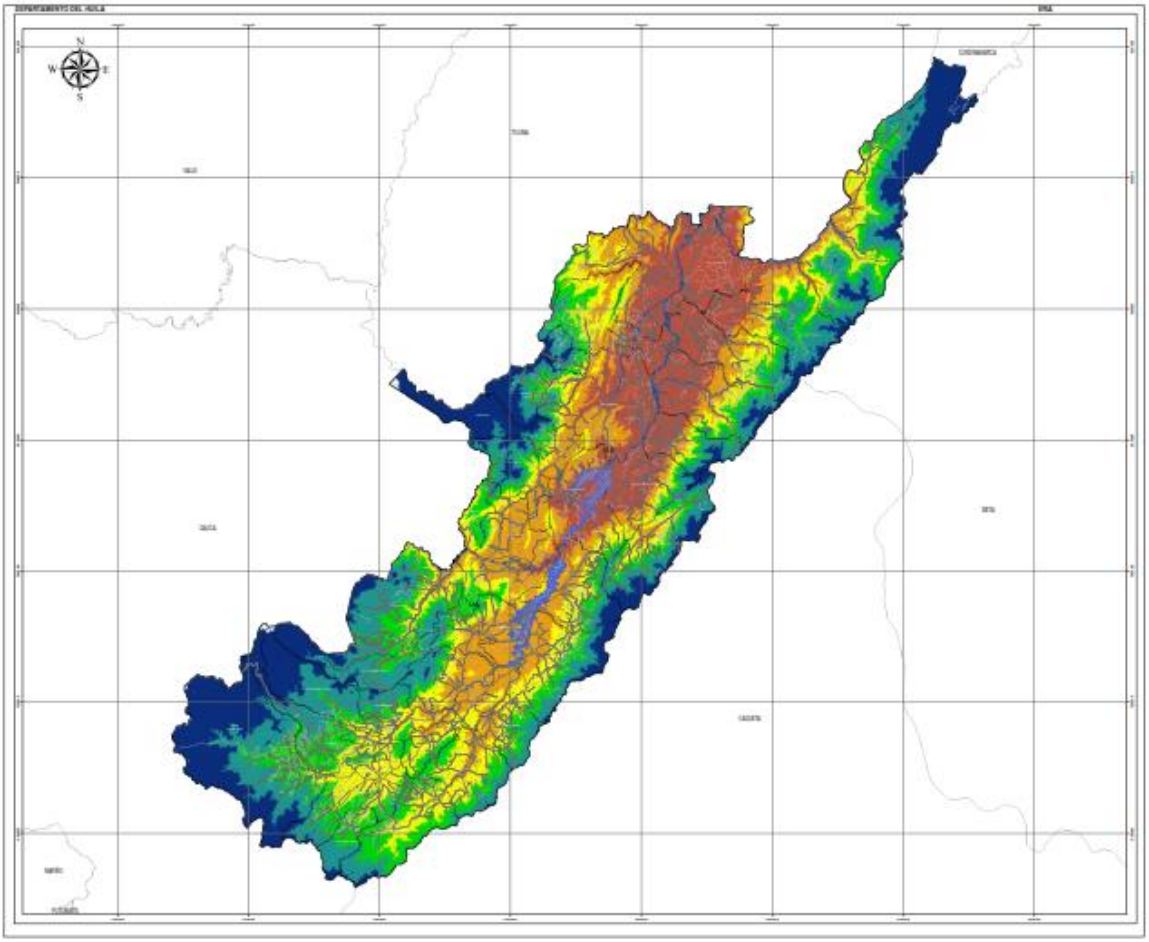


Ilustración 145 Isolíneas de evapotranspiración potencial total para el Departamento del Huila – Año Húmedo.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

5.4 RECARGA DE ACUÍFEROS Y BALANCE HÍDRICO.

La recarga de agua a un acuífero depende de gran cantidad de variables, las cuales en muchas ocasiones no se determinan de manera exacta y sencilla y aquellas que pueden medirse de manera directa, corresponden a datos puntuales que luego deben extenderse a grandes áreas (Custodio et ál., 2000). Autores como Lerner (1990) y Samper (1997) han propuesto una clasificación para los diferentes métodos de estimación de la recarga subterránea tales como medidas directas, balance de agua, técnicas de Darcy, técnicas de trazadores y métodos empíricos. Dentro de esta clasificación caben diferentes métodos para el cálculo de la recarga reportados en la literatura. Un resumen de ellos identificando las escalas de aplicación, parámetros empleados, fortalezas y limitaciones de cada método, se presentan en una publicación especial de la Asociación Internacional de Hidrogeología (IAH, 2002).

Con la diversa oferta de métodos para calcular la recarga, la autoridad ambiental deberá escoger aquel método que se adecue a las condiciones locales y regionales de la zona, a la necesidad de datos y capacidad institucional. Considerando la unidad de análisis empleada por los métodos documentados en la publicación de IAH, en Colombia el método de Balance Hídrico es el más utilizado.

Este método está basado en el principio de la conservación de masa a una cierta región de volumen conocido (volumen de control), definida por unas condiciones de frontera, durante un periodo de tiempo. La diferencia en las entradas y las salidas debe ser igual al cambio en el almacenamiento de agua. La mayor parte de los métodos de balance de agua determinan la recarga a partir de los demás componentes, este tipo de balances se puede hacer en la zona superficial, en la no saturada y en la saturada (Vélez y Vásquez, 2004). La ecuación empleada es la siguiente:

$$(5)\quad R = P - Es - ET - \Delta S$$

Dónde:

R = recarga (mm)

P = precipitación (mm)

Es = escorrentía (mm)

ET = evapotranspiración (mm)

ΔS = cambio en el almacenamiento (mm).

Esta ecuación es válida si se asume que la recarga es igual al flujo subterráneo o descarga y si se toma la precipitación (P) como única entrada al sistema, luego de asumir que la divisoria de la cuenca coincide con la divisoria de aguas subterráneas y por lo tanto no hay entrada de flujo desde acuíferos vecinos (Freeze y Cherry, 1979). Adicionalmente, si en la zona se tienen los caudales de extracción y de retorno al agua subterránea, estos deberán ser considerados en la anterior ecuación.

Los métodos de balance ofrecen gran disponibilidad de datos para su aplicación; son fáciles de aplicar, rápidos y de bajo costo; toman en cuenta toda el agua que entra al sistema y están disponibles para todas las fuentes de recarga. La forma más común para estimar la recarga es el método residual (Vélez y Vásquez, 2004). La mayor limitación es que la exactitud de la estimación depende de la exactitud con la cual fueron medidos los otros componentes (Scanlon et ál., 2002). En algunos casos se realizan grandes simplificaciones a la ecuación de balance con el propósito de utilizar menos variables pero corriendo el riesgo de añadir mayores incertidumbres al resultado final (Freeze y Cherry, 1979). Los balances de agua fueron desarrollados inicialmente en zonas húmedas, y por lo tanto su validez en zonas áridas y semiáridas es bastante discutible. Sus resultados pueden llegar a ser más confiables cuando se realiza el balance en suelos más desarrollados, donde se presentan mayores condiciones de humedad (Samper, 1997).

5.4.1 **BALANCE HÍDRICO.**

5.4.1.1 Introducción.

La infiltración y recarga de las zonas en estudio, se calculó mediante la aplicación de un balance hídrico que tuvo en cuenta la precipitación promedio sobre la hoya hidrográfica a nivel mensual, el cambio en la reserva de humedad del suelo y la evapotranspiración.

5.4.1.2 Precipitación Efectiva.

Precipitación es, en general, el término que se refiere a todas las formas de humedad emanadas de la atmósfera, y depositadas en la superficie terrestre, tales como lluvia, granizo, rocío, neblina, nieve o helada. Los aportes de precipitación ya fueron calculados en el numeral anterior y se encuentra **Anexo F-7 Isolineas de Precipitación Nivel Mensual**.

Como se expuso en la ecuación (5) la única entrada para el modelo es la precipitación, y el primer ítem de salida es la escorrentía superficial, por lo que se considera para este caso la precipitación efectiva como la precipitación que se infiltra en el suelo. Para el cálculo de la precipitación efectiva se usaron las siguientes fórmulas:

$$(6)\ P_e = 0.80P_T - 25 \quad si\ P_T > 75\ mm$$

$$(7)\ P_e = 0.60P_T - 10 \quad si\ P_T < 75\ mm$$

En donde:

Pe: Precipitación efectiva, en mm.

Pt: Precipitación total, en mm.

Con base a lo expuesto, los mapas de infiltración del mes de diciembre para los años promedio, seco y húmedo en la zona en estudio se presentaron en el **Anexo F-10 Isolineas de Infiltración**

En la **Ilustración 146, Ilustración 147 e Ilustración 148** se presenta la infiltración para el mes de diciembre para los años promedio, seco y húmedo respectivamente, donde el nivel de infiltración es de 193.56 mm para el año promedio, 144.48 mm para el año seco y de 440.75 mm para el año húmedo.

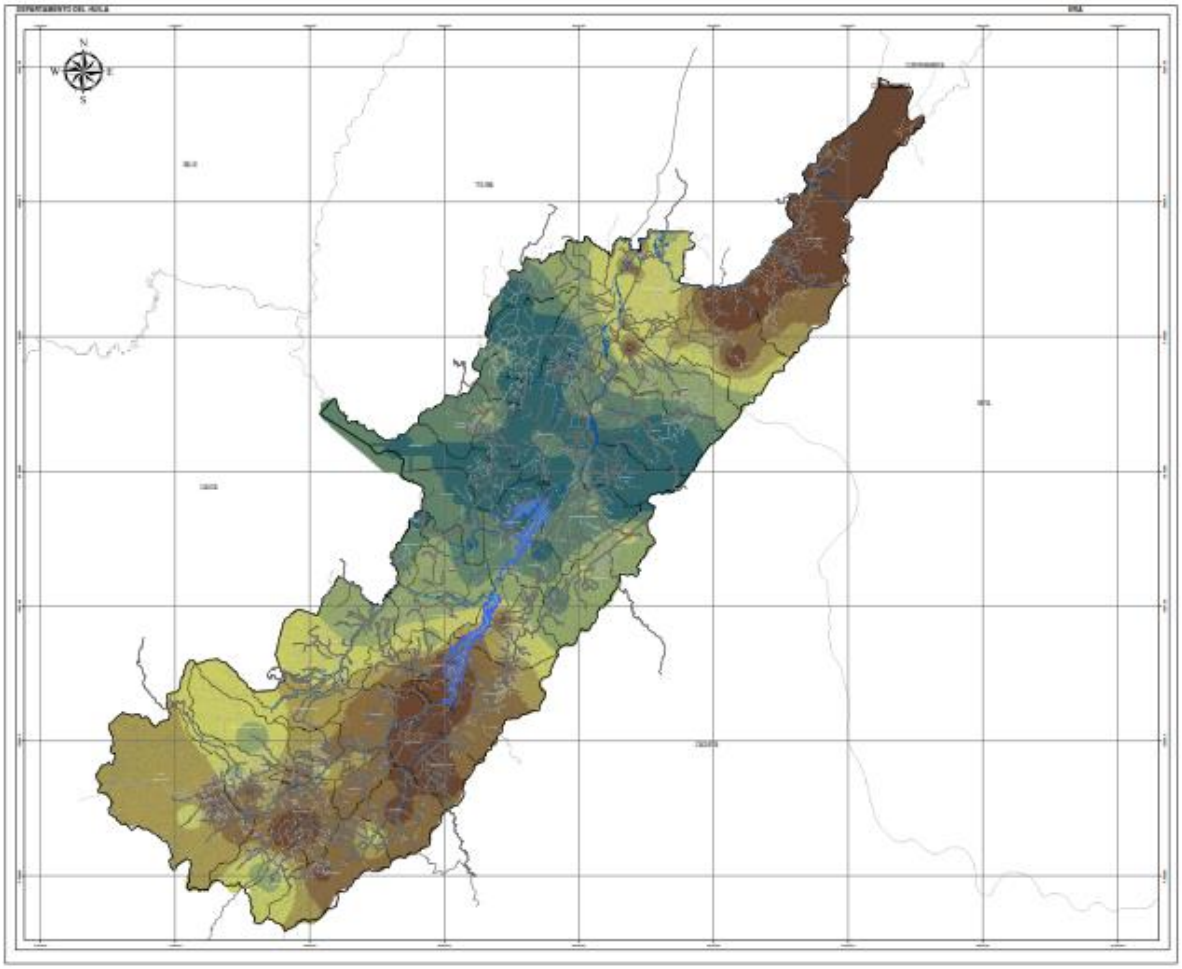


Ilustración 146 Isolíneas de Infiltración del Mes de Diciembre Para el Año Promedio.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

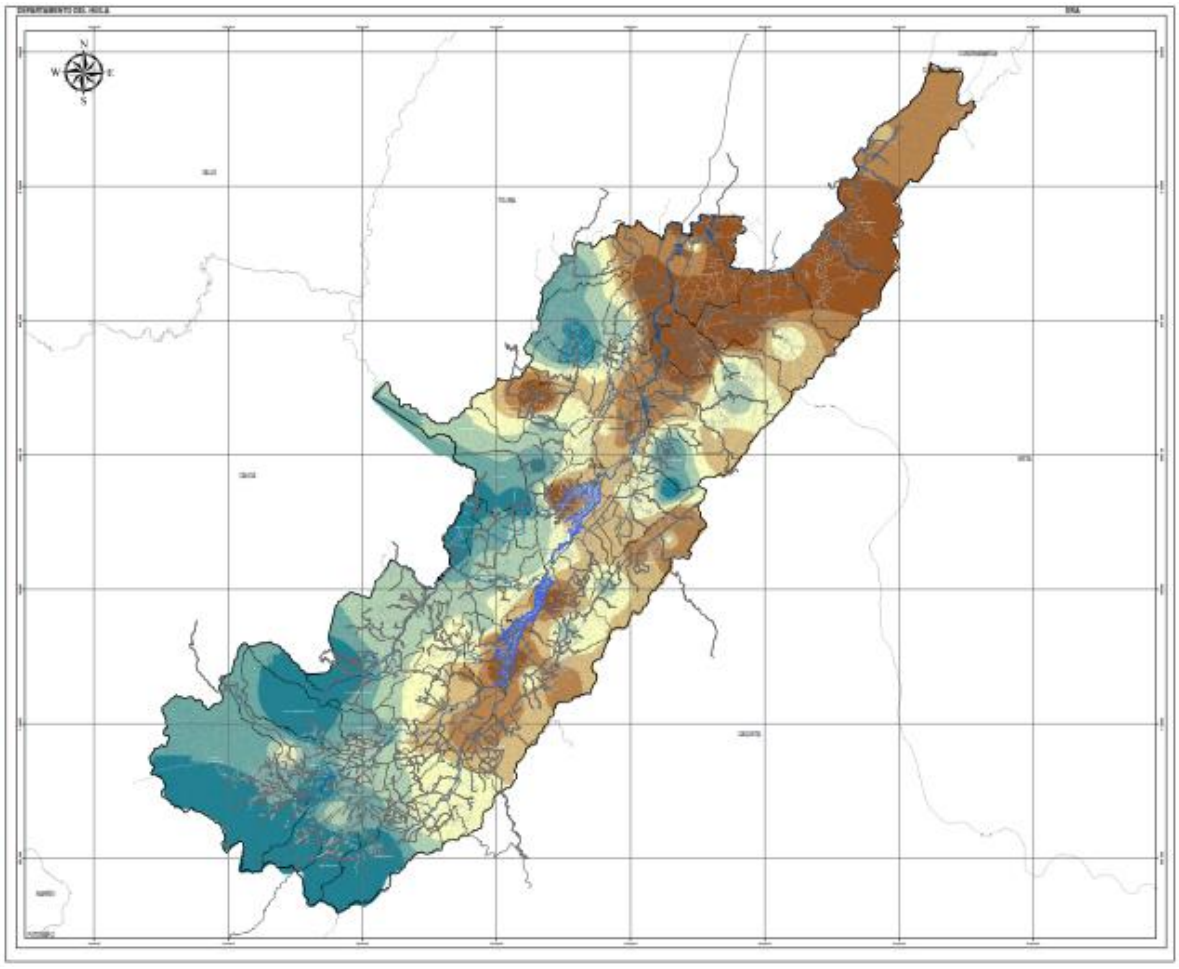


Ilustración 147 Isolíneas de Infiltración del Mes de Diciembre Para el Año Seco
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

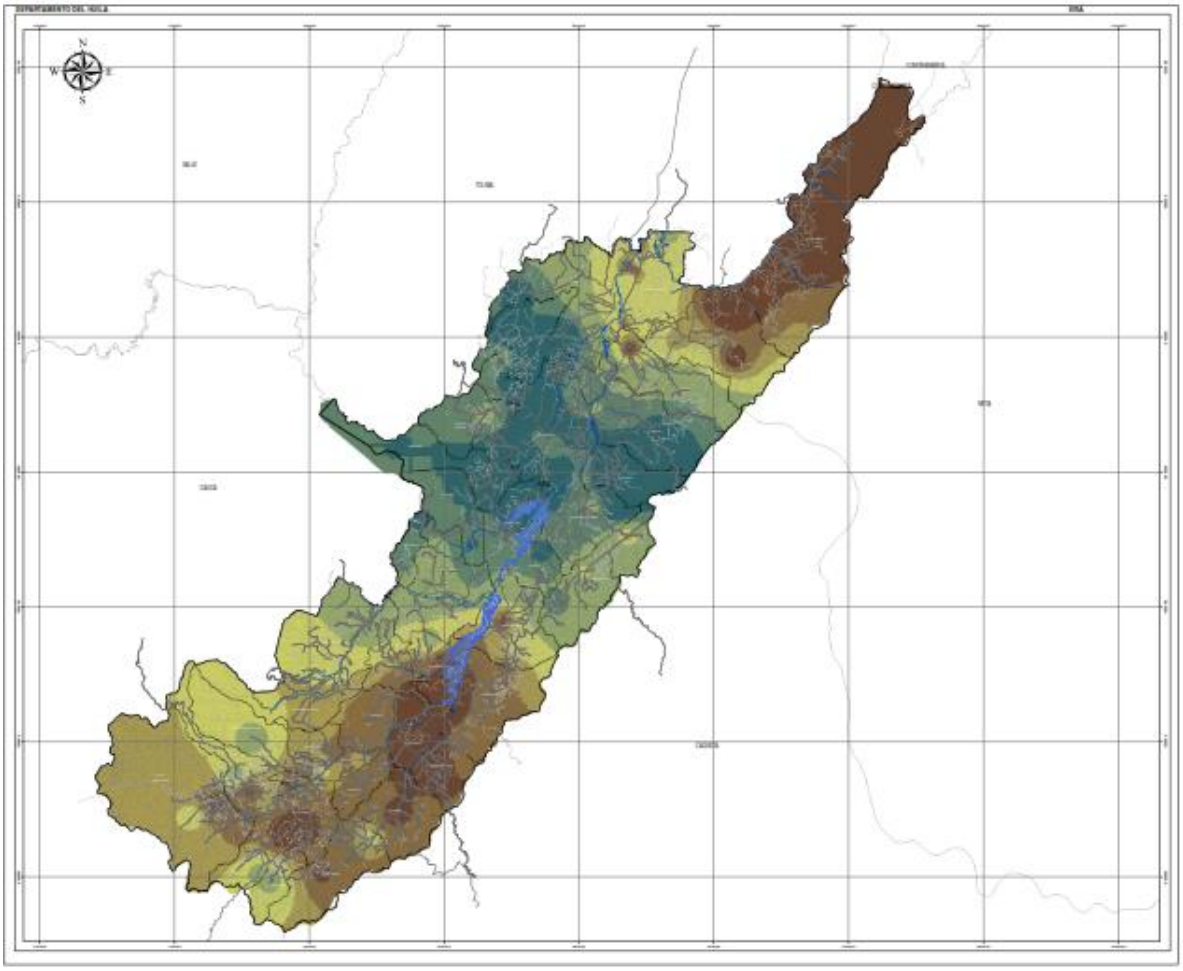


Ilustración 148 Isolíneas de Infiltración del Mes de Diciembre Para el Año Seco
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

5.4.1.3 Evapotranspiración Potencial

Como se presentó anteriormente en este informe, la evapotranspiración potencial se define como la pérdida de agua observada en una superficie líquida o sólida saturada, por evaporación y por transpiración de las plantas, que ocurriría en el caso que hubiera un adecuado abastecimiento de humedad de agua al suelo en todo momento.

La teoría utilizada en el cálculo de este parámetro en el balance, así como los resultados obtenidos en la zona de estudio se presenta en **Anexo F-9 Mapas Evapotranspiración Potencial**

5.4.1.4 Balance Hídrico y Recarga.

Como ya se mencionó con anterioridad el balance hídrico en la zona de proyecto se realiza con el fin de conocer la recarga de los acuíferos de la zona.

Siguiendo la metodología del balance hídrico de Thorntwaite, a nivel de discretización mensual, y teniendo en cuenta los valores de infiltración (precipitación efectiva en el suelo) y los valores estimados de evapotranspiración potencial, se calculó tanto la reserva de humedad del suelo como el déficit y el excedente de la misma humedad, teniendo en cuenta una capacidad de almacenamiento de humedad en el suelo de 50 mm. Estos valores concuerdan con suelos francos y francos arcillosos, con humedades disponibles respectivas de 17 cm/m de suelo, y profundidad de suelos de 60 cm.

Esta información básica se adoptó como la variable de cambio de almacenamiento, para calcular un balance hídrico a nivel mensual para todo el periodo de registro de precipitación. La razón por la cual se siguió este procedimiento radica en la necesidad de representar de mejor forma la reserva de agua que tiene el suelo de un año a otro y de esta forma obtener resultados más confiables para el período de análisis.

De acuerdo con esta metodología de Thorntwaite, el excedente de humedad del suelo en un mes específico, cuando se supera la capacidad de almacenamiento de agua del suelo, se reparte en un 50 % como agua que percola, convirtiéndose en escorrentía subterránea y finalmente transformándose en escorrentía superficial, y llegando a la corriente respectiva el mismo mes, y el otro 50 % como agua que percola y que refuerza el excedente del mes siguiente, es decir que refuerza el agua subterránea en el nivel freático del siguiente mes; de esta manera, con esta última fracción se tiene en cuenta el proceso lento del agua en su movimiento de percolación en el suelo hasta que se alcanza el nivel freático, y posteriormente su movimiento como escorrentía subterránea hacia la corriente específica transformándose en escorrentía superficial.

Es verdad que los porcentajes en los balances hídricos para diferir la lámina de agua percolada a lo largo del tiempo suelen ser variables, de acuerdo con las características de los suelos y además con el tamaño de las cuencas consideradas, pero estos porcentajes en la práctica son muy difíciles de determinar. Sin embargo, y siguiendo los lineamientos de la teoría de Thorntwaite, se considera que la proporción mencionada de que el 50 % de los excesos de precipitación se presentan en el mes considerado y que el otro 50 % (escurrimiento subterráneo) es trasladado al mes siguiente, representa valores promedio de características de suelos como los presentados en el área de estudios.

Es claro que en este modelo se tiene en cuenta que existe siempre una conexión entre el nivel freático y la corriente de agua; en caso de que no exista esa conexión, los excedentes del balance hídrico irán a reforzar el agua del nivel freático, y su movimiento se convertirá en escorrentía subterránea que posteriormente podrá convertirse en escorrentía superficial sobre el cauce de otras corrientes que se encuentren a cotas más bajas, pudiendo eventualmente ser utilizada como agua subterránea mediante su explotación por pozos profundos.

Así entonces, el resultado del balance o la recarga de acuíferos mensual y total anual para los años promedio, seco y húmedo calculada a partir de la metodología se presenta en el **Anexo F-11 Balance Hídrico y Recarga Potencial** respectivamente.

Para las isolíneas de recarga total anual para el año promedio, se observa que los valores fluctúan entre los 0 mm y 867.63 mm, siendo evidente una zona de mayor recarga en la parte perimetral del Departamento del Huila, que se disminuye en la zona central hasta llegar a 0, como se ve en la **Ilustración 149**.

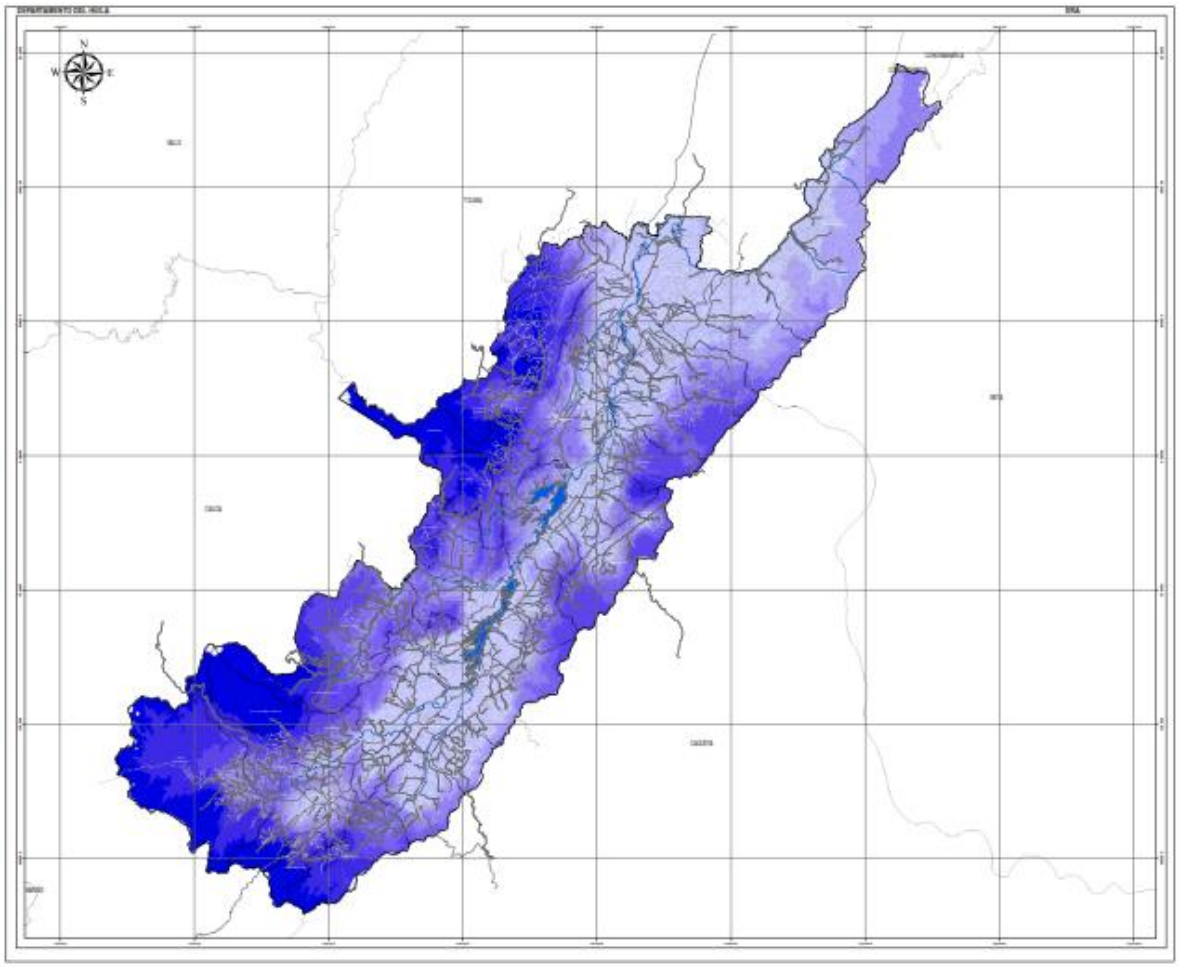


Ilustración 149 Isolíneas de Recarga de Acuíferos Total Anual Para el Año Promedio.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

Finalmente, en la **Ilustración 150** se presentan las isolíneas de recarga total anual para el año Húmedo, donde se observa que los valores fluctúan entre los 0 mm y 1731 mm de recarga, cuya zona de mayor infiltración es la parte central del Departamento.

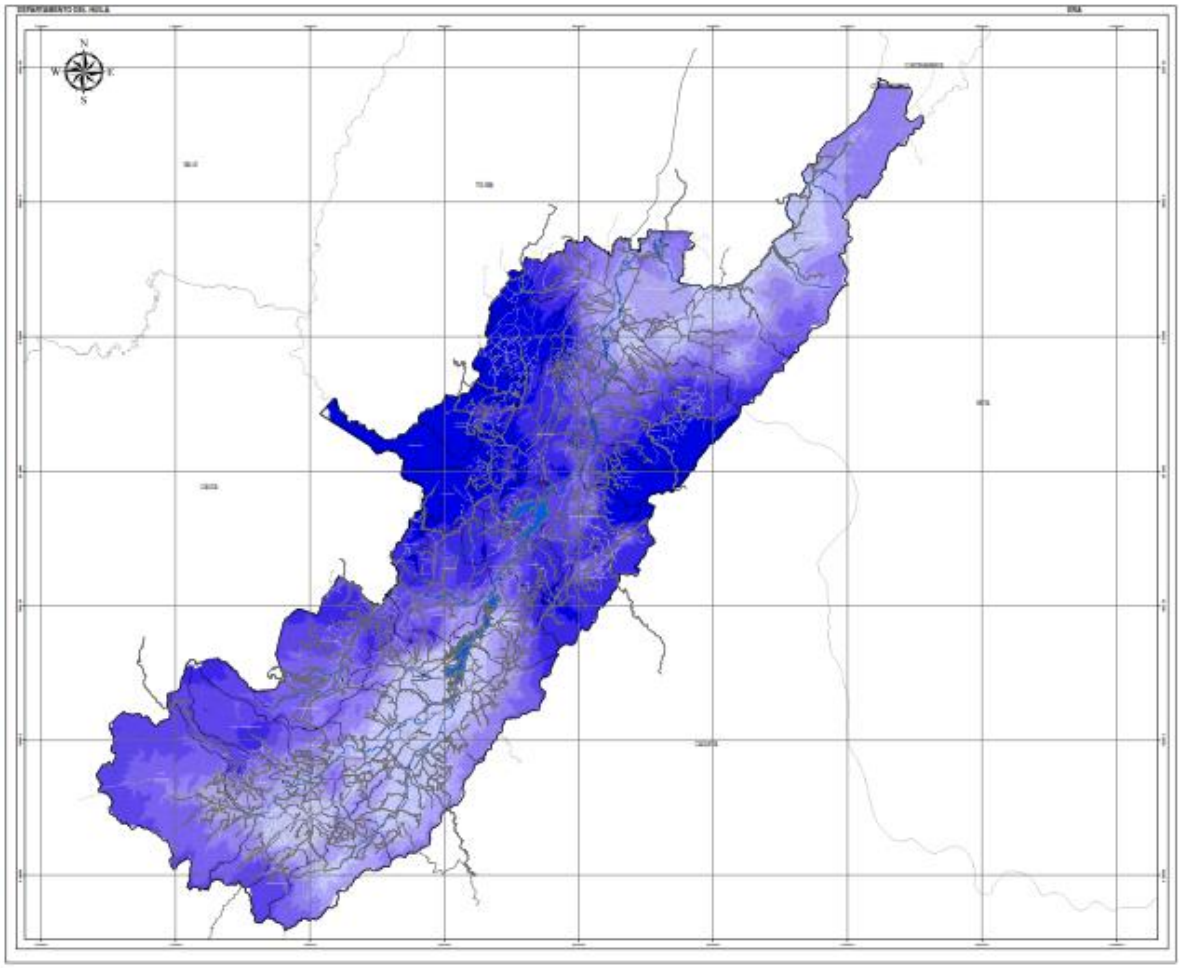


Ilustración 150 Isolíneas de Recarga de Acuíferos Total Anual Para el Año Húmedo.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

6. EVALUACIÓN HIDROGEOQUÍMICA Y DE CALIDAD DE AGUA

Para el análisis hidrogeoquímicos y de calidad de agua se tomaron 391 puntos proporcionados por la Corporación Regional Autónoma del Alto Magdalena (CAM), 80 puntos de la base de datos de Ingeominas (1999) y 10 muestreados por el Consorcio PMAA 2016. Se encontraron faltantes en la información química de los puntos de captación proporcionados de la CAM, por lo tanto este número se vio reducido para tomar las muestras con mejor exposición de datos para su interpretación química y de calidad de agua, inicialmente los expedientes de la CAM mostraban un total de 933 puntos para el área del ERA, pero más de la mitad no proporcionan suficiente información química del agua, por lo tanto se tomaron únicamente aquellos con al menos un parámetro químico para observar la calidad del agua, pero solo aquellos cuya información estaba completa fueron utilizados para análisis hidrogeoquímicos.

Las provincias hidrogeográficas se dividieron teniendo en cuenta la influencia tectónica y estructural de la zona. El área del ERA, comprende 15 provincias mostradas en la (Ilustración 151). A su vez, el Valle del Río Magdalena, al comprender la mayor cantidad de puntos fue subdividido en las 3 formaciones geológicas que lo componen; Formación Honda, Formación Gigante y Depósitos Cuaternarios (**Ilustración 152**).

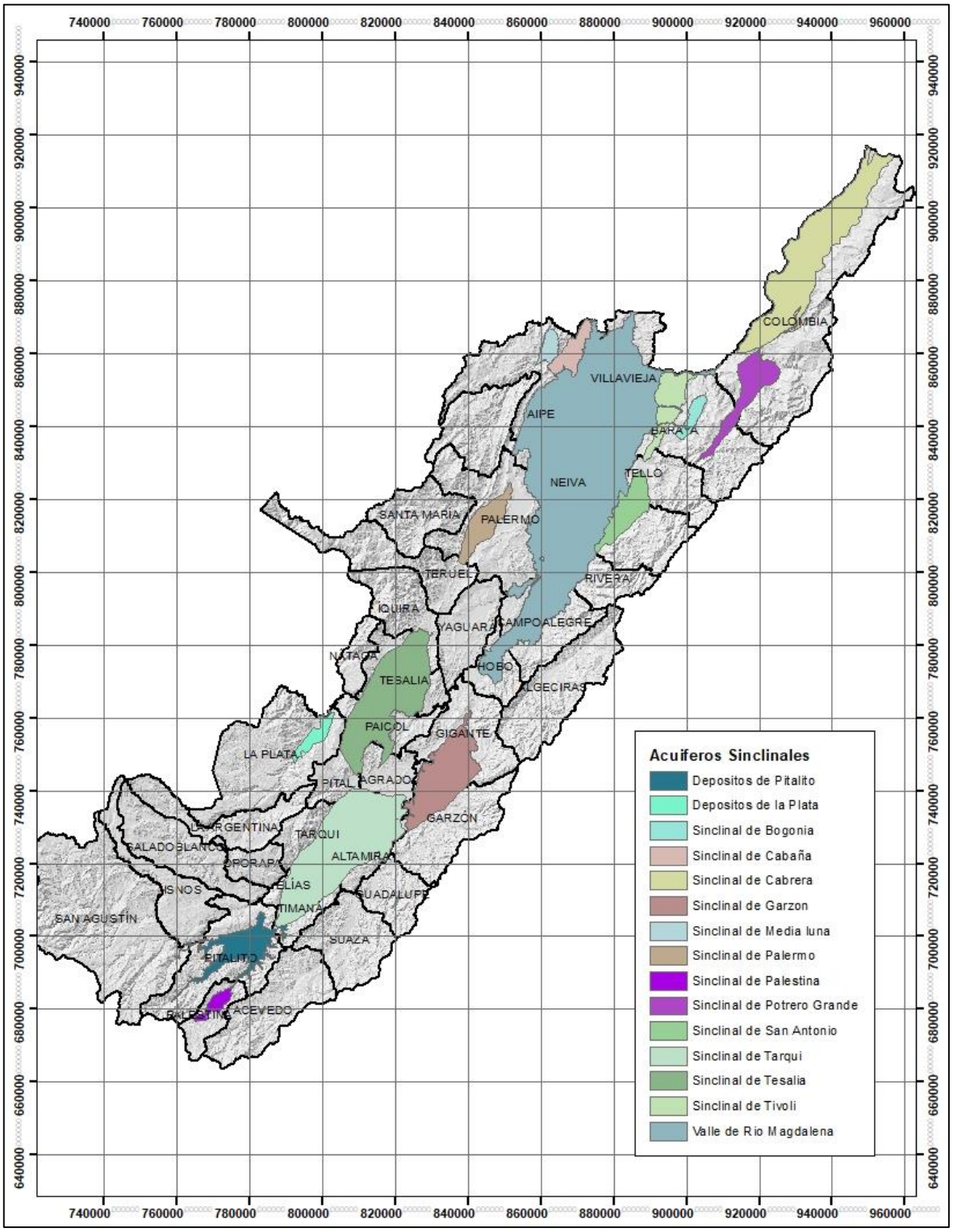


Ilustración 151 Provincias Hidrogeográficas ERA
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

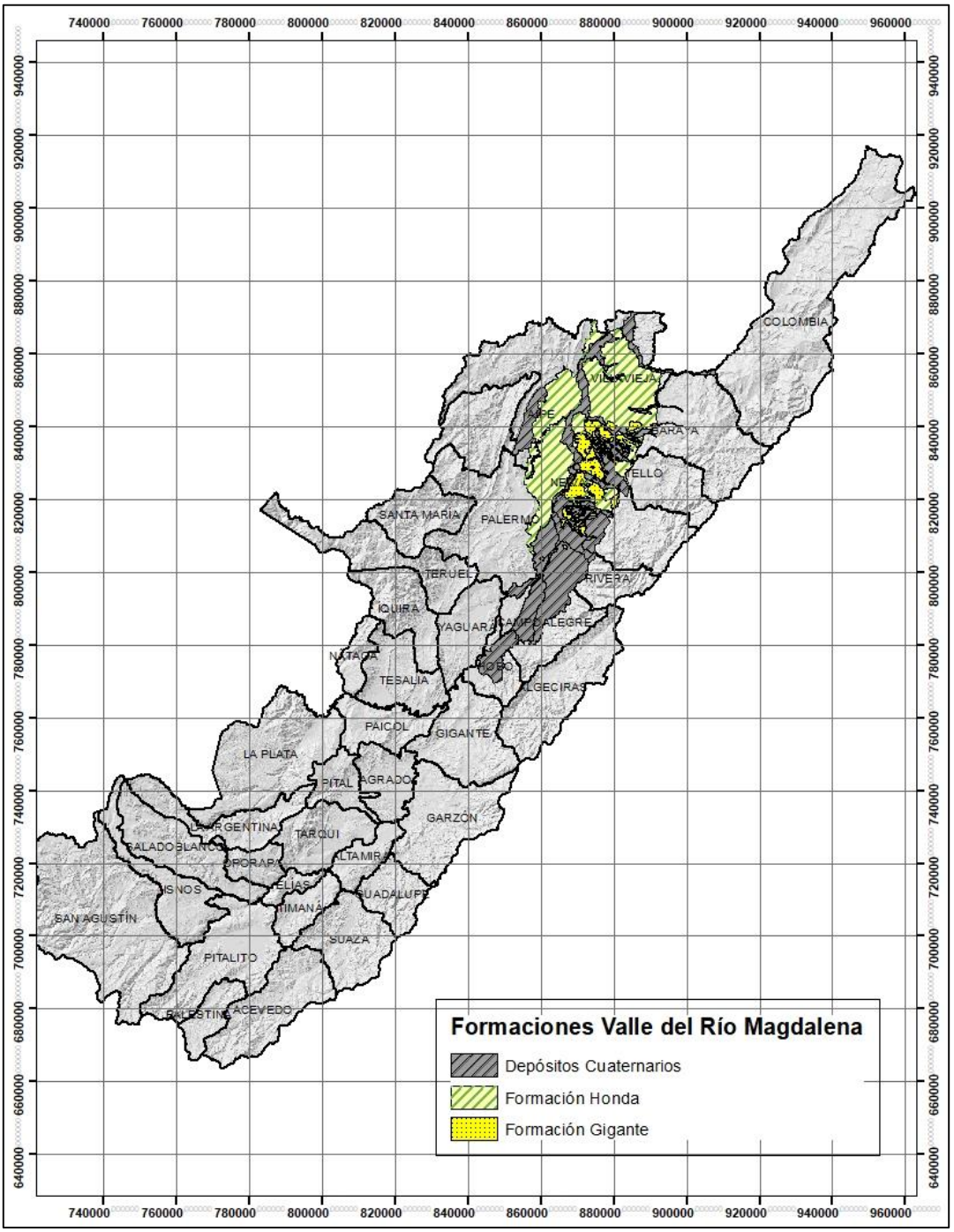


Ilustración 152 Subdivisión por formaciones de la provincia Valle del Río Magdalena
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

La distribución de los puntos de captación se muestra en las ilustraciones **Ilustración 153, Ilustración 154 e Ilustración 155**.

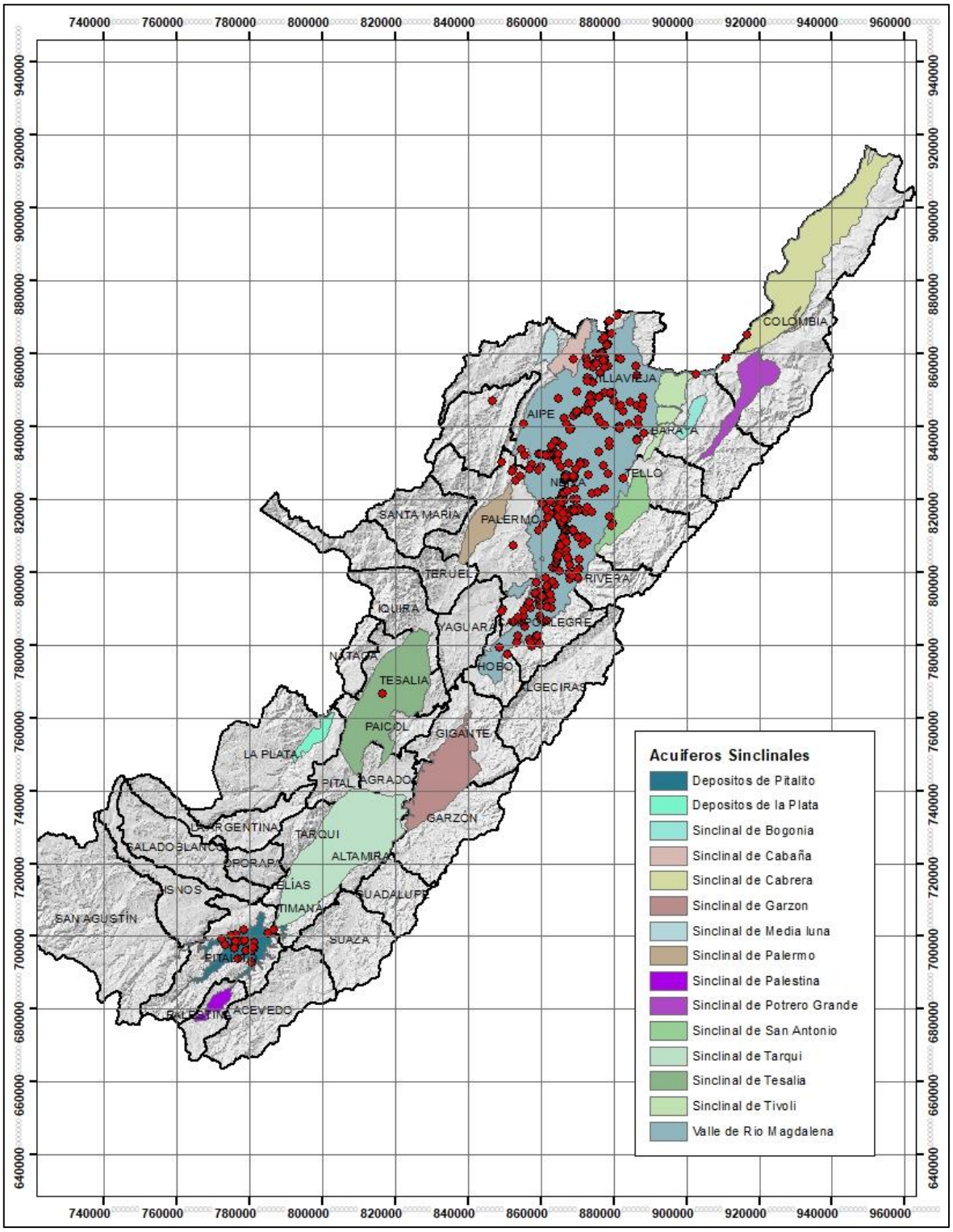


Ilustración 153 Distribución de la totalidad de los puntos de captación provenientes de los expedientes de la CAM
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

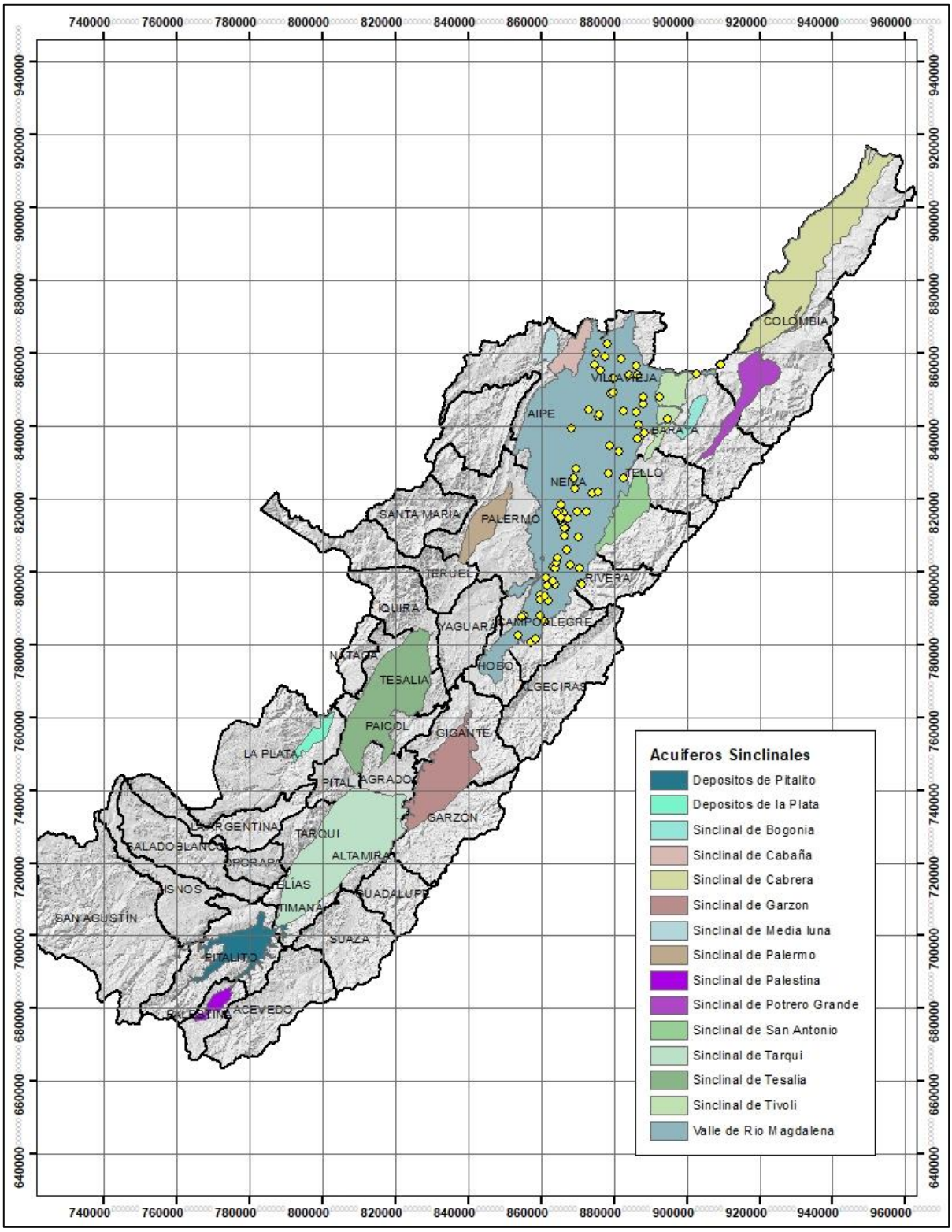


Ilustración 154 Distribución de los puntos de la base de datos de Ingeominas
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

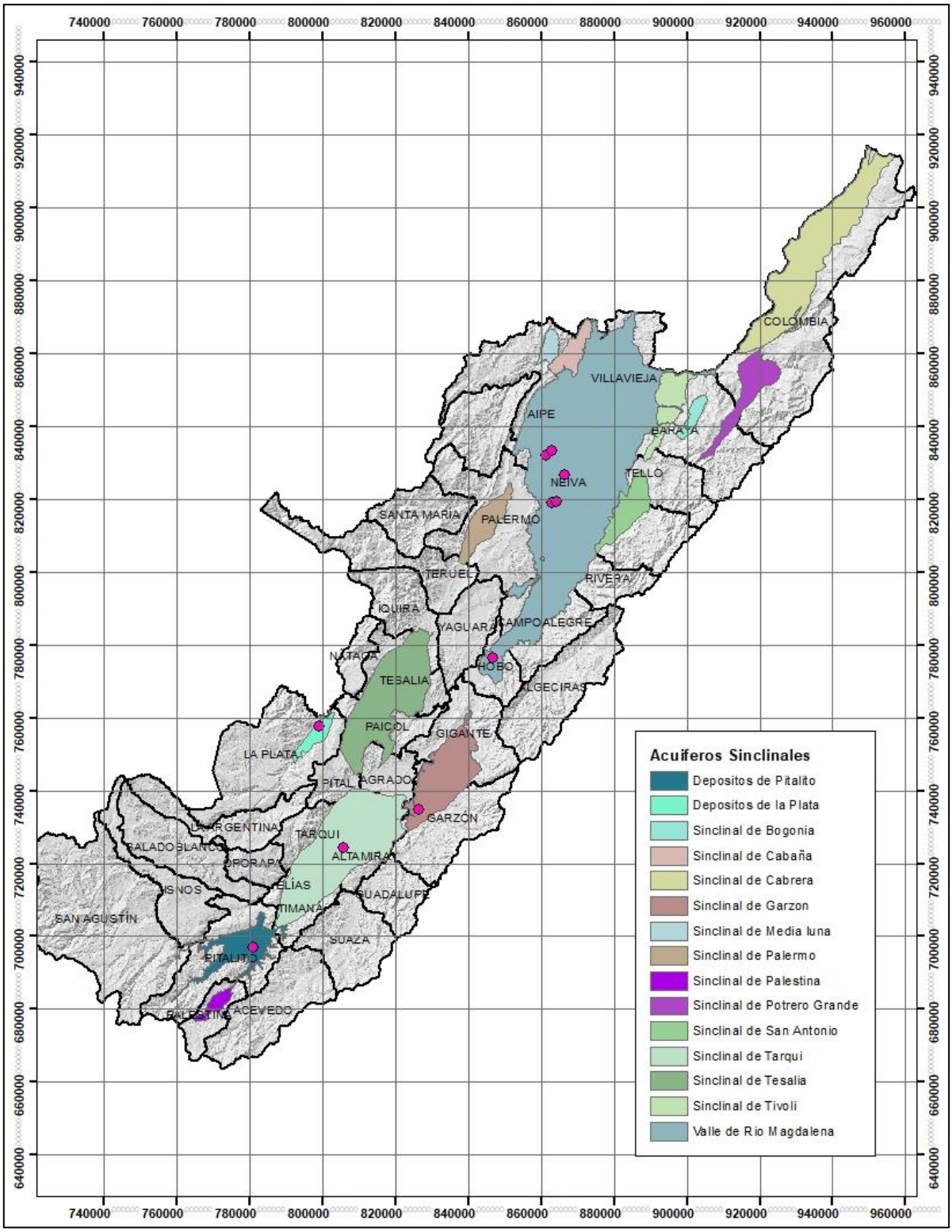


Ilustración 155 Distribución de los puntos tomados por el Consorcio PMAA
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

6.1 HIDROGEOQUÍMICA

Se realizó de manera preliminar una recopilación y depuración de estos datos, a su vez el área fue dividida en diferentes provincias hidrogeológicas que en el caso del análisis hidrogeoquímicos se evidencian faltantes de datos para realizar el balance iónico. Posteriormente se tomaron las coordenadas de cada punto para localizarlos geográficamente en su respectiva provincia hidrogeológica, cabe notar que la provincia con la mayor cantidad de información es la del Valle del Río Magdalena, siendo la más grande formando parte del sinclinorio en el que se ubica el Departamento del Huila. Debido a los faltantes ya mencionados la mayor parte de la información hidrogeoquímica a observar más adelante será tomada en su mayoría de la base de datos de Ingeominas y los puntos muestreados por el Consorcio PMAA ya que contienen todos los datos de iones necesarios para el análisis; reduciendo así a 77 los puntos con información de hidrogeoquímica. A continuación se muestran fotografías de los puntos muestreados por el Consorcio PMAA **(Ilustración 156, Ilustración 157, Ilustración 158, Ilustración 159, Ilustración 160, Ilustración 161 e Ilustración 162**).

FINCA EL CORRALÓN

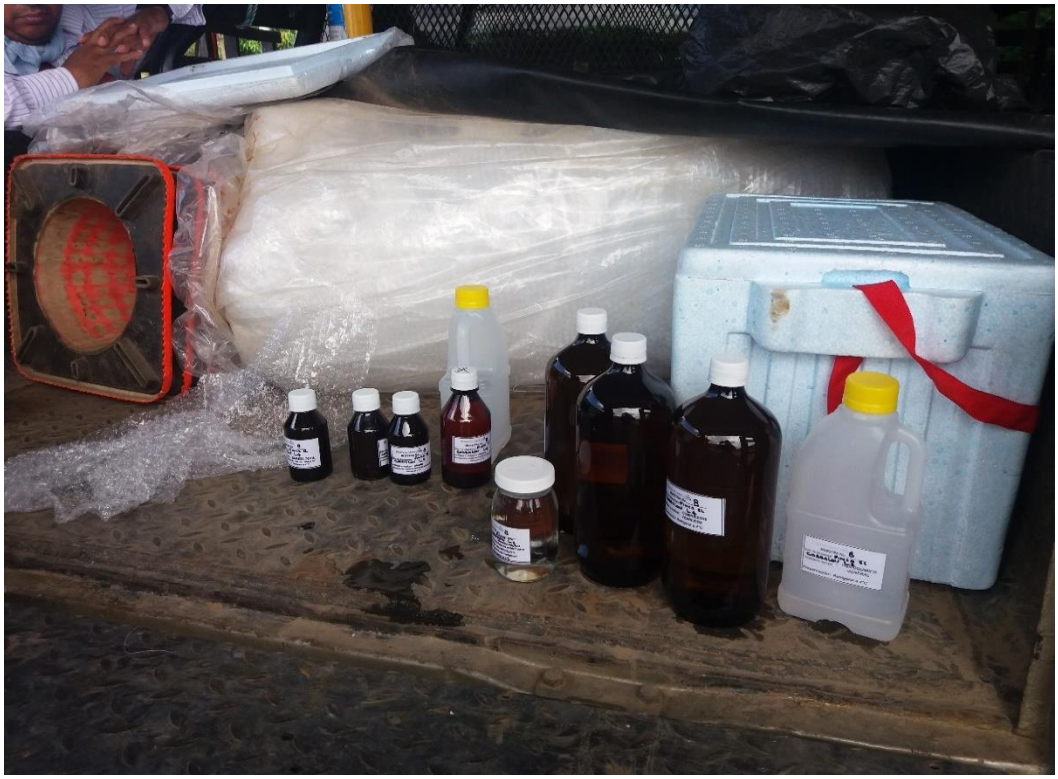


Ilustración 156 Muestreo punto Finca El Corralón (Tarqui)
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

JAC VEREDA DINA

Ilustración 157 Muestreo punto Jac Vereda Dina (Aipe)
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

Ilustración 158 Muestreo punto Finca Lagomar Fish (Hobo)
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

COOTRAGIGANTE

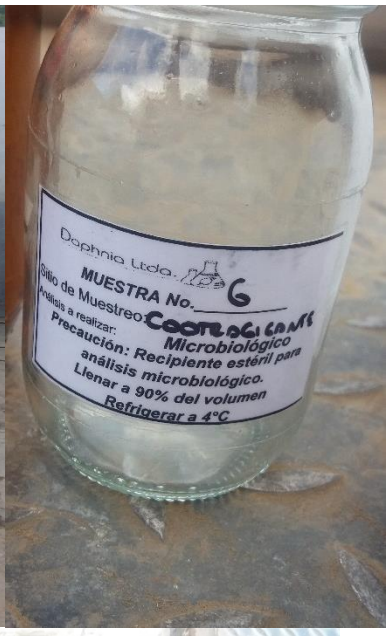


Ilustración 159 Muestreo punto Cootragigante (Garzón)
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

HOTEL BALCONES DE LA PRADERA

Ilustración 160 Muestreo punto Hotel Balcones de la Pradera (La Plata)
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

CRA 4 #9 -81-10

Ilustración 161 Muestreo punto Cra 4#9 81-10 (Pitalito)
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

SEDE - CAM

Ilustración 162 Muestreo punto Sede CAM (Neiva)
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

6.1.1 BALANCE IÓNICO

El balance de iones es la verificación de que la suma de aniones es aproximadamente igual a la suma de mili-equivalentes de cationes; esto último aprovechando la electro-neutralidad del agua, propiedad que puede distorsionarse si existen ciertos fenómenos. El cálculo del balance de iones (o balance de carga) normalmente es obtenido como un porcentaje tomando la diferencia de la concentración equivalente de cationes y aniones y dividiendo entre la suma de los mismos, esto tomado 100 veces para obtener un porcentaje.

$$Error(\%) = \frac{\sum cationes - \sum aniones}{\sum cationes + \sum aniones} \times 100$$

Los rangos de error para aceptar o no el análisis de una muestra de agua, dependen según la literatura, del valor de conductividad eléctrica (Custodio & Llamas, 1976) o de la sumatoria de aniones (Crites & Tchobanoglous, 2000). Las tablas (**Tabla 55** y **Tabla 56**) muestran los valores guía para cada criterio respectivamente.

Tabla 55 Error aceptable en el balance iónico según la conductividad eléctrica

Conductividad eléctrica (µs/cm)	50	200	500	2000	>2000
Error aceptable (%)	±30	±10	±8	±4	±4

Fuente: (Custodio & Llamas, 1976)

Tabla 56 Error aceptable en balance iónico según sumatoria de aniones

Σ Aniones (meq/L)	Error aceptable (%)
0-3	± 0.2
3-10	± 2
10-800	± 5

Fuente: (Crites & Tchobanoglous, 2000)

Para analizar los iones de la zona de estudio ésta se dividió en zonas acuíferas controladas por pliegues estructurales, cada una representa una formación o grupo de formaciones rocosas. Se tuvieron en cuenta 384 muestras de captación tomadas de la base de datos de la CAM, Ingeominas y el Consorcio PMMA Magdalena 2016. También se mostrará la relación de iones con los diagramas de Stiff, Piper y Schöeller, estos fueron extraídos del programa “Diagrammes”. La **Tabla 57** muestra el origen de los principales aniones y cationes disueltos en el agua subterránea.

Tabla 57 Origen de las principales sustancias disueltas en el agua subterránea.

Tipo	Ion	Orígenes
Aniones	Cloruro (Cl-)	Mezclas con agua marina, ataque de rocas y minerales (evaporitas, sodalita, apatito, etc.), de gases y líquidos de emanaciones volcánicas, vertidos urbanos e industriales.
	Sulfato (SO4)	Lavado de terrenos marinos, oxidación de sulfuros de todo tipo de rocas, concentración en el suelo de aguas de lluvia, disolución de yeso, anhidrita y terrenos yesíferos, actividades urbanas, industriales y agrícolas.
	Bicarbonato (HCO3-)	Disolución de CO2 atmosférico o del suelo, disolución de calizas y dolomitas (ayudado por CO2 o por ácidos naturales), hidrólisis de silicatos
	Nitrato (NO3)	Abonos agrícolas, procesos de nitrificación naturales, agua de lluvia, desarrollo de pozos explosivos, descomposición de materia orgánica y contaminación urbana, industrial y ganadera.
Cationes	Sodio (Na+)	Ataque de feldespatos y otros silicatos, lavado de sedimentos marinos, mezcla con agua de mar, disolución de sales evaporitas, contaminación urbana e industrial, concentración en agua de lluvia.
	Potasio (K+)	Ataque de ortosa y otros silicatos (micas, arcillas, etc.), disolución de sales potásicas (sylvita, carnalita), agua de lluvia, contaminación minera, industrial y agrícola (abonos).
	Calcio (Ca2+)	Disolución de calizas, dolomitas, yeso y anhidrita, ataque de feldespatos y otros silicatos cálcicos, disolución de Cationes cemento calcáreo de muchas rocas, agua de lluvia
	Magnesio (Mg2+)	Disolución de dolomitas y calizas dolomíticas, ataque de silicatos magnésicos y ferromagnésicos, lavado de rocas evaporíticas magnésicas (carnalita), agua de mar, contaminación industrial y minera.

Fuente (Custodio & Llamas, 1976)

6.1.1.1 VALLE DEL RÍO MAGDALENA

Es el área acuífera más grande definida contando con 356 puntos de captación que corresponden al mayor porcentaje de los puntos captados con información hidrogeoquímica. Al ser la zona con mayor cantidad de puntos, se dividió a su vez en formaciones geológicas para analizar su comportamiento.

6.1.1.1.1 DEPÓSITOS CUATERNARIOS

Se localizaron 188 puntos de captación en los depósitos cuaternarios asociados al valle del Magdalena. De estos solamente se tiene información suficiente de 43 puntos para realizar el balance iónico y los diagramas correspondientes para caracterizar el agua. En general el % de error del balance iónico se encuentra dentro de los límites normales (Custodio & Llamas, 1976). El balance iónico para esta zona se muestra a continuación en la **Tabla 58**.

Tabla 58 Balance iónico para los depósitos cuaternarios

Nombre	Σ Cationes (meq/L)	Σ Aniones (meq/L)	Conductividad (µs/cm)	% Error Balance iónico
LAGOMAR FIHS	1,7295	2,4216	227,6	-17%
345-II-C-034	1,5152	1,2262	157,8	11%
345-II-C-001	2,7383	2,3333	236	8%
345-II-C-005	2,6508	2,4034	278	5%
345-II-C-023	4,222	3,4694	390	10%
345-II-C-024	1,8573	1,9939	197	-4%
345-II-C-031	2,637	2,6316	275	0%
345-II-A-004	3,4043	2,8634	344	9%
345-II-A-024	1,8	1,6436	188,7	5%
345-II-A-012	2,2215	2,0957	228	3%
345-II-A-039	2,1656	1,9878	232	4%
345-II-A-031	2,0483	1,8816	220	4%
345-II-A-032	1,3813	1,1013	139,3	11%
345-II-A-035	1,6693	1,2792	176	13%
345-II-A-034	2,5695	1,897	306	15%
323-IV-C-001	1,7	1,4893	189,2	7%
323-IV-D-009	1,4076	1,3756	152,4	1%
323-IV-C-003	1,8064	1,565	197	7%
323-IV-D-020	1,365	1,1515	139,6	8%
323-IV-C-008	1,8397	1,6768	201	5%
323-IV-C-011	1,6036	1,4132	167,4	6%
323-IV-D-017	2,9883	2,5303	307	8%
323-IV-D-007	2,9325	3,5068	308	-9%
323-IV-D-021	3,4682	2,7653	328	11%
323-IV-B-014	4,2241	3,4168	391	11%
323-IV-B-012	2,8643	2,5366	295	6%
323-IV-B-040	2,6567	2,312	252	7%
323-IV-B-039	4,3978	3,6801	427	9%
323-IV-B-043	6,4244	6,6478	700	-2%
323-IV-B-045	5,1675	4,6117	553	6%
323-IV-B-047	4,9255	4,4092	504	6%
323-IV-B-048	8,6908	8,8286	830	1%
323-IV-B-005	1,3348	0,98391	105,5	15%
323-IV-B-035	1,873	1,767	206	3%
323-IV-B-034	4,8563	4,6513	492	2%
SEDE - CAM	5,4145	4,7436	490	7%

Nombre	Σ Cationes (meq/L)	Σ Aniones (meq/L)	Conductividad (µs/cm)	% Error Balance iónico
323-II-D-015	2,1375	2,5102	224	-8%
323-II-D-003	3,1854	2,8105	323	6%
323-II-D-002	1,9541	1,6155	200	9%
323-II-B-008	5,246	4,5114	478	8%
303-III-B-003	8,975	8,6536	861	2%
302-III-B-002	3,3025	3,1169	340	3%
302-II-D-006	3,6502	3,3562	386	4%

Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

6.1.1.1.2 FORMACIÓN GIGANTE

Los puntos de captación correspondientes a la Formación Gigante se componen de 48 puntos. La parte norte de la Formación en el Departamento del Huila comprende principalmente los municipios de Baraya, Tello y Neiva. Sólo 9 puntos poseen información suficiente para determinar el balance iónico y los diagramas correspondientes (**Tabla 59**), teniendo en cuenta que los puntos de captación se realizaron principalmente en la Formación Gigante medio (N2gim). Los datos de error de balance iónico son en general aceptables cuando se toma como parámetro la conductividad.

Tabla 59 Balance iónico para la Formación Gigante.

Nombre	Σ Cationes (meq/L)	Σ Aniones (meq/L)	Conductividad (µs/cm)	% Error Balance iónico
323-IV-B-025	6,392	5,3074	598	9%
323-IV-B-022	2,8937	2,0458	244	17%
323-IV-B-028	3,9784	3,2698	350	10%
323-IV-B-041	4,1107	3,2792	413	11%
323-II-D-016	1,7164	2,0673	166,8	-9%
323-II-D-014	2,1111	1,7813	204	8%
324-I-A-007	1,8418	1,2907	168,3	18%
324-I-A-005	6,2942	5,877	630	3%
303-III-C-013	5,4918	4,9938	541	5%

Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

6.1.1.1.3 FORMACIÓN HONDA

Se listan un total de 120 puntos para esta formación, de los cuales solamente 10 tienen información completa para realizar el balance iónico. La mayor cantidad de puntos de captación se encuentra en la parte norte del Departamento, comprendiendo los municipios de Villavieja y Baraya y en la parte central en los municipios de Rivera y Neiva. La (**Tabla 60**) muestra los valores correspondientes a balance iónico de la Formación Honda. Según (Custodio y Llamas, 1976) los valores del error del balance iónico muestran algunos valores altos junto a un valor extremo de 37%.

Tabla 60 Balance iónico para la Formación Honda.

Nombre	Σ Cationes (meq/L)	Σ Aniones (meq/L)	Conductividad (µs/cm)	% Error Balance iónico
324-I-C-003	4,7085	10,346	1060	-37%
ARENAS 6 ECOPETROL	2,486	3,2447	336	-13%
BABILLAS 2 ECOPETROL	5,5961	8,3364	777	-20%
JAC - DINA	2,1292	2,8808	287,2	-15%
ACUEDUCTO AGUAS CLARAS	3,1119	3,8995	438	-11%
302-IV-D-018	2,1662	1,3687	157,7	23%
303-III-C-007	4,8126	3,2244	359	20%
302-IV-D-002	1,796	2,3499	262	-13%
303-III-A-009	3,9253	2,4742	259	23%
303-III-A-007	7,3088	5,3405	428	16%

Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

6.1.1.2 SINCLINALES DE TIVOLI, TARQUI, GARZÓN Y DEPÓSITOS DE LA PLATA

Se encuentra un contraste en el error del balance iónico para las dos muestras del Sinclinal de Tivoli, uno con error aceptable de 4%, la otra con 18% (**Tabla 61**). El único punto del Sinclinal de Garzón posee un aceptable error en su balance iónico.

Tabla 61 Balance iónico sinclinales de Tivoli, Tarqui, Garzón y Depósitos de La Plata

Nombre	Σ Cationes (meq/L)	Σ Aniones (meq/L)	Conductividad (µs/cm)	% Error Balance iónico
FINCA EL CORRALON (Tarqui)	3,3926	3,6073	442	-3%
HOTEL BALCONES DE LA PRADERA (La Plata)	3,2535	4,7643	490	-19%
303-III-C-002 (Tivoli)	2,6365	1,85	222	18%
303-III-C-012 (Tivoli)	4,6458	4,3238	495	4%
COTRAGIGANTE (Garzón)	3,959	3,9106	527	1%

Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

6.1.1.3 DEPÓSITOS DE PITALITO

Se observan algunos datos con alto error en el balance iónico así como también se evidencian altas conductividades (**Tabla 62**).

Tabla 62 Balance iónico Depósitos de Pitalito

Nombre	Σ Cationes (meq/L)	Σ Aniones (meq/L)	Conductividad (µs/cm)	% Error Balance Iónico
LA VIRGINIA	1.1958	1.5916	210	-14%
HOSPITAL SAN ANTONIO	14.62	11.499	1700	12%
LA PONDEROSA 3	2.0673	2.8986	290	-17%
LAV.-PARQ. VILLA HERMOSA	5.7677	9.8822	960	-26%
EST. SERV. EL JARDIN	4.0208	4.3017	480	-3%
HERNÁN TOVAR 1	1.0763	1.3456	170	-11%
JAIME ORJUELA	2.3176	2.542	340	-5%
LADRILLERA LA PRADERA	1.9734	2.5344	280	-12%
PLANTA BIORGANICOS DEL SUR	1.0856	1.6004	160	-19%
BERLÍN 2	1.2368	1.7839	180	-18%
SEBASTOPOL 3	0.95713	1.1479	130	-9%
GALILEA 1	8.2835	4.5282	1000	29%
VILLA SOCORRO	1.6698	1.5568	200	4%
LA VICTORIA 4	0.46512	0.27519	20	26%
RANCHO SAN VICTORINO	1.664	1.6416	230	1%
CRA 4 # 9-81 - 9	2.1408	2.7322	527	-12%

Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

6.1.2 DIAGRAMA DE STIFF

Esta gráfica está compuesta por tres ejes horizontales, cada uno de ellos enfrentando un catión y un anión. Todos los cationes se disponen al costado izquierdo del diagrama, y los aniones al derecho. Todos los ejes horizontales están a la misma escala (lineal) y las concentraciones están dadas en meq/L. Se encuentran diagramas generalizados en las siguientes ilustraciones (**Ilustración 163**).

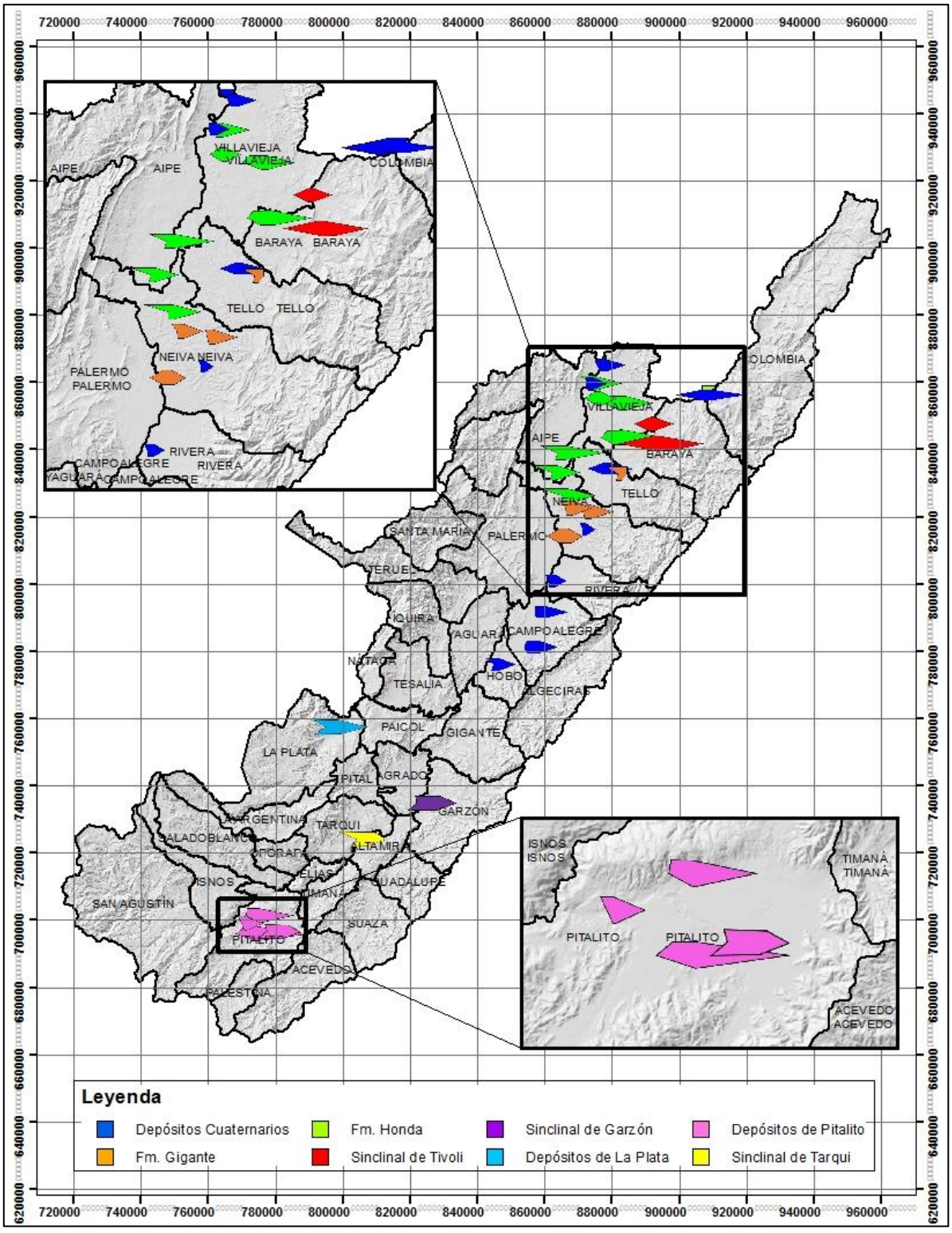


Ilustración 163 Diagrama Stiff para el Departamento del Huila

6.1.2.1 VALLE DEL RÍO MAGDALENA

6.1.2.1.1 DEPÓSITOS CUATERNARIOS

En los diagramas Stiff de estos depósitos se puede observar que el agua almacenada es principalmente carbonatada y bicarbonatada, en cuanto a los cationes se muestra un equilibrio entre calcio, sodio y potasio **(Ilustración 164 e Ilustración 165).**

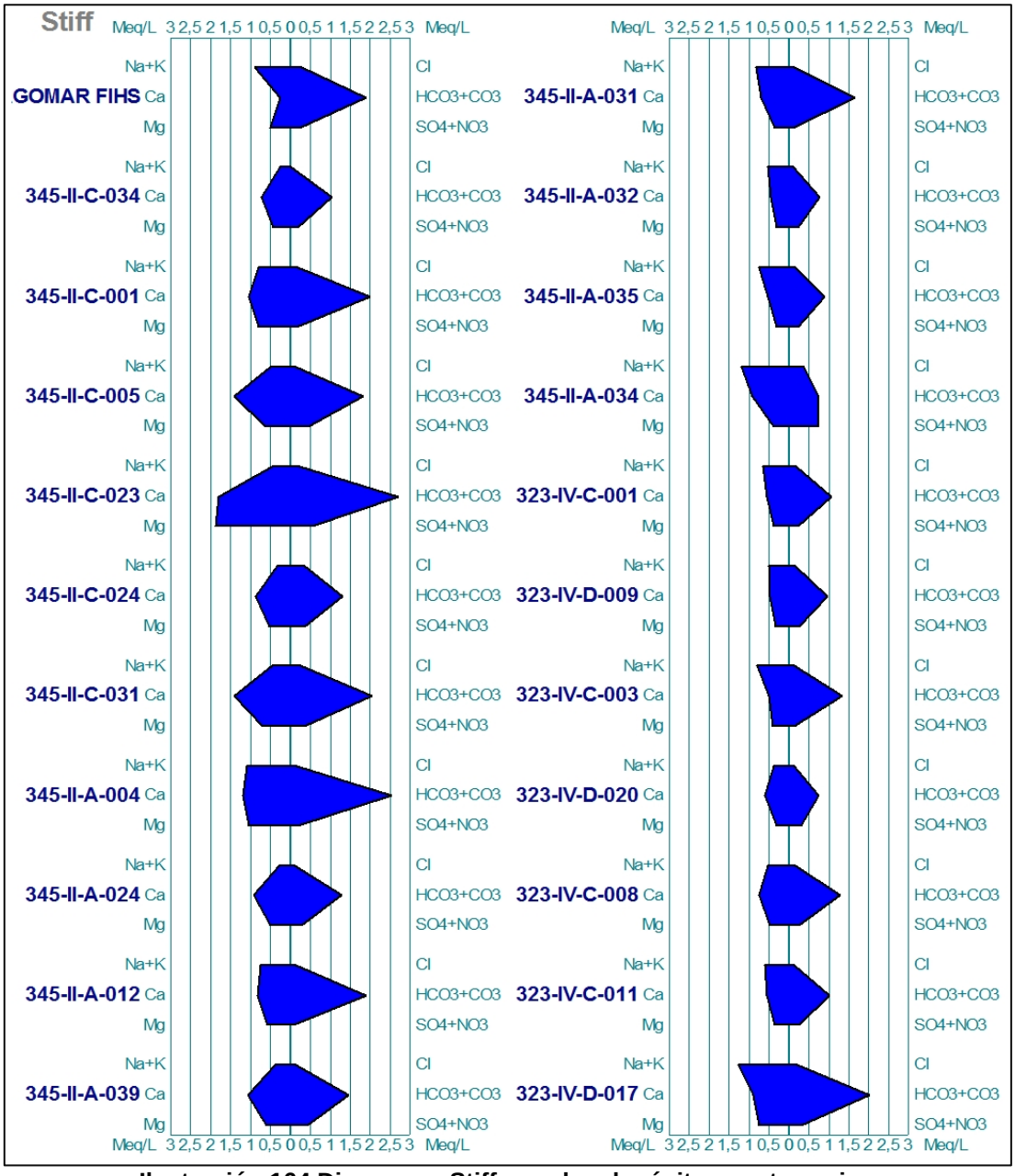


Ilustración 164 Diagramas Stiff para los depósitos cuaternarios
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

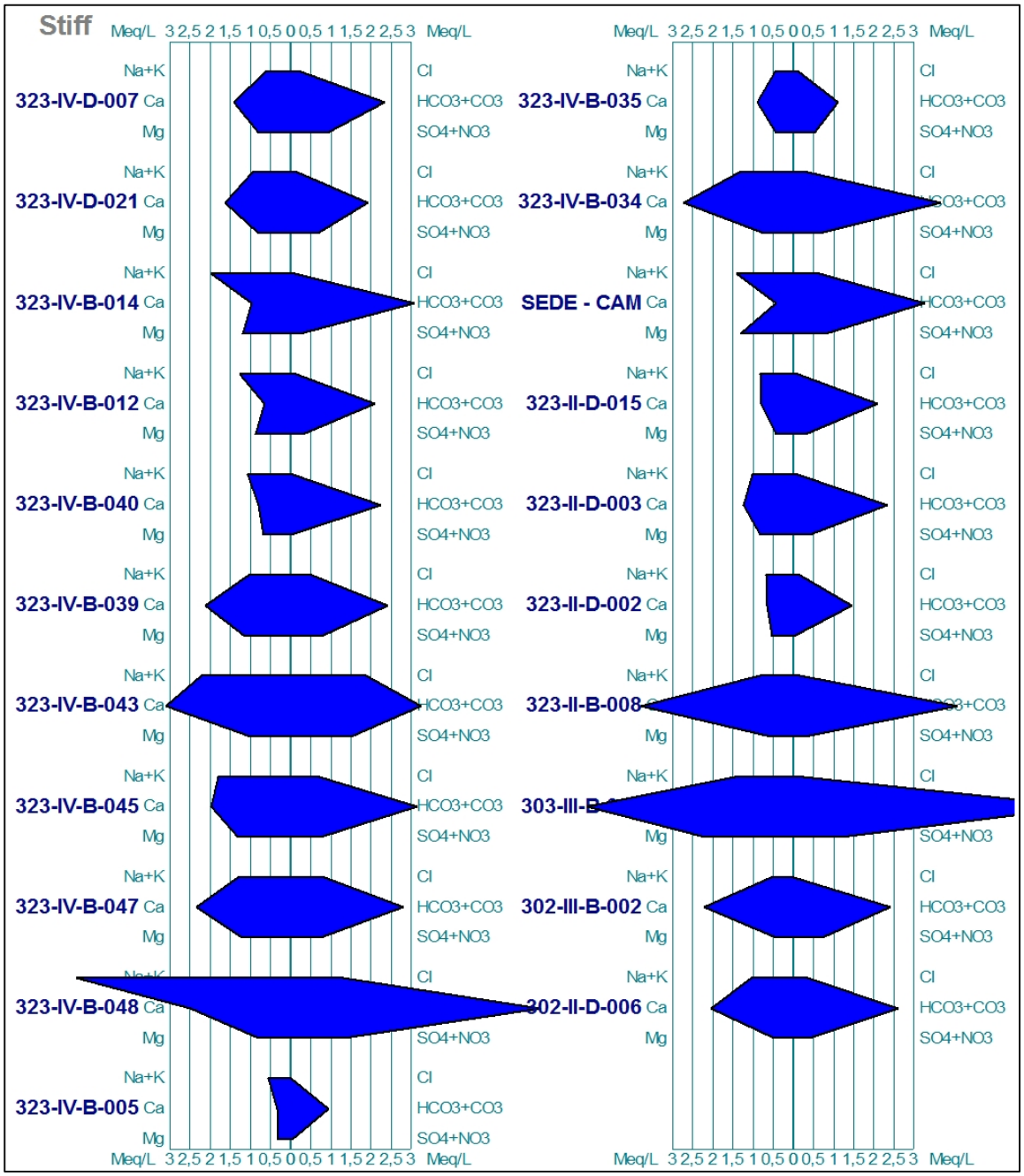


Ilustración 165 Diagramas Stiff para los depósitos cuaternarios
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

6.1.2.1.2 FORMACIÓN GIGANTE

En su mayoría el agua de la Zona 2 es carbonatada y bicarbonatada, algunas muestras presentan alto contenido de cationes (**Ilustración 166**).

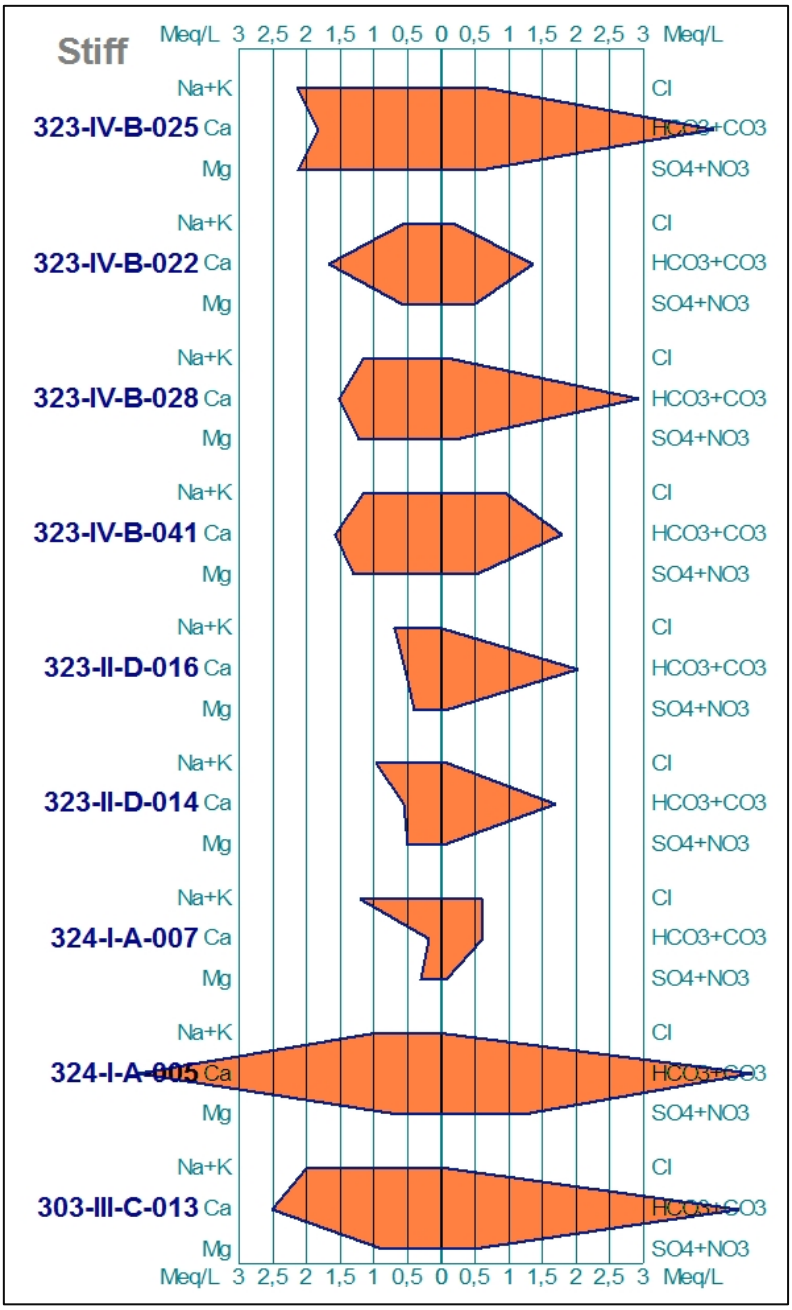


Ilustración 166 Diagramas Stiff para la Formación Gigante
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

6.1.2.1.3 FORMACIÓN HONDA

En cuanto al contenido de cationes el agua de la Formación Honda es principalmente sódico potásica, algunas muestras también se observan cálcicas, por el lado de los cationes predomina el carbonato y bicarbonato (**Ilustración 167**).

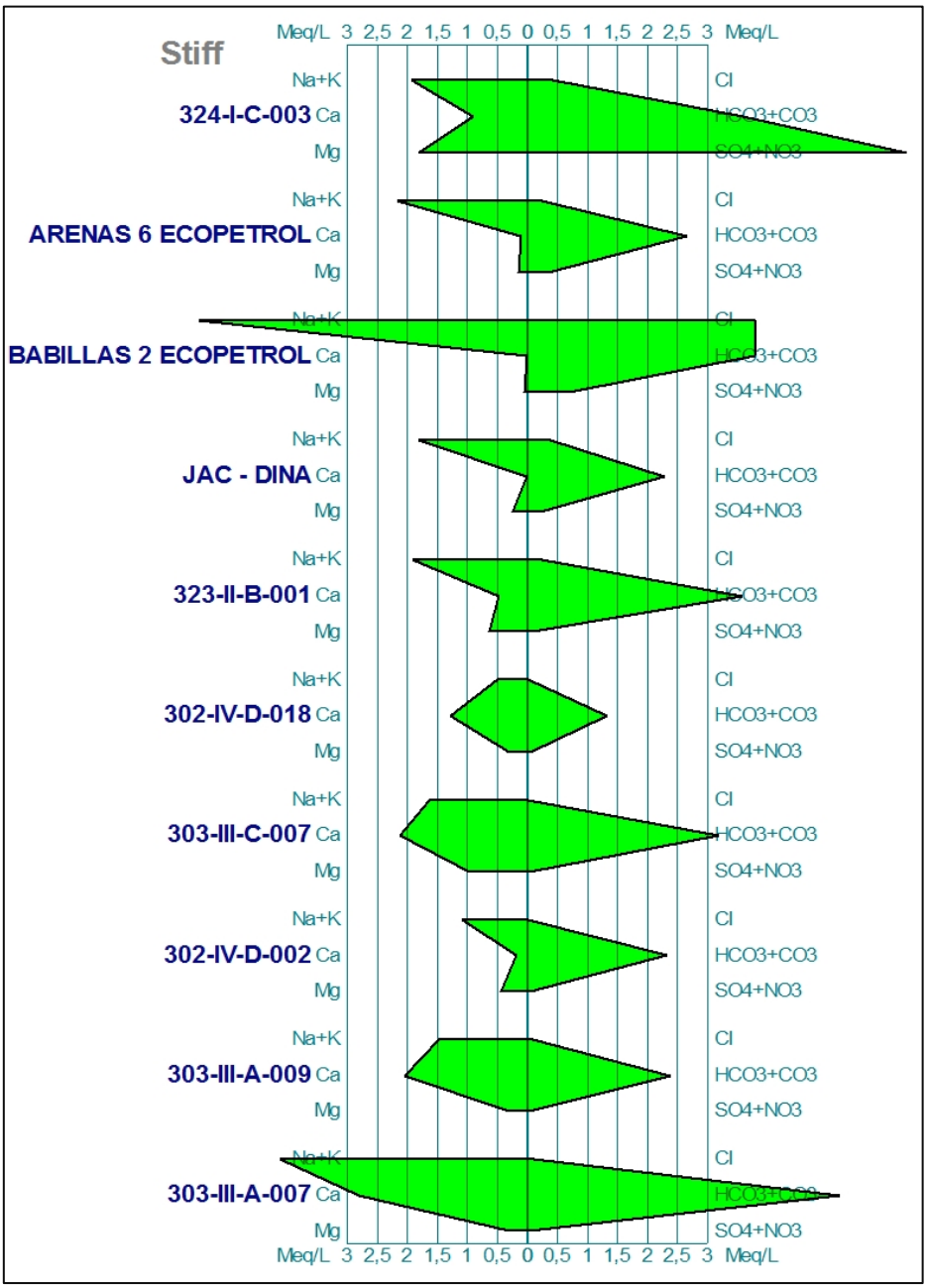


Ilustración 167 Diagramas Stiff para la Formación Honda
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

6.1.2.2 SINCLINALES DE TIVOLI, TARQUI, GARZÓN Y DEPÓSITOS DE LA PLATA

En general se observa un comportamiento carbonatado cálcico para todos los puntos de muestreo, los dos pertenecientes al Sinclinal de Tivoli (rojo) muestran alto contenido de calcio, el Sinclinal de Garzón (morado) muestra alto contenido de magnesio, mientras que el Sinclinal de Tarqui (naranja) muestra poco magnesio, pero alto sodio-potasio. Finalmente los depósitos de la plata (verde) presentan cantidades similares de sodio-potasio y magnesio. (**Ilustración 168**).

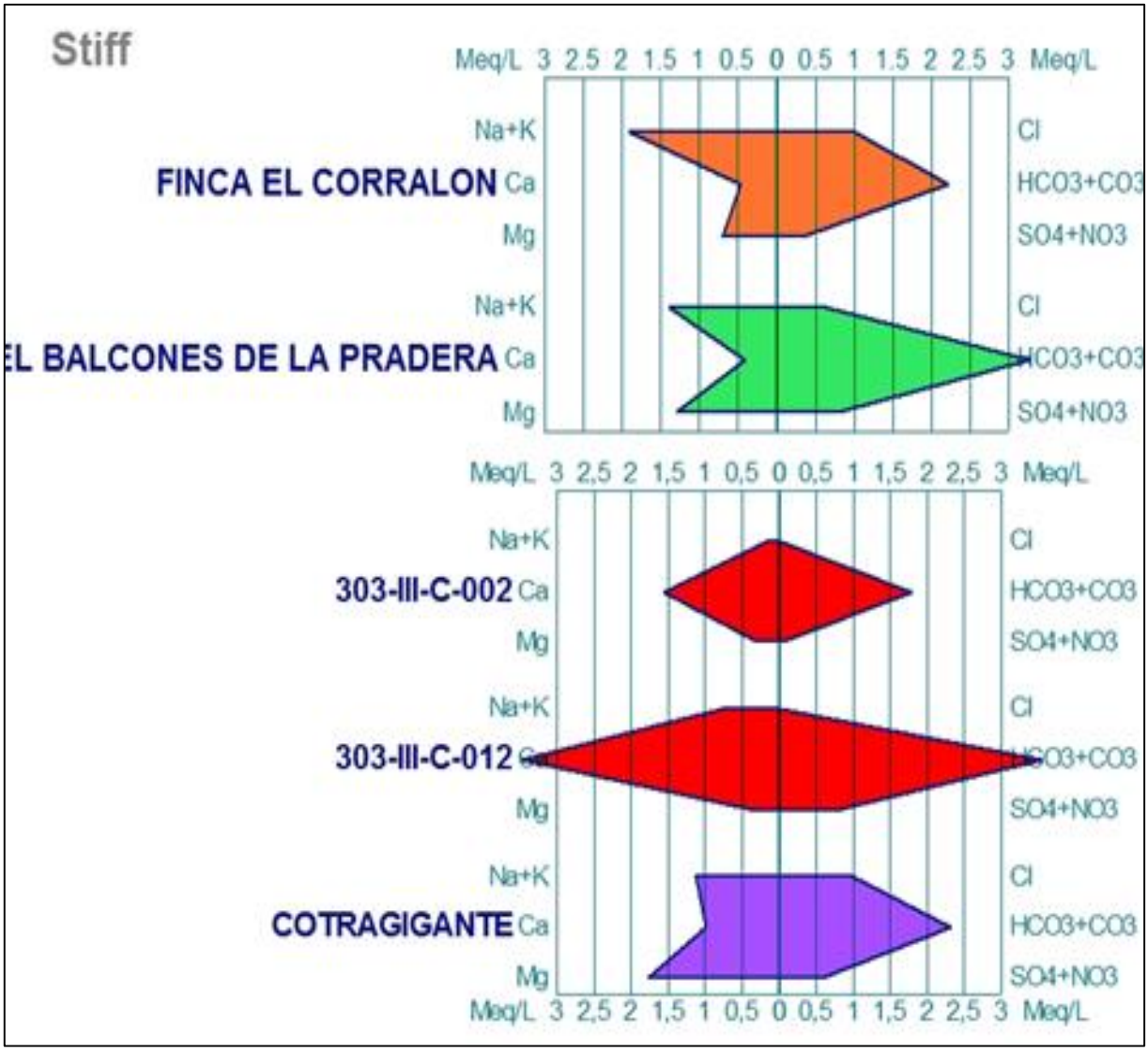


Ilustración 168 Diagramas Stiff para los sinclinales de Tivoli, Tarqui, Garzón y Depósitos de La Plata
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

6.1.2.3 DEPÓSITOS DE PITALITO

Se observa que predominan los carbonatos y bicarbonatos en el agua de la zona y algunos casos de alto contenido de sodio-potasio, un único punto (Galilea) muestra altas concentraciones de sulfatos (**Ilustración 169**).

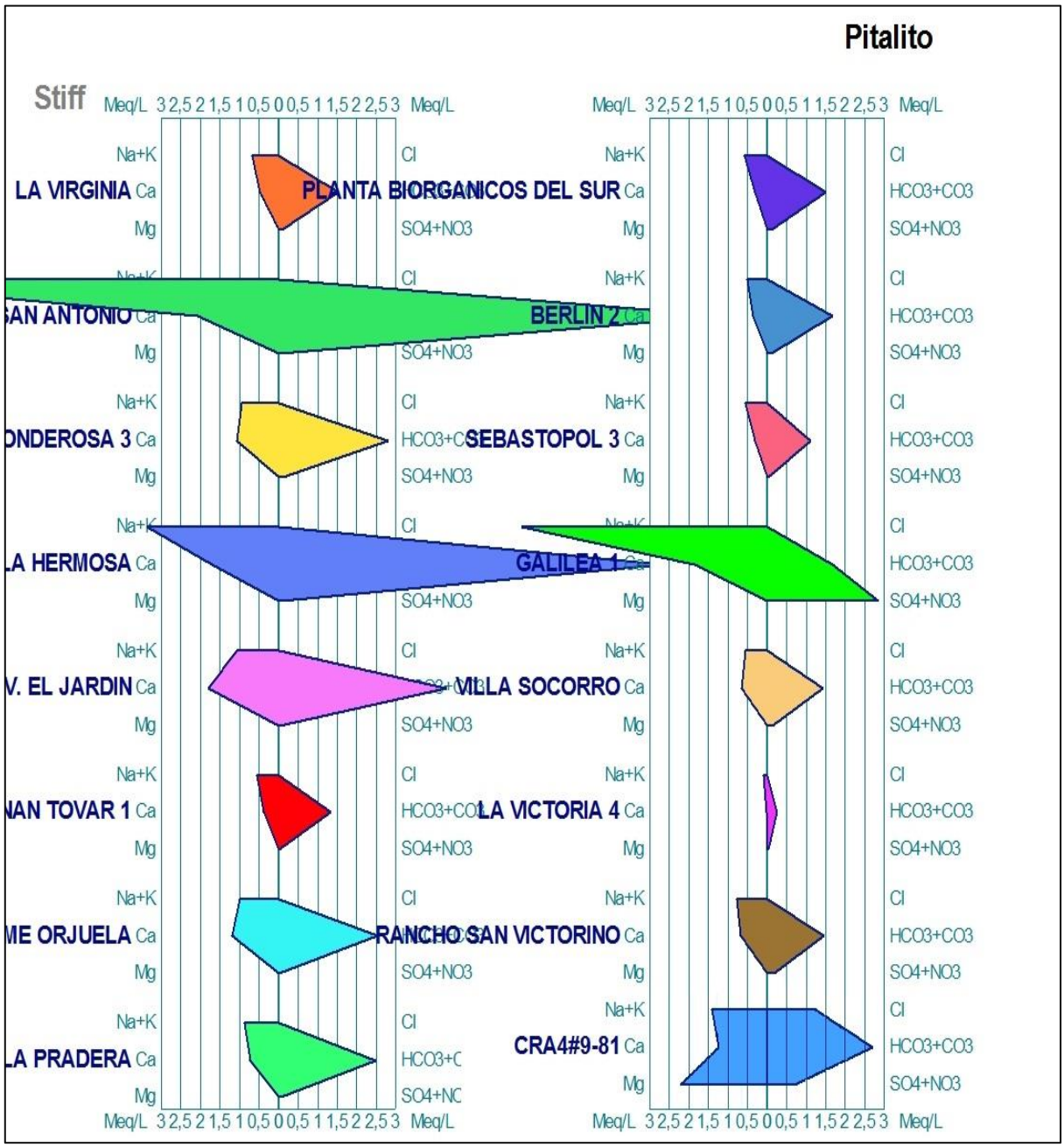
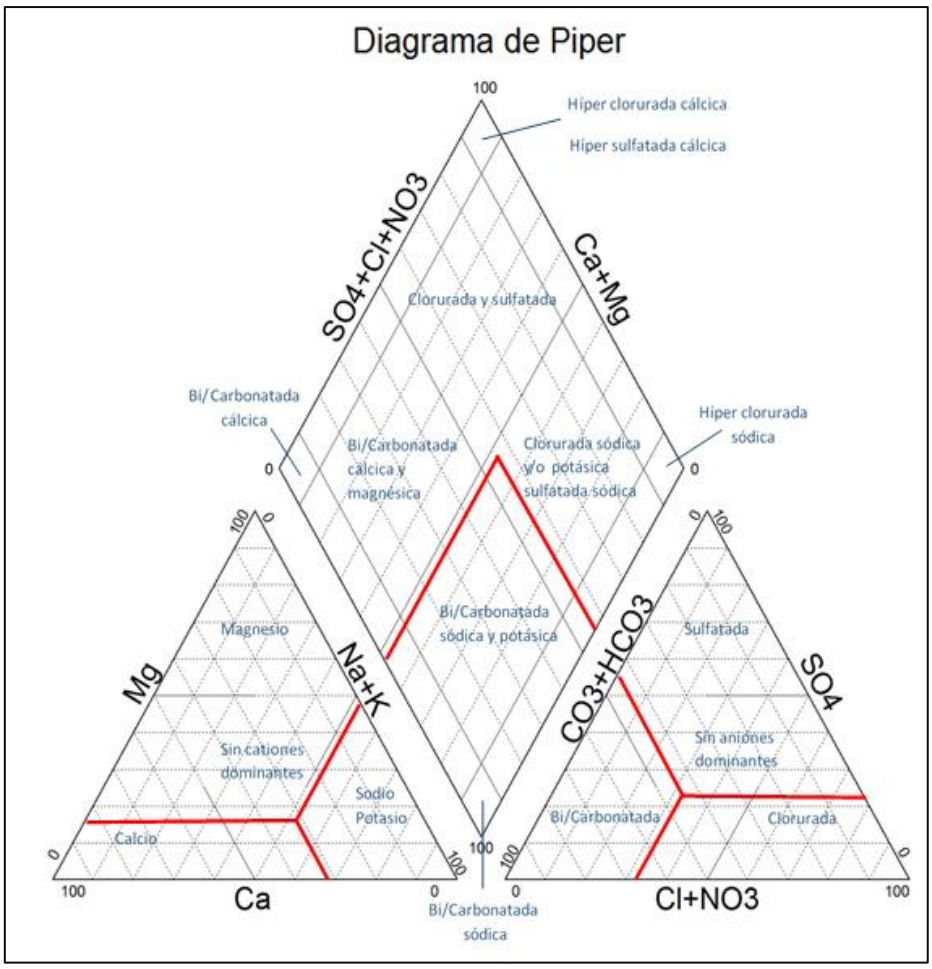


Ilustración 169 Diagramas de Stiff para los depósitos de Pitalito
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

6.1.3 DIAGRAMA DE PIPER

6.1.3.1 VALLE DEL MAGDALENA

Con los datos pertenecientes a la base de datos se graficaron las 6 zonas en un mismo triángulo de clasificación para observar su comportamiento. Se usó como base el siguiente diagrama de clasificación Piper (**Gráfica 134**). El diagrama se divide en tres zonas, una de cationes (izquierda), una de aniones (derecha) y una que mezcla ambos tipos de iones (centro).



Gráfica 134 Diagrama de Piper
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

Centro

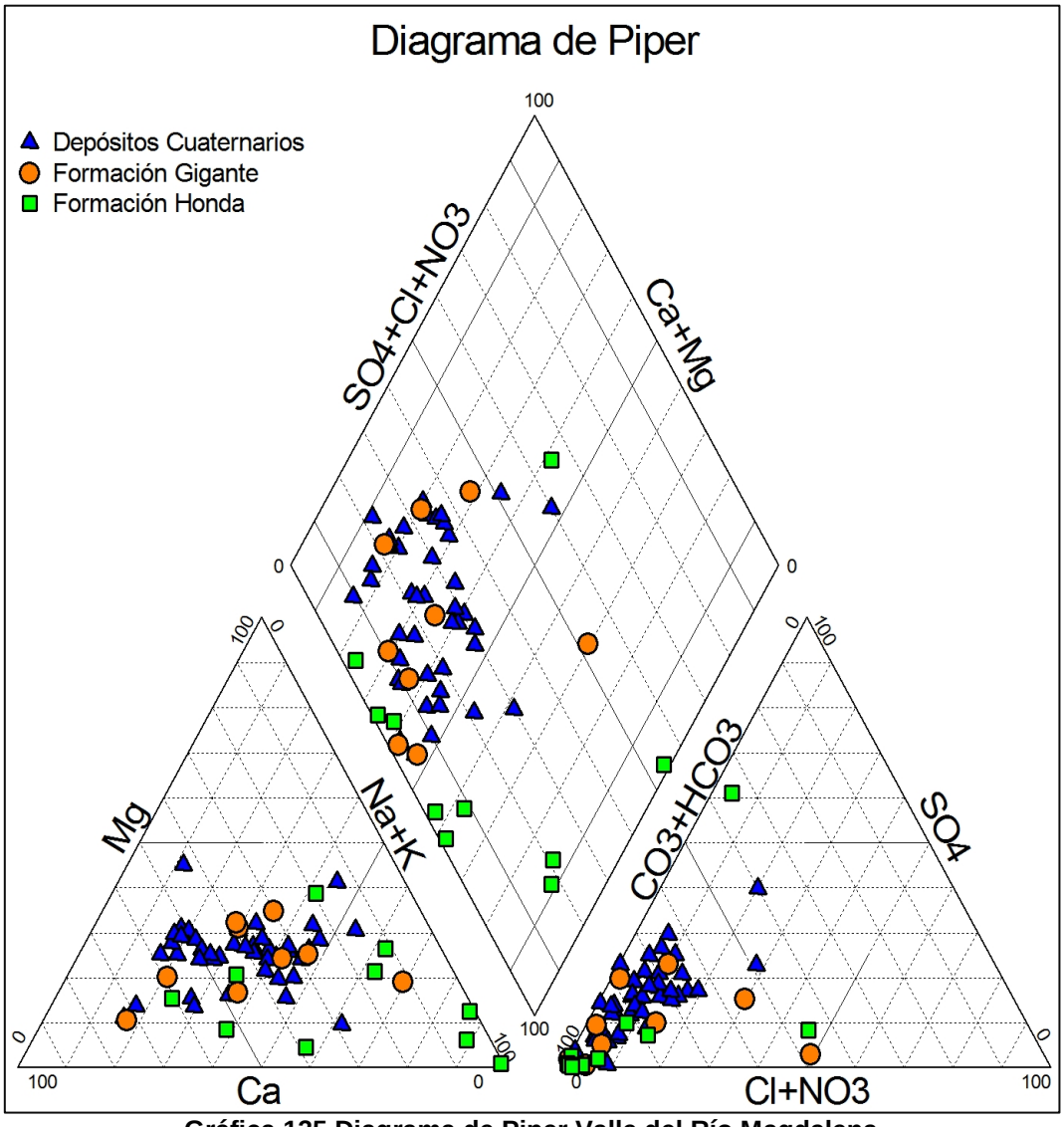
En este rombo central se observa que la mayoría de muestras de los depósitos cuaternarios y la formación gigante están en la zona Bi/Carbonatada cálcica y magnésica, mientras, que las muestras de la formación Honda tienen una mayor influencia sódico potásica **Gráfica 135**

Cationes

En promedio, el agua de los depósitos cuaternarios y la Formación Gigante no presentan cationes dominantes, a diferencia de la Formación Honda, que presenta un predominio de sodio y potasio (**Gráfica 135**).

Aniones

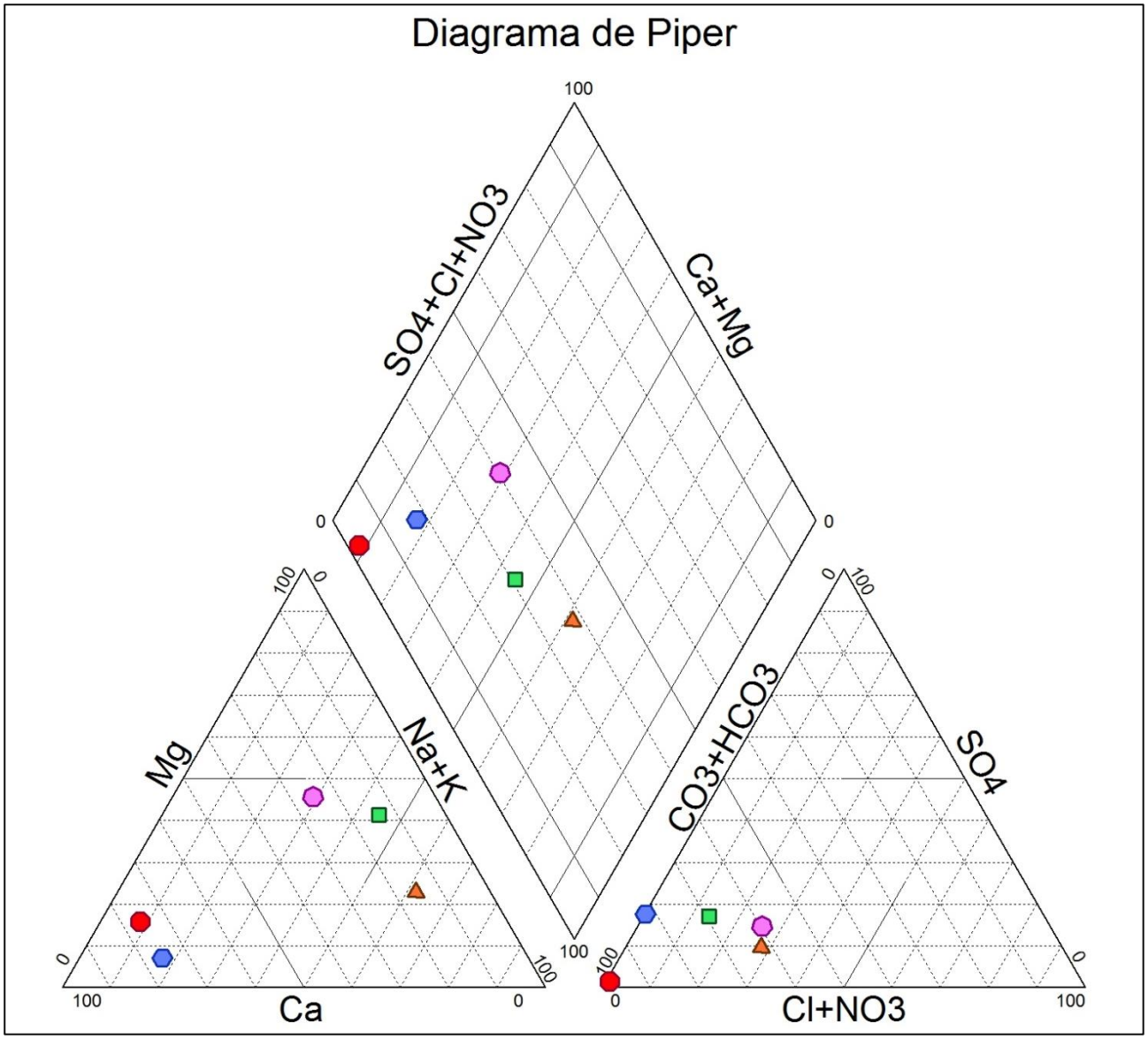
Casi la totalidad de los puntos de captación muestran un comportamiento bicarbonatado carbonatado, coincidiendo con lo observado en los diagramas de Stiff exceptuando un par de muestras con alto contenido de cloruros (**Gráfica 135**).



Gráfica 135 Diagrama de Piper Valle del Río Magdalena
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

6.1.3.2 SINCLINALES DE TIVOLI, TARQUI, GARZÓN Y DEPÓSITOS DE LA PLATA

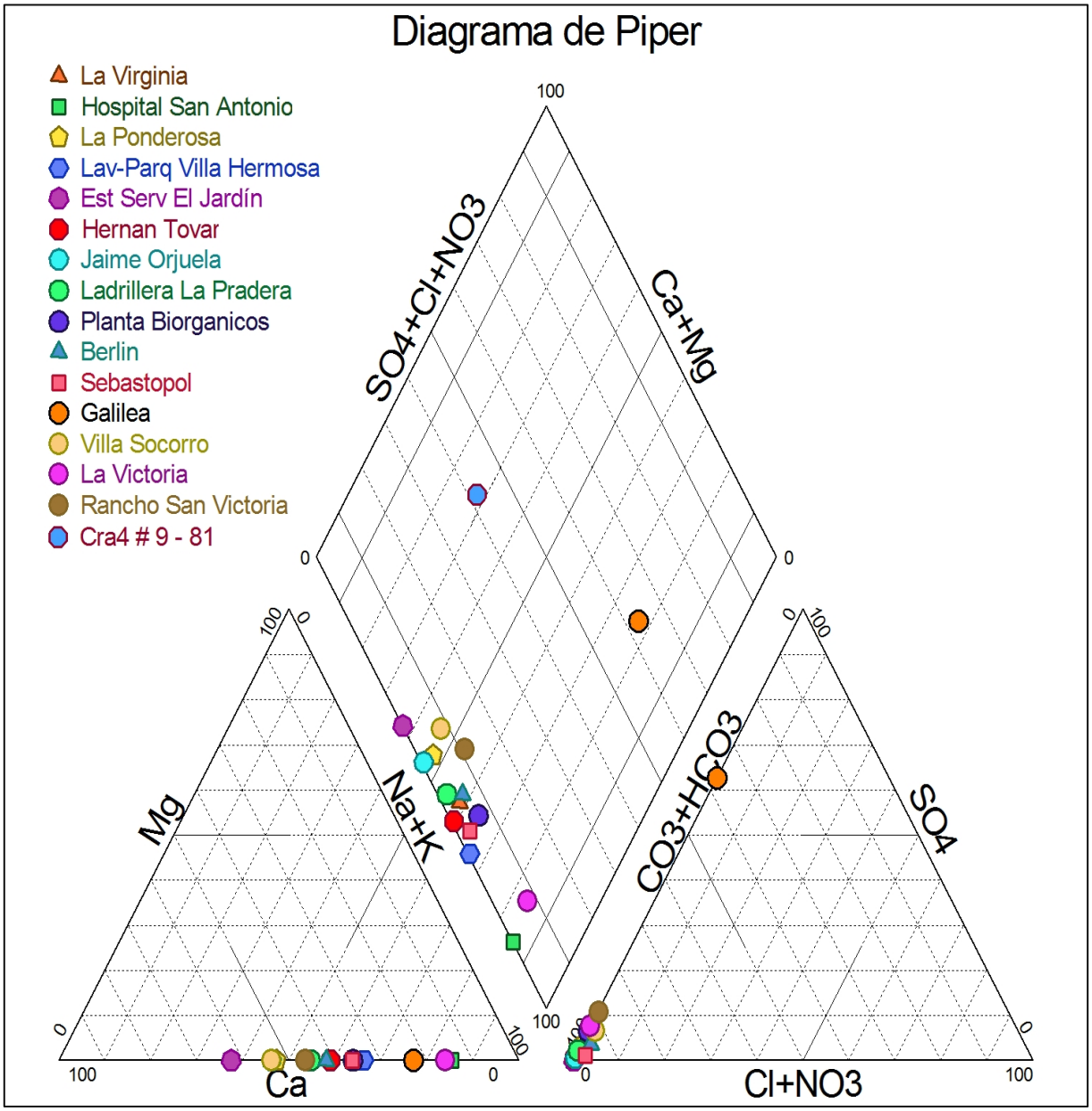
El sinclinal de Tivoli (rojo y azul) muestra aguas bi-carbonatadas cuyo catión predominante es calcio. El Sinclinal de Garzón (púrpura) presenta aguas bi-carbonatadas cálcicas y magnésicas. En el Sinclinal de Tarqui (naranja) se observa agua bi-carbonatada sódica-potásica. Los depósitos de la plata (verde) presentan agua bi-carbonatada sin cationes dominantes (**Gráfica 136**).



Gráfica 136 Diagrama de Piper para los sinclinales de Tivoli, Tarqui, Garzón y Depósitos de La Plata
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

6.1.3.3 DEPÓSITOS DE PITALITO

Se muestran que en general el agua es bi-carbonatada cálcica principalmente sódico-potásica con un dato excéntrico (Galilea) que indica alto contenido de sulfatos. La falta de información relevante para el análisis geoquímico hace que los datos se dirijan a los bordes ya sea por la falta de cationes (izquierda) o aniones (derecha) (**Gráfica 137**).



Gráfica 137 Diagrama de Piper para los depósitos de Pitalito
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

6.1.4 DIAGRAMA SCHÖELLER-BERKALOFF

Estos diagramas ayudan a comparar la proporción de elementos en el agua, mostrando de una manera diferente los puntos de las diferentes zonas, donde nuevamente se tiene un alto contenido de carbonatos y bicarbonatos.

6.1.4.1 VALLE DEL RÍO MAGDALENA

6.1.4.1.1 DEPÓSITOS CUATERNARIOS

Se observa un comportamiento bi-carbonatado principalmente, a su vez se observa un faltante en la información de nitratos, de los cuales no se tienen muchos datos, se observa también un alto contenido de sodio-potasio (**Ilustración 170, Ilustración 171** e **Ilustración 172**). En la **Ilustración 173** se observa un aumento en el contenido de calcio.

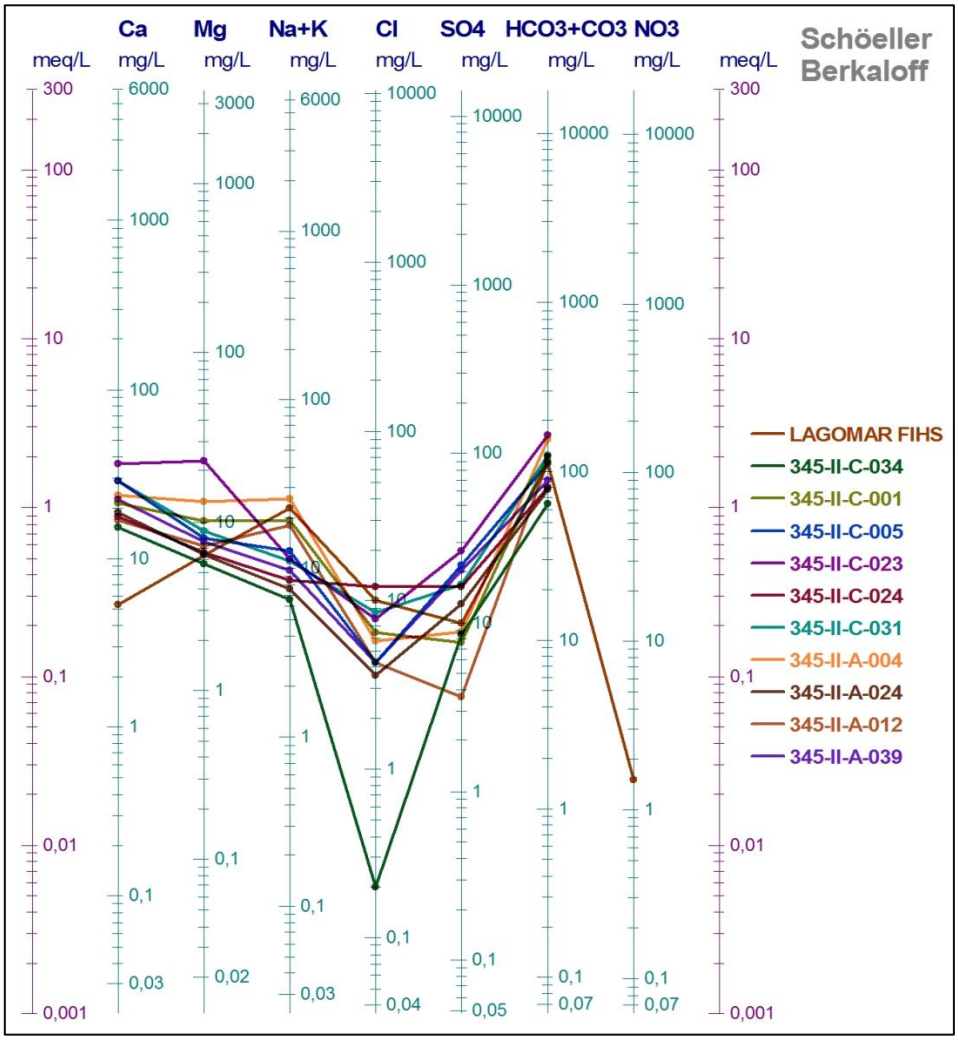


Ilustración 170 Diagrama de Schöeller para los depósitos cuaternarios
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

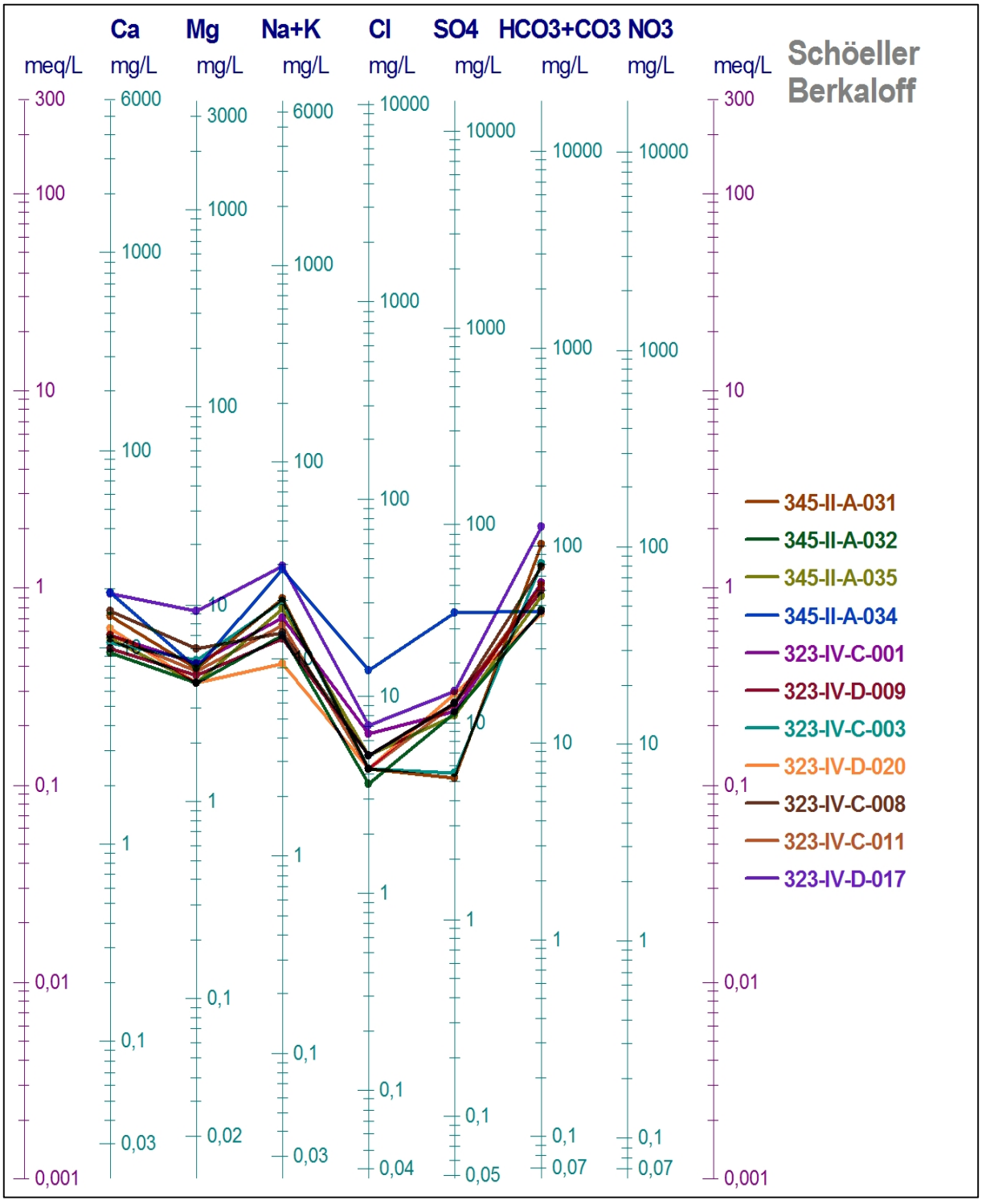


Ilustración 171 Diagrama de Schöeller para los depósitos cuaternarios
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

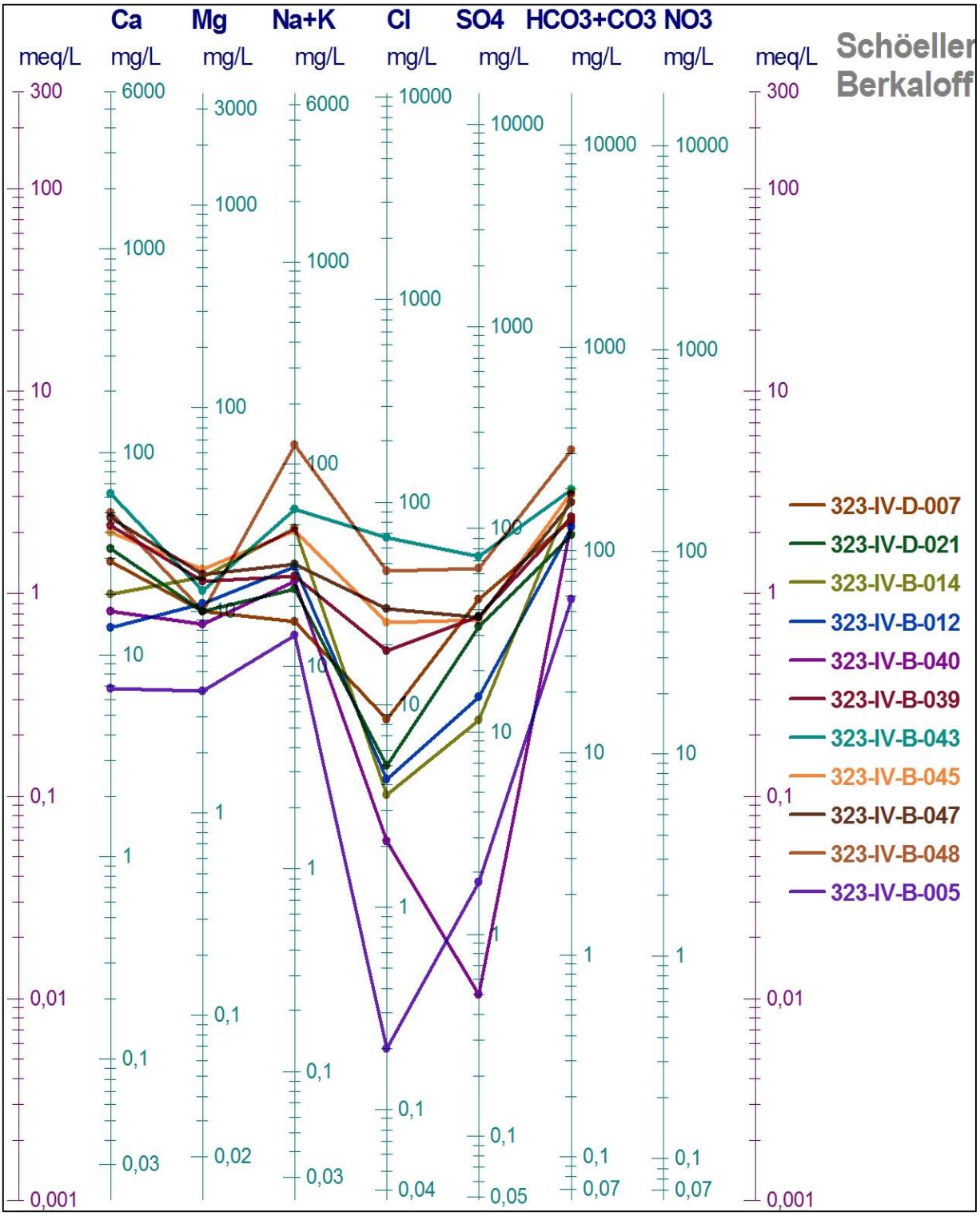


Ilustración 172 Diagrama de Schöeller para los depósitos cuaternarios
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

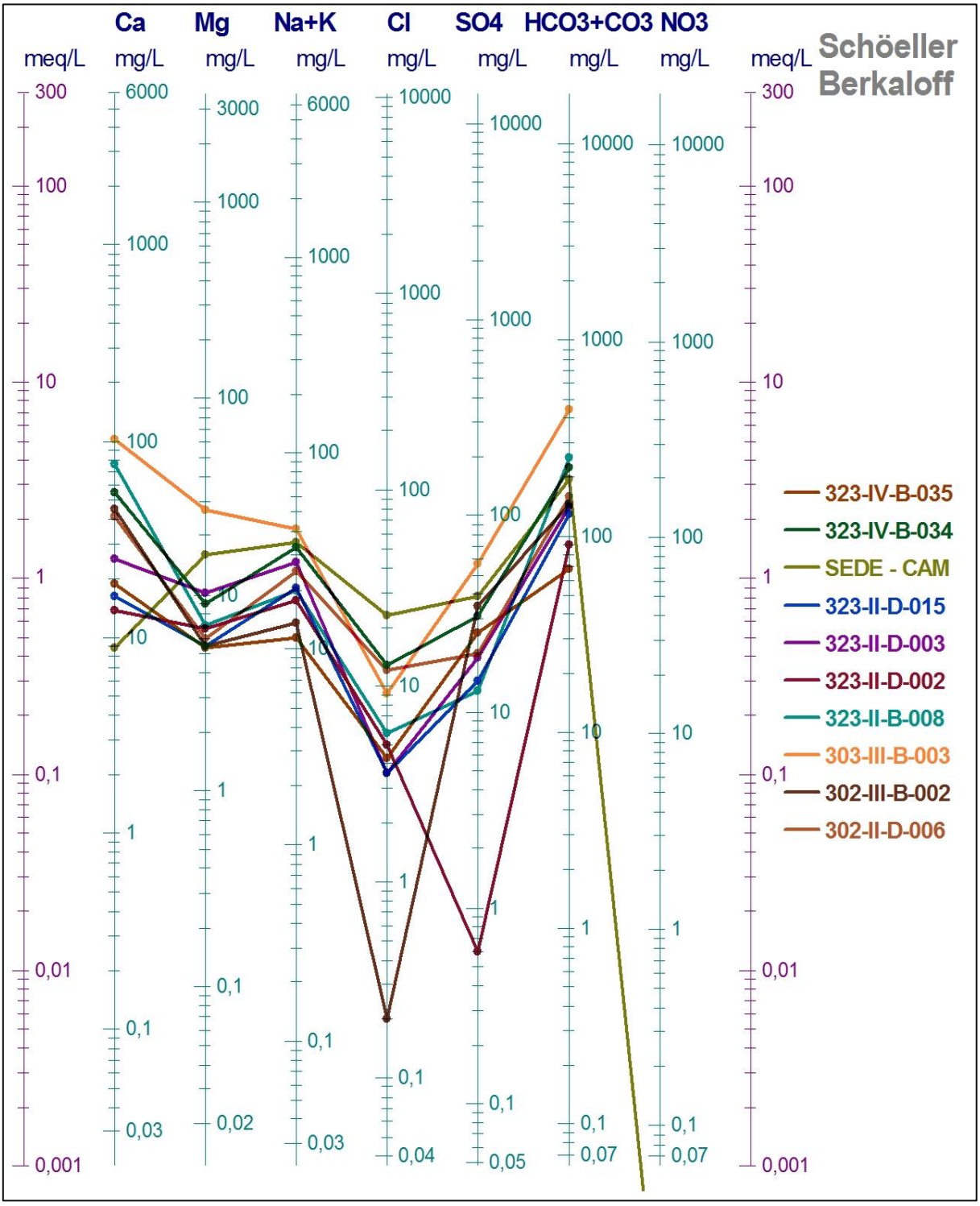


Ilustración 173 Diagrama de Schöeller para los depósitos cuaternarios
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

6.1.4.1.2 FORMACIÓN GIGANTE

Se observa una composición bi-carbonatada cálcica, calcio probablemente aportado por los clastos de los conglomerados de esta formación, siendo neises y granitos (**Ilustración 174).**

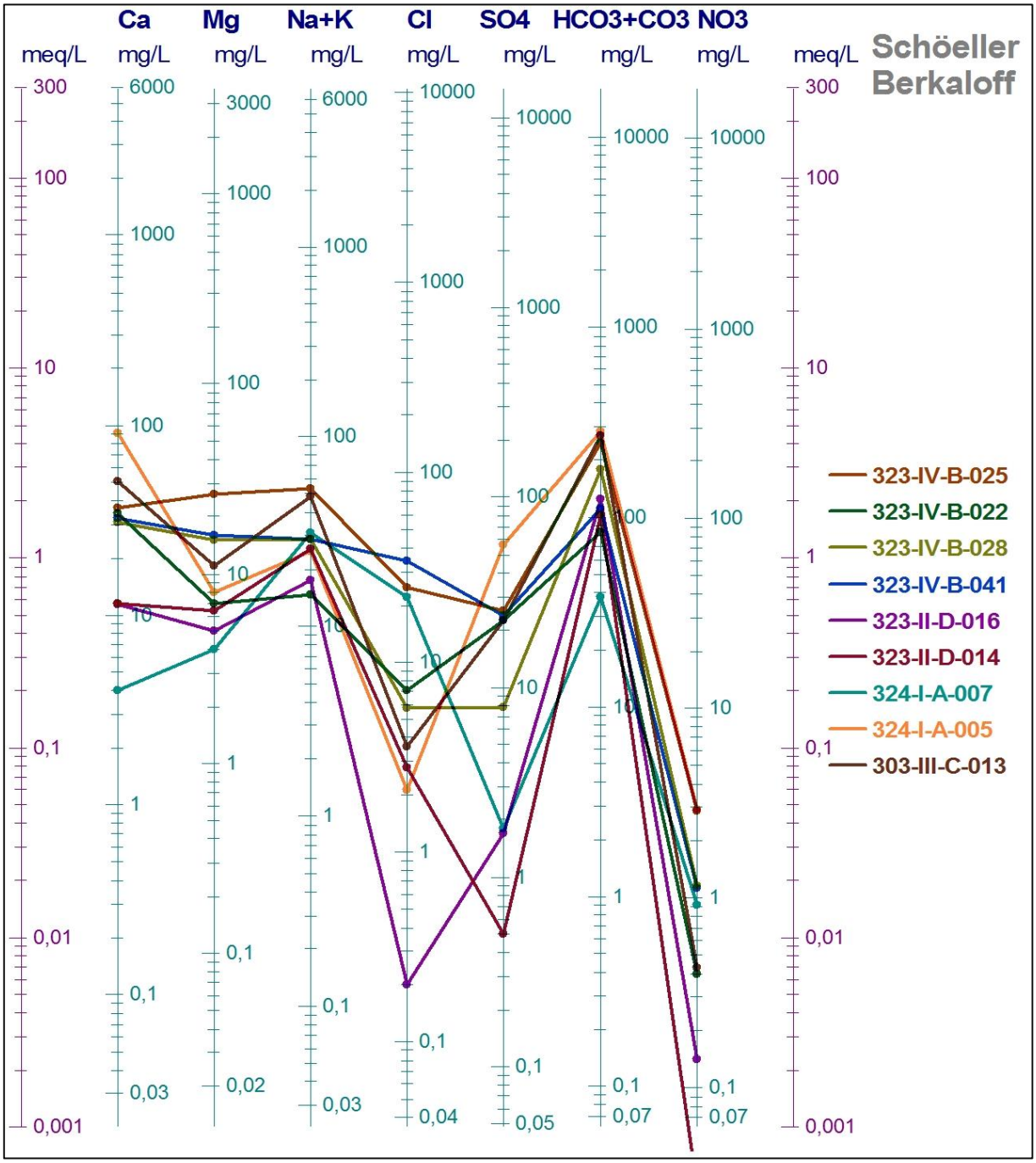


Ilustración 174 Diagrama de Schöeller para la Formación Gigante
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

6.1.4.1.3 FORMACIÓN HONDA

Se encuentra un contenido variable de iones, con principal predominio de bi-carbonatos y sodio-potasio (**Ilustración 175**).

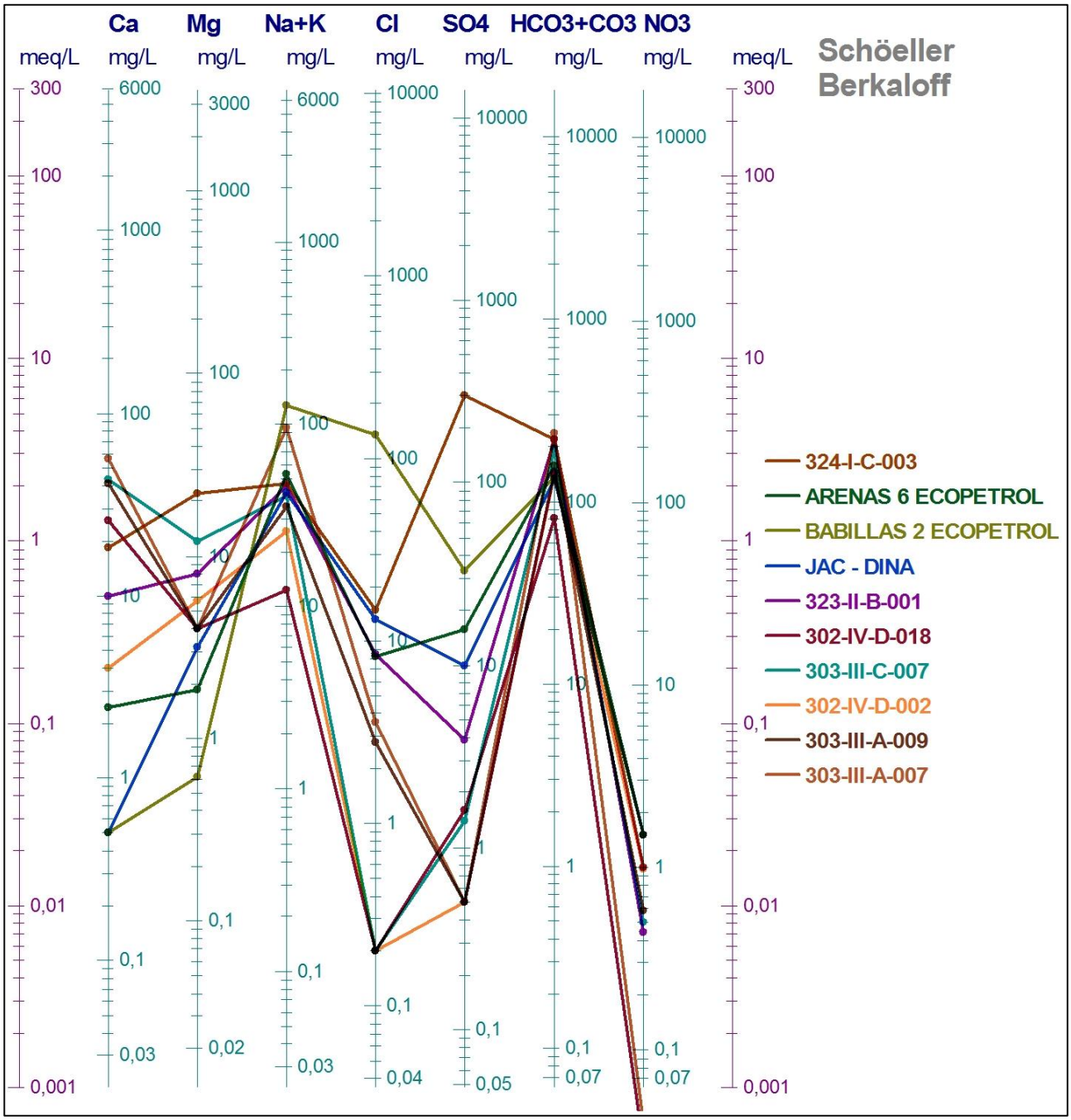


Ilustración 175 Diagrama de Schöeller para la Formación Honda
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

6.1.4.2 SINCLINALES DE TIVOLI, TARQUI, GARZÓN Y DEPÓSITOS DE LA PLATA

Los datos coinciden en tener alto contenido de bi-carbonatos y bajo de nitratos. Por otro lado se observa que los puntos de captación del Sinclinal de Tivoli contienen una cantidad considerablemente menor de cloro con respecto a los demás aunque estos últimos no posean cantidades peligrosas de cloro (**Ilustración 176**).

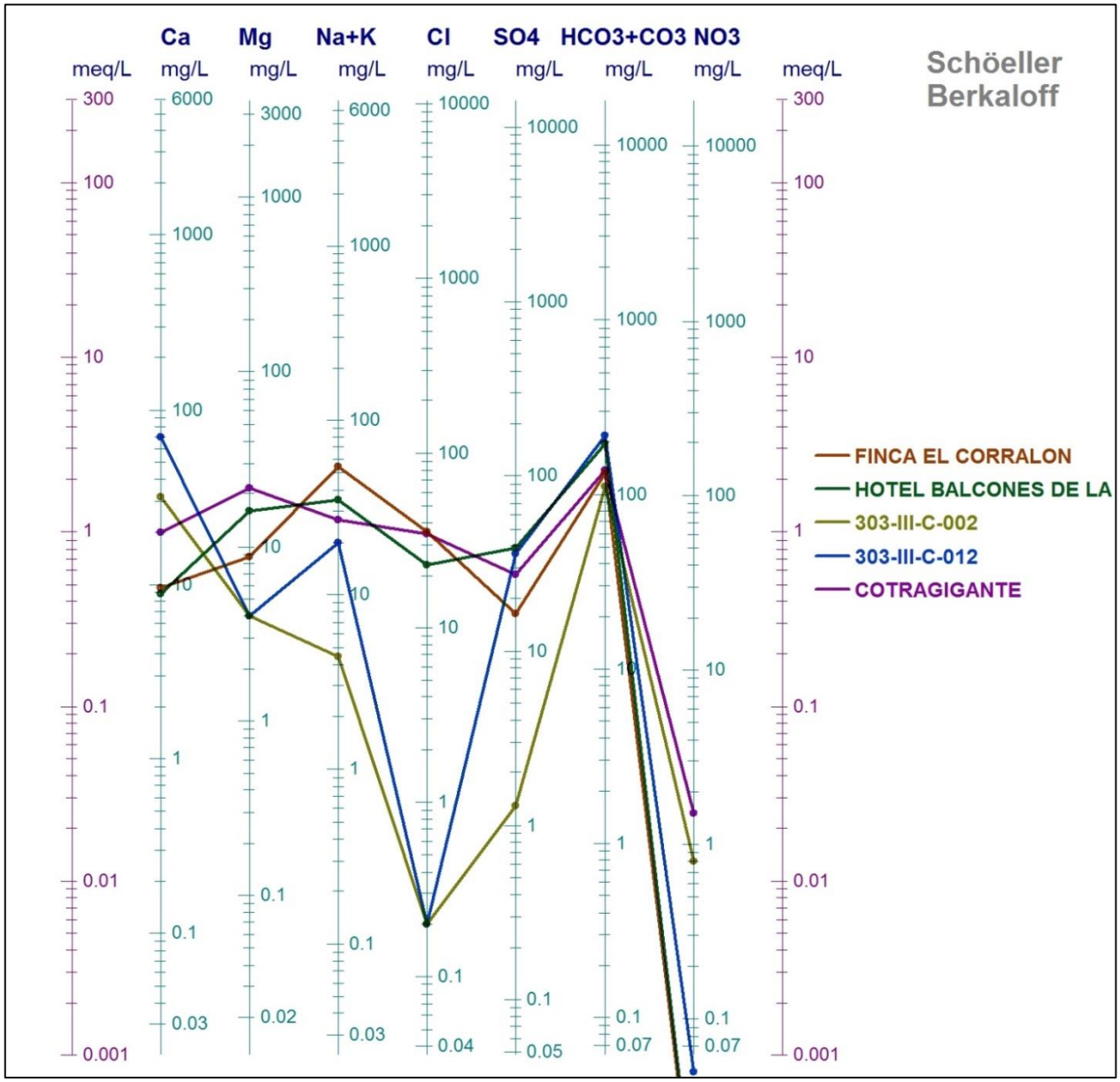


Ilustración 176 Diagrama de Schöeller para los sinclinales de Tivoli, Garzón, Tarqui y depósitos de La Plata
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

6.1.4.3 DEPÓSITOS DE PITALITO

Al igual que en los diagramas de Stiff nuevamente se tiene un alto contenido de carbonatos y bicarbonatos y en casos más puntuales, sodio-potasio y un punto con alto contenido de sulfatos (Galilea)

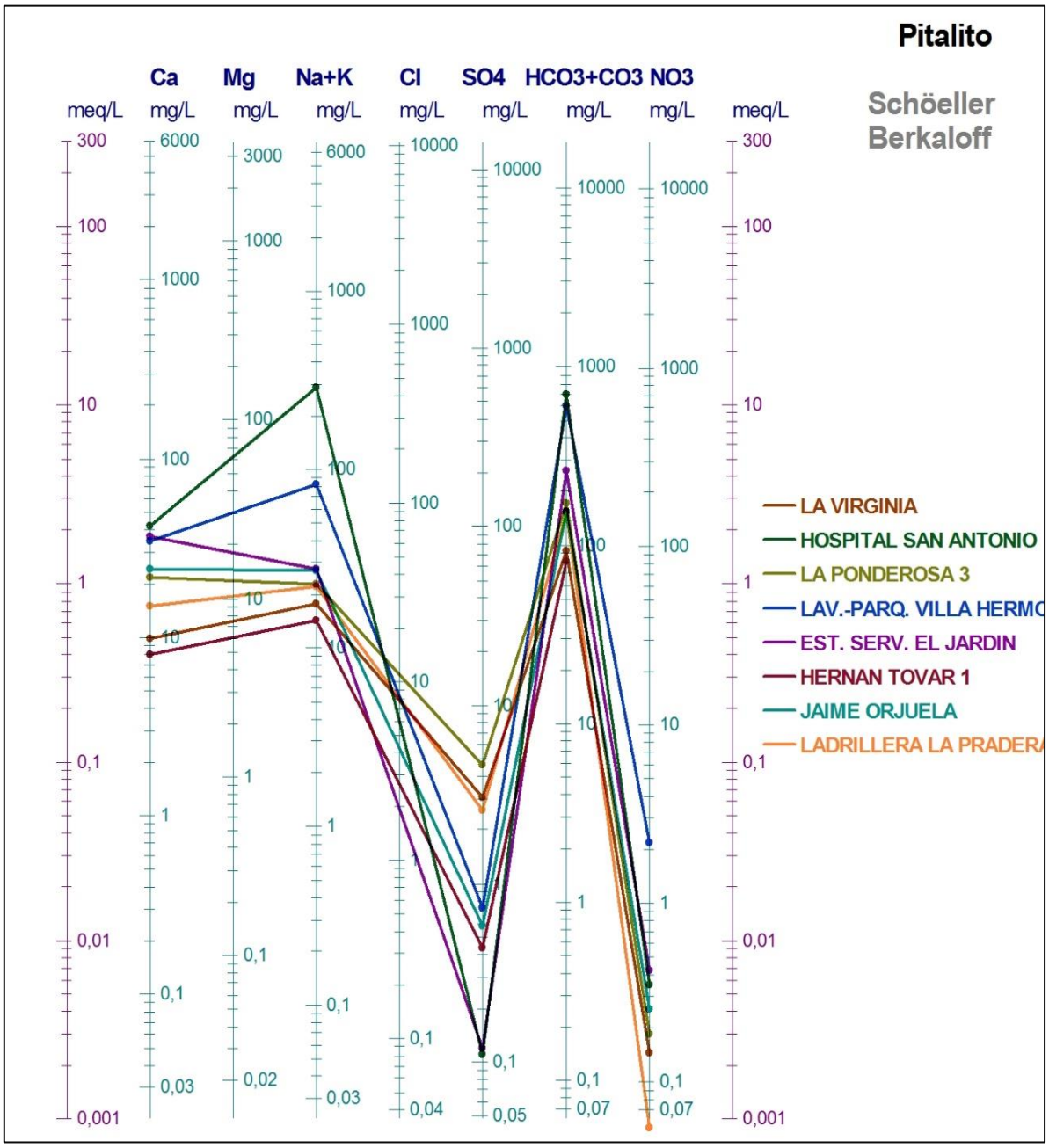


Ilustración 177 Diagrama de Schöeller para los depósitos de Pitalito
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

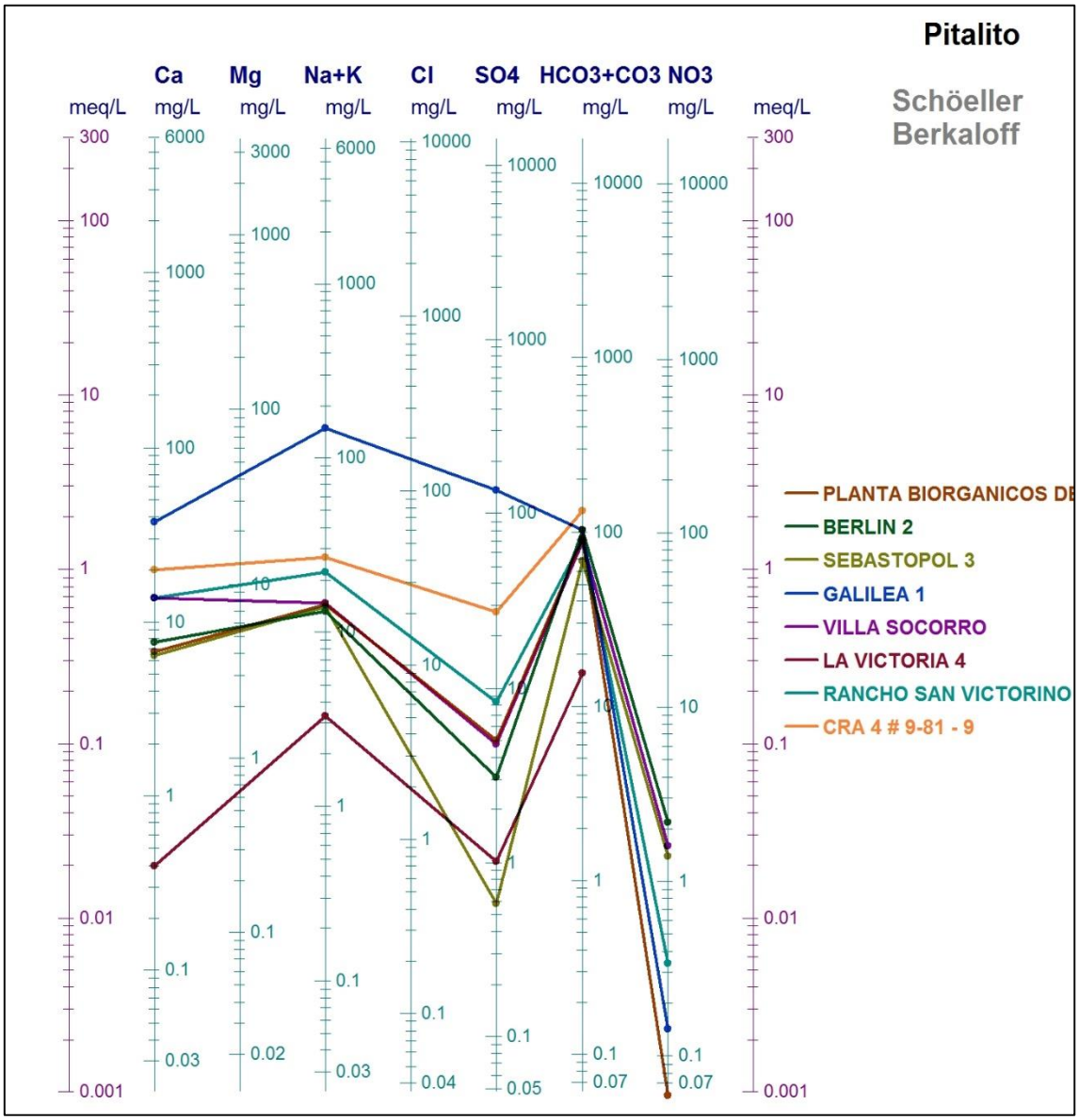


Ilustración 178 Diagrama de Schöeller para los depósitos de Pitalito
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

6.1.5 CONSIDERACIONES

En general todos los datos muestreados presentan aguas carbonatadas y bicarbonatadas con calcio, sodio y potasio en el caso de la Formación Honda. La diferencia entre los datos totales y aquellos a los cuales se les pudo hacer análisis hidrogeoquímicos es amplia, por lo que la información presentada está sometida a un alto grado de incertidumbre. Se muestran también vacíos en los nitratos presentes. Aquellos datos incompletos que no fueron tenidos en cuenta en los anteriores diagramas coinciden de igual manera en ser aguas carbonatadas y bicarbonatadas.

6.2 CALIDAD DEL AGUA

Se analizaron los principales parámetros para determinar el uso y la calidad del agua en el Departamento del Huila a partir de los datos encontrados en los expedientes de explotación de agua subterránea proporcionados por la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM) los expedientes de Ingeominas (1999) y puntos de muestreos analizados por el Consorcio PMAA. Para esto se realizó una división de los puntos de muestreo en sistemas correspondiendo a zonas acuíferas para así compararlas con las normas técnicas de calidad establecidas por el Decreto 485 de 1998 y la Resolución 2115 de 2007. De igual manera se realizó una división del valle del Río Magdalena en las tres formaciones rocosas donde se encuentran la mayor cantidad de puntos de muestreo, siendo éstas las formaciones Honda, Gigante y los Depósitos Cuaternarios, para cada formación se realizó una comparación de los valores muestreados con aquellos permitidos por el Decreto 1594 de 1984 para determinar el uso potencial del agua.

6.2.1 PARÁMETROS A EVALUAR CON RESPECTO A LA CALIDAD DEL AGUA

Conductividad

La conductividad de una muestra de agua es la capacidad para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones en el agua, de su concentración total, de su movilidad, de su carga o valencia, y de las concentraciones relativas, así como de la temperatura a la cual se realizó la medición.

Las soluciones de la mayoría de los ácidos, bases, y sales inorgánicas son relativamente buenos conductores. Inversamente, las soluciones acuosas de solutos orgánicos, que no se disocian o que se disocian muy poco en el agua, poseen conductividades eléctricas muy bajas o similares a las del agua pura.

A mayor temperatura disminuye la viscosidad, y a menor viscosidad mayor libertad de movimiento, entonces la temperatura también tiene una gran influencia sobre la conductividad eléctrica de un sistema acuoso. La conductividad de un agua natural está relacionada con el terreno que atraviesa y por la posibilidad de rocas y materiales a disolverse dentro del agua.

Turbidez

La turbidez es la reducción de la transparencia de una muestra de agua ocasionado por material particulado en suspensión, como arcillas, limos, plancton, o material orgánico finamente dividido que se mantiene en suspensión por su naturaleza coloidal o por la turbulencia que genera el movimiento. Para el consumo humano la turbidez suele ser tomado como sospecha de algún tipo de contaminación que puede ser bacteriológica.

Las muestras se tomaron en temporada de lluvias, por lo tanto el agua de escorrentía ricas en materias minerales contribuyen en el aumento de la turbidez en los diferentes puntos de agua subterránea.

Alcalinidad

La alcalinidad de una muestra de agua es su capacidad para reaccionar o neutralizar iones hidronio (H^+) hasta un valor de pH igual a 4,5. La alcalinidad es causada principalmente por los bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^{2-}) e hidróxidos (OH^-) presentes en solución, y en menor grado, por los boratos (BO_3^{3-}), fosfatos (PO_4^{3-}), y silicatos (SiO_3^{2-}) que pueden estar presentes en la muestra, todos estos presentes en las aguas naturales, aguas subterráneas, residuales, industriales, y resídales agrícolas.

En las aguas subterráneas profundas, que relativamente son antiguas y que discurren por estratos arenosos, la alcalinidad se halla relacionada con los silicatos disueltos. La alcalinidad, en la mayoría de los cuerpos de aguas naturales, tiene su origen en el sistema carbonato, debido a que el bióxido de carbono y los bicarbonatos forman parte del metabolismo de los organismos vivos, aeróbicos o anaeróbicos, donde quiera que haya materia orgánica y unas condiciones mínimas de supervivencia.

La alcalinidad en el agua se expresa como la concentración equivalente de iones hidroxilo, en mg/L, o como la cantidad equivalente de $CaCO_3$, en mg/L. La alcalinidad, entendida como la concentración de metales alcalinotérreos, tiene importancia en la determinación de la calidad de agua para riego, y es además un factor importante en la interpretación y el control de purificación de aguas residuales.

PH

El pH es una medida de la intensidad ácida o alcalina de una muestra de agua, que difiere de los términos “acidez y/o alcalinidad”, en la medida que estos últimos expresan esencialmente “la capacidad amortiguadora de la muestra”, más que su carácter ácido o básico propiamente dicho. La escala de pH es simplemente una escala de medición del carácter ácido o básico de un sistema acuoso, entre dos extremos opuestos: uno molar ácido y uno molar básico.

Calcio

Las concentraciones de calcio están asociadas al nivel de mineralización; las aguas subterráneas presentan por lo general mayores concentraciones de este ion que las superficiales.

Cloruros

El ion cloruro se encuentra con frecuencia en las aguas naturales y residuales, en concentraciones que varían desde unos pocos ppm hasta varios gramos por litro. Este ion ingresa al agua en forma natural mediante el lavado que las aguas lluvias realizan sobre el suelo; sin embargo, como quiera que la superficie de contacto entre el agua y los materiales del suelo es relativamente baja en las aguas superficiales, la concentración de cloruros en estos cuerpos de agua tienden a ser también relativamente bajas, salvo que estas hayan sido afectadas por eventos antrópicos.

No obstante en las aguas subterráneas, en donde la superficie de contacto entre el agua y los materiales del subsuelo es mucho mayor, la concentración de ion cloruro suele estar directamente relacionada con la litología predomínate y/o con el tiempo de permanencia del agua en el acuífero.

Ya que el ion cloruro es una sustancia altamente soluble y estable, y puesto que con muy pocas excepciones, todos los seres humanos lo ingieren, con frecuencia se utiliza este ion como indicador de contaminación antrópica en los estudios de evaluación ambiental.

Fosfatos

El fósforo en las aguas naturales parece encontrarse en forma de orto fosfato (PO43). Al igual que el nitrato es un nutriente esencial para las plantas pero se encuentra en concentraciones mucho menores que este, probablemente por su acusada tendencia a formar iones complejos y compuestos de baja solubilidad con un extenso número de metales y por ser adsorbido por sedimentos hidrolizados, especialmente minerales de la arcilla en el suelo. Las principales fuentes de fosfatos se asocian a la explotación de rocas ígneas o sedimentarlas marinas que contienen este elemento a la industria de manufacturación de fertilizantes fosfatados, a las aguas residuales de origen urbano (detergentes) o ganadero, etc.

Hierro

El hierro es un elemento esencial para el metabolismo de animales y plantas. En aguas subterráneas suele encontrarse en forma de Fe^{2+} aunque puede presentarse como Fe^{3+}, $FeOH^{+2}$, $FeOH^{+}$ en función del pH contenido en oxígeno y dependiendo a menudo del contenido del agua en otros elementos (carbonatos. bicarbonatos. sulfatos, etc.).

Magnesio

En las corrientes de agua la concentración de este metal suele aumentar por disolución de rocas y materiales del terreno que atraviesa.

Nitratos

Los nitratos constituyen la especie nitrogenada más abundante y de mayor interés en todos los cuerpos de aguas naturales. Los nitratos suelen hallarse en aguas naturales en concentraciones traza o de unos pocos ppms, mientras que en aguas residuales domésticas y agrícolas pueden alcanzar niveles relativamente altos.

La determinación de los nitratos en el agua de consumo humano es importante porque cuando estos se encuentran en concentraciones que sobrepasan los 10 ppm, como N, pueden causar una enfermedad infantil conocida como “metahemoglobinemia”, que se caracteriza por la dificultad de la sangre de absorber oxígeno, así como la aparición de diversos tipos de canceres gástricos.

Por otra parte, los nitratos, así como los fosfatos, constituyen parte de los nutrientes esenciales para muchos organismos autótrofos o fotosintéticos, y en este sentido pueden ocasionar fenómenos de eutrificación (crecimiento desmedido de algunas especies vegetales como el buchón de agua, que cubren con un manto vegetal la superficie del agua, impidiendo de esta forma su oxigenación natural) en ríos y lagos.

Sulfatos

El sulfato (SO_4^{2-}) se distribuye ampliamente en la naturaleza y puede presentarse en aguas naturales en concentraciones que van desde unos pocos a varios miles de miligramo por litro. Las aguas residuales del drenado de minas de hierro pueden aportar grandes cantidades de sulfato debido a la oxidación de la pirita.

No existe un límite o concentración óptima de sulfatos para la mayor parte de la fauna acuática, pues existen especies animales que habitan en fuentes de agua que contienen desde unas trazas de sulfatos hasta varios miles de mg/L. Concentraciones por encima de los 250 mg/L para consumo humano pueden provocar efectos laxantes y pueden ocasionar irritación gastrointestinal.

Potasio

Se trata de uno de los cationes mayoritarios en aguas naturales, en consonancia con su amplia difusión en la naturaleza bajo la forma de cloruro, sulfato, fluoruro y fosfatos, así como en arcillas y micas. La presencia de potasio no es perjudicial para la salud, a menos que alcancen concentraciones muy elevadas.

Sodio

El sodio es un metal parte del grupo de los metales alcalinos. Aunque los metales alcalinos ostentan características similares, el sodio es el único que se encuentra en cantidades significantes en aguas naturales.

La presencia de sodio no es perjudicial para la salud, a menos que alcancen concentraciones muy elevadas, habiéndose encontrado correlación entre concentraciones altas de sodio y enfermedades coronarias, hipertensión y enfermedades renales y hepáticas.

Coliformes Fecales

Son un grupo de microorganismos de origen fecal que soportan temperaturas hasta de 45°C, sirven como indicadores de higiene en alimentos y en aguas, la presencia de estos indica contaminación fecal de origen humano o animal.

6.2.2 VALLE DEL RÍO MAGDALENA

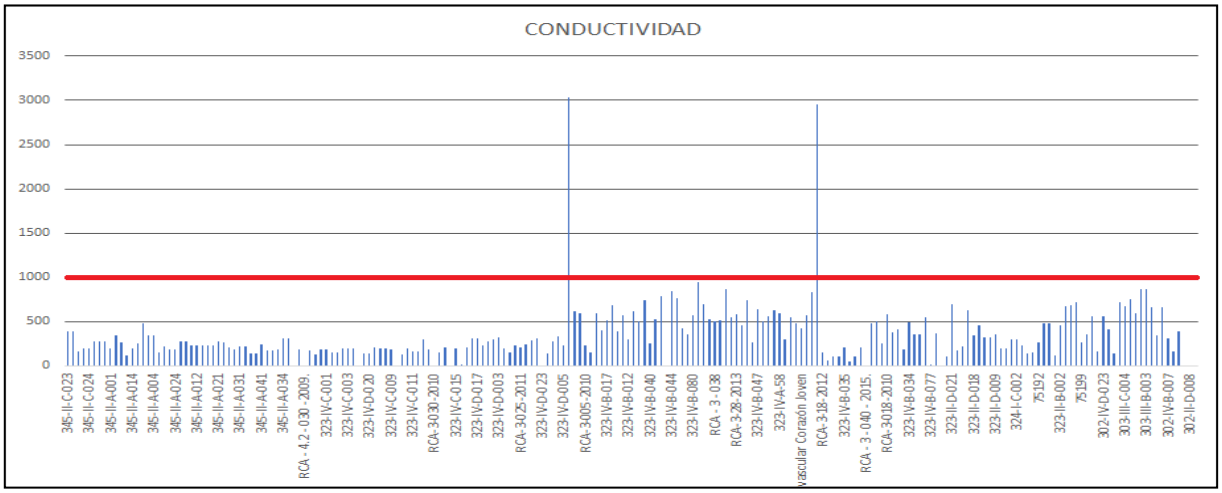
Es el área acuífera más grande definida contando con 356 puntos de captación que corresponden a la mayor parte de la totalidad de los puntos captados con información hidrogeoquímica. Al ser la zona con mayor cantidad de puntos, se dividió a su vez en formaciones geológicas para analizar su calidad del agua.

6.2.2.1 DEPÓSITOS CUATERNARIOS

Se localizaron 188 puntos de captación en los depósitos cuaternarios asociados al valle del Magdalena. A continuación se analizan los parámetros a tener en cuenta para establecer la calidad del agua.

Conductividad

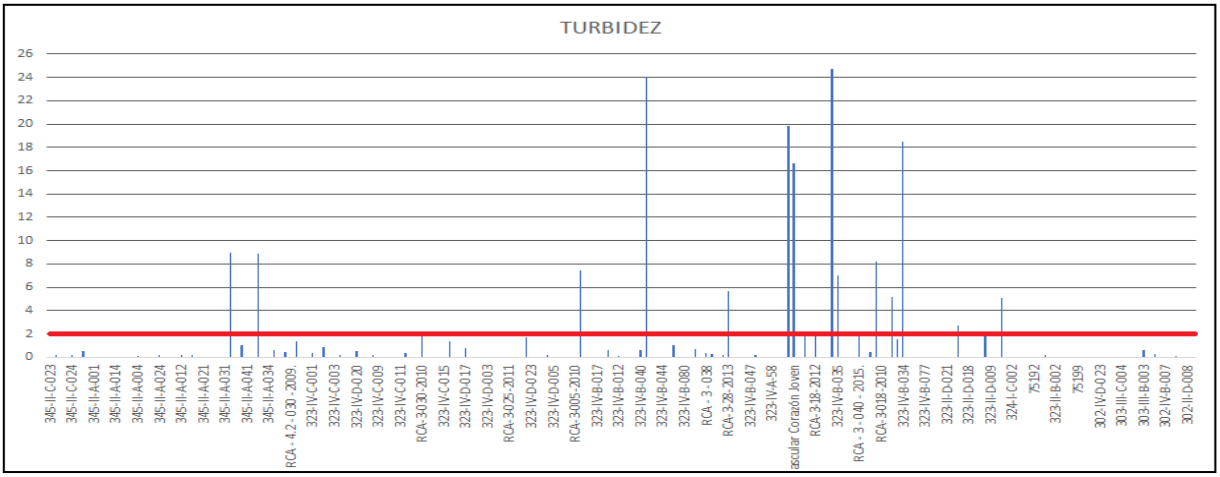
Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados no deben sobrepasar los 1000 µS/cm para consumo humano. La mayor parte de los valores se encuentran en un rango bajo de conductividad (**Gráfica 138**), dos de éstos se encuentran por encima del límite permitido, localizados en el municipio de Neiva.



Gráfica 138 Conductividad Cuaternarios Valle del Magdalena

Turbidez

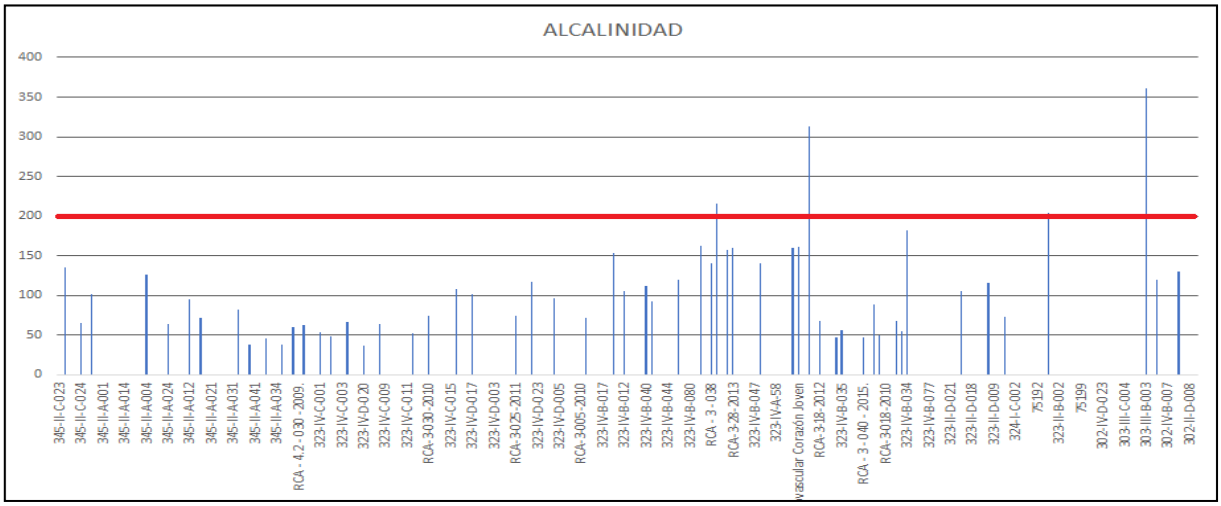
Con base en la Resolución 2115 de 2007 los valores reportados no deben sobrepasar los 2 NTU para consumo humano. 14 puntos muestran una alta turbidez por encima del límite, todos estos puntos se encuentran en la zona límite entre los municipios de Palermo y Neiva, estando la mayoría en este último. (**Gráfica 139**)



Gráfica 139 Turbidez Cuaternarios Valle del Magdalena

Alcalinidad

Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados no deben sobrepasar los 200 mg de CaCO3/L para consumo humano. Se observan 4 valores captados que superan el límite establecido, no se encuentran en la misma área ni en contacto con las mismas formaciones rocosas (**Gráfica 140**).



Gráfica 140 Alcalinidad Cuaternarios Valle del Magdalena

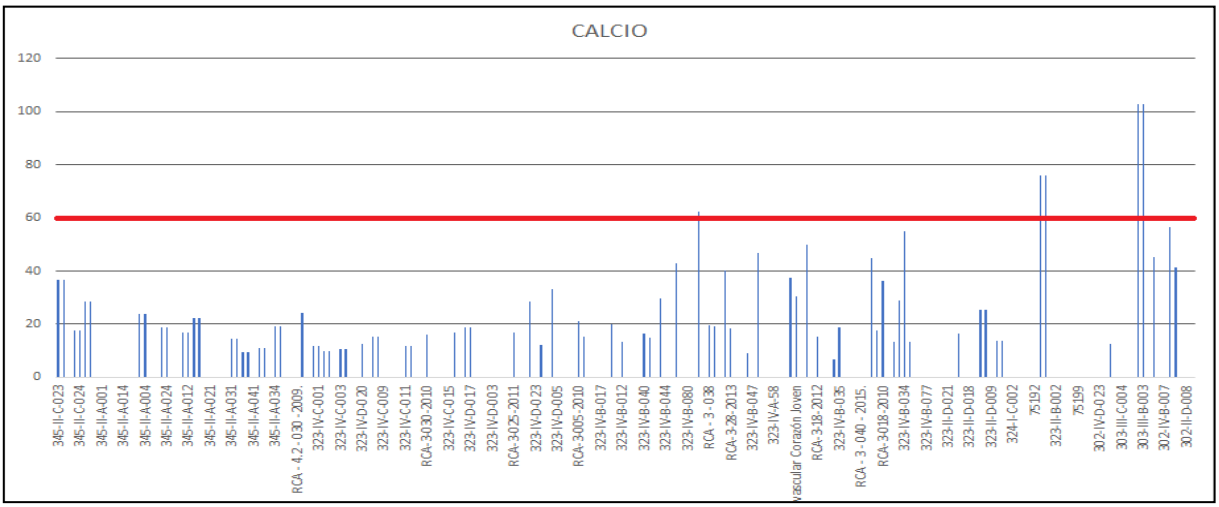
PH

Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados deben de estar entre 6,5 y 9 unidades para consumo humano. Se encuentran 43 puntos con un pH menor a 6,5 en la parte sur, a lo largo de los municipios de Campoalegre, Rivera y Neiva, ninguno de los puntos supera el límite máximo de pH (**Gráfica 141**).

Gráfica 141 pH Valle del Magdalena

Calcio

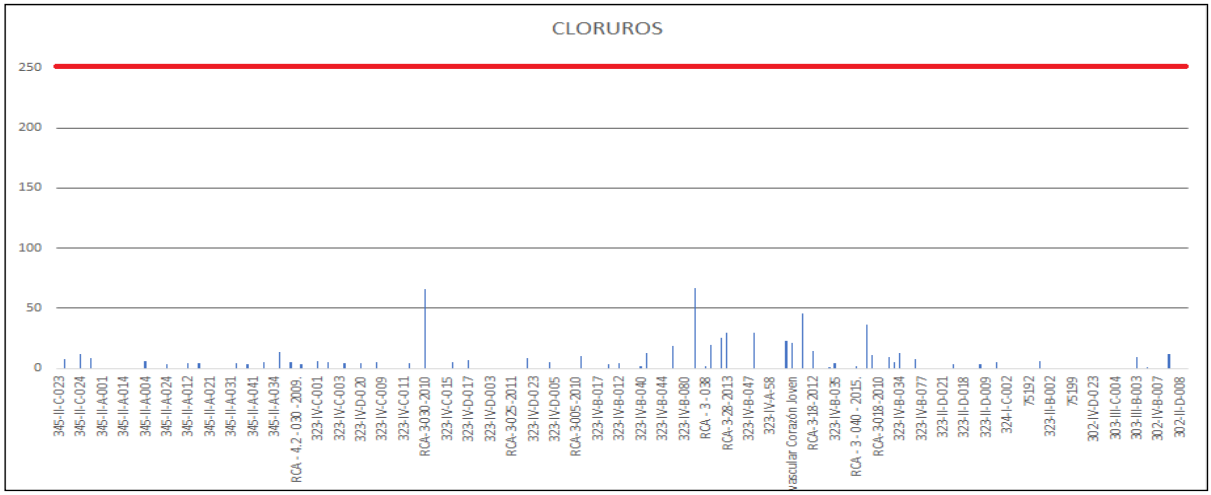
Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados no deben sobrepasar los 60 mg/L para consumo humano. A nivel general los valores se encuentran en un límite aceptable exceptuando 5 puntos distantes entre sí (**Gráfica 142**).



Gráfica 142 Calcio Cuaternarios Valle del Magdalena

Cloruros

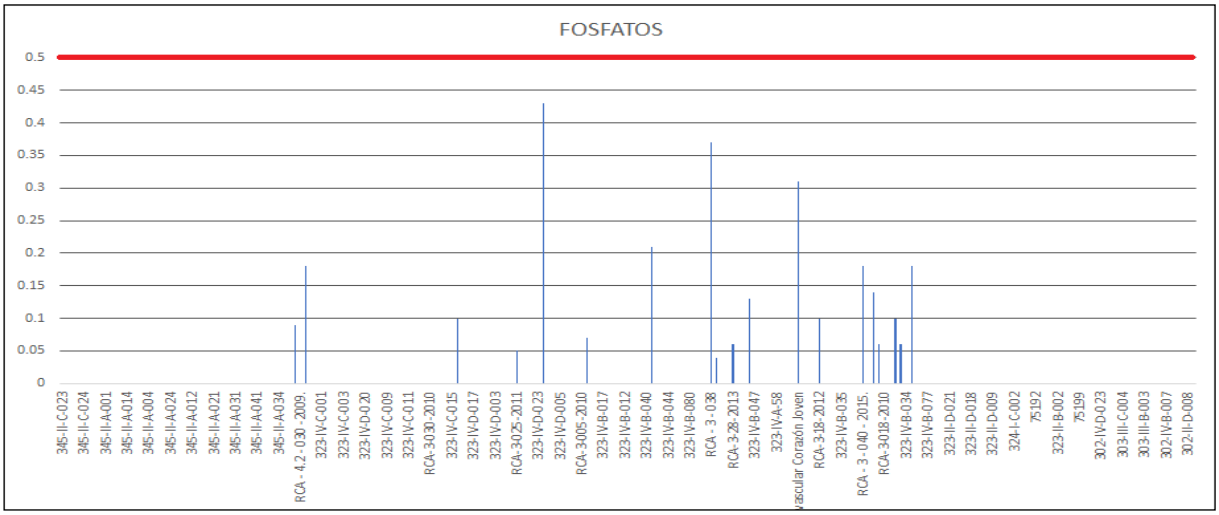
Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados no deben sobrepasar los 250 mg/L para consumo humano. Los valores de cloruros en los 210 puntos se encuentran bajo los límites normales de concentración (**Gráfica 143**).



Gráfica 143 Cloruros Cuaternarios Valle del Magdalena

Fosfatos

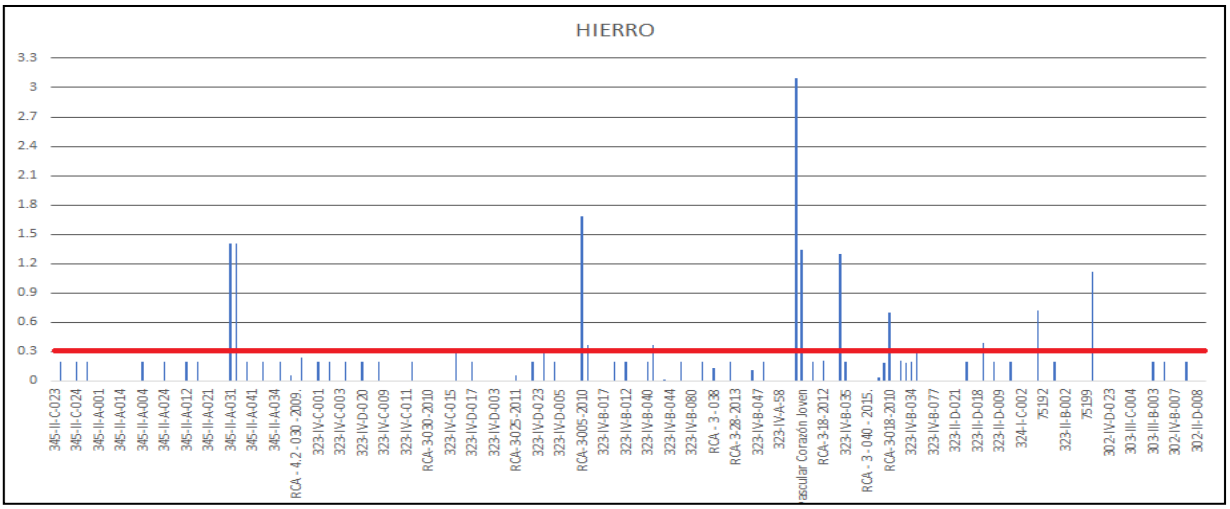
Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados no deben sobrepasar los 0,5 mg/L para consumo humano. Ningún valor de fosfato se encuentra superando el límite permitido (**Gráfica 144**).



Gráfica 144 Fosfatos Cuaternarios Valle del Magdalena

Hierro

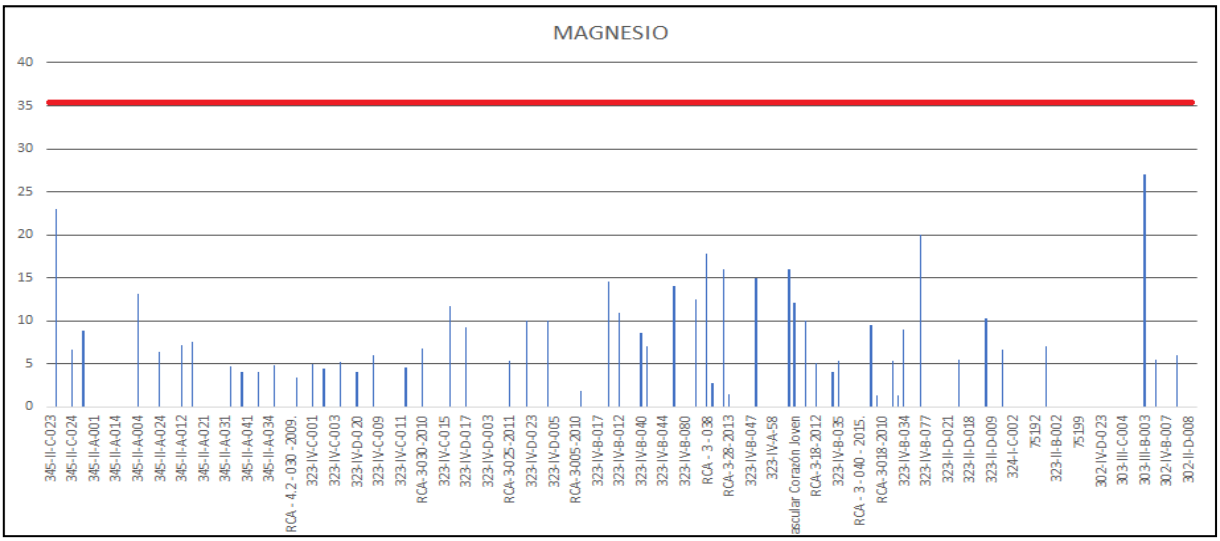
Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados no deben sobrepasar los 0,3 mg/L para consumo humano. Se observan 13 puntos que exceden los valores límites permitidos, no muestran un comportamiento asociado a otras formaciones geológicas contiguas (**Gráfica 145**).



Gráfica 145 Hierro Cuaternarios Valle del Magdalena

Magnesio

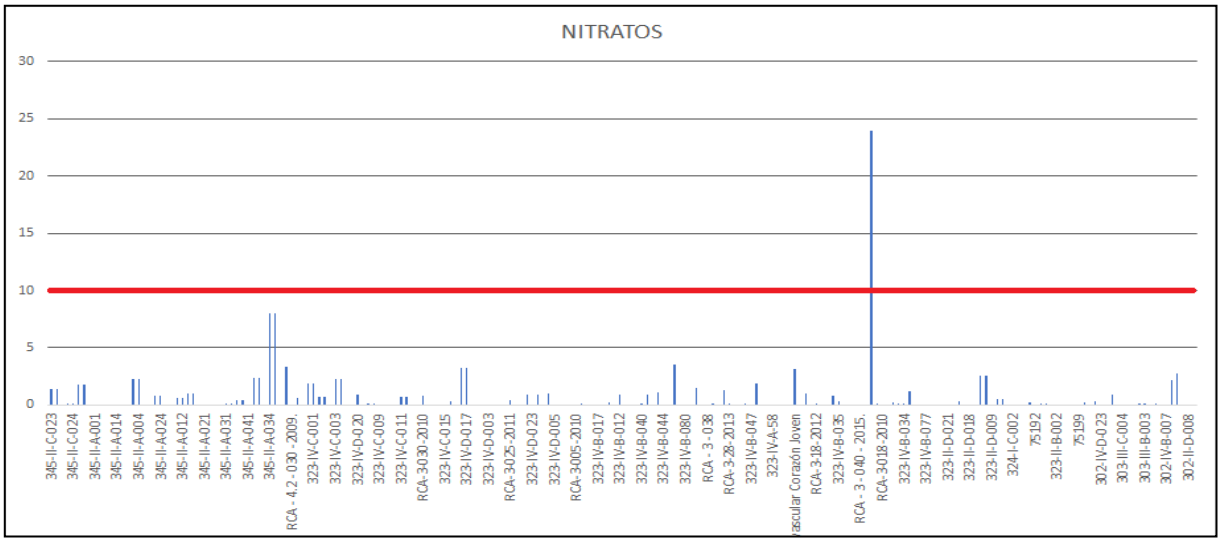
Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados no deben sobrepasar los 36 mg/L para consumo humano. Todos los valores se encuentran en los límites normales establecidos por la resolución (**Gráfica 146**).



Gráfica 146 Magnesio Cuaternarios Valle del Magdalena

Nitratos

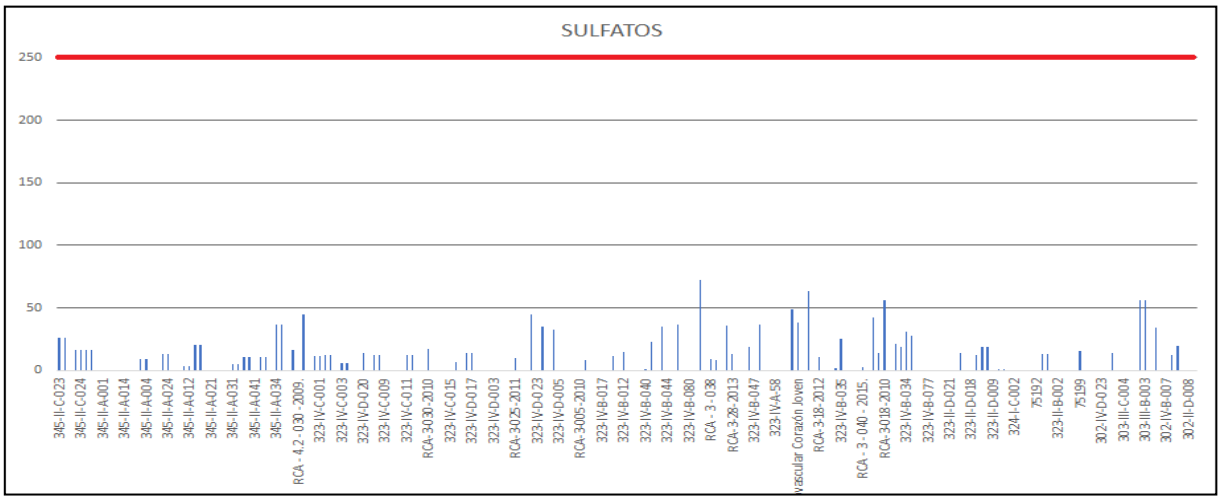
Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados no deben sobrepasar los 10 mg/L para consumo humano. Se presentan valores bajos de nitratos para todos los puntos de captación, un único punto ubicado en Neiva muestra altos valores de nitratos (**Gráfica 147**).



Gráfica 147 Nitratos Cuaternarios Valle del Magdalena

Sulfatos

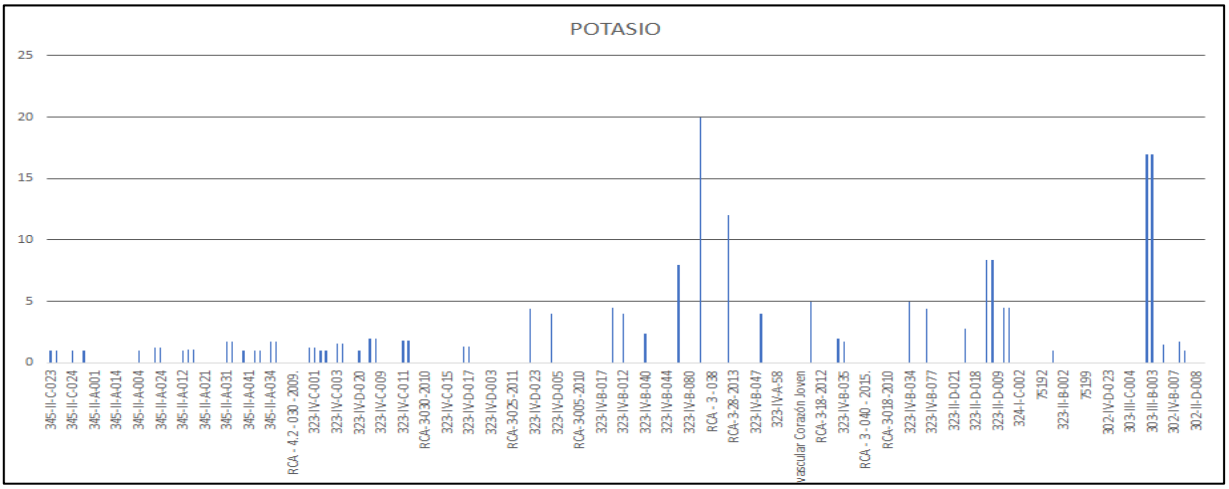
Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados no deben sobrepasar los 250 mg/L para consumo humano. Se encuentran valores de concentración de sulfatos bajos en los depósitos cuaternarios. (**Gráfica 148**).



Gráfica 148 Sulfatos Cuaternarios Valle del Magdalena

Potasio

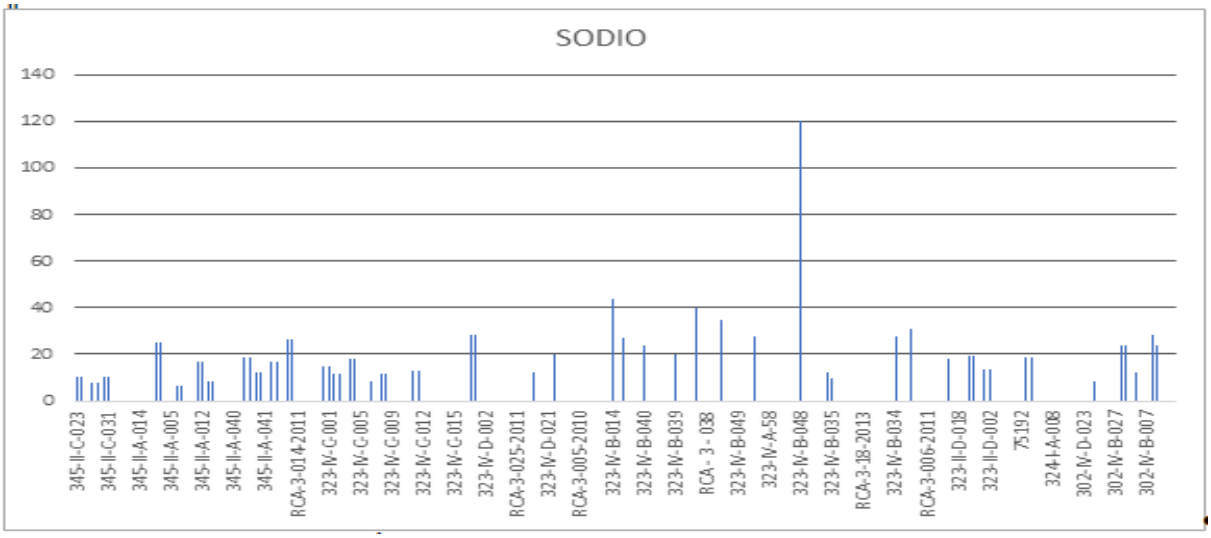
No existen valores límite para concentración de potasio según la resolución 2115 de 2.007, en general se observan bajas concentraciones (**Gráfica 149**).



Gráfica 149 Potasio Cuaternarios Valle del Magdalena.

Sodio

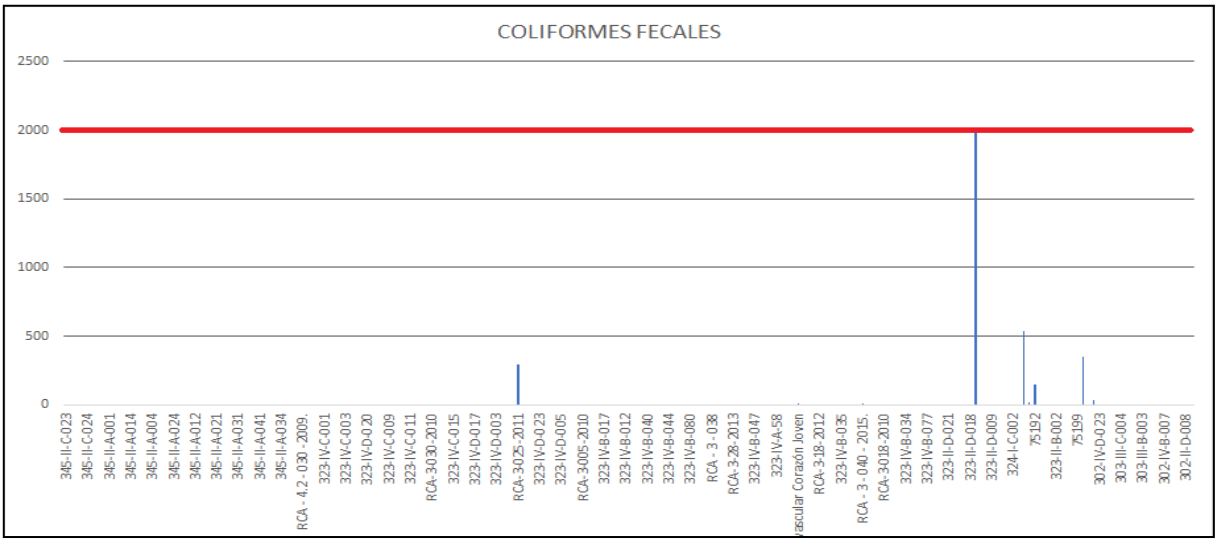
Al igual que con el potasio, no existen valores límite para concentración de sodio según la resolución 2115 de 2.007. (**Gráfica 150**).



Gráfica 150 Sodio Cuaternarios Valle del Magdalena

Coliformes Fecales

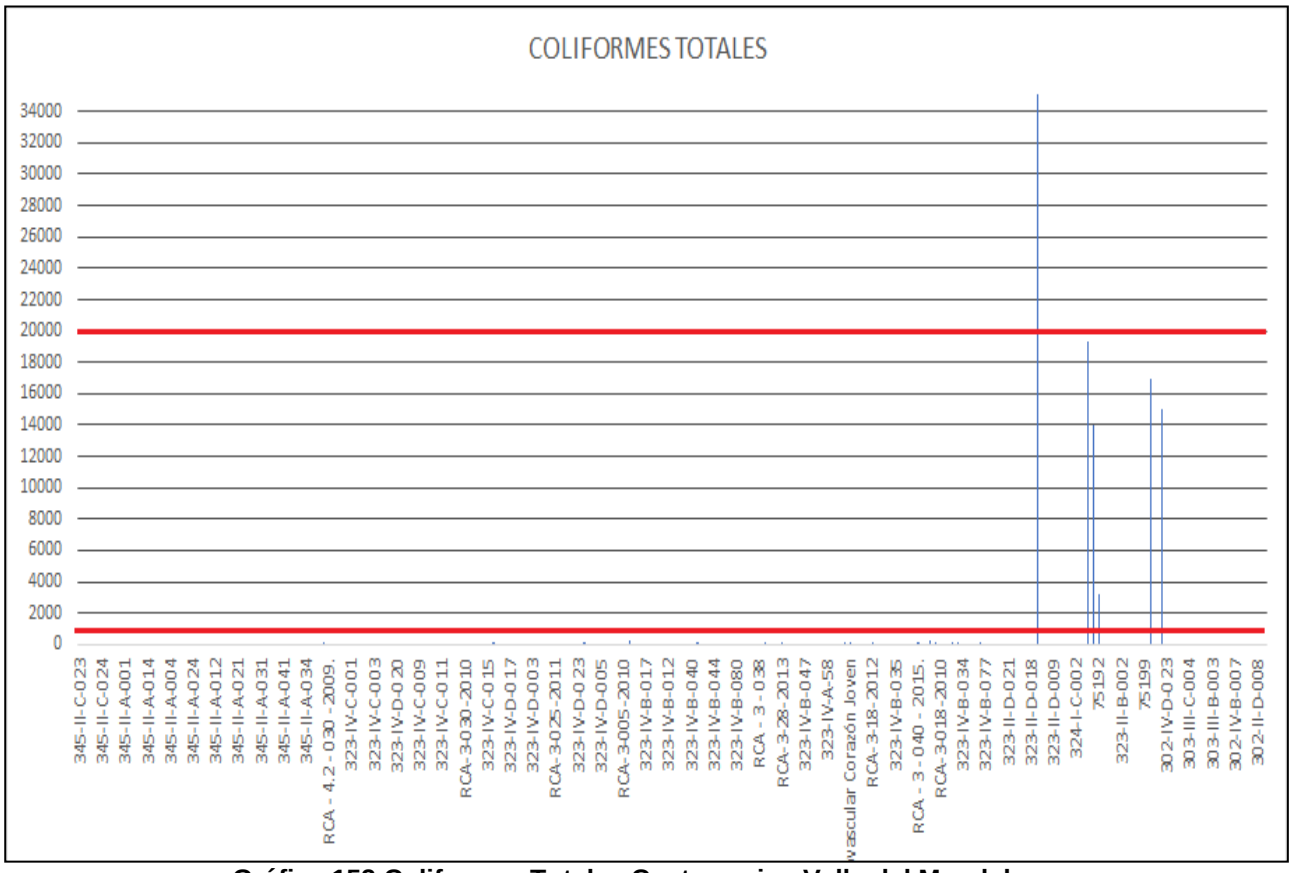
Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados para consumo humano deben ser iguales a cero. Con base en el decreto 1594 de 1.984 los valores reportados entre 2.000 y 200 unidades deben ser manejados con métodos de potabilización convencionales. Se destaca la baja cantidad de datos para coliformes fecales, de los cuales ninguno excede las 2.000 unidades (**Gráfica 151**).



Gráfica 151 Coliformes Fecales Cuaternarios Valle del Magdalena

Coliformes Totales

Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados para consumo humano deben ser iguales a cero. Con base en el decreto 1594 de 1.984 los valores reportados entre 20.000 y 1.000 unidades deben de manejados con métodos de tratamiento convencional. Se encuentra una baja densidad de datos para este parámetro, observándose que 5 superan el límite de 1.000 unidades por lo tanto pueden ser potabilizadas mediante tratamiento convencional, un único punto localizado en Neiva muestra un valor cercano a las 35.000 unidades que no podría potabilizarse, estos puntos se encuentran en la parte occidental del Río Magdalena en los municipios de Neiva y Aipe (**Gráfica 152**).



Gráfica 152 Coliformes Totales Cuaternarios Valle del Magdalena

6.2.2.2 USO DEL AGUA DEPÓSITOS CUATERNARIOS

De acuerdo con los artículos 38, 39, 40 y 41 del Decreto 1594 de 1984, se compararon los valores obtenidos en el los depósitos cuaternarios valle del Río Magdalena con los valores límite del decreto para determinar el uso potencial. Esto se realizó para los valores promedio como se muestra a continuación (**Tabla 63**).

Tabla 63 Uso del agua de acuerdo con el decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Agricultura para los depósitos cuaternarios

PARÁMETRO	UNIDAD	PROMEDIO	Decreto 1594 de 1984 Ministerio de Agricultura		
			Art 38 y 39	Art 40	Art 41
			Consumo Humano y Uso Doméstico	Uso Agrícola	Uso Pecuario
Arsénico	mg/L	0.0003	0.05	0.1	0.2
Aluminio	mg/L	0.390	-	5	5
Bario	mg/L	<0.096	1	-	-
Boro	mg/L	<0.137	0	-	-
Cobalto	mg/L	<0.048	-	4	5
Conductividad	µs/cm	379.71	1000	-	-
Cromo	mg/L	<0.05	0.05	0.1	1
Cadmio	mg/L	<0.003	0.01	0.01	0.05
Cobre	mg/L	-	1	0.2	0.5
Color	(Pt/Co)	17.9	75/20	-	-
Coliformes Fecales	NMP/100ml	377	20000/1000*	5000	5000
Coliformes Totales	NMP/100ml	18639	2000	1000	1000
Cloruros	mg/L	11.8	250	-	-
Hierro	mg/L	0.36	-	5	-
Litio	mg/L	-	-	2.5	-
Manganeso	mg/L	0.25	-	0.2	-
Molibdeno	mg/L	-	-	0.01	-
Nitritos	mg/L	0.023	10	-	10
Nitratos	mg/L	1.44	10	-	-
Níquel	mg/L	<0.085	-	0.2	-
Plomo	mg/L	<0.050	0.05	5	0.1
pH		6.92	5-9/6.5-8.5*	4.5-9	4.5-9
Selenio	mg/L	0.00023	0.01	0.02	-
Turbidez	NTU	3.47	2/10*	-	-
Vanadio	mg/L	<0.095	-	0.1	-
Zinc	mg/L	0.036	15	2	25

Los valores con "*" para uso doméstico y consumo humano son admisibles por el decreto siempre que se realice un proceso de desinfección.

Los valores promedio encontrados en los depósitos cuaternarios se muestran aptos para el consumo humano y cualquier uso establecido por el decreto. El valor promedio de los coliformes totales está muy por encima de los límites, pero a su vez cabe resaltar que de la totalidad de los datos, sólo 10% de ellos registran valores de coliformes totales y a

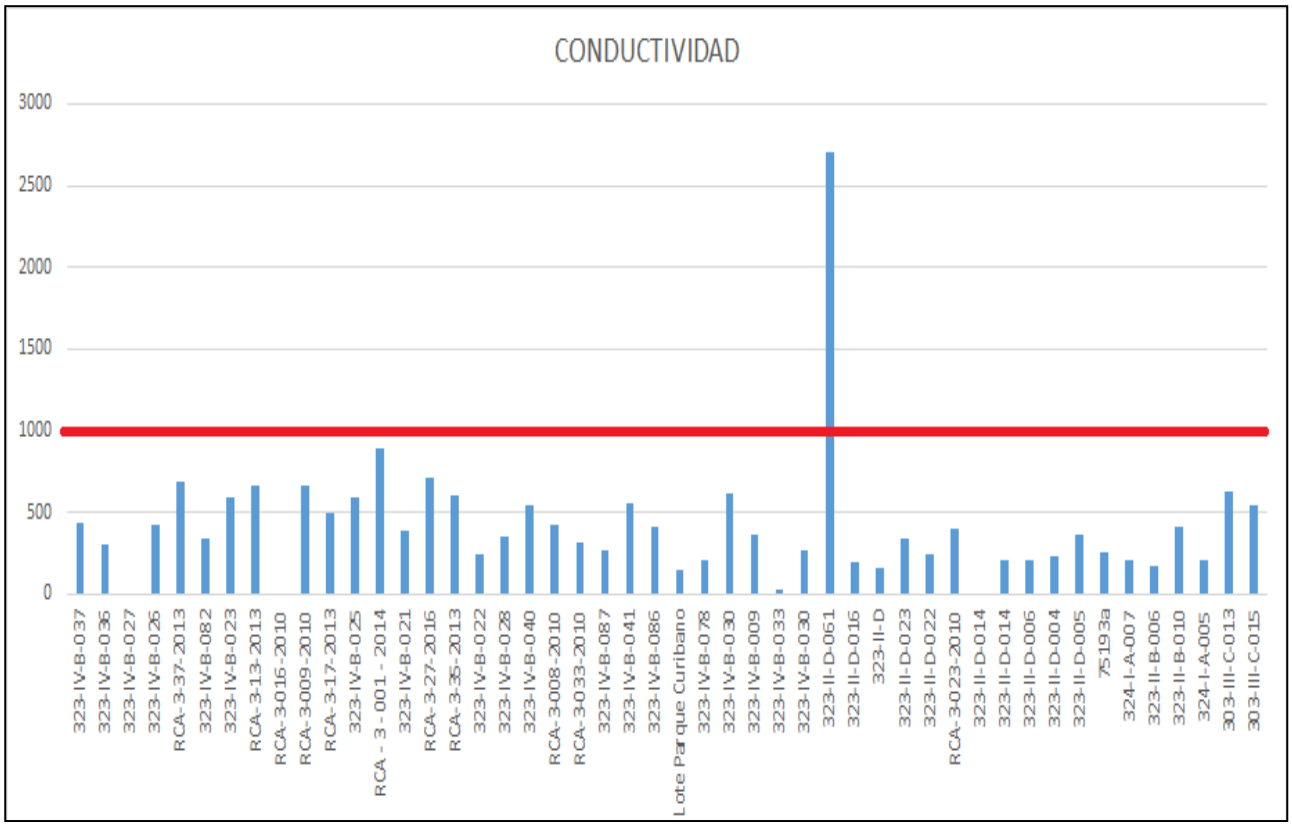
partir de estos se estableció un promedio. Estos puntos se encuentran distribuidos a lo largo del Departamento y no muestran un patrón geográfico específico.

6.2.2.3 FORMACIÓN GIGANTE

Los puntos de captación correspondientes a la Formación Gigante se componen de 48 puntos, de los cuales se listan los siguientes parámetros a tener en cuenta para el análisis de calidad de agua. La parte norte de la Formación en el Departamento del Huila comprende principalmente los municipios de Baraya, Tello y Neiva, la parte centro-sur aflora en mayor medida en los municipios de Garzón y Agrado. Casi la totalidad de puntos muestreados se encuentran en los municipios de Tello y Neiva.

Conductividad

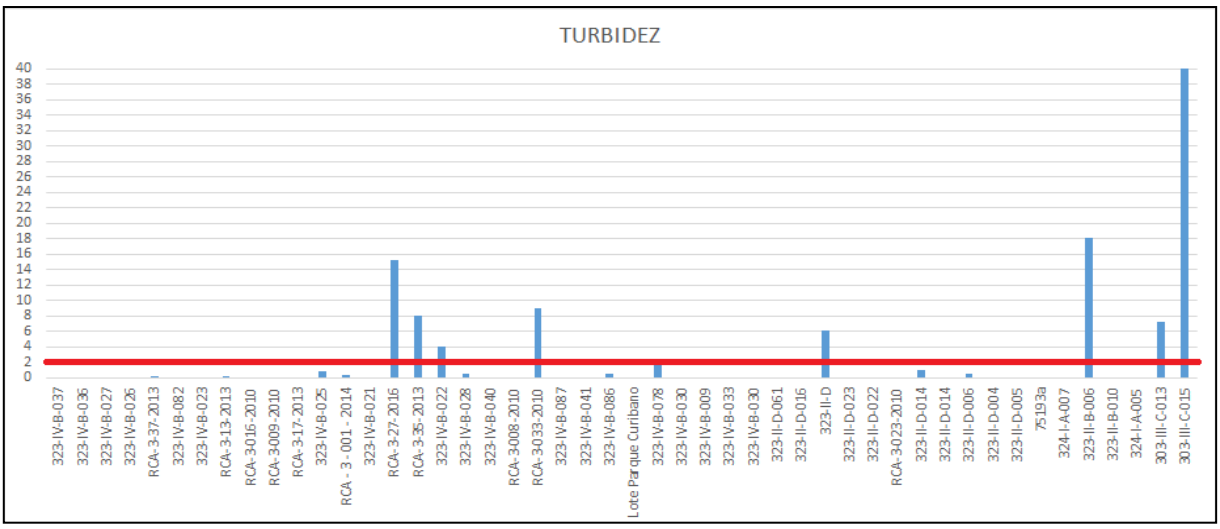
Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados no deben sobrepasar los 1000 µS/cm para consumo humano. Los valores de conductividad de la Formación Gigante están por debajo del límite máximo establecido exceptuando un único punto localizado en el municipio de Neiva (**Gráfica 153**).



Gráfica 153 Conductividad Formación Gigante Valle del Magdalena

Turbidez

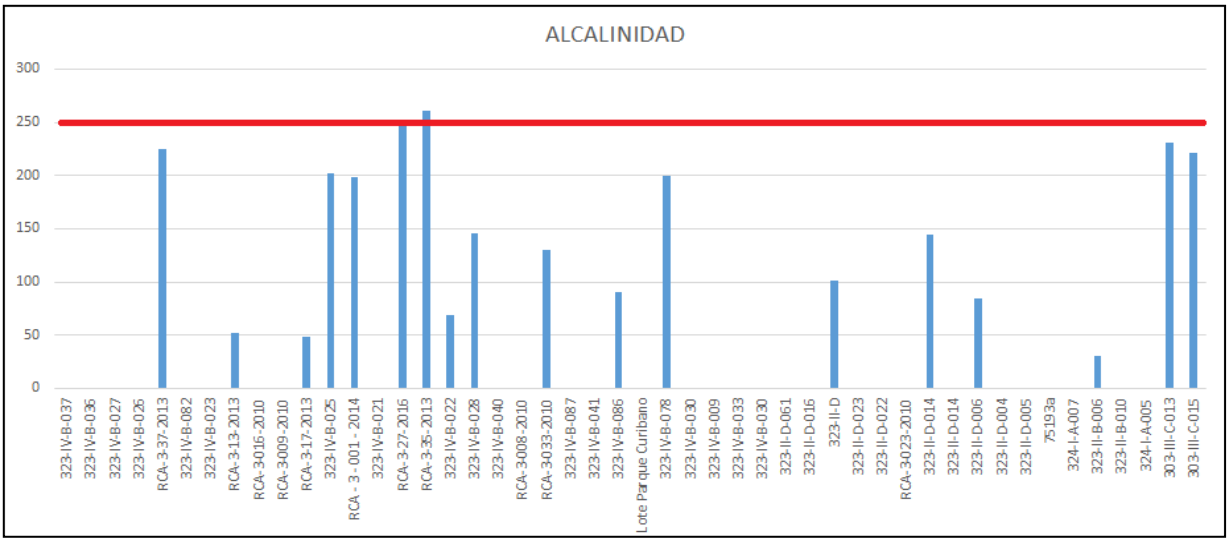
Con base en la Resolución 2115 de 2007 los valores reportados no deben sobrepasar los 2 NTU para consumo humano. En caso de la Formación Gigante, 8 valores reportan una turbidez superior al límite establecido, ubicados principalmente en el municipio de Neiva, se observa un único punto cuyo valor excede los límites del gráfico (56.2 NTU) localizado en el municipio de Baraya (**Gráfica 154**).



Gráfica 154 Turbidez Formación Gigante Valle del Magdalena

Alcalinidad

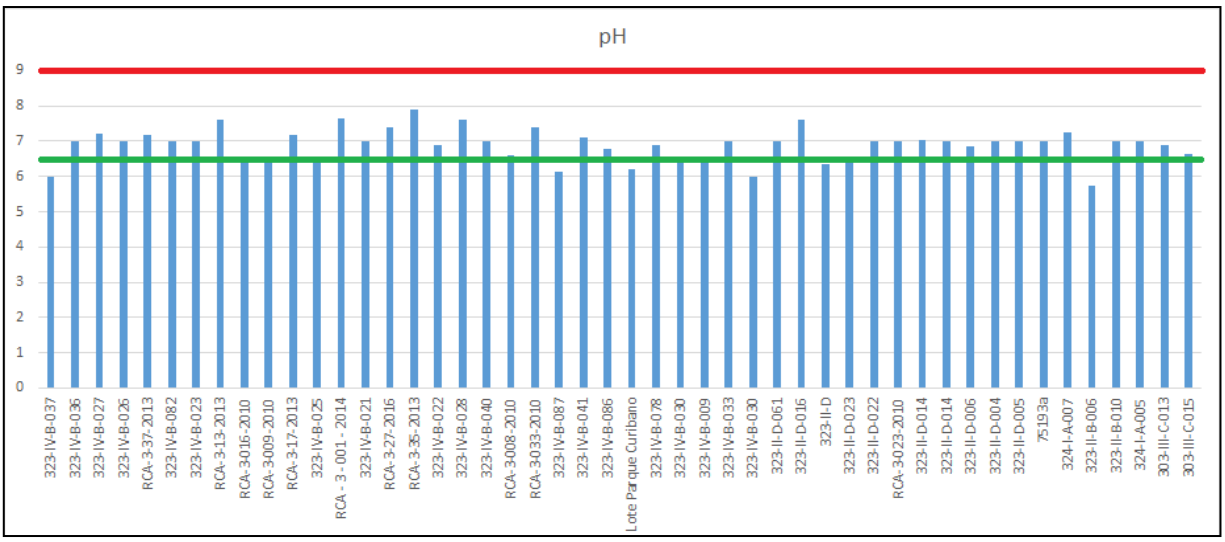
Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados no deben sobrepasar los 200 mg de CaCO3/L para consumo humano. Sólo un valor entre los captados muestra alcalinidad por encima del límite, este se localiza en el municipio de Neiva, muy cerca a otros pozos por lo que podría considerarse un caso puntual (**Gráfica 155**).



Gráfica 155 Alcalinidad Formación Gigante Valle del Magdalena

pH

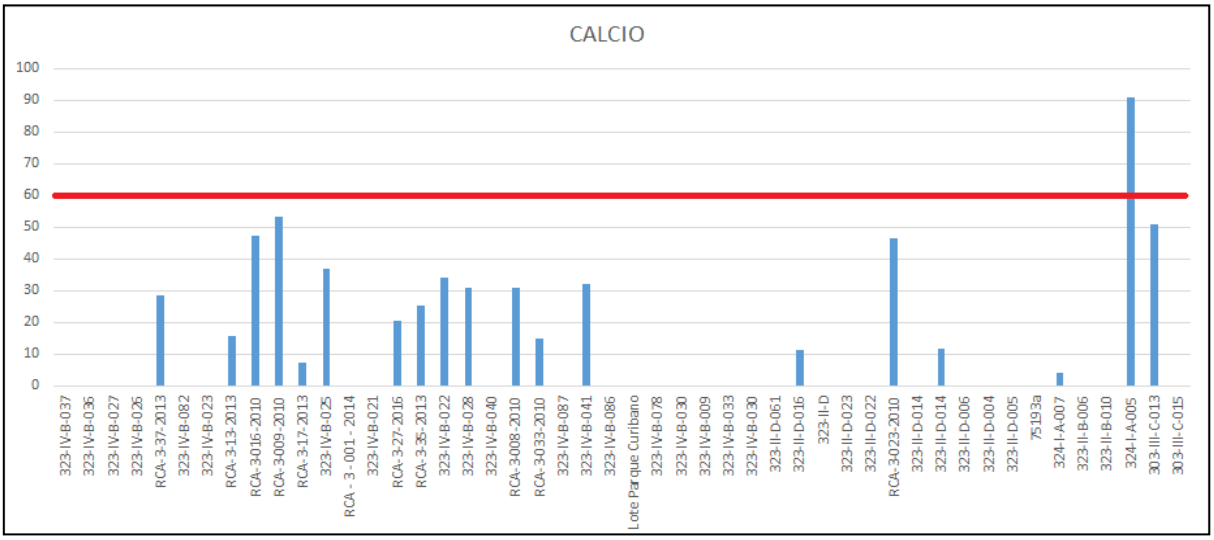
Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados deben de estar entre 6,5 y 9 unidades para consumo humano. Se observan 7 puntos con pH más ácido de lo establecido dispersos en la zona central del municipio de Neiva. Ningún valor sobrepasa el límite superior (**Gráfica 156**).



Gráfica 156 pH Formación Gigante Valle del Magdalena

Calcio

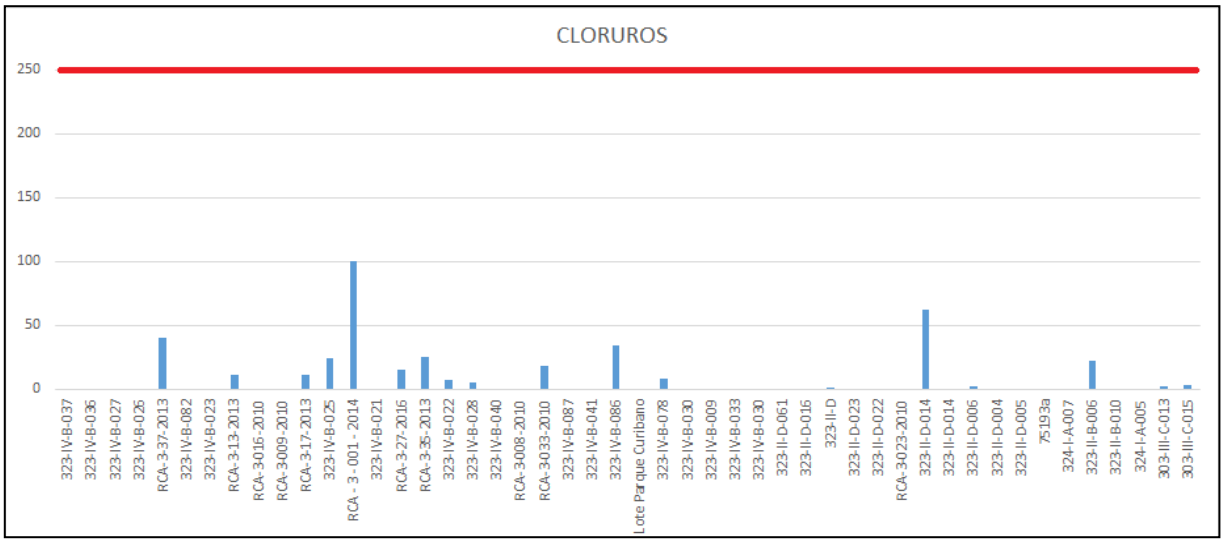
Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados no deben sobrepasar los 60 mg/L para consumo humano. (**Gráfica 157**).



Gráfica 157 Calcio Formación Gigante Valle del Magdalena

Cloruros

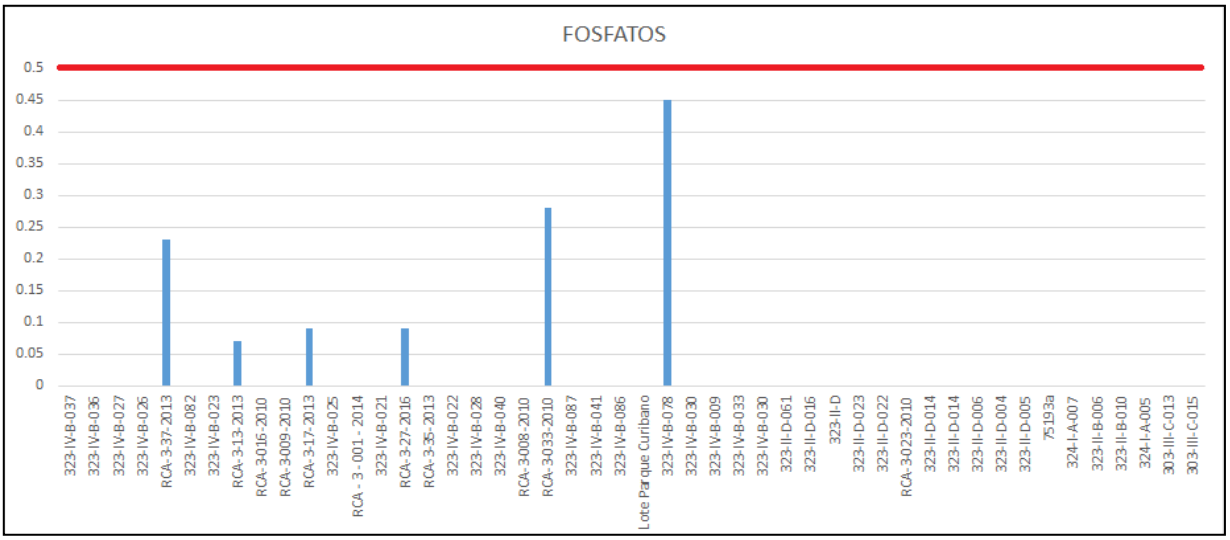
Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados no deben sobrepasar los 250 mg/L para consumo humano. Todos los puntos de captación poseen bajas concentraciones de cloruros (**Gráfica 158**).



Gráfica 158 Cloruros Formación Gigante Valle del Magdalena

Fosfatos

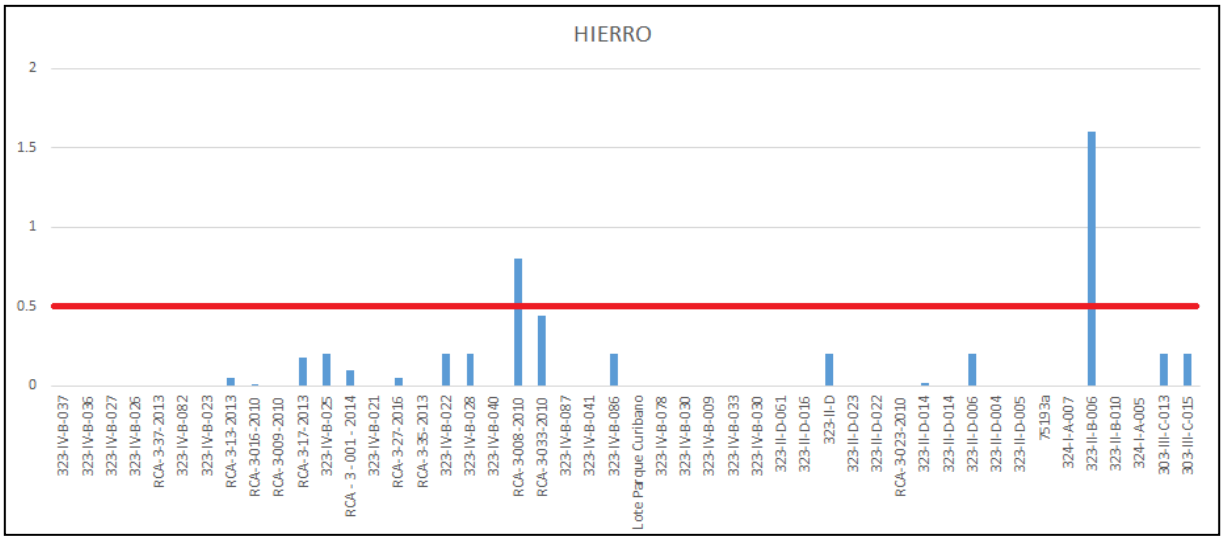
Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados no deben sobrepasar los 0,5 mg/L para consumo humano. No se reportan fosfatos por encima del límite en los puntos de captación de esta formación, se destaca la poca información disponible de fosfatos (**Gráfica 159**).



Gráfica 159 Fosfatos Formación Gigante Valle del Magdalena

Hierro

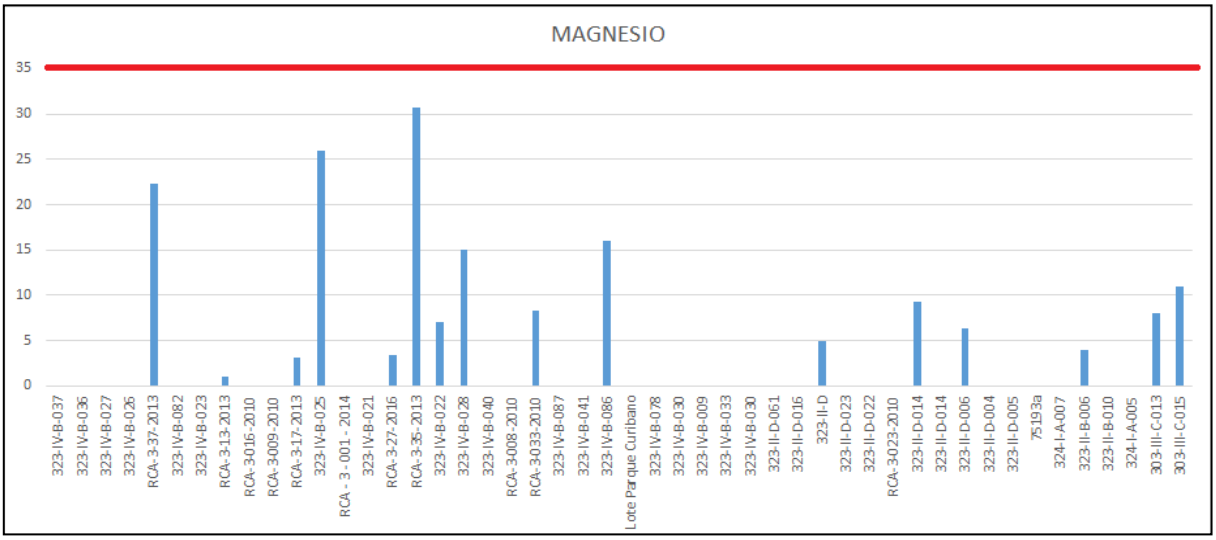
Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados no deben sobrepasar los 0,3 mg/L para consumo humano (**Gráfica 160**).



Gráfica 160 Hierro Formación Gigante Valle del Magdalena

Magnesio

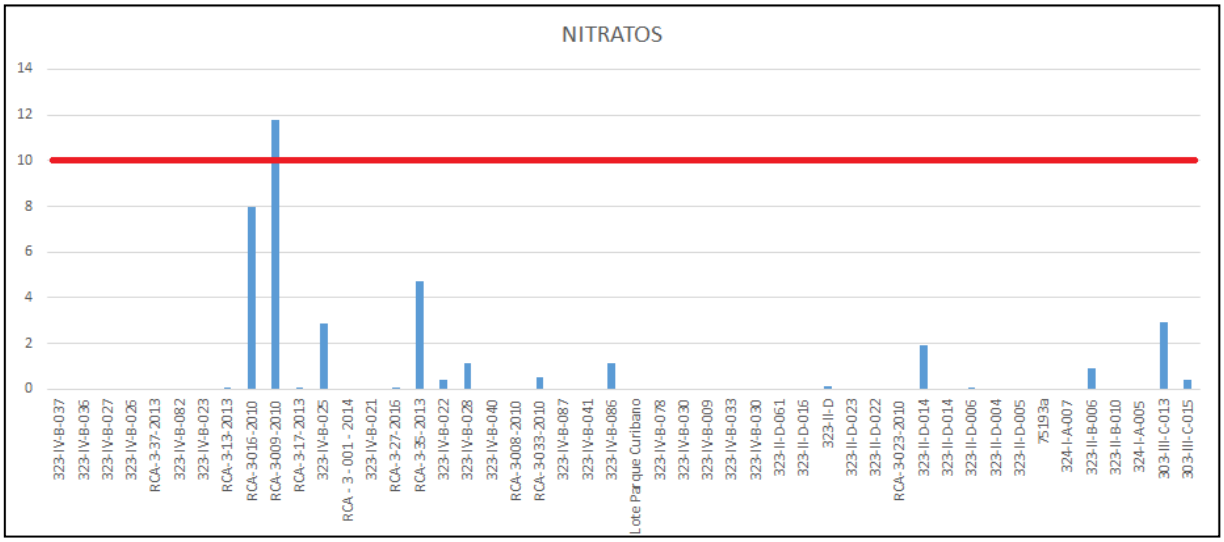
Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados no deben sobrepasar los 36 mg/L para consumo humano. Ningún valor de magnesio excede el límite establecido en la resolución (**Gráfica 161**).



Gráfica 161 Magnesio Formación Gigante Valle del Magdalena

Nitratos

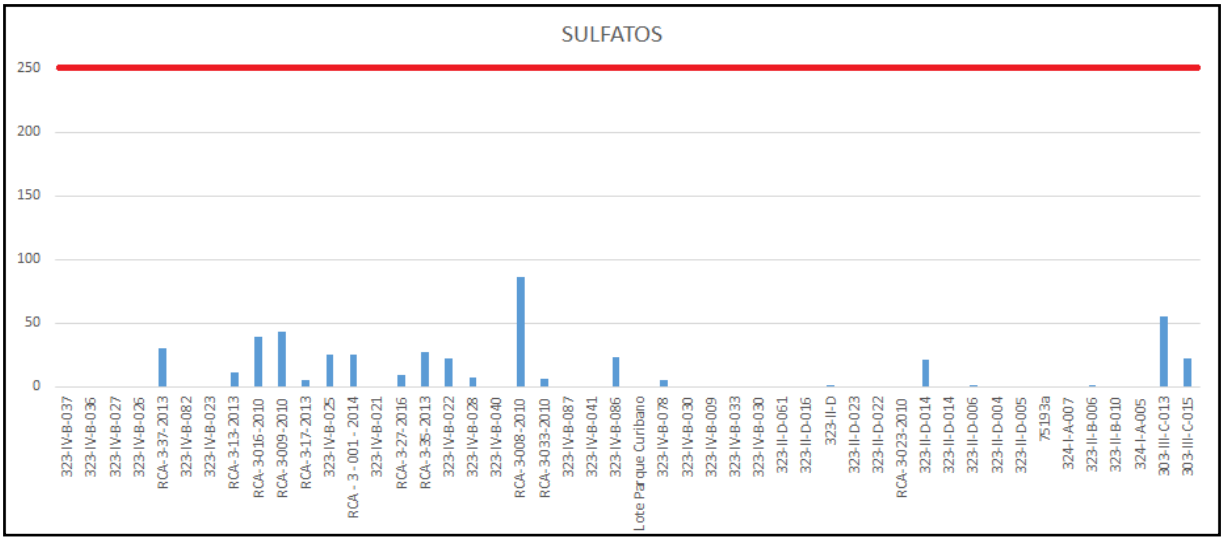
Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados no deben sobrepasar los 10 mg/L para consumo humano. Se presentan valores por debajo del límite en todos los puntos a excepción de un punto situado en Neiva, que al estar rodeado de más puntos de captación cercanos sin excesos de este ion se considera más un dato anómalo que representativo (**Gráfica 162**).



Gráfica 162 Nitratos Formación Gigante Valle del Magdalena

Sulfatos

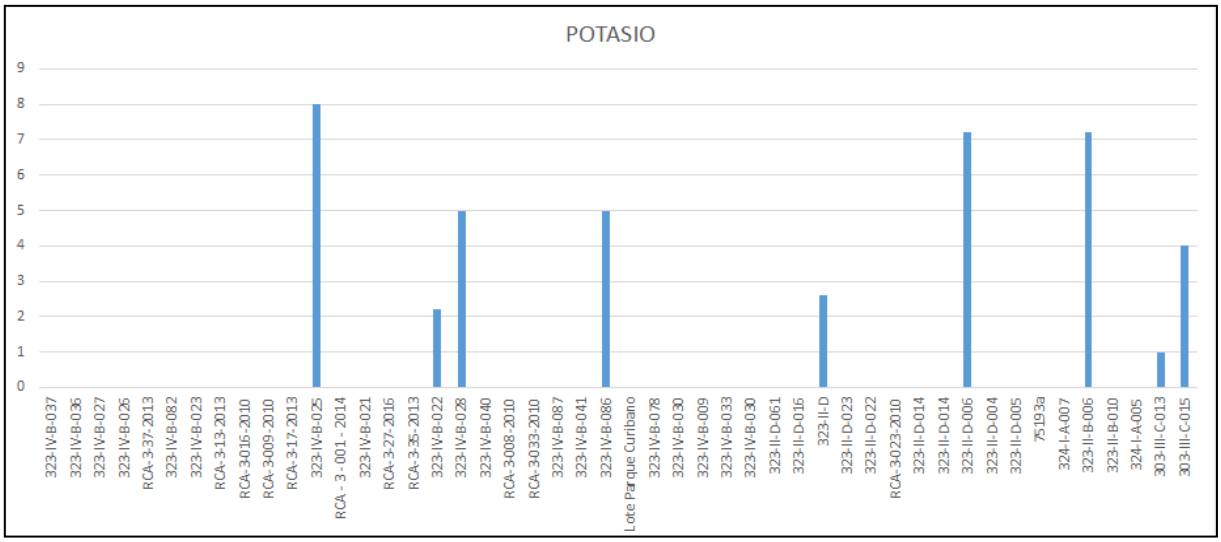
Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados no deben sobrepasar los 250 mg/L para consumo humano. Todos los puntos captados se encuentran en un rango permisible (**Gráfica 163**).



Gráfica 163 Sulfatos Formación Gigante Valle del Magdalena

Potasio

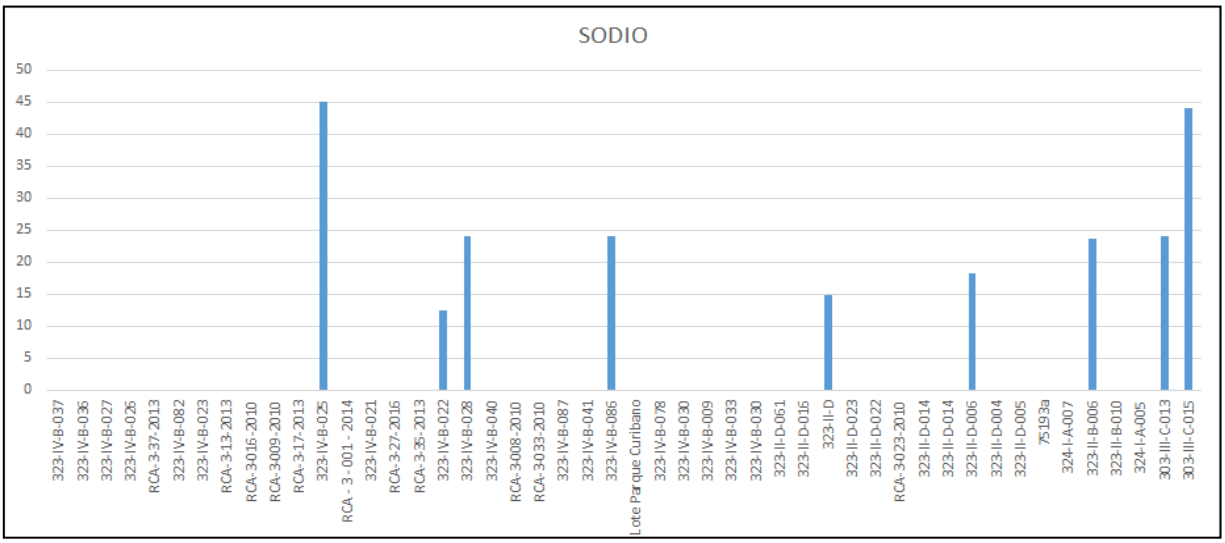
No existen valores límite para concentración de potasio según la resolución 2115 de 2.007, en general se observan bajas concentraciones (**Gráfica 164**)



Gráfica 164 Potasio Formación Gigante Valle del Magdalena

Sodio

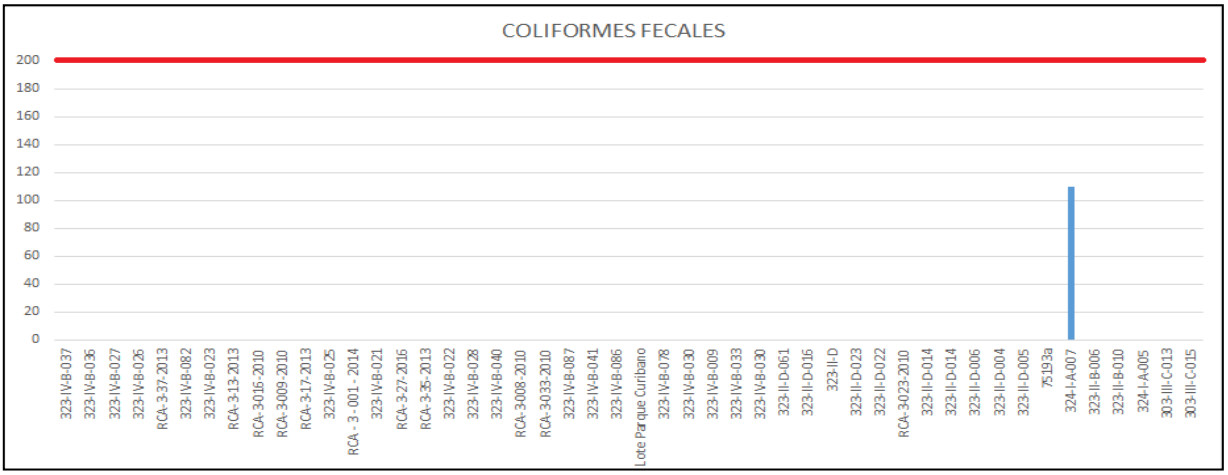
Al igual que con el potasio, no existen valores límite para concentración de sodio según la resolución 2115 de 2.007 (**Gráfica 165**).



Gráfica 165 Sodio Formación Gigante Valle del Magdalena

Coliformes Fecales

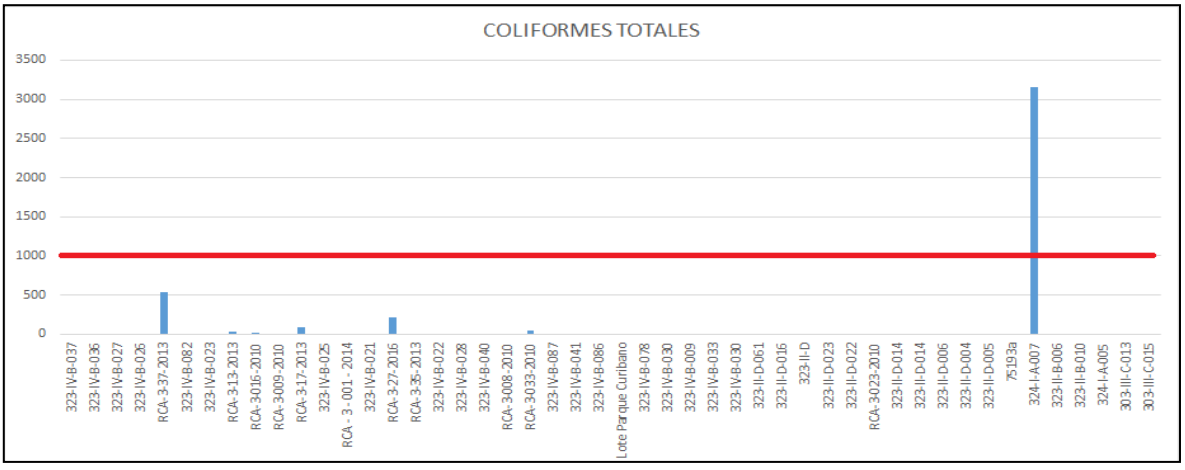
Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados para consumo humano deben ser iguales a cero. Con base en el decreto 1594 de 1.984 los valores reportados entre 2.000 y 200 unidades deben ser manejados con métodos de potabilización convencionales. Se destaca la baja cantidad de datos para coliformes fecales, de los cuales se posee un único valor (municipio de Tello) que no alcanza las 200 unidades, pero tampoco se puede considerar representativo.**(Gráfica 166)**



Gráfica 166 Coliformes Fecales Formación Gigante Valle del Magdalena

Coliformes Totales

Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados para consumo humano deben ser iguales a cero. Con base en el decreto 1594 de 1.984 los valores reportados entre 20.000 y 1.000 unidades deben de manejados con métodos de tratamiento convencional. Un único punto de captación arrojó un dato superior a las 1.000 unidades, localizado en Tello (**Gráfica 167**).



Gráfica 167 Coliformes Totales Formación Gigante Valle del Magdalena

6.2.2.4 USO DEL AGUA FORMACIÓN GIGANTE

De acuerdo con los artículos 38, 39, 40 y 41 del Decreto 1594 de 1984, se compararon los valores obtenidos en la Formación Gigante con los valores límite del decreto para determinar el uso potencial. Esto se realizó para los valores promedio de la formación como se muestra a continuación (**Tabla 64**).

Tabla 64 Uso del agua de acuerdo con el decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Agricultura para la Formación Gigante

PARÁMETRO	UNIDAD	PROMEDIO	Decreto 1594 de 1984 Ministerio de Agricultura		
			Art 38 y 39	Art 40	Art 41
			Consumo Humano y Uso Doméstico	Uso Agrícola	Uso Pecuario
Arsénico	mg/L	-	0.05	0.1	0.2
Aluminio	mg/L	0.125	-	5	5
Bario	mg/L	-	1	-	-
Boro	mg/L	-	0	-	-
Cobalto	mg/L	-	-	4	5
Conductividad	µs/cm	500.26	1000	-	-
Cromo	mg/L	-	0.05	0.1	1
Cadmio	mg/L	-	0.01	0.01	0.05
Cobre	mg/L	-	1	0.2	0.5
Color	(Pt/Co)	17.9	75/20	-	-
Coliformes Fecales	NMP/100ml	110	20000/1000*	5000	5000
Coliformes Totales	NMP/100ml	587.43	2000	1000	1000
Cloruros	mg/L	21.92	250	-	-
Hierro	mg/L	0.285	-	5	-
Litio	mg/L	-	-	2.5	-
Manganeso	mg/L	0.2	-	0.2	-
Molibdeno	mg/L	-	-	0.01	-
Nitritos	mg/L	0.067	10	-	10
Nitratos	mg/L	2.18	10	-	-
Níquel	mg/L	-	-	0.2	-
Plomo	mg/L	-	0.05	5	0.1
pH		6.90	5-9/6.5-8.5*	4.5-9	4.5-9
Selenio	mg/L	-	0.01	0.02	-
Turbidez	NTU	7.66	2/10*	-	-
Vanadio	mg/L	-	-	0.1	-
Zinc	mg/L	-	15	2	25

Los valores con "*" para uso doméstico y consumo humano son admisibles por el decreto siempre que se realice un proceso de desinfección.
Los valores en rojo corresponden a aquellos que exceden la norma para consumo humano

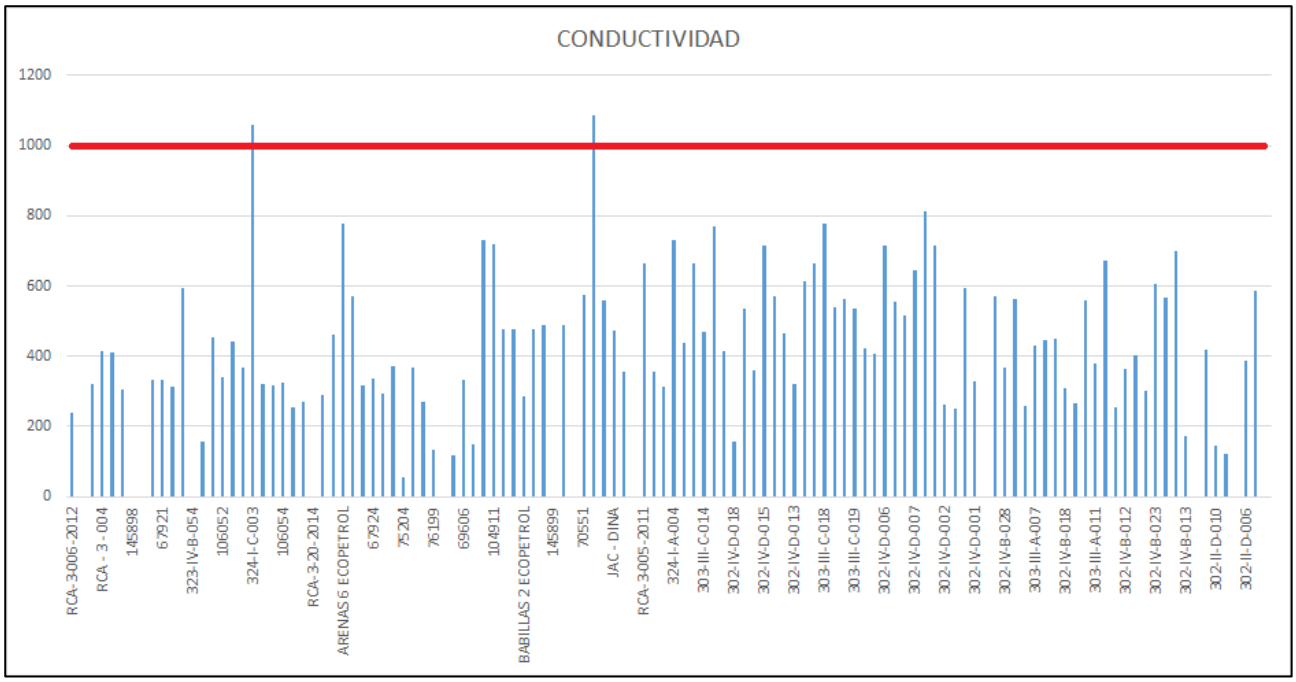
Los valores mostrados para la Formación Gigante muestran en promedio un rango aceptable para cualquiera de los usos establecidos por el decreto, se exceptúa el valor de turbidez que no se muestra apto para consumo humano, pero si para el uso doméstico con un valor menor a 10 NTU, a su vez este valor no se establece para el uso pecuario y agrícola.

6.2.2.5 FORMACIÓN HONDA

Se localizaron 120 puntos de captación en los acuíferos pertenecientes a la Formación Honda asociados al valle del Magdalena. A continuación se analizan los parámetros a tener en cuenta para establecer la calidad del agua.

Conductividad

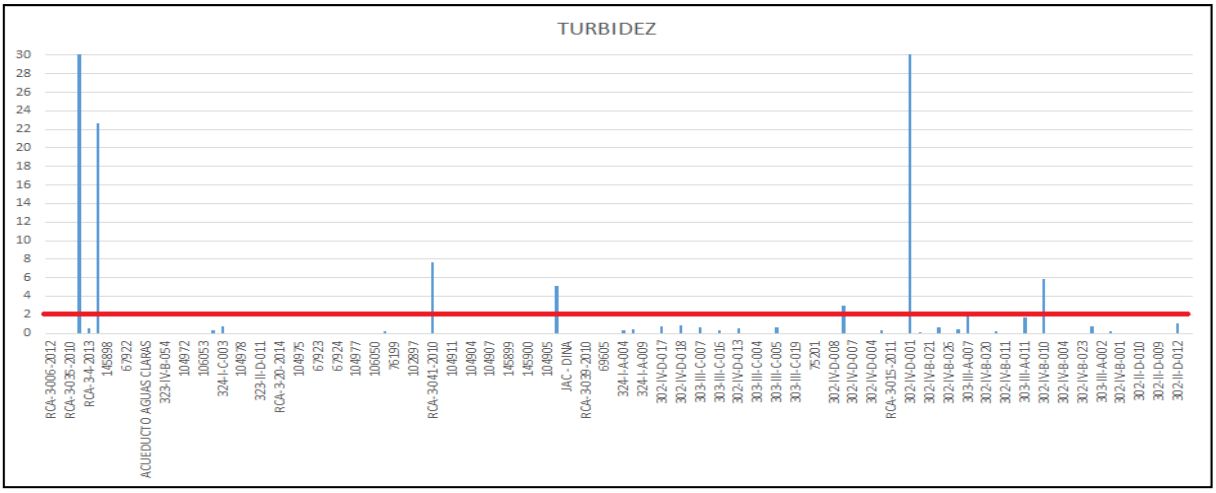
Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados no deben sobrepasar los 1000 µS/cm para consumo humano. Se observan solamente dos puntos que exceden los valores de conductividad permitidos, están ubicados en los municipios de Tello y Neiva (**Gráfica 168**).



Gráfica 168 Conductividad Formación Honda Valle del Magdalena

Turbidez

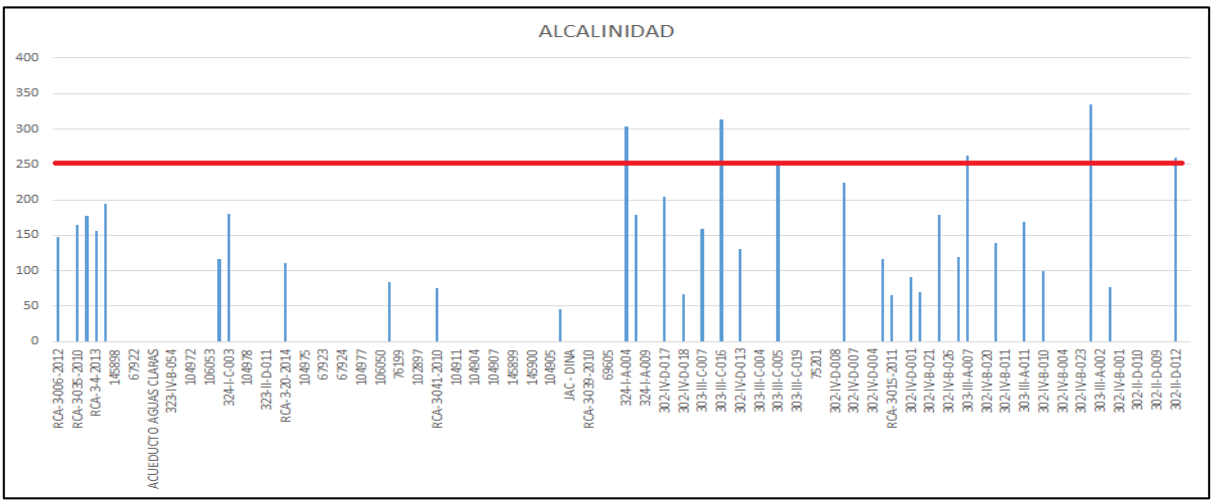
Con base en la Resolución 2115 de 2007 los valores reportados no deben sobrepasar los 2 UNT para consumo humano. Se muestran 7 puntos excediendo el límite establecido localizados en los municipios de Neiva-Palermo (occidente del Río Magdalena) y Villavieja (oriente). Se reporta un valor de turbidez anómalo (120 UNT) en el municipio de Villavieja (**Gráfica 169**).



Gráfica 169 Turbidez Formación Honda Valle del Magdalena

Alcalinidad

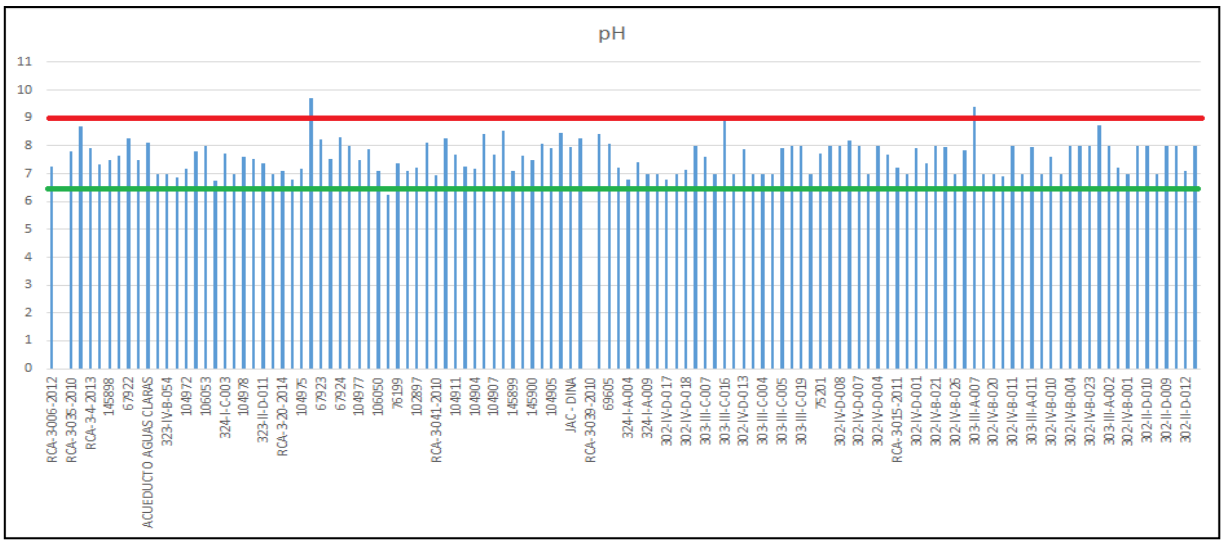
Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados no deben sobrepasar los 200 mg/L para consumo humano. Los valores que superan el límite de alcalinidad registrados para la Formación Honda se encuentran hacia el oriente del Río Magdalena en el municipio de Villavieja. No se observan litologías circundantes ricas en iones alcalinos por lo que dicho aumento podría deberse a la actividad agropecuaria de la zona (**Gráfica 170**).



Gráfica 170 Alcalinidad Formación Honda Valle del Magdalena

pH

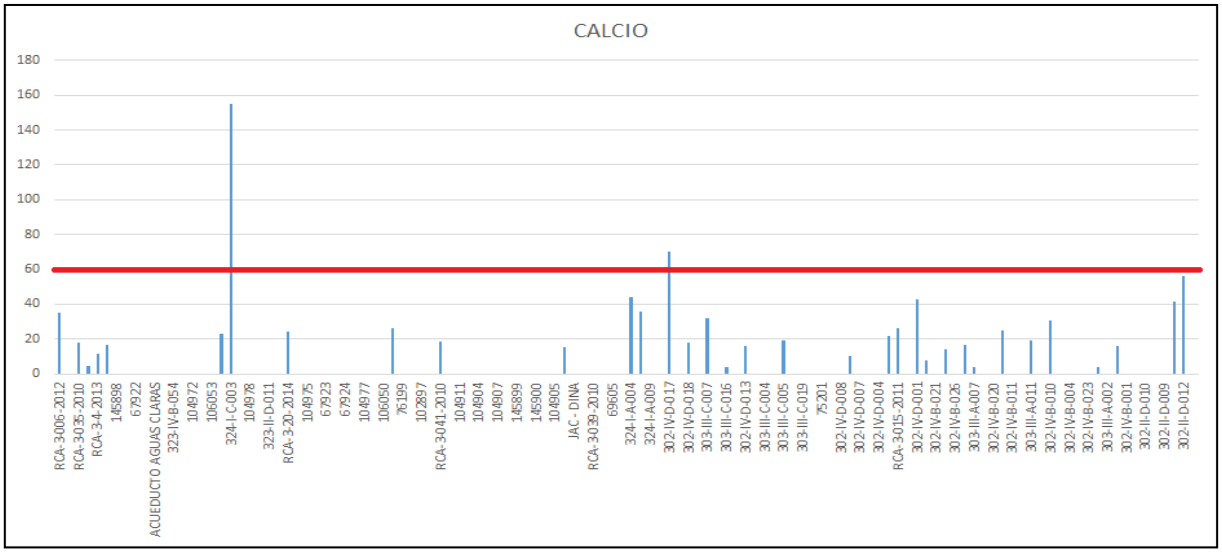
Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados deben de estar entre 6,5 y 9 unidades para consumo humano. Todos los valores se encuentran en el rango admisible de pH exceptuando dos valores alcalinos superiores a 9 en la zona de Villavieja y Palermo. Los valores de pH captados son similares en ambos costados del Río. (**Gráfica 171**).



Gráfica 171 pH Formación Honda Valle del Magdalena

Calcio

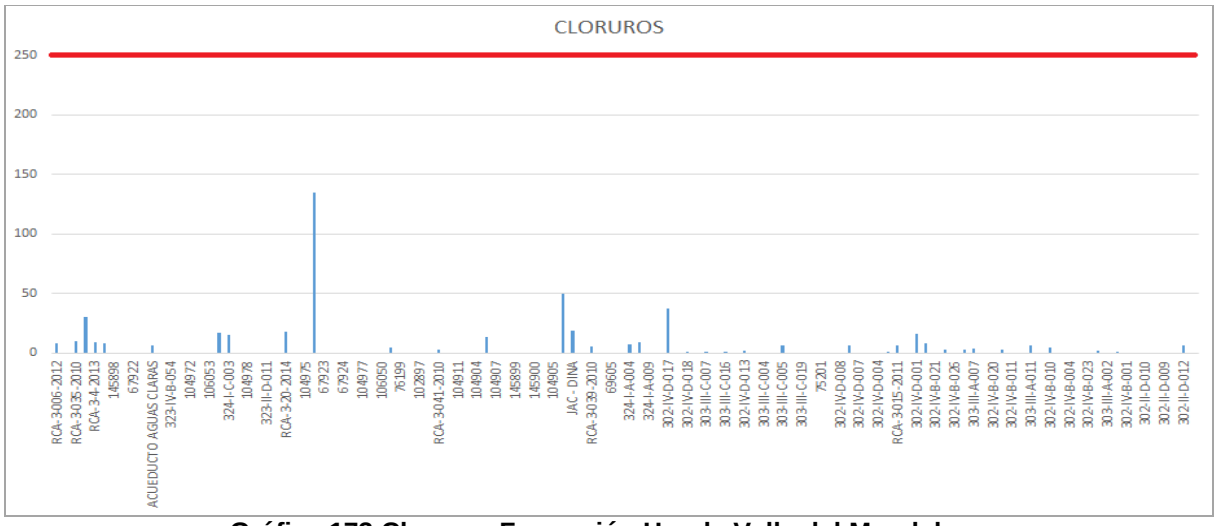
Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados no deben sobrepasar los 60 mg/L para consumo humano. Se observan dos valores que exceden el límite establecido en los municipios de Villavieja y Tello lejanos entre sí (**Gráfica 172**).



Gráfica 172 Formación Honda Valle del Magdalena

Cloruros

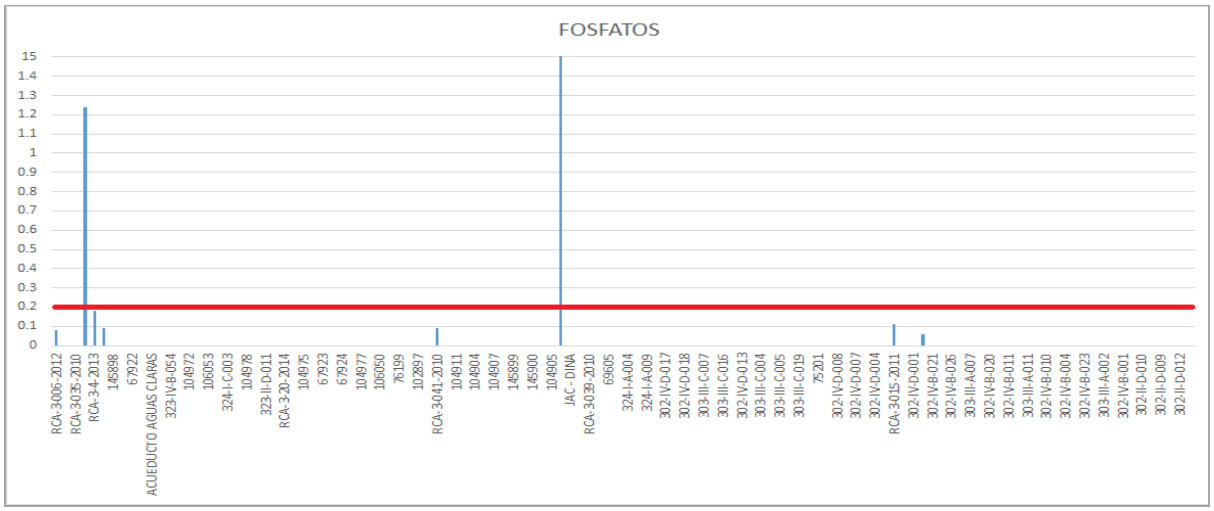
Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados no deben sobrepasar los 250 mg/L para consumo humano. El predominio de la bajas concentraciones de este elemento en los resultados de las muestras de aguas subterráneas indican un periodo de transito corto en los acuíferos correspondiente a aguas relativamente jóvenes (**Gráfica 173**).



Gráfica 173 Cloruros Formación Honda Valle del Magdalena

Fosfatos

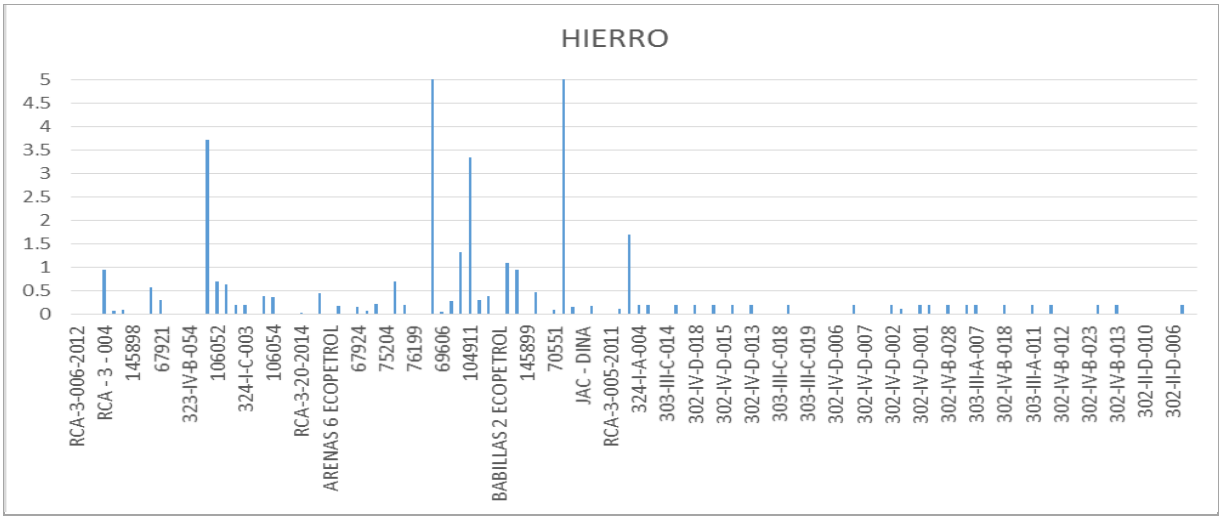
Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados no deben sobrepasar los 0,5 mg/L para consumo humano. Se encuentra una anomalía en el punto 0 (RCA-3-14-2014 Aipe) con un valor de 15 mg/L, fuera de ese valor ningún otro supera el límite de 0,5 mg/L de fosfatos excepto el punto 16 (RCA-3-004 Palermo) con 1,24 mg/L (**Gráfica 174**).



Gráfica 174 Fosfatos Formación Honda Valle del Magdalena

Hierro

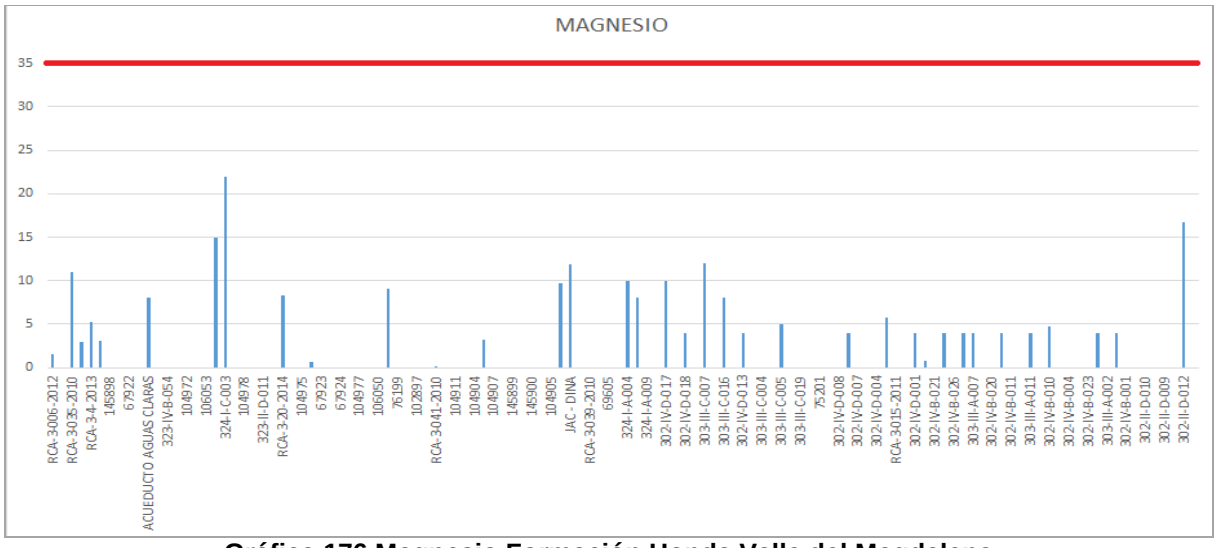
Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados no deben sobrepasar los 0,3 mg/L para consumo humano. Se muestran un total de 13 muestras que presentan altos contenidos de hierro dos de ellas con valores anómalos de 18.6 y 8.6 mg/L. Todos los valores de hierro que sobrepasan el límite se encuentran al costado occidental del Río Magdalena (**Gráfica 175**).



Gráfica 175 Hierro Formación Honda Valle del Magdalena

Magnesio

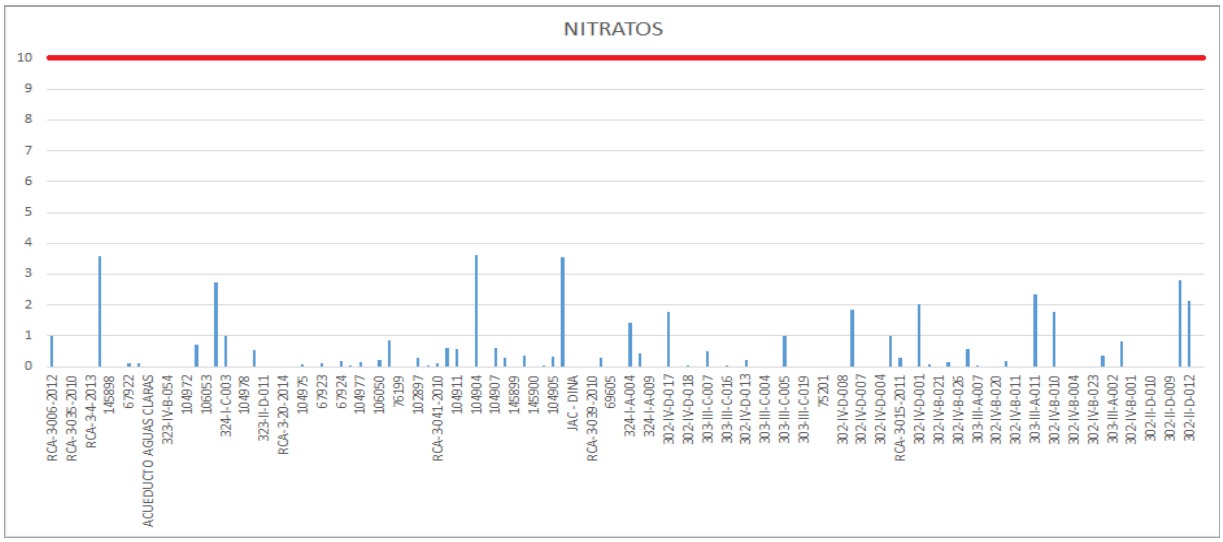
Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados no deben sobrepasar los 36 mg/L para consumo humano. Se encuentra que todos los valores son inferiores a dicho límite (**Gráfica 176**).



Gráfica 176 Magnesio Formación Honda Valle del Magdalena

Nitratos

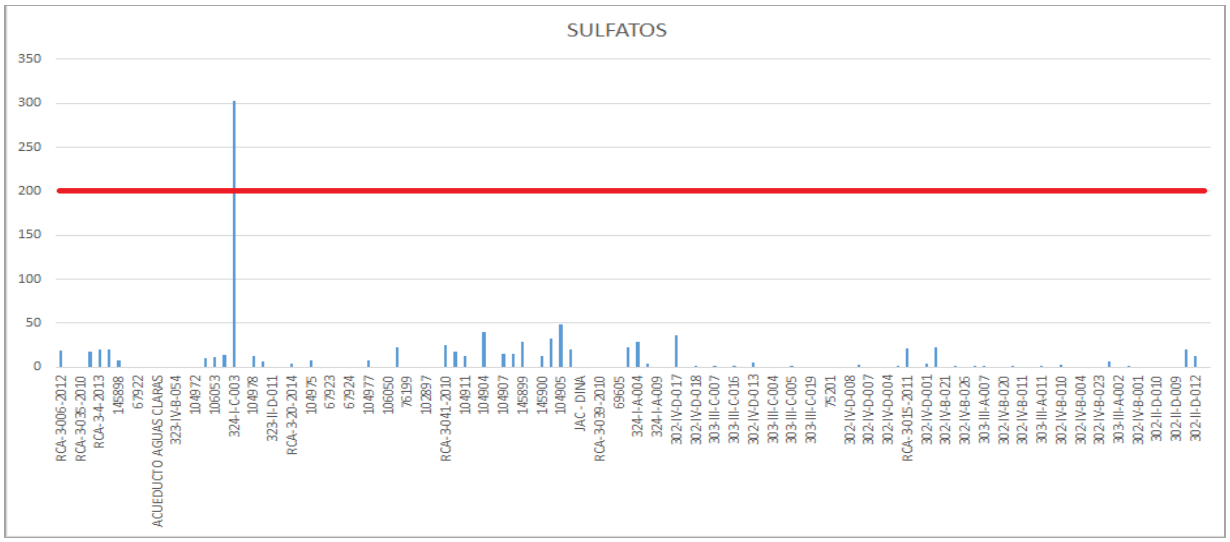
Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados no deben sobrepasar los 10 mg/L para consumo humano. Los valores en mg/L de nitratos están distribuidos de manera similar a ambos lados del Río, los valores más altos de nitratos se captan al costado occidental (**Gráfica 177**).



Gráfica 177 Nitratos Formación Honda Valle del Magdalena

Sulfatos

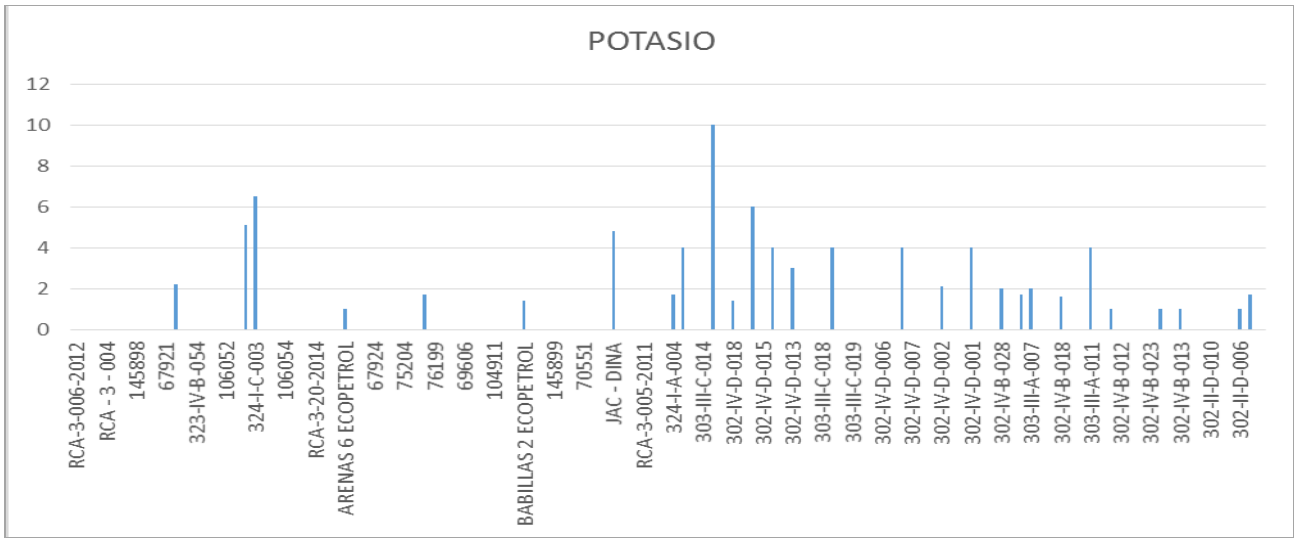
Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados no deben sobrepasar los 250 mg/L para consumo humano. A nivel general los valores de sulfatos son bajos y homogéneos para toda la formación y se encuentran lejos de llegar al límite establecido. Existe un valor anómalo de 302,6 mg/L en la parte suroriental del municipio de Tello, dicho valor sobrepasa el límite permitido (**Gráfica 178**).



Gráfica 178 Sulfatos Formación Honda Valle del Magdalena

Potasio

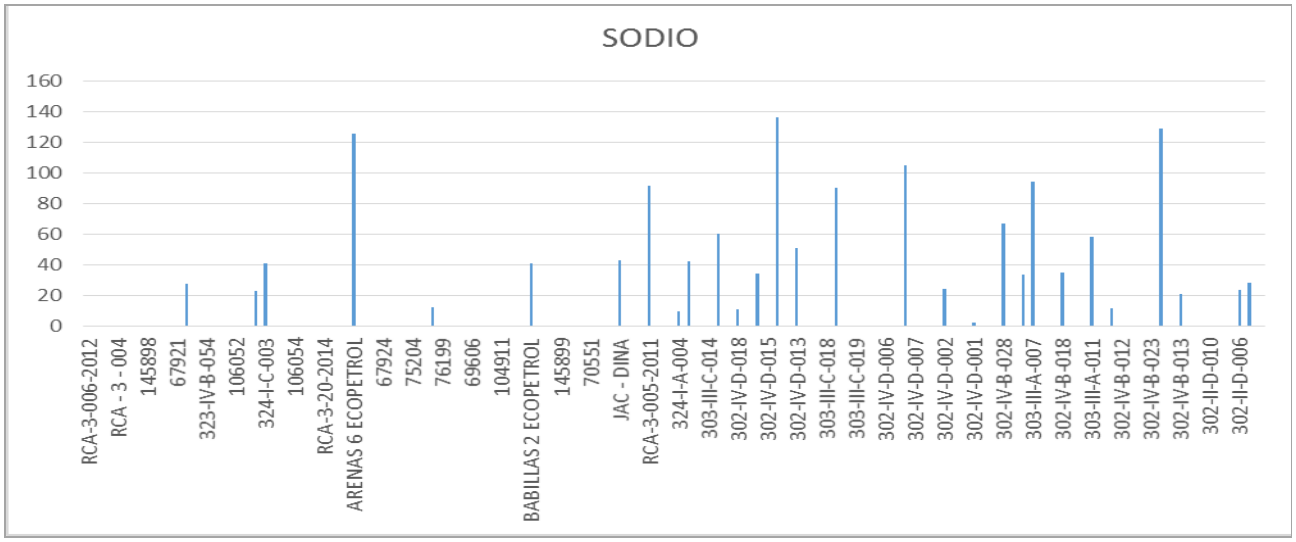
Se encontraron que los valores varían entre concentraciones bajas no superiores a los 10 mg/L (**Gráfica 179**).



Gráfica 179 Potasio Formación Honda Valle del Magdalena

Sodio

La presencia de sodio es variable para la Formación Honda llegando hasta los 136 mg/L, la Resolución 2115 de 2007 no reporta valores máximos para consumo humano (**Gráfica 180**).

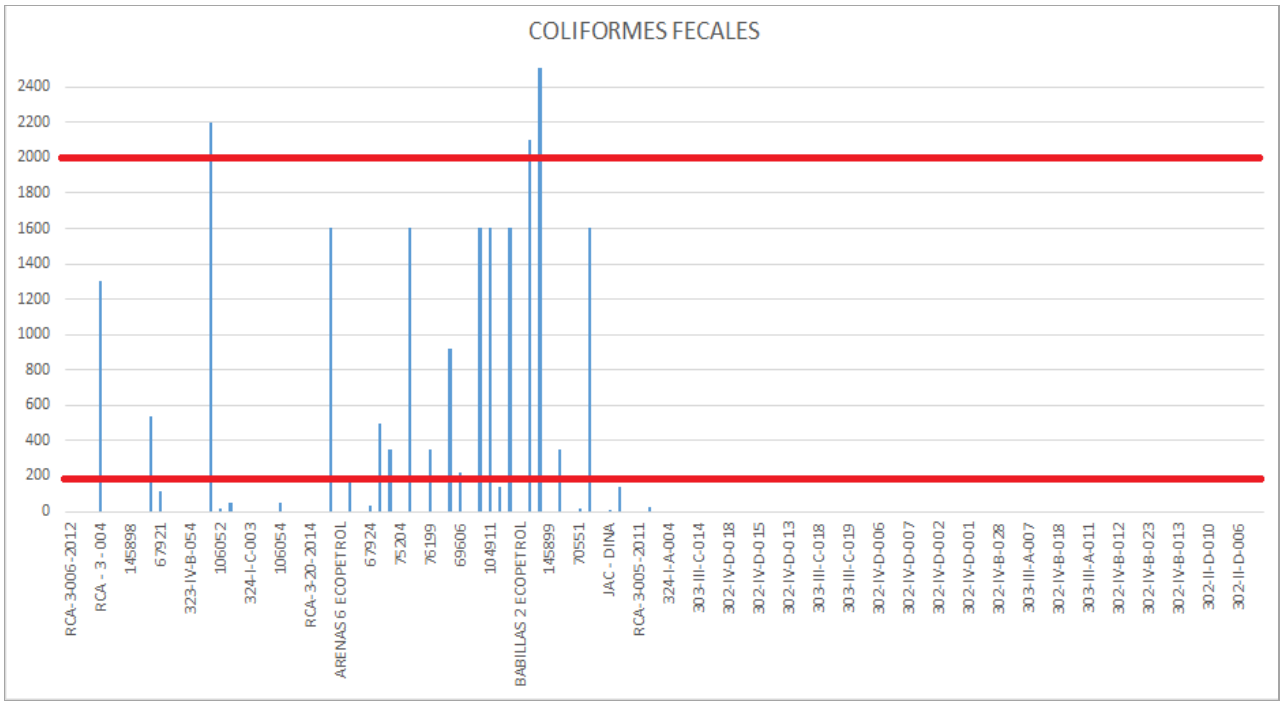


Gráfica 180 Sodio Formación Honda Valle del Magdalena

Coliformes Fecales

Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados para consumo humano deben ser iguales a cero. Con base en el decreto 1594 de 1.984 los valores reportados entre 2.000 y 200 unidades deben ser manejados con métodos de potabilización convencionales. La mayoría de puntos no reportan valores en este parámetro. Se observa que todos los puntos de captación con valores superiores a las 200 unidades se encuentran al costado occidental del Río Magdalena en los municipios de Neiva y Palermo, lo que sugiere una contaminación humana; 11 de estos valores están en el rango de 200 a 2.000 unidades.

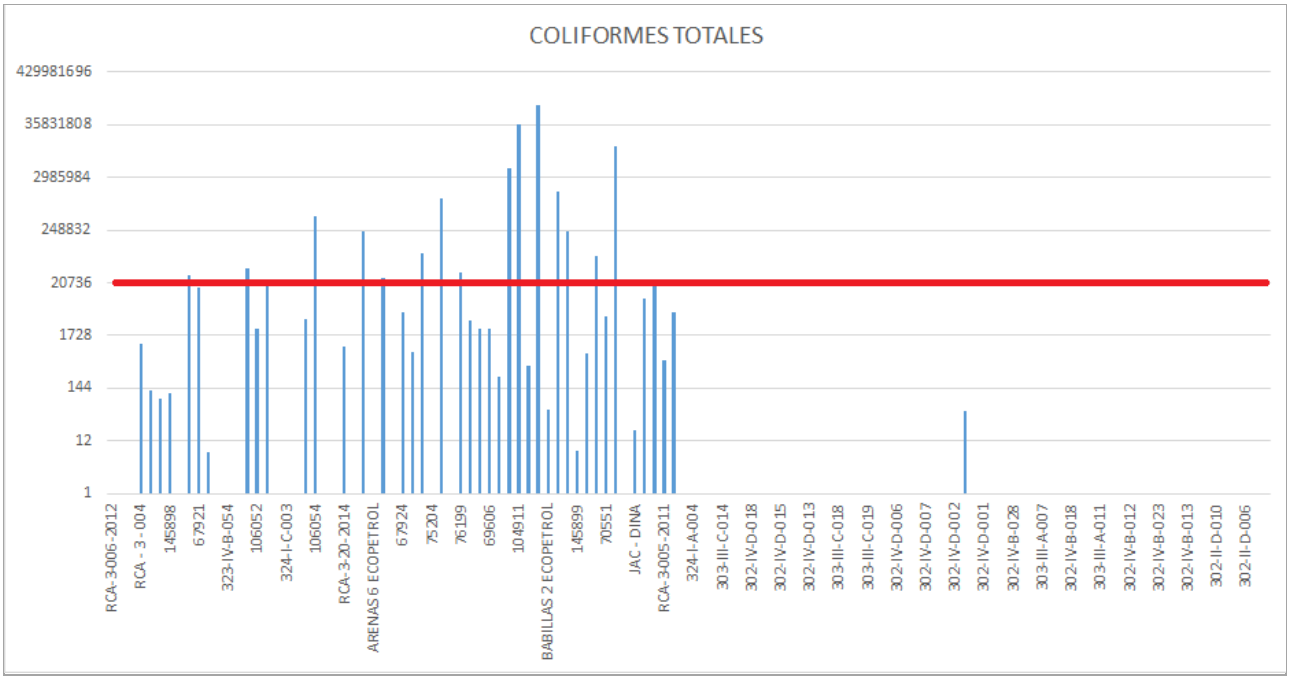
Se resalta el caso de uno de los puntos de Neiva cuyo valor de coliformes fecales es de 17.000 unidades, muy por encima del valor límite. (**Gráfica 181**)



Gráfica 181 Coliformes Fecales Formación Honda Valle del Magdalena

Coliformes Totales

Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados para consumo humano deben ser iguales a cero. Con base en el decreto 1594 de 1.984 los valores reportados entre 20.000 y 1.000 unidades deben de manejados con métodos de tratamiento convencional. Se observan 27 puntos que superan las 1.000 unidades, 11 de los cuales están en un rango apto para el tratamiento (**Gráfica 182**). Los 16 restantes presentan cifras alarmantes de coliformes totales, excediendo por mucho el límite permitido. Todos los valores reportados fueron captados al occidente del Río Magdalena, entre los municipios de Palermo, Neiva y Aipe. Debido a la diferencia entre los valores se presentan en escala logarítmica base 12.



Gráfica 182 Coliformes Totales Formación Honda Valle del Magdalena

6.2.2.6 USO DEL AGUA FORMACIÓN HONDA

De acuerdo con los artículos 38, 39, 40 y 41 del Decreto 1594 de 1984, se compararon los valores obtenidos en la Formación Honda con los valores límite del decreto para determinar el uso potencial. Esto se realizó para los valores promedio de la formación como se muestra a continuación (**Tabla 65**).

Tabla 65 Uso del agua de acuerdo con el decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Agricultura para la Formación Honda

PARÁMETRO	UNIDAD	PROMEDIO	Decreto 1594 de 1984 Ministerio de Agricultura		
			Art 38 y 39	Art 40	Art 41
			Consumo Humano y Uso Doméstico	Uso Agrícola	Uso Pecuario
Arsénico	mg/L	<0.05	0.05	0.1	0.2
Aluminio	mg/L	1.29	-	5	5
Bario	mg/L	0.642	1	-	-
Boro	mg/L	<0.137	0	-	-
Cobalto	mg/L	<0.048	-	4	5
Conductividad	µs/cm	446.19	1000	-	-
Cromo	mg/L	<0.01	0.05	0.1	1
Cadmio	mg/L	<0.01	0.01	0.01	0.05
Cobre	mg/L	0.068	1	0.2	0.5

PARÁMETRO	UNIDAD	PROMEDIO	Decreto 1594 de 1984 Ministerio de Agricultura		
			Art 38 y 39	Art 40	Art 41
			Consumo Humano y Uso Doméstico	Uso Agrícola	Uso Pecuario
Color	(Pt/Co)	27.75	75/20	-	-
Coliformes Fecales	NMP/100ml	1291.89	20000/1000*	5000	5000
Coliformes Totales	NMP/100ml	3478024	2000	1000	1000
Cloruros	mg/L	12.59	250	-	-
Hierro	mg/L	0.90	-	5	-
Litio	mg/L	0.023	-	2.5	-
Manganeso	mg/L	0.2	-	0.2	-
Molibdeno	mg/L	-	-	0.01	-
Nitritos	mg/L	0.282	10	-	10
Nitratos	mg/L	0.86	10	-	-
Níquel	mg/L	<0.085	-	0.2	-
Plomo	mg/L	<0.050	0.05	5	0.1
pH		7.6	5-9/6.5-8.5*	4.5-9	4.5-9
Selenio	mg/L	0.0002	0.01	0.02	-
Turbidez	NTU	7.10	2/10*	-	-
Vanadio	mg/L	<0.095	-	0.1	-
Zinc	mg/L	0.214	15	2	25

Los valores con "*" para uso doméstico y consumo humano son admisibles por el decreto siempre que se realice un proceso de desinfección.

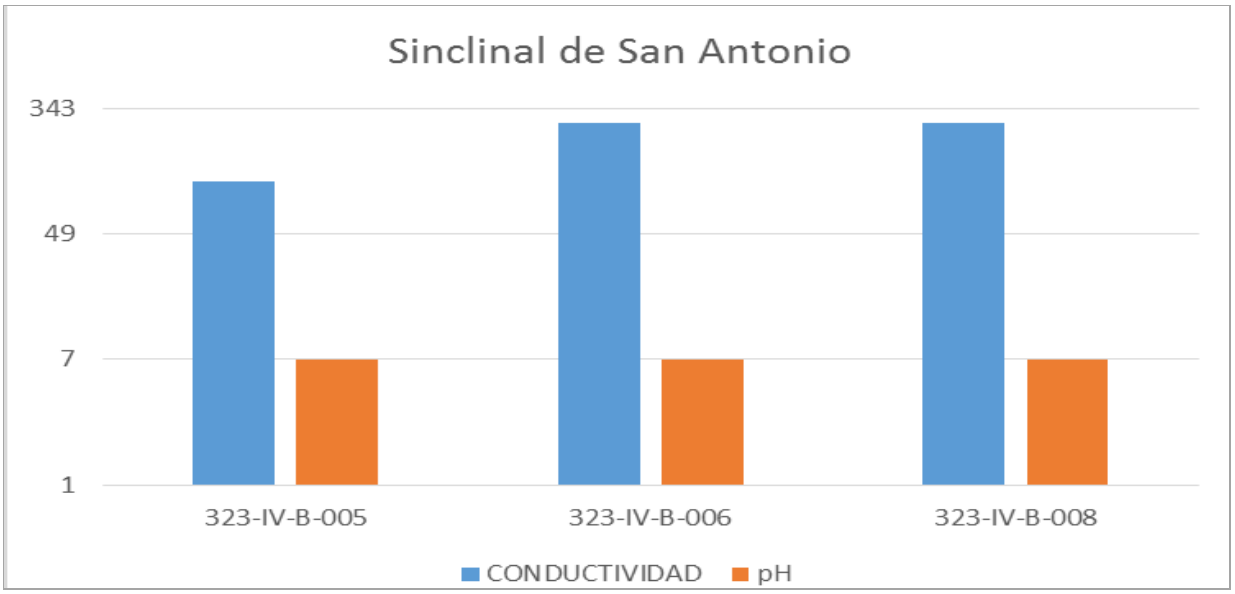
Los valores en rojo corresponden a aquellos que exceden la norma para consumo humano.

En general los valores promedio de la Formación Honda se encuentran en un rango aceptable para casi todos los parámetros, siendo el valor de coliformes totales la excepción, superando por mucho cualquier límite establecido por el decreto, cabe aclarar que muchos valores excéntricos afectan este promedio y que no es representativo para los coliformes totales de la formación, pero cerca del 15% del total de las muestras no cumplen con una cifra de coliformes apta para el consumo humano ni para uso doméstico, una parte considerable de las muestras si cumplen para uso agrícola y pecuario, pero al haber una amplia incertidumbre en la cifra de coliformes no es recomendado.

6.2.3 SINCLINAL DE SAN ANTONIO

Solamente se encuentran 3 puntos de captación para este sinclinal, los cuales poseen únicamente datos de conductividad y pH, la conductividad de los 3 puntos es baja sin acercarse al límite de 1000 µs/cm. El pH de las 3 muestras es de 7, todas fueron tomadas en rocas cretácicas (**Gráfica 183**).

Los datos son insuficientes para analizar los iones y el uso del agua ya que se muestran muchos parámetros sin valores de medición.

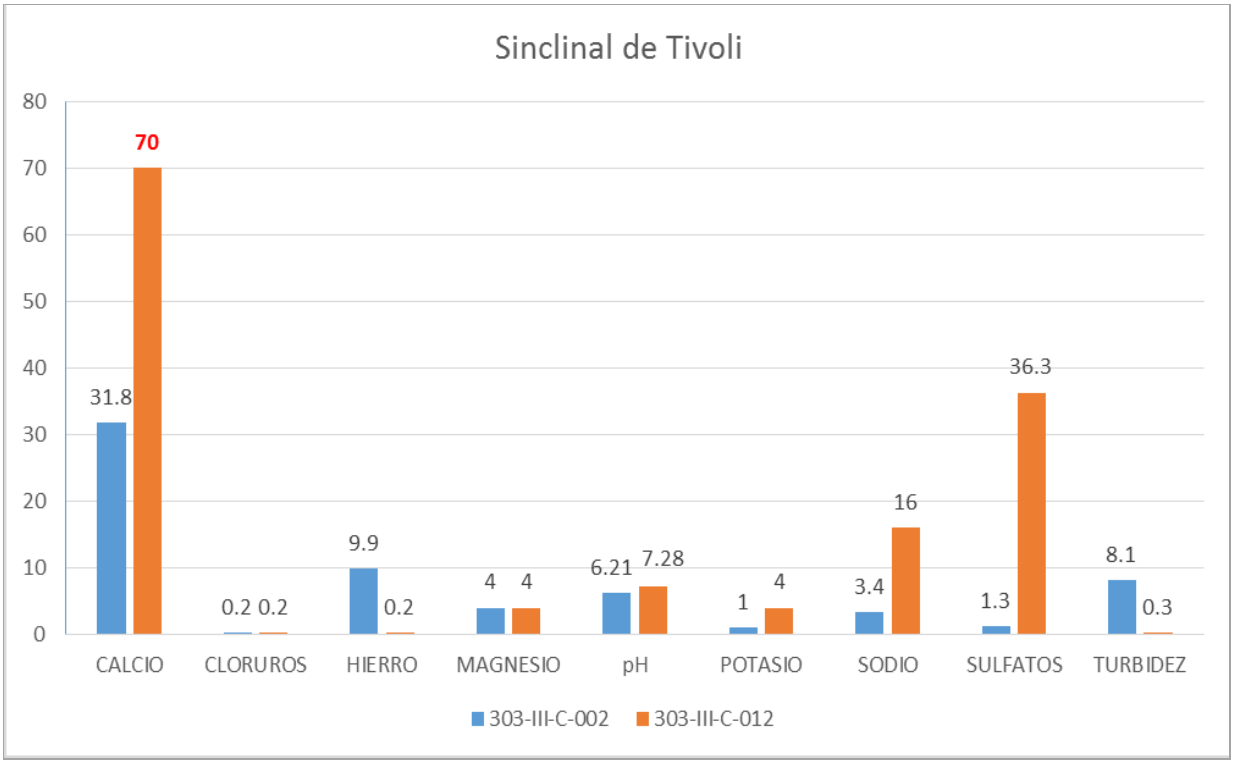


Gráfica 183 Conductividad y pH Sinclinal de San Antonio

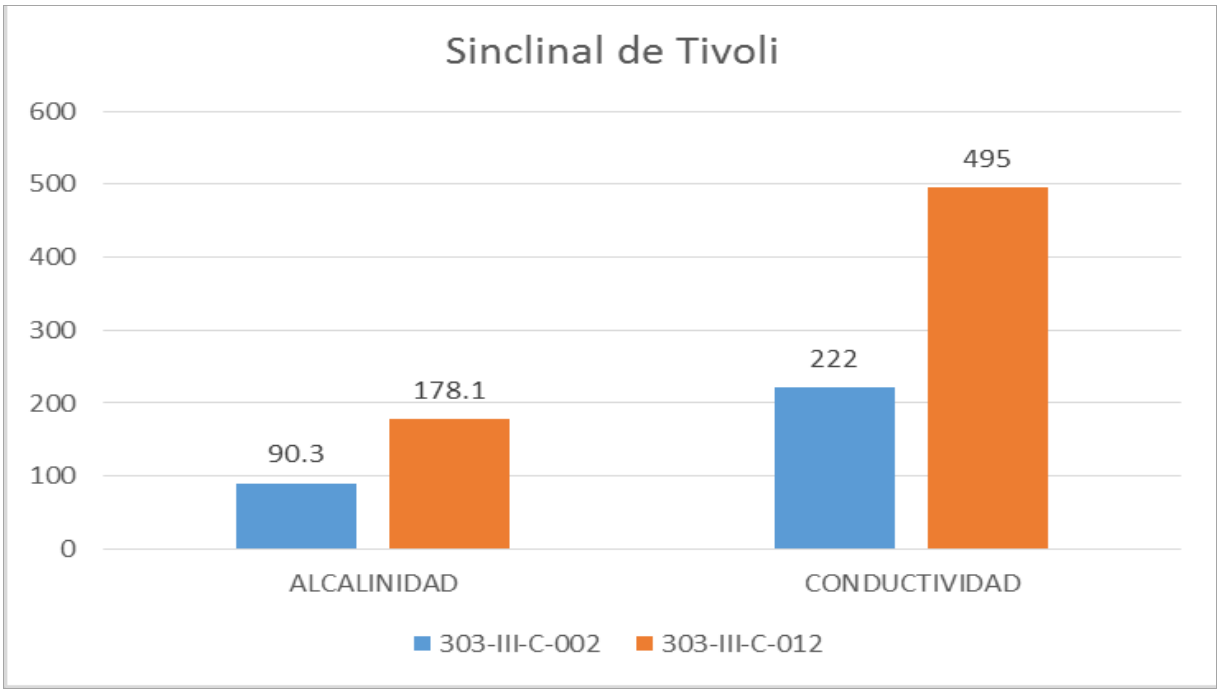
6.2.4 SINCLINAL DE TIVOLI

Se localiza al norte del Sinclinal de San Antonio en el municipio de Baraya, al norte del Departamento.

Se encuentran dos datos de manantiales tomados en rocas cretácicas del municipio de Baraya (303-III-C-002 y 303-III-C-012). Se muestra un exceso de calcio en uno de ellos.
Se aprecian faltantes de información que impiden clasificar la calidad del agua de esta zona (**Gráfica 184** e **Gráfica 185**).



Gráfica 184 Parámetros Calidad de agua Sinclinal de Tivoli



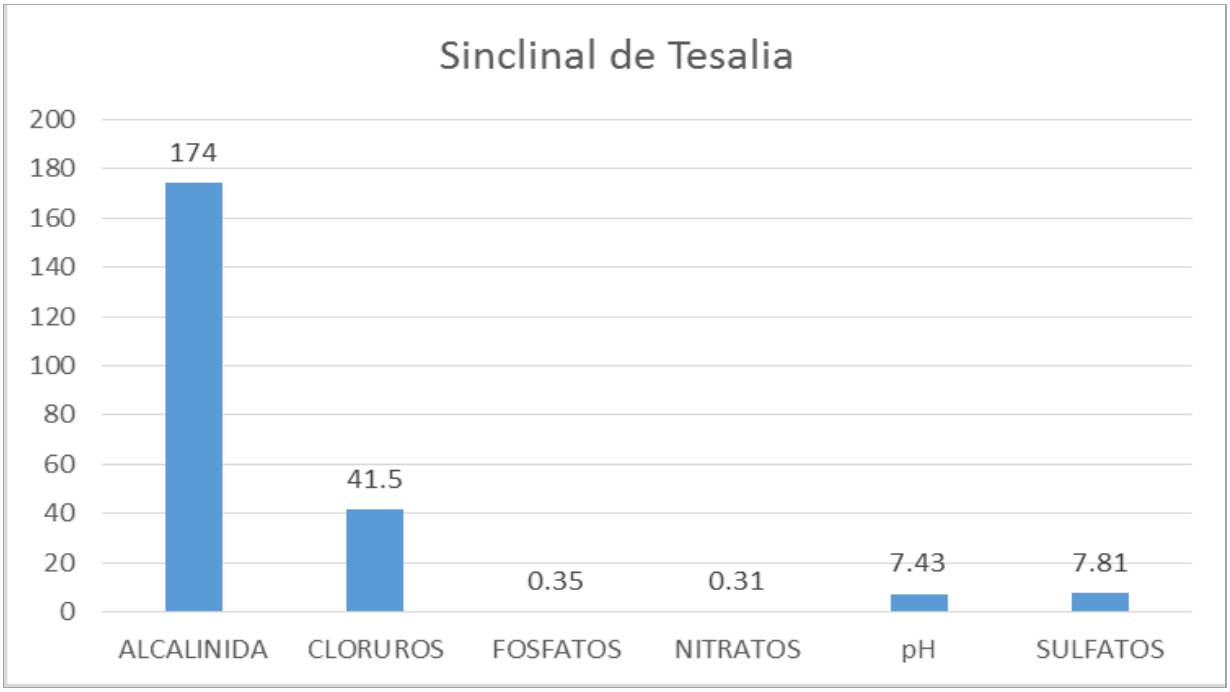
Gráfica 185 Parámetros Calidad de agua Sinclinal de Tivoli

6.2.5 SINCLINAL DE CABAÑA

Situado en la parte norte del Departamento en el municipio de Villavieja. En la base de datos de expedientes de la CAM se observa un único aljibe localizado en este sinclinal en rocas de la Formación Guadalupe, el cual no posee información de parámetro alguno, exceptuando un valor de pH correspondiente a 7.

6.2.6 SINCLINAL DE TESALIA

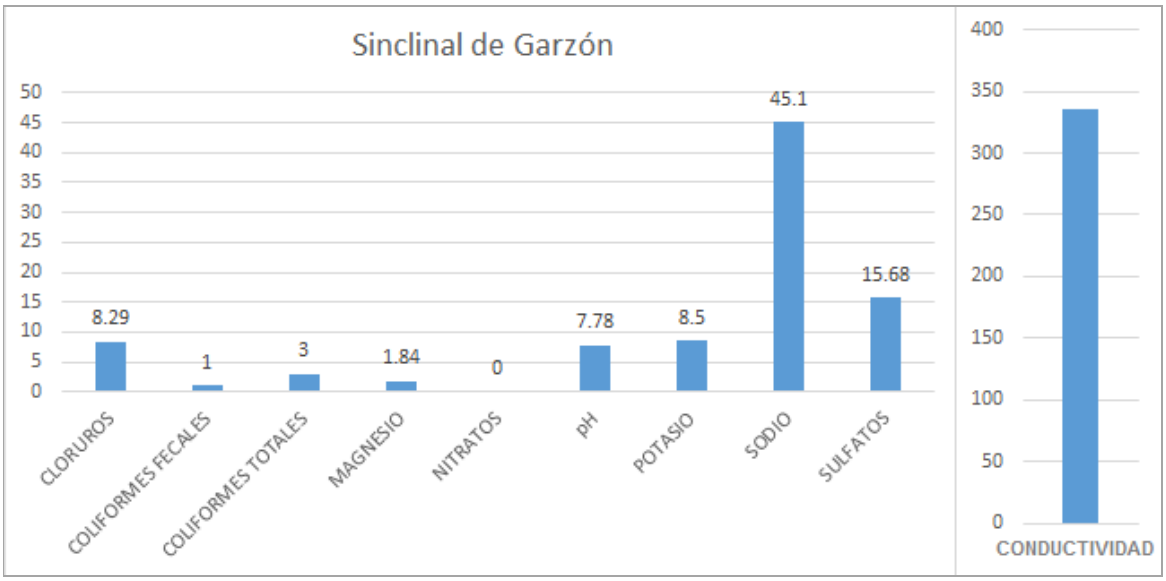
Localizado en el municipio de Tesalia se encuentra solamente un punto en los expedientes de la CAM, corresponde a un aljibe de baja profundidad en depósitos coluviales situados sobre rocas cretácicas del flanco suroccidental del sinclinal. Se aclara que este dato no es representativo de la zona, se recomienda primero ampliar los datos de esta zona, tal como en los casos inmediatamente anteriores (**Gráfica 186**).



Gráfica 186 Parámetros Sinclinal de Tesalia

6.2.7 SINCLINAL DE GARZÓN

Se sitúa en el municipio de Garzón, donde se encuentra un único punto de muestreo aportado por el Consorcio PMAA que muestra una calidad de agua aceptable dentro de los límites permitidos (**Gráfica 187**).

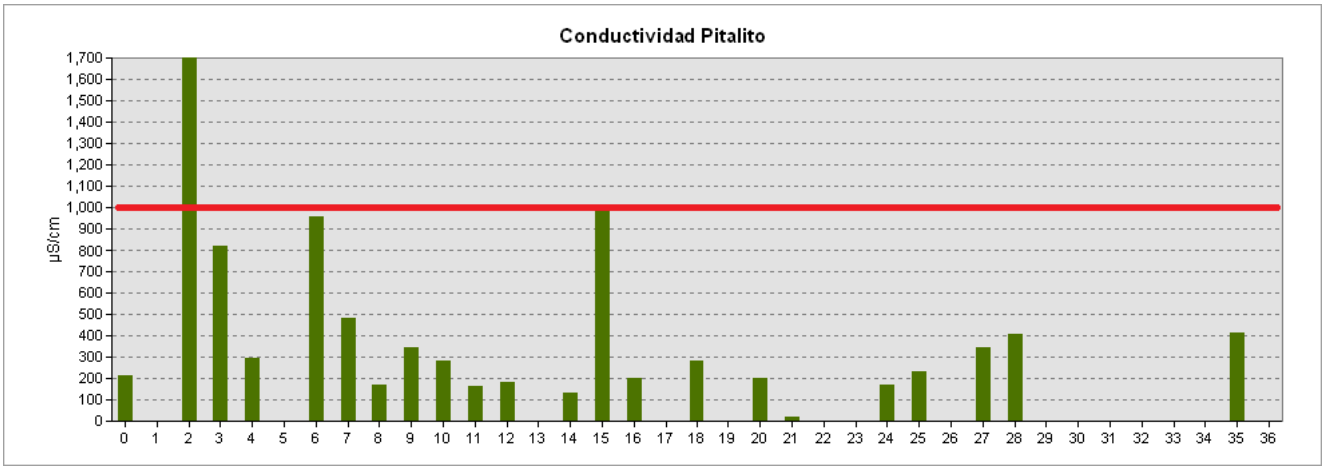


Gráfica 187 Parámetros Sinclinal de Garzón

6.2.8 DEPÓSITOS DE PITALITO

Conductividad

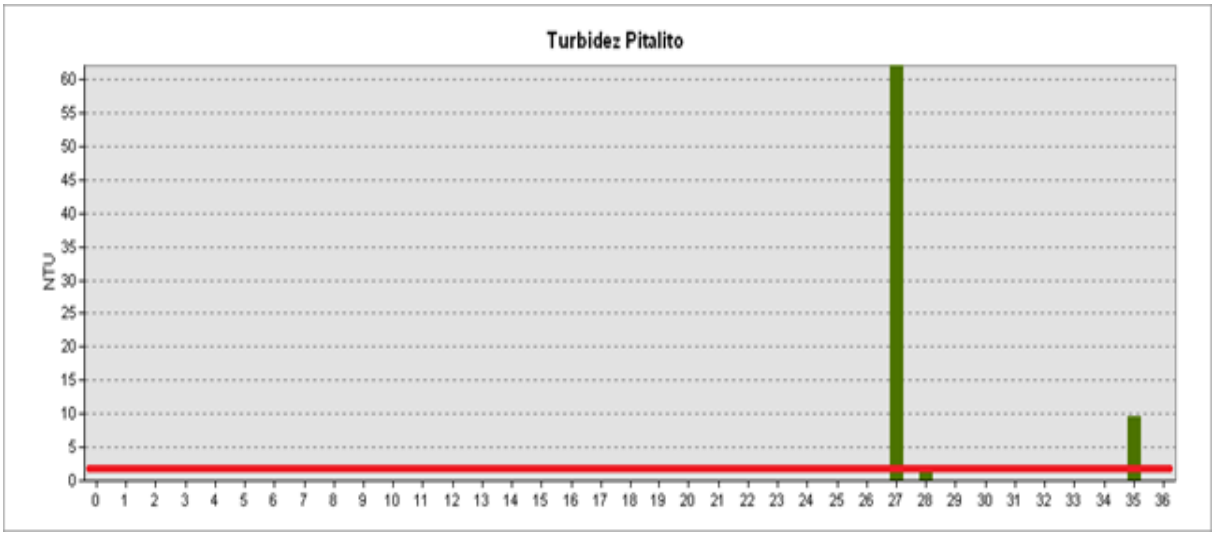
Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados no deben sobrepasar los 1000 µS/cm para consumo humano. Se observa que un único punto de captación excede los límites de conductividad establecidos (**Gráfica 188**).



Gráfica 188 Conductividad Pitalito

Turbidez

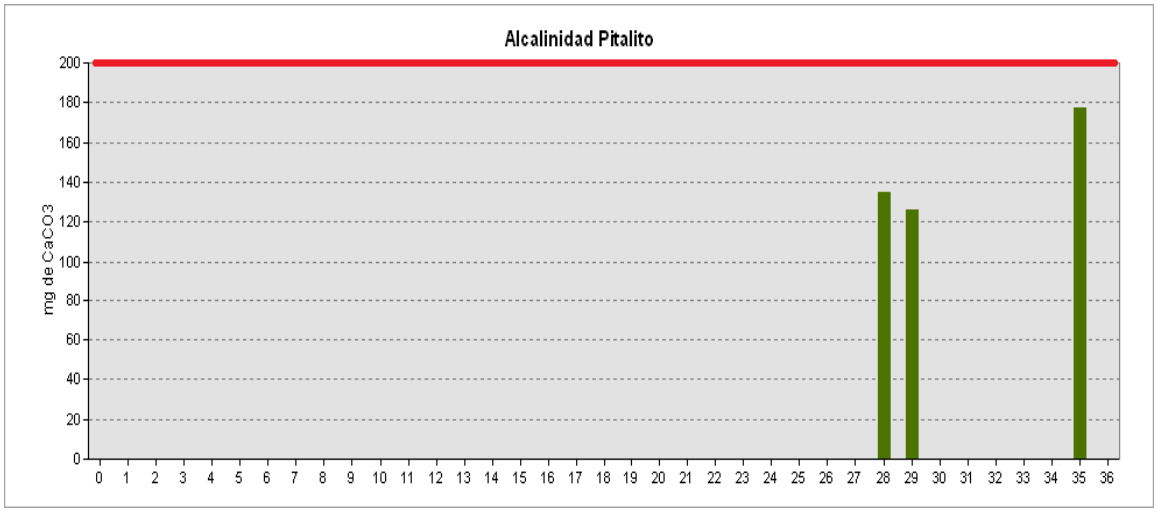
Con base en la Resolución 2115 de 2007 los valores reportados no deben sobrepasar los 2 NTU para consumo humano. De 36 puntos 3 reportan valores de turbidez, uno de ellos se encuentra dentro del límite establecido. Para los dos que lo sobrepasan se tienen valores de 10 NTU (RCA-3-012) y 62 NTU (RCA-3-004-2014) (**Gráfica 189**).



Gráfica 189 Turbidez Pitalito

Alcalinidad

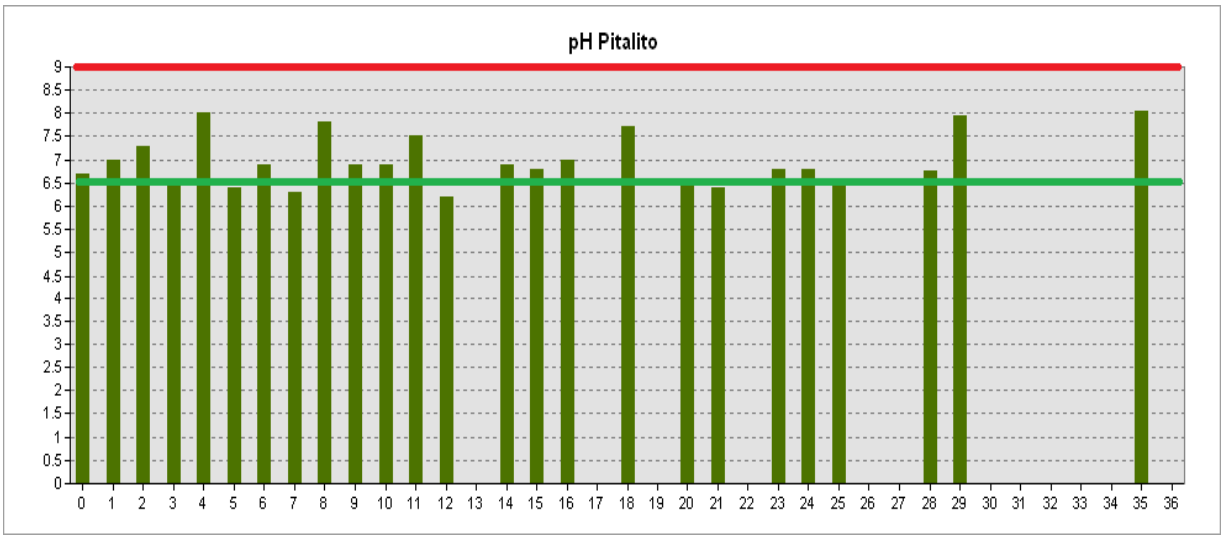
Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados no deben de sobrepasar los 200 mg/L para consumo humano. Todos los valores están dentro de los límites establecidos (**Gráfica 190**).



Gráfica 190 Alcalinidad Pitalito

pH

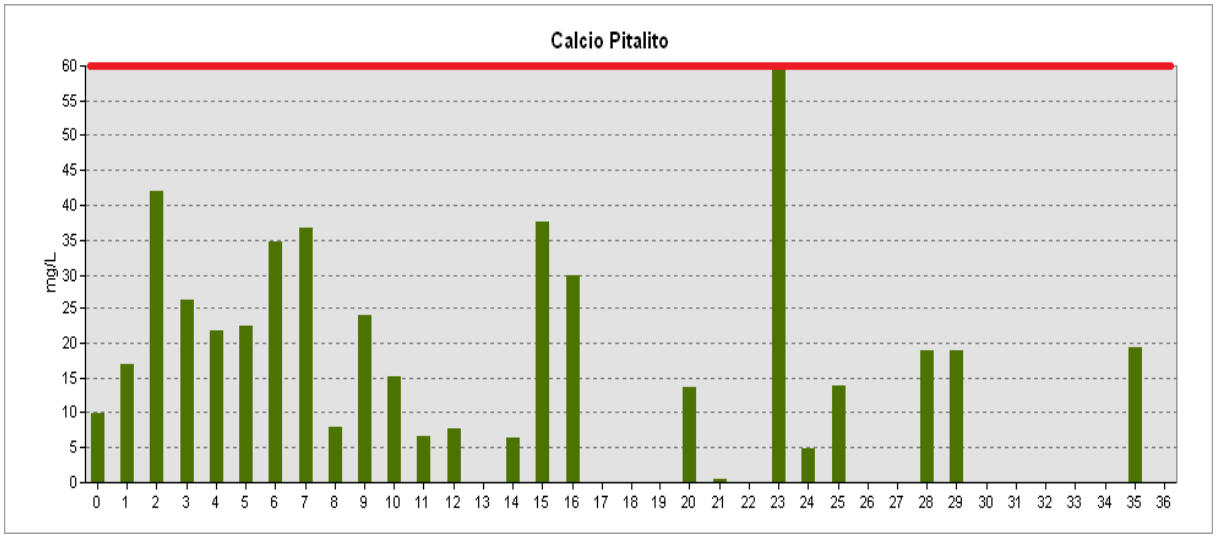
Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados deben de estar entre 6,5 y 9 unidades para consumo humano. Se encontraron 24 puntos que reportan información de pH, de los cuales 4 poseen pH inferiores a los 6,5. El resto presentan un pH adecuado (**Gráfica 191**).



Gráfica 191 pH Pitalito

Calcio

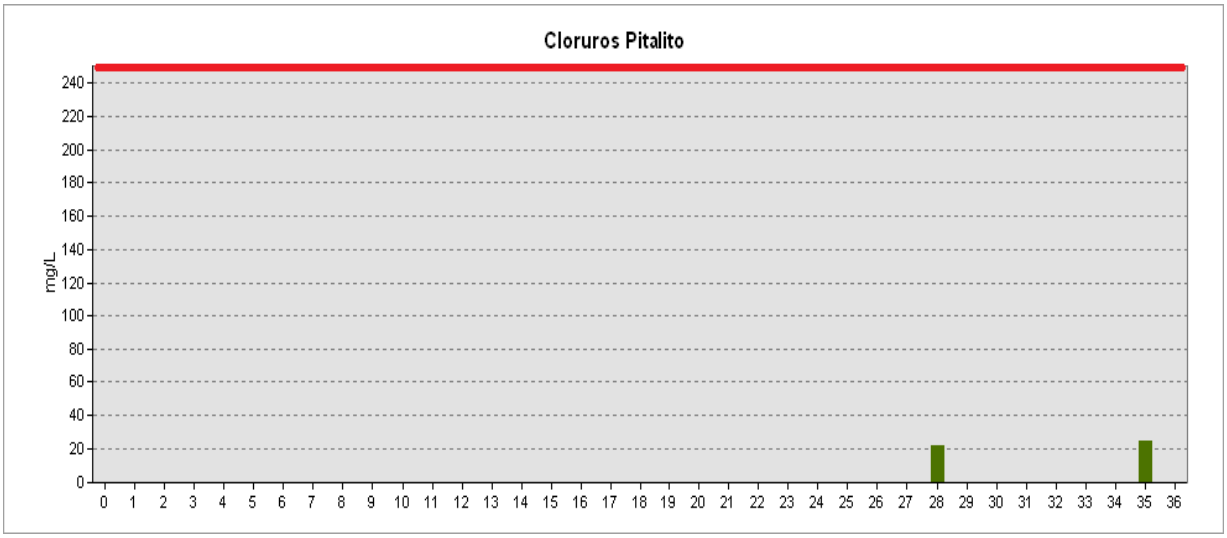
Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados no deben de sobrepasar los 60 mg/L para consumo humano. Todos los valores medidos para este ion se encuentran dentro del límite establecido. Cabe resaltar el punto 23 (Identifica 154) está justo en el límite de 60 mg/L (**Gráfica 192**).



Gráfica 192 Calcio Pitalito

Cloruros

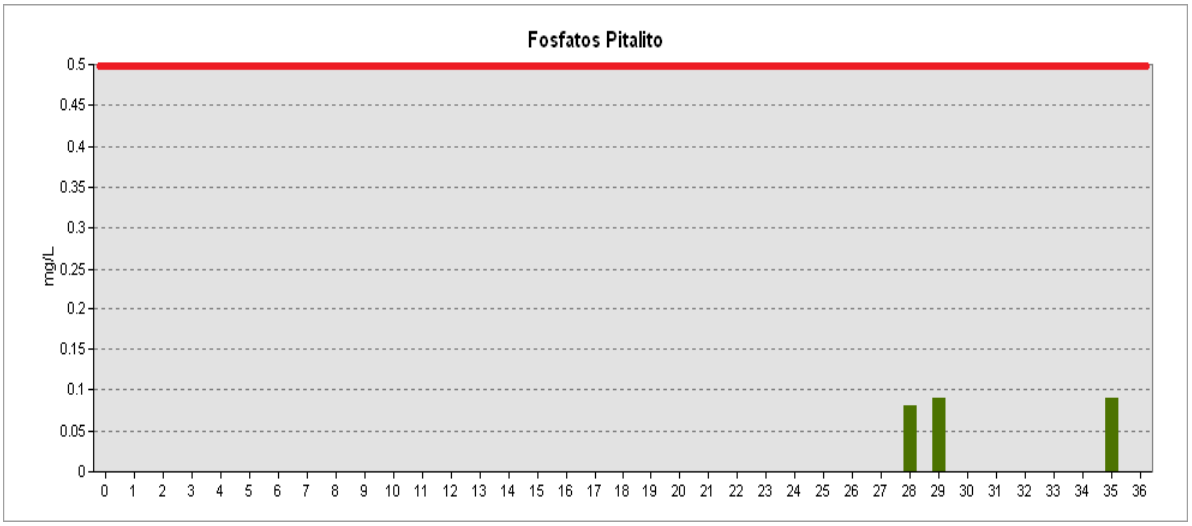
Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados no deben de sobrepasar los 250 mg/L para consumo humano. Se registran valores de cloruros únicamente para 2 puntos, de igual manera se encuentran lejos de superar el límite propuesto (**Gráfica 193**).



Gráfica 193 Cloruros Pitalito

Fosfatos

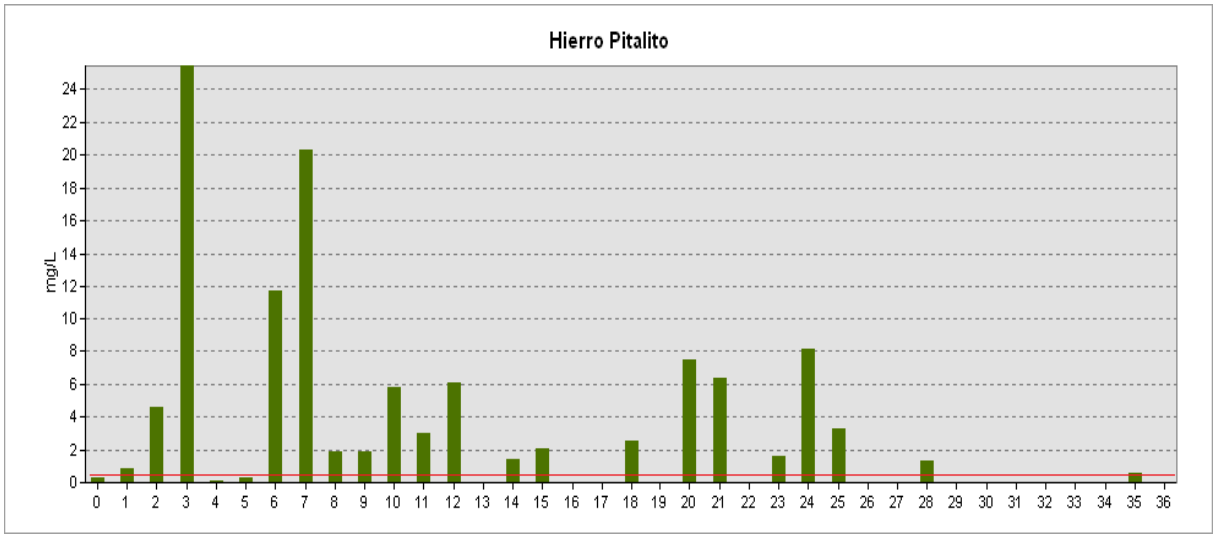
Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados no deben de sobrepasar los 0,5 mg/L para consumo humano. Se reportan 3 puntos de captación con valores de fosfatos, ninguno de ellos sobrepasa los 0,5mg/L (**Gráfica 194**).



Gráfica 194 Fosfatos Pitalito

Hierro

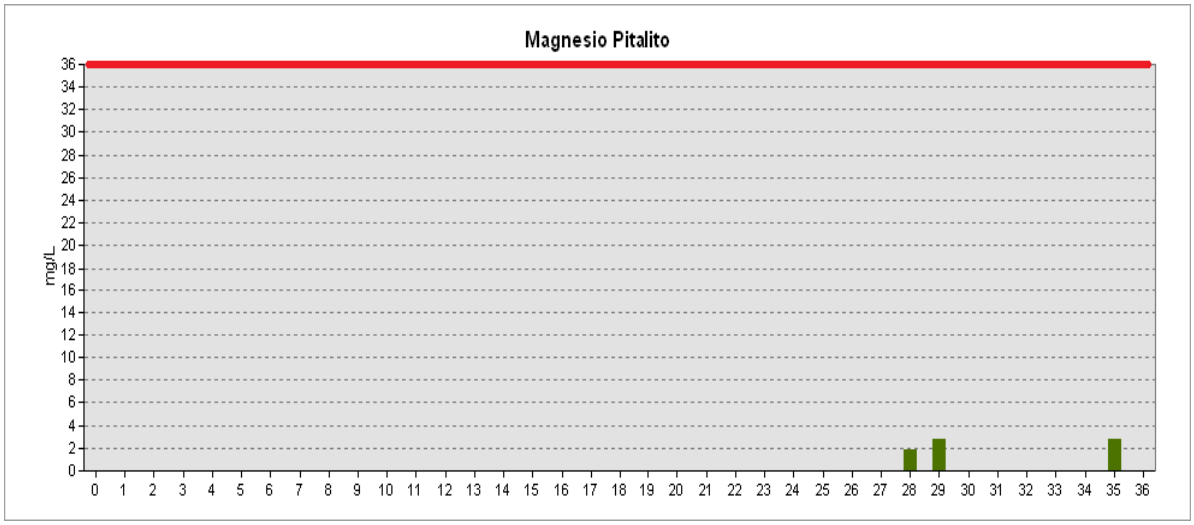
Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados no deben de sobrepasar los 0,3 mg/L para consumo humano. Se observa un claro enriquecimiento en hierro en el agua subterránea de Pitalito, más de la mitad de los valores obtenidos superan por bastante el límite dado por la resolución (**Gráfica 195**).



Gráfica 195 Hierro Pitalito

Magnesio

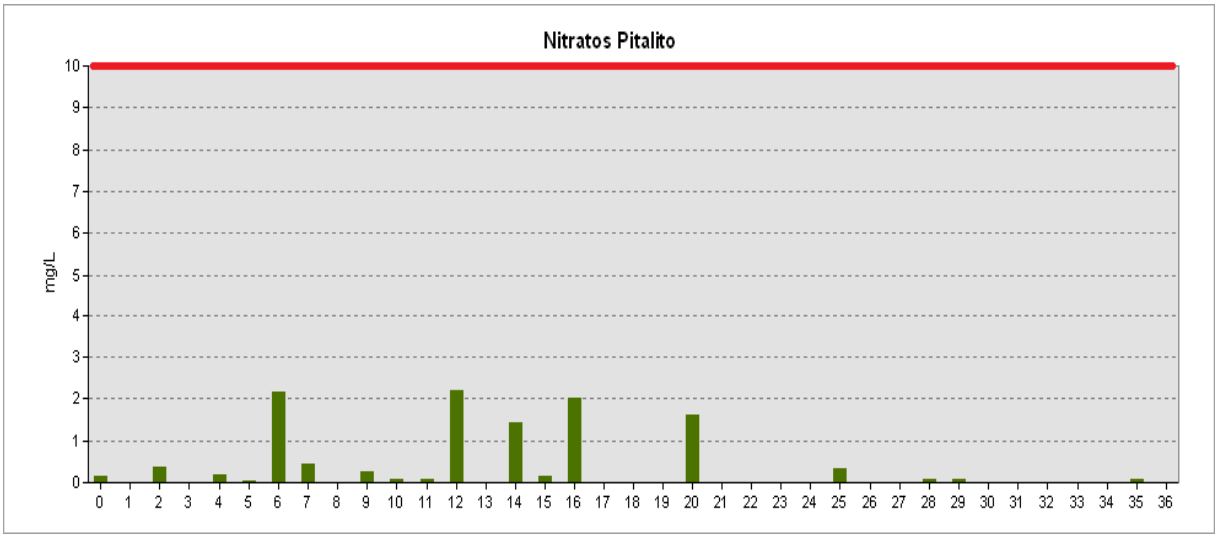
Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados no deben de sobrepasar los 36 mg/L para consumo humano. Ninguno de los pozos muestreados evidencia altos índices de magnesio (**Gráfica 196**).



Gráfica 196 Magnesio Pitalito

Nitratos

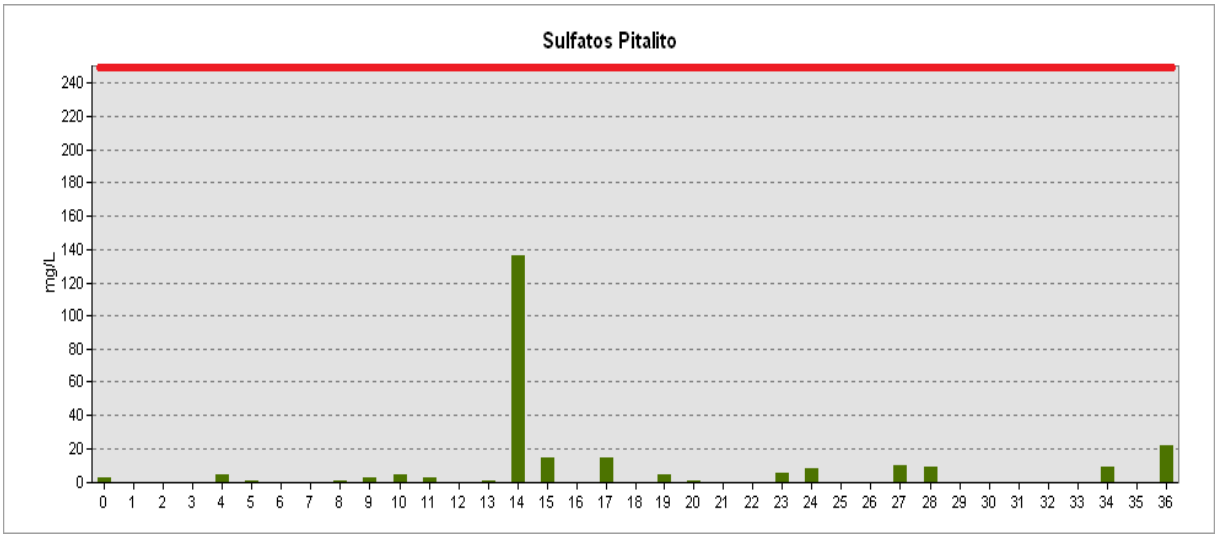
Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados no deben de sobrepasar los 10 mg/L para consumo humano. Los valores de nitratos no se muestran sobrepasando el límite de 10 mg/L (**Gráfica 197**).



Gráfica 197 Nitratos Pitalito

Sulfatos

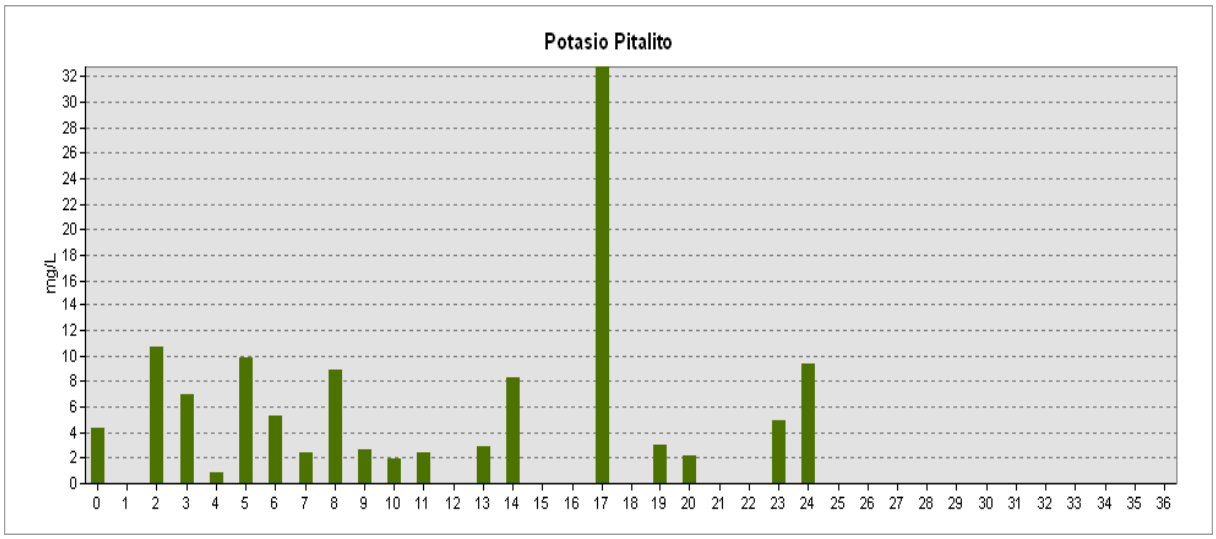
Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados no deben de sobrepasar los 250 mg/L para consumo humano. Todos los valores captados de sulfatos se encuentran dentro de los límites normales, se resalta el punto 14 (Identifica 87) cuyo valor fue el más alto encontrado con 136.45 mg/L (**Gráfica 198**).



Gráfica 198 Sulfatos Pitalito

Potasio

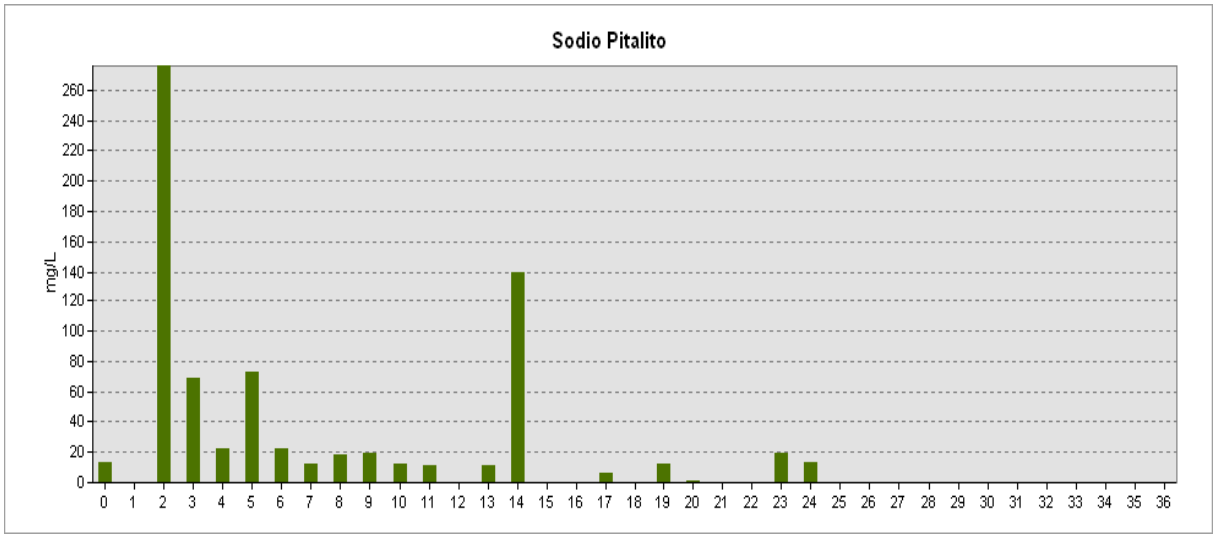
La presencia de potasio no es perjudicial para la salud, a menos que alcancen concentraciones muy elevadas. Se encontraron que los valores normalmente menores a 10 mg/L. Un único valor es notoriamente alto, con una concentración de 32 mg/L (**Gráfica 199**).



Gráfica 199 Potasio Pitalito

Sodio

La presencia de sodio no es perjudicial para la salud, a menos que alcancen concentraciones muy elevadas, la concentración de sodio es variable en los puntos de muestreo de Pitalito, se encuentran dos concentraciones altas de 141 y 276 mg/L (**Gráfica 200**).



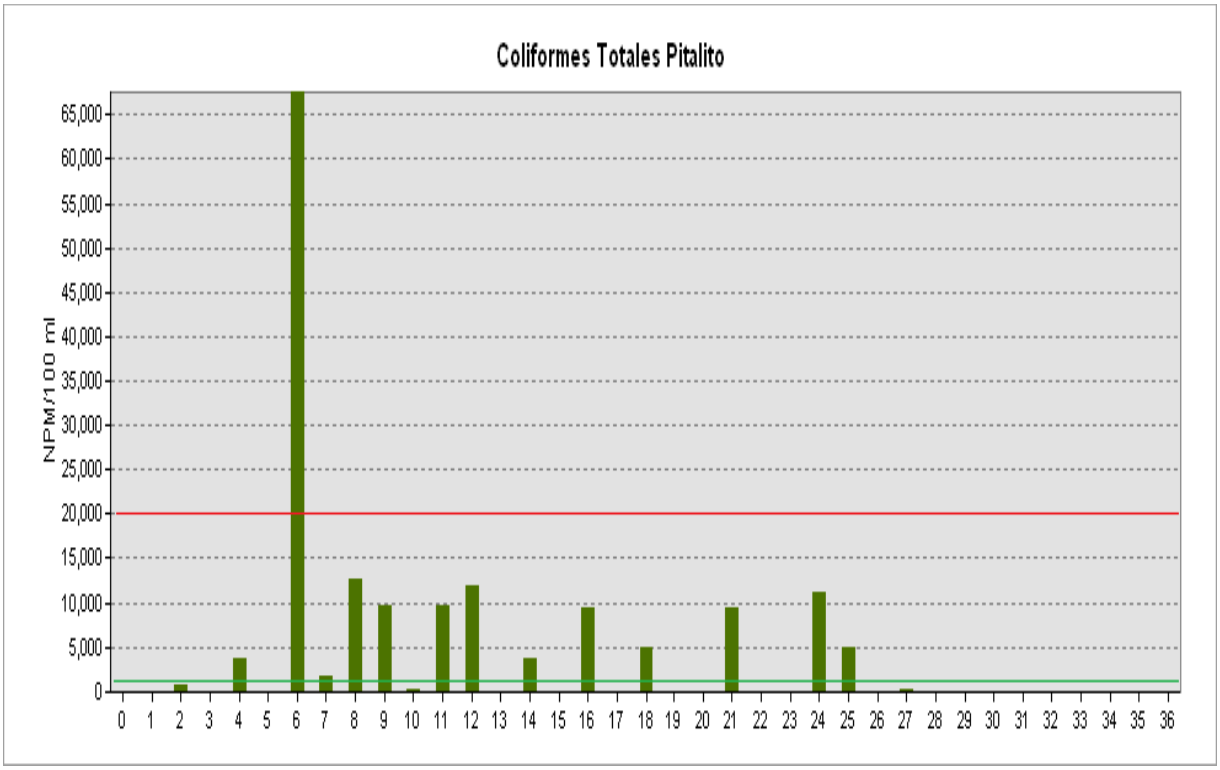
Gráfica 200 Sodio Pitalito

Coliformes Fecales

Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados para consumo humano deben ser iguales a cero. En este caso, no se encontraron valores de coliformes fecales en ningún punto de muestreo.

Coliformes Totales

Con base en la resolución 2115 de 2.007 los valores reportados para consumo humano deben ser iguales a cero. Con base en el decreto 1594 de 1.984 los valores reportados entre 20.000 y 1.000 unidades deben de manejados con métodos de tratamiento convencional. Se encuentran 13 puntos con cifras entre las 1.000 y las 20.000 unidades y adicionalmente un punto de captación con 67.500 unidades de coliformes totales (**Gráfica 201**).



Gráfica 201 Coliformes Pitalito

6.2.8.1 USO DEL AGUA DEPÓSITOS DE PITALITO

De acuerdo con los artículos 38, 39, 40 y 41 del Decreto 1594 de 1984, se compararon los valores obtenidos en los depósitos de Pitalito con los valores límite del decreto para determinar el uso potencial. Esto se realizó para los valores promedio de la formación como se muestra a continuación en la **Tabla 66**.

Tabla 66 Uso del agua de acuerdo con el decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Agricultura para los depósitos de Pitalito

PARÁMETRO	UNIDAD	PROMEDIO	Decreto 1594 de 1984 Ministerio de Agricultura		
			Art 38 y 39	Art 40	Art 41
			Consumo Humano y Uso Doméstico	Uso Agrícola	Uso Pecuario
Arsénico	mg/L	0.0003	0.05	0.1	0.2
Aluminio	mg/L	0.10	-	5	5
Bario	mg/L	-	1	-	-
Boro	mg/L	-	0	-	-
Cobalto	mg/L	-	-	4	5
Conductividad	µs/cm	408.05	1000	-	-
Cromo	mg/L	<0.0010	0.05	0.1	1
Cadmio	mg/L	-	0.01	0.01	0.05
Cobre	mg/L	-	1	0.2	0.5
Color	(Pt/Co)	24.98	75/20	-	-
Coliformes Fecales	NMP/100ml	-	20000/1000*	5000	5000
Coliformes Totales	NMP/100ml	9484	2000	1000	1000
Cloruros	mg/L	23.50	250	-	-
Hierro	mg/L	4.85	-	5	-
Litio	mg/L	-	-	2.5	-
Manganeso	mg/L	-	-	0.2	-
Molibdeno	mg/L	-	-	0.01	-
Nitritos	mg/L	0.04	10	-	10
Nitratos	mg/L	0.64	10	-	-
Níquel	mg/L	-	-	0.2	-
Plomo	mg/L	<0.0050	0.05	5	0.1
pH		6.98	5-9/6.5-8.5*	4.5-9	4.5-9
Selenio	mg/L	-	0.01	0.02	-
Turbidez	NTU	24.34	2/10*	-	-
Vanadio	mg/L	-	-	0.1	-
Zinc	mg/L	0.04	15	2	25

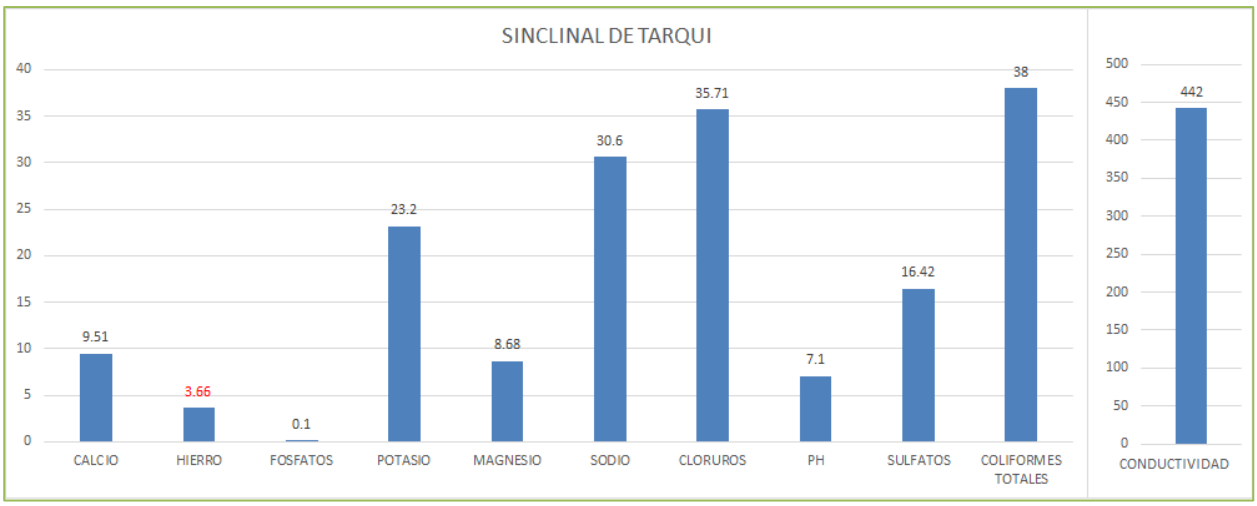
Los valores con "*" para uso doméstico y consumo humano son admisibles por el decreto siempre que se realice un proceso de desinfección.

Los valores en rojo corresponden a aquellos que exceden la norma para consumo humano.

Se observan de Color, Turbidez y Coliformes totales por encima del límite permitido para el consumo humano, esto sumado a los faltantes de información sugiere no usar el agua para consumo humano ni tampoco para uso doméstico.

6.2.9 SINCLINAL DE TARQUI

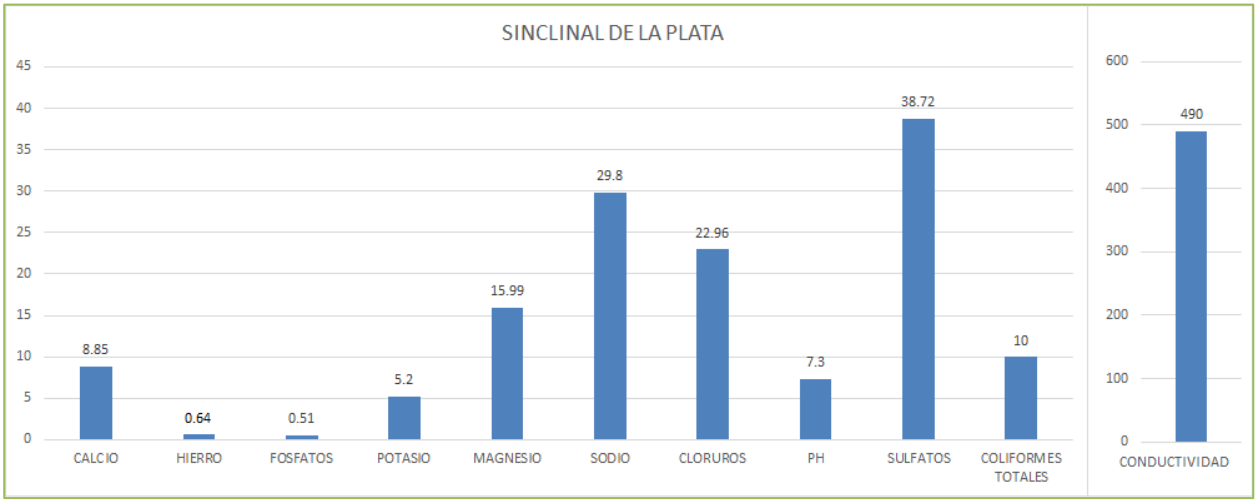
Se observa que los puntos de captación tomados del Sinclinal de Tarqui muestran un comportamiento normal en la mayoría de parámetros exceptuando el hierro, que no debería sobrepasar el límite de 0.5 mg/L (**Gráfica 202**).



Gráfica 202 Parámetros Sinclinal de Tarqui

6.2.10 DEPÓSITOS DE LA PLATA

El único punto de captación de los depósitos de la plata no presenta parámetros que superen los límites permitidos para calidad del agua (**Gráfica 203**).



Gráfica 203 Parámetros Depósitos de La Plata

6.2.11 **CONSIDERACIONES**

Teniendo lo anterior en cuenta se observa que el agua tiene una calidad aceptable a nivel en la mayoría de parámetros mencionados, principalmente al costado oriental del Río Magdalena. A nivel general hay un alto nivel de turbidez en una parte considerable de los puntos de captación, pero los niveles de esta son controlables mediante tratamiento.

Un factor repetitivo en el uso y calidad del agua es la presencia de coliformes, que si bien pueden ser reducidos mediante tratamiento, en la parte occidental del Río Magdalena, específicamente en aquellas aguas muestreadas en la Formación Honda, se observa un índice de coliformes muy por encima del límite establecido, niveles tan altos que no pueden ser tratados ni para consumo humano ni tampoco para uso doméstico, pecuario o agrícola.

Se podría pensar en la posibilidad de aumentar la cifra de pozos y aljibes con altos índices de coliformes, puesto que debido a la falta de información, este dato no se encuentra presente en muchos de los puntos de captación reportados, de hecho, donde se mostraron registros de estos, la mayor parte están superando los límites sugeridos por la resolución 2115 de 2.007 y el decreto 1594 de 1.984 para su tratamiento.

Se observa también que el área de Pitalito muestra un alto índice de hierro muy por encima de los límites permitidos, siendo no apta para el consumo.

En cuanto a calidad del agua se observa que aunque ciertos puntos tienen datos de hidrogeoquímica, solo pertenecen a uno o dos puntos de captación, por lo tanto no se puede inferir su calidad con respecto al decreto 1594 de 1984.

7. HIDROGEOLOGÍA

Un Modelo Hidrogeológico Conceptual (MHC), es una representación descriptiva y gráfica de un sistema acuífero que permite evidenciar las zonas de recarga, tránsito y descarga, su relación con otros acuíferos, con aguas superficiales y marinas, de tal manera que se reduce el problema físico y el dominio del acuífero a una versión simplificada de la realidad. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014)

El MHC, se considera de carácter dinámico, ya que se construye a partir de la continua y periódica actualización de la información geológica, hidrológica, hidráulica, hidroquímica e isotópica (IDEAM, 2015), y por lo tanto a medida que se disponga de información nueva o se reevalúe la existente, éste deberá ser ajustado. Con toda ésta información, es posible hacer una buena gestión del acuífero con programas elaborados para la protección y el aprovechamiento del agua subterránea.

A continuación se presenta el Modelo Hidrogeológico Conceptual para la Provincia Hidrogeológica del Valle Alto del Magdalena en el Departamento del Huila, el cual es interpretado a partir del modelo geológico previamente descrito y complementado con estudios y documentación oficial registrada en los expedientes de la Corporación Autónoma del Alto Magdalena (CAM), así como los estudios de aguas subterráneas realizados en el Departamento del Huila entre los cuales se destacan el Estudio de Evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos que subrayasen la ciudad de Neiva y su área de influencia para la posterior implementación del estudio de modelación hidrogeológica del área, ejecutado por (SGI LTDA, 2000), y el Estudio Hidrogeológico y Plan de Manejo del Agua Subterránea en el sector nororiental de la cuenca del Río Magdalena en el Departamento del Huila realizado por (INGEOMINAS, 1999).

En hidrogeología el grado de importancia de un sistema acuífero, está establecido a partir de las características geológicas, hidráulicas, hidroquímica, y la tipología que presenta el acuífero con las que se delimitan las zonas de recarga, tránsito y descarga del sistema.

La metodología empleada para la evaluación hidrogeológica consistió en la identificación de las unidades partir de sus características y composición litológica y disposición estructural, espesores, geometría y delimitación del acuífero, inventario de puntos de agua subterráneas, propiedades hidráulicas e hidroquímica para determinar la calidad del agua subterránea y su comportamiento y procedencia, esta información fue analizada a partir de la base de datos de información secundaria de las campañas de exploración realizada en el área de estudio y la adquisición de nuevos datos para completar la información. (Ver **Ilustración 179**)

La integración de la información mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), permite el análisis para la construcción del Modelo Hidrogeológico Conceptual (MHC), del

cual se logra identificar los diferentes tipos de acuíferos, los cuales se priorizan para la planificación de su manejo y uso del PMAA.

En primer lugar, resulta conveniente ubicar la zona de estudio en un marco regional, de acuerdo con la información que presenta el Estudio Nacional del Agua (IDEAM, 2015), en el que se definen las unidades de análisis hidrogeológico. La mayor de estas unidades corresponde a las provincias hidrogeológicas, luego vienen los sistemas acuíferos y finalmente los acuíferos, como se indica en la **Tabla 67**.

Tabla 67. Definición de las unidades de análisis hidrogeológico.

Unidad de Análisis	Conceptos
Provincias Hidrogeológicas (IDEAM, 2010)	Corresponde a unidades mayores referidas a escalas menores (entre 1:10.000.000 y 1:500.000), definidas con base en unidades tectono estratigráficas separadas entre sí por rasgos estructurales regionales, que coinciden con límites de cuencas geológicas mayores y que, desde el punto de vista hidrogeológico y a la escala nacional, corresponden a barreras impermeables representadas por fallas regionales y altos estructurales. Las barreras son consideradas impermeables a la escala nacional, pero a nivel regional pueden albergar sistemas acuíferos importantes con porosidad secundaria.
Sistemas acuíferos (IDEAM, 2010)	Corresponde a un dominio espacial limitado en superficie y en profundidad, en el que existen uno o varios acuíferos con porosidad primaria o secundaria, relacionados o no entre sí, pero que constituyen una unidad práctica para la investigación o explotación (ITGE, 1971, 1987; WMO, 2012 en IDEAM 2013).
Acuífero (Decreto 1640 de 2012)	“Unidad de roca o sedimento, capaz de almacenar y transmitir agua, entendida como el sistema que involucra las zonas d recarga, tránsito y descarga, así como sus interacciones con otras unidades similares, aguas superficiales y marinas”.

Fuente: ENA (IDEAM, 2015)**,**

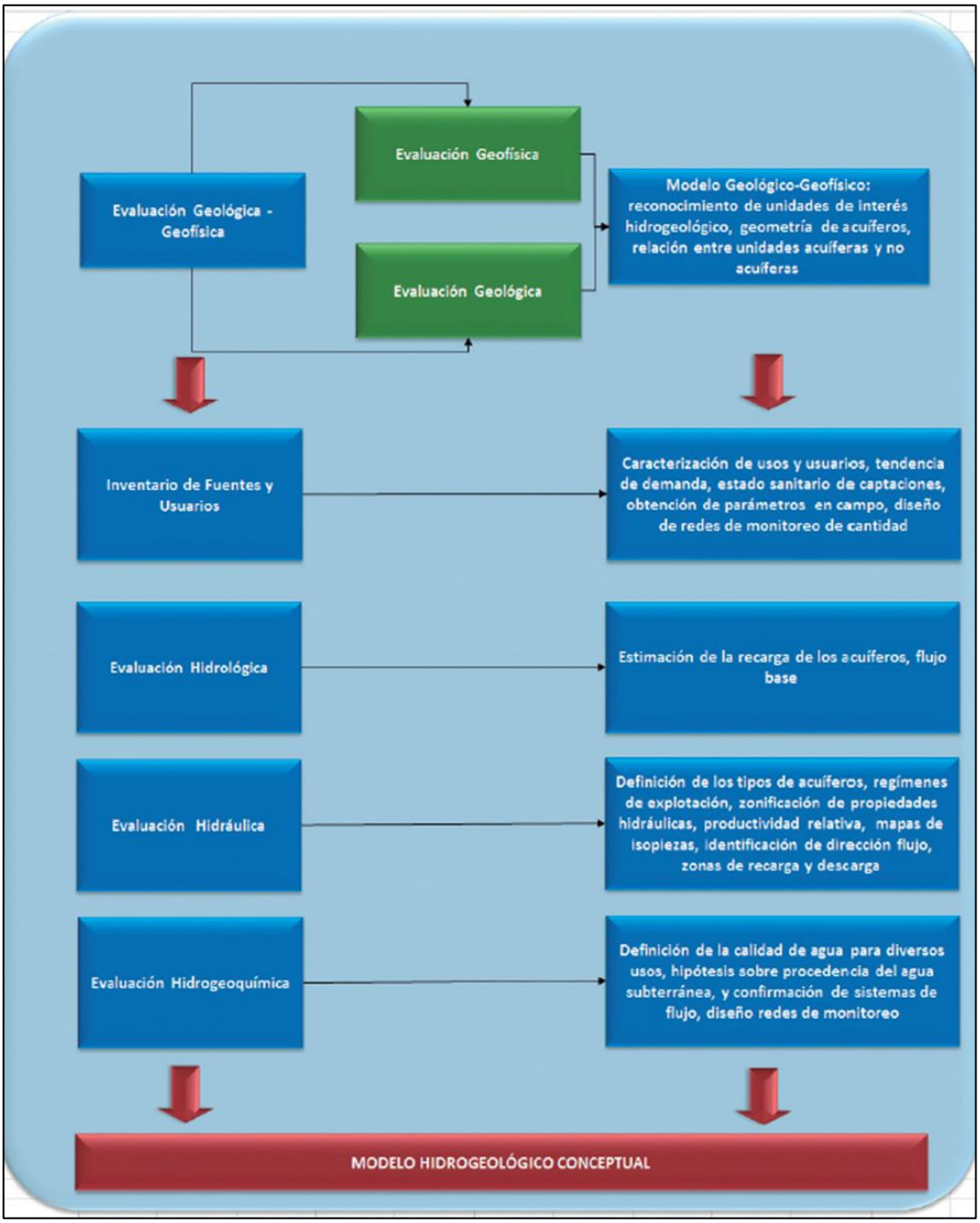


Ilustración 179. Diagrama De Flujo Para La Construcción Modelo Hidrogeológico Conceptual
Fuente: (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014)

7.1.1 Clasificación de Unidades Hidrogeológicas Según la porosidad

A partir de las características de litología texturales de porosidad, permeabilidad, disposición de las rocas y fracturas o espaciamiento intergranular de las formaciones geológicas existen fundamentalmente tres tipos de acuíferos que se presentan en la **Ilustración 180**).

En general en la zona estudio encuentran rocas ígneas, sedimentarias y depósitos no consolidados que se clasifican según su porosidad en:

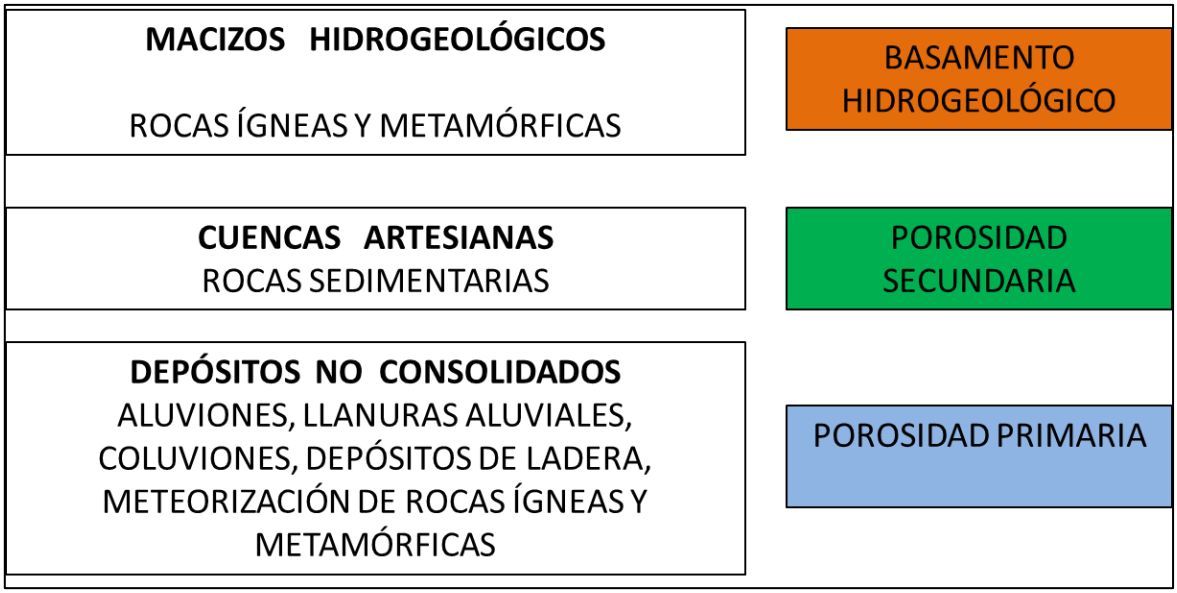


Ilustración 180 Clasificación según su porosidad
Fuente: (Vásquez, 2017)

En la Ilustración 181 se presenta la clasificación de las unidades hidrogeológicas según su porosidad, resaltando que el basamento hidrogeológico al límite de los costado Oriental y Occidental del área de estudio, mientras que en la parte norte, centro y occidente se disponen de las rocas con mayor potencial de almacenamiento de agua subterránea como lo son las rocas sedimentarias y los depósitos no consolidados. (Ver Anexo G-4 GE393-ERA-PSIG-CPP-001-00)

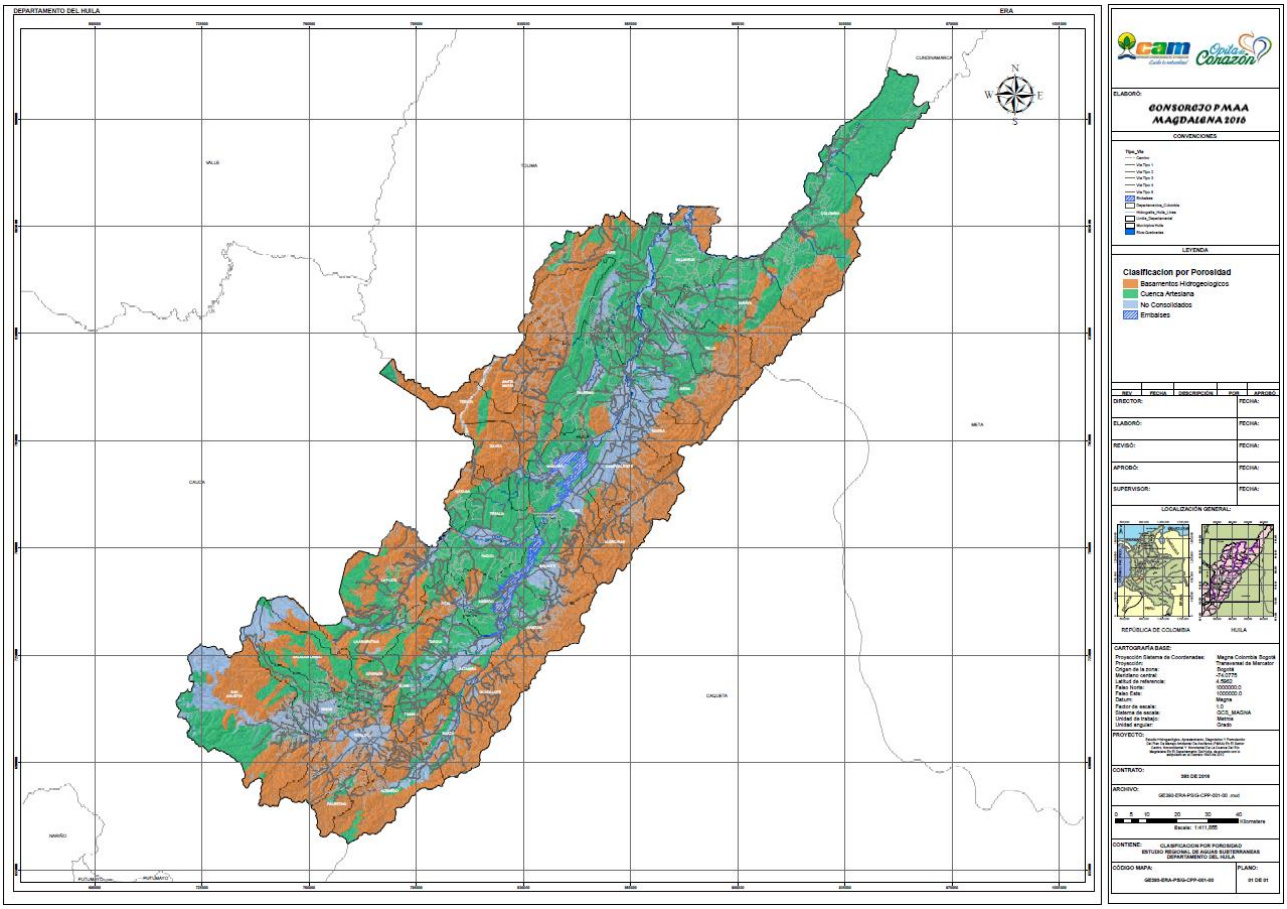


Ilustración 181 Clasificación de las Unidades Hidrogeológicas según su porosidad

7.1.2 Clasificación de las formaciones geológicas desde el punto de vista hidrogeológico:

Los acuíferos deben ser entendidos como formaciones geológicas subterráneas permeables, susceptibles de transmitir y almacenar el agua. Así cabe indicar que existen en la naturaleza una amplia gama de formaciones con capacidad muy diversa para almacenar y trasmitir el agua; desde el punto de vista hidrogeológico, estas formaciones suelen dividirse en:

- Acuíferos: capaces de almacenar y transmitir el agua (formaciones permeables gravas, arenas, materiales calizos, roca arenisca, etc.). Son formaciones con capacidad de drenaje alta en las que se pueden perforar pozos y sondeos con el fin de satisfacer las necesidades humanas de abastecimiento, agricultura, industria, ganadería, etc.

- Acuítardos: capaces de almacenar el agua en cantidades muy importantes, pero la transmiten con dificultad; se suelen denominar con frecuencia formaciones

semipermeables (limos, arenas limosas, arenas arcillas, etc.) y su capacidad de drenaje es media a baja; no son de interés para la obtención de caudales pero juegan un papel importante como elementos transmisores del agua en recargas verticales a través de grandes superficies.

- Acuícludos: pueden almacenar el agua en grandes cantidades pero no tiene posibilidad de transmitirla y se drenan con mucha dificultad; el agua se encuentran encerrada en los poros de las formaciones y no puede ser liberada (arcillas, arcillas plásticas, limos arcillosos, etc.); se asumen como materiales impermeables.

- Acuíferos: formaciones incapaces de almacenar y de transmitir el agua; están representados por rocas compactas como rocas ígneas y metamórficas muy compactas, se muestran como impermeables salvo que exista fracturas que pueden permitir flujos.

7.1.3 **Tipos de acuíferos y su comportamiento**

Por otra parte los acuíferos según sus circunstancias hidráulicas y estructurales, pueden funcionar de tres distintas formas:

- Acuíferos libres: Son aquellos cuyo nivel de agua se encuentran por debajo del techo de la formación es decir, aquello en los cuales existe una superficie libre del agua encerrada en los sedimentos no consolidados, que están en contacto directo con el aire y por lo tanto, a presión atmosférica, son susceptibles de recibir recarga local directa. El agua extraída de estos acuíferos proviene del escurrimiento gravitacional del sistema, presentan conos de bombeo bastante esbeltos, elevados descensos niveles en el pozo de captación y cortos radios de influencia, siendo los valores típicos de almacenamiento, SY, del orden de 10-1 a 10-2. (Ver Ilustración 182)

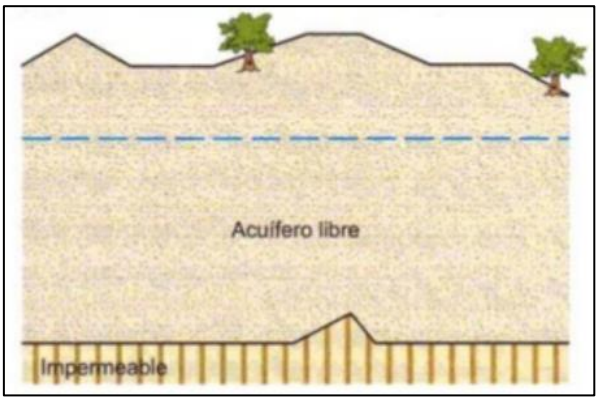


Ilustración 182 Acuífero libre
Fuente: (Vallejo, 2002)

- Acuíferos confinados: Son aquellos que yacen entre estratos impermeables y cuyo nivel piezométrico se haya por encima del techo del material, Se considera que el agua extraída de estos acuíferos proviene fundamentalmente de la descompresión del sistema por presión o carga que ejercen el peso de los materiales superiores, es decir, el agua de estos acuíferos se encuentran sometida a una cierta presión, superior a la atmosférica, y ocupa la totalidad de los poros o huecos de la formación geológica que lo contienen, saturándola totalmente. Por ello, durante la perforación de pozos en acuíferos de este tipo, al atravesar el techo del mismo se observa un ascenso rápido del nivel del agua hasta estabilizase en una determinada posición.
  Los coeficientes de almacenamiento típicos de estos acuíferos son del orden de 10-4 a 10-6. Un caso especial de estos acuíferos lo constituyen las presiones artesianas, que se caracteriza porque su nivel piezométrico se halla por encima por encima del techo de la capa techo.

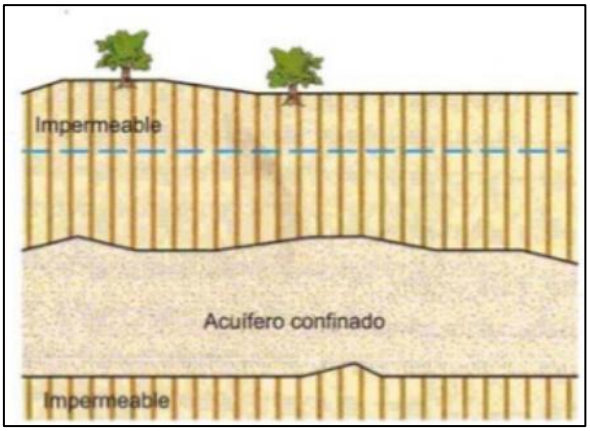


Ilustración 183 sistema de acuífero confinado
Fuente: (Vallejo, 2002)

- Acuíferos semi-confinados: Se puede considerar como un caso particular de los acuíferos confinados, en los que la parte inferior y/o la parte superior que los encierran no sea totalmente impermeable sino un acuitardo (no todos los materiales que lo rodean son impermeable así paquete superior o semi-confinante lo constituyen formaciones semipermeables, que permita el paso del agua de otros acuíferos superiores al inferior semi-confinado, es decir un material que permita una infiltración vertical del agua, muy lenta, que alimente el acuífero principal en cuestión, a partir de un acuífero o masa de agua situada encima o debajo del miso. Como es lógico, este paso vertical de agua es sólo posible cuando existe una diferencia de potenciales entre ambos acuíferos (el que recarga y el recargado) y puede hacerse uno u otro sentido, e incluso variar con el tiempo según sea la posición relativa de los niveles piezométrico de los mismos. Los coeficientes de almacenamiento característicos de estos acuíferos son del orden de 10-3 a 10-4

Los conos de bombeo son bastantes cortos, pero con radios de influencia bastantes largos.

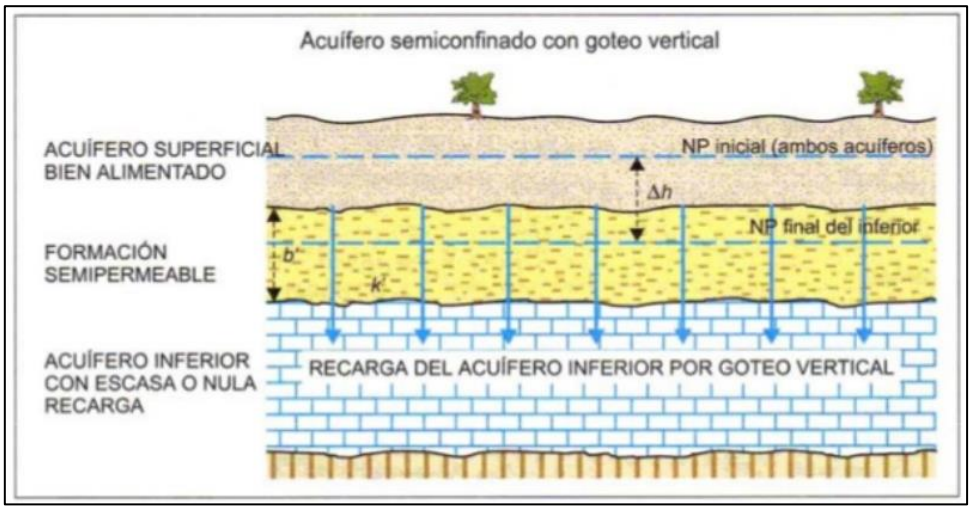


Ilustración 184 sistema de acuífero semiconfinados
Fuente: (Vallejo, 2002)

7.1.4 **Clasificación de Unidades Hidrogeológica**

A continuación se presenta la clasificación de las unidades hidrogeológicas de interés siguiendo la nomenclatura propuesta por (Vargas, 2001), la cual se basa en la extensión, porosidad de la unidad y características de permeabilidad asociadas de cada tipo de acuífero.

7.1.4.1 Tipo I

Corresponde a depósitos o rocas de porosidad principal es intergranular:

Unidad I1: Sistemas de acuíferos continuos de extensión regional depositados en ambiente fluvial y lacustre conformado por sedimentos no consolidados que desarrollan acuíferos de tipo libre a semi-confinado almacenando aguas recomendables para cualquier uso. Acuíferos de alta productividad, capacidad específica entre 2,0 y 5,0 l/s/m. En el área de estudio se asocia a los Depósitos de terraza alta (Q1al), Depósitos de terraza baja (Q2al) y Depósitos aluviales recientes (Qalr).

Unidad I2: Sistemas acuíferos continuos de extensión local y regional conformados por Depósitos Cuaternarios no consolidados de ambiente fluvial, lacustre o rocas sedimentarias de edad Terciaria poco consolidadas clásticas a volcanoclásticas pero solamente moderadamente productivos que desarrollan acuíferos libres a semi-confinados. En el área de estudio corresponde los Depósitos coluviales (Q2c), Depósitos

fluvio lacustres (Q2fl) y los miembros de la Formación Gigante medio (N2gim) y Formación Gigante inferior (N2gii).

Unidad I3: Acuítardos discontinuos de extensión local conformados por rocas piroclásticas y volcanoclásticas o rocas sedimentarias de edad Terciaria, almacenan agua para cualquier uso. Son Acuíferos de baja productividad, capacidad específica entre 0,05 y 1,0 l/s/m, asociados a los Depósitos de Lahar (Q2lh).y rocas de la Formación Arcillolita de Colombia (N2ac), Formación Guacacallo (N2Q1g), Lavas y Piroclastos (NQlp), Formación Nevado del Huila (N2Qnh), Vulcanitas básicas (Qvb), Depósitos volcánicos (Qv), Lavas del Meremberg (Qvlm), Lavas Laguna del Buey (Qlb), Terrazas Pumíticas (Q2tp), (Q2tp) Depósitos fluvioglaciares (Qfg).

7.1.4.2 Tipo II

Corresponde a los acuíferos en rocas consolidadas con porosidad primaria y fisurados con porosidad secundaria o carstificados.

Unidad II1: Sistemas acuíferos de extensión regional altamente productivos, conformada por rocas sedimentarias clásticas y carbonatadas Terciarias y Cretácicas consolidadas de ambiente transicional a marino que generalmente conforman acuíferos confinados con aguas recomendables para cualquier uso. Acuíferos de mediana productividad, de capacidad especifica mayor de 5,0 l/s/m. Esa unidad es asociada a la Formación Caballo (K1c) y a la Formación Guadalupe (K2g), Formación Gualanday miembros inferior y superior (E2gyi, E2gys).

Unidad II2: Sistemas acuíferos de extensión regional, conformados por rocas sedimentarias clásticas y carbonatadas Terciarias y Cretácicas consolidadas, de ambiente transicional a marino que generalmente conforman acuíferos confinados con aguas recomendables para cualquier uso, son acuíferos de productividad moderada, capacidad especifica entre 1,0 l/s/m y 2,0 l/s/m. Se asocia a los acuíferos multicapa del Grupo Honda (N1h), y al miembro medio de la Formación Gualanday (E2gym). Formación Yavi (K1y).

7.1.4.3 Tipo III

Corresponde a rocas granulares o fisuradas que forman acuíferos insignificantes por porosidad primaria con recursos limitados o sin recursos.

Unidad III1: Acuitardos o acuicludos menores con recursos locales y limitados en rocas ígneas a metamórficas Terciarias a Jurásicas y en depósitos no consolidados de ambiente lacustre, marino y deltaico. Desarrollan Acuitardos o acuicludos. Estos acuíferos son de muy baja productividad, con capacidad especifica promedio menor de 0.05 l/s/m. Se asocia a las rocas del Grupo Villeta (K2v) y a las rocas de la Formación Seca (K2E1sc), Lodolitas y Calizas Granadillo (PZlcg), Formación El Hígado (Pzh), Formación Luisa (C2Tls), Formación Payandé (T3py)

Unidad III2: Complejos ígneo-metamórficos consolidados y fracturados de edad del Terciarios a Precámbricos con baja a ninguna productividad de agua subterránea. Estos acuíferos son de muy baja productividad, capacidad especifica promedio menor de 0,01 l/s/m que desarrolla acuifugos. Se asocia a las rocas del Macizo de Garzón, Complejo Aleluya (Pєa), Ortogranito de La Plata (Pєp), Complejo Cajamarca (T1ev), Esquistos Cuarzo – Sericíticos (Pes), Cuarcitas (Pq), Esquistos Actinolíticos – Cloríticos (Pev), Jcmdsom, Formación Saldaña (T2Jsal), Monzogranito de Algeciras (Jmgalg), Cuarzomonzodiorita de Sombrerillos, Monzogranito de Altamira (Jgal), Batolito de Ibagué (J3i), Monzodiorita de El Astillero (Jias), Cuarzomonzodiorita de Teruel (Jt).

En la **Ilustración 185** se muestra la calcificación de las Unidades Hidrogeológicas presentes en el área de estudio.

De acuerdo a lo anterior se obtiene el mapa de clasificación de Unidades Hidrogeológicas el cual se puede visualizar en la y (Anexo G-4 GE393-ERA-PSIG-HPG-001-00 y Anexo G-5 GE393-ERA-PSIG-UHG-001-00).

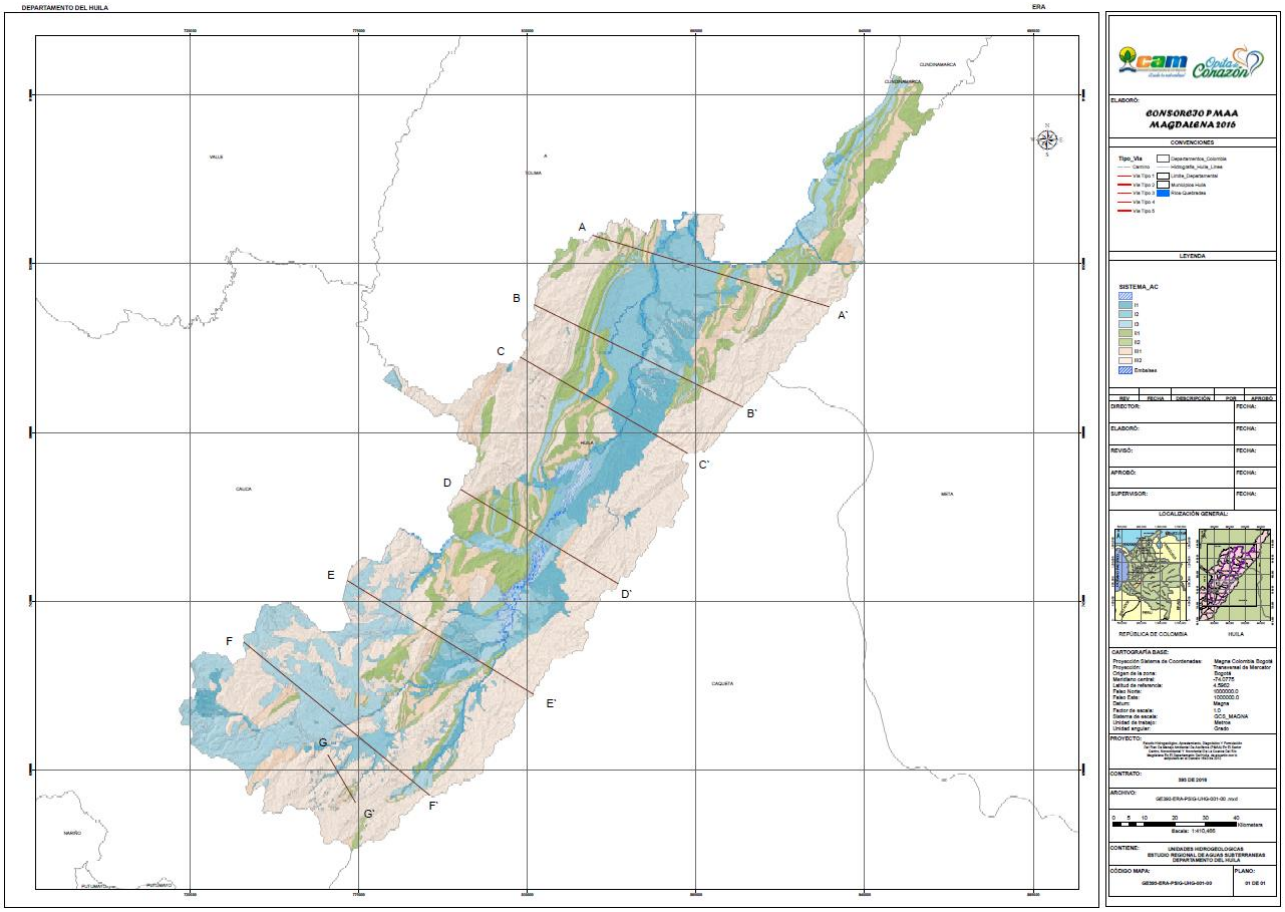


Ilustración 185 Mapa de clasificación de Unidades Hidrogeológicas

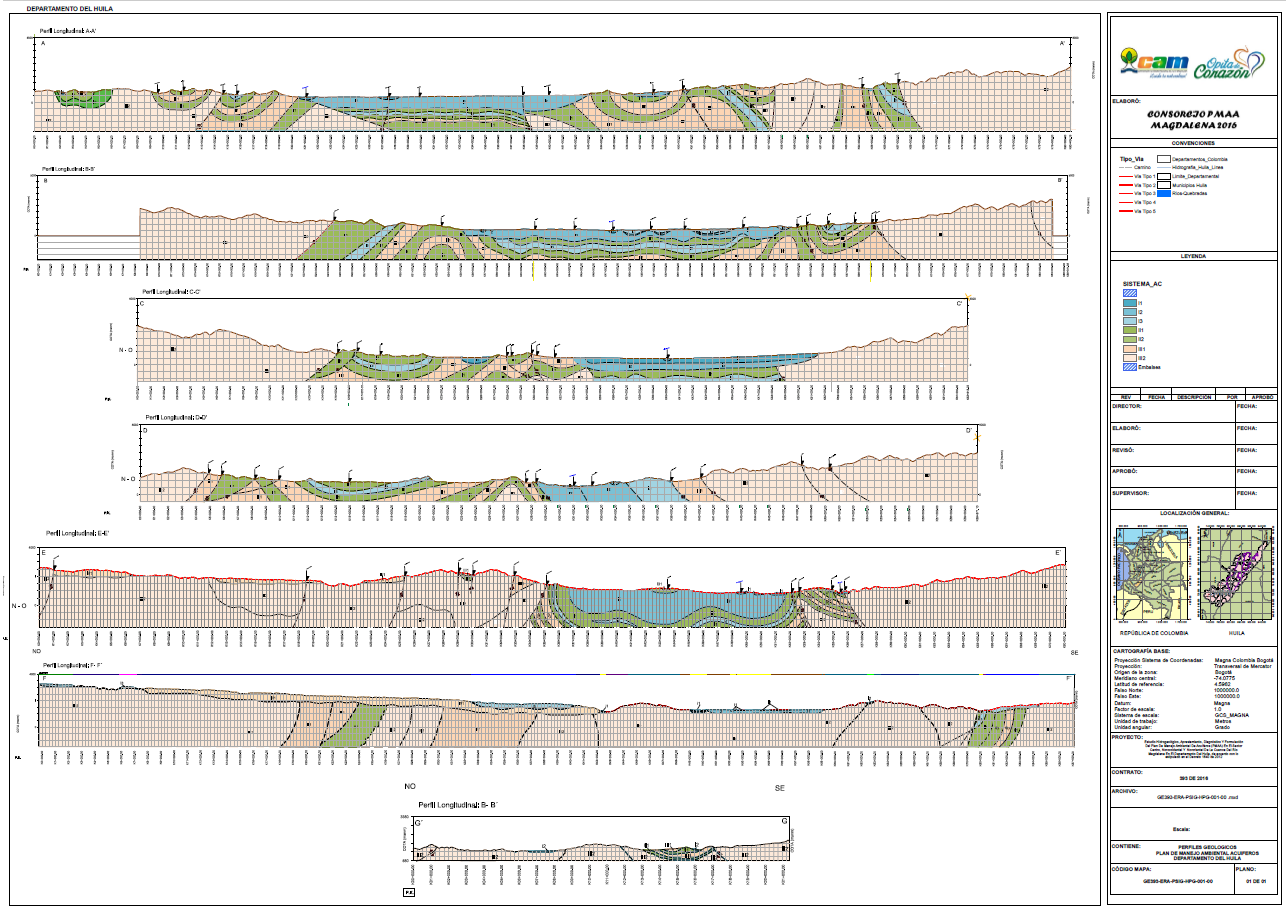


Ilustración 186 Cortes Hidrogeológicos

SISTEMA ACUÍFERO		CARACTERÍSTICA DE LOS ACUÍFEROS		COMPORTAMIENTO POSIBLE DE LA UNIDAD
A. SEDIMENTOS Y ROCAS CON FLUJO ESENCIALMENTE INTERGRANULAR				
I1	Qalr , Q1al , Q2al	Acuíferos de alta productividad, capacidad especifica entre 2,0 y 5,0 l/s/m	Sistemas acuíferos continuos de extensión regional depositados en ambiente fluvial y lacustre conformado sedimentos no consolidados que desarrollan acuíferos de tipo libre a semi-confinado almacenando aguas recomendables para cualquier uso.	Acuíferos Libres
I2	Q2c , Q1fl, N2gii , N2gim	Acuíferos de mediana productividad, capacidad entre 1.0 y 2.0 l/s/m	Sistemas acuíferos continuos de extensión local y regional conformados por Depósitos cuaternarios no consolidados de ambiente fluvial, lacustre o rocas sedimentarias terciarias poco consolidadas de ambiente fluvial que desarrollan acuíferos generalmente semi-confinados a confinados	Acuíferos Libres a semi-confinados
I3	N1ac, , N2Q1g, NQlp, N2Qnh, Qvb, Qv, Qvlm, Qlb, Q2lh, Q2tp Qfg	Acuíferos de baja productividad, capacidad especifica entre 0.05 y 1.0 l/s/m	Sistemas acuíferos continuos y discontinuos de extensión local y regional conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados de ambiente coluvial y fluvial o rocas sedimentarias terciarias, Depósitos vulcano-sedimentaria que desarrollan acuíferos libres y localmente confinados. Almacenan agua para cualquier uso.	Acuitardos
B. ROCAS CON FLUJO ESENCIALMENTE A TRAVÉS DE FRACTURAS (ROCAS FRACTURADAS Y/O CARSTIFICADAS)				
II1	K1c,K2g,E2gyi, E2gys	Acuíferos de mediana productividad, capacidad especifica mayor de 5.0 l/s/m	Sistemas acuíferos discontinuos de extensión regional, conformada por rocas sedimentarias clásticas y carbonatadas depositadas en ambiente marino de edad cretácica o rocas sedimentarias clásticas y carbonatadas terciarias origen continental, que desarrollan acuíferos confinados con aguas recomendables para cualquier uso	Acuíferos Confinados
II2	K1y, N1h, E2gym,	Acuíferos de baja productividad, capacidad especifica entre 1.0 l/s/m y 2.0 l/s/m	Sistemas acuíferos discontinuos de extensión regional, conformados por rocas sedimentarias clásticas de edad cretácica y paleozoica, depositadas en ambiente marino, acuíferos confinados con aguas recomendables para cualquier uso	Acuíferos confinados
C. SEDIMENTOS Y ROCAS CON LIMITADOS RECURSOS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS				
III1	PZlcg, Pzh, C2Tls, T3py, K2v ,K2E1sc	Acuíferos con muy baja productividad, capacidad especifica promedio menor de 0.05 l/s/m	Complejo de rocas sedimentarias poco consolidadas a muy consolidadas de origen continental y marino que en ocasiones almacenan agua que requiere tratamiento para su uso.	Acuitardos a acuicludos
III2	Mp3mg, Pєa, Pєp, T1ev, Pes, Pq, Pev, T2Jsal, Jmgalg, Jgal, Jcmdsom, J3i, Jias, Jt	Acuíferos con muy baja productividad, capacidad especifica promedio menor de 0.05 l/s/m	Complejo de rocas ígneo-metamórficas, meta-sedimentarias y/o vulcano-sedimentaria muy compactas y en ocasiones fracturadas, de edades Triásicas-Jurásicas a precámbrica. Con frecuencia ocurren fuentes termales asociadas a la tectónica	Acuifugos

7.1.5 Modelo Hidrogeológico Conceptual En Sector Centro, Noroccidental Y Nororiental De La Cuenca Del Valle Superior Del Río Magdalena En El Departamento Del Huila

La Provincia Hidrogeológica del Valle Alto del Magdalena o Valle Superior del Magdalena (VSM), es una cuenca hidrogeológicas de montanas e intramontanas, que se disponen entre las Cordilleras Oriental y Central. Corresponde a una depresión tectónica del Valle del Magdalena que se ha rellenado en el tiempo geológico y posterior al Mioceno donde se depositaron las secuencias más importantes por sus características litológicas y comportamiento hidráulico (Van Houten & Travis, 1968).

En términos generales, en la zona del Valle Superior del Magdalena se explotan acuíferos libres a semiconfinados de sedimentos y formaciones poco consolidadas, cuyo uso corresponde al agrícola y al consumo doméstico primordialmente, aunque localmente tiene importancia para la industria petrolera en particular.

La provincia hidrogeológica del Valle Superior del Magdalena cuenta ocho acuíferos regionales importantes como lo son Depósitos Cuaternario (Q), Formación Gigante medio (N2gm), Formación Gigante inferior (N2gii), Grupo Honda (N1h), Formación Gualanday superior (E2gis), Formación Gualanday inferior (E2gii), Grupo Guadalupe (K2g) y Formación Caballos (K1c) los cuales se describen a continuación:

7.1.5.1.1 Acuífero de Depósitos Cuaternario (Q):

El acuífero Cuaternario es de tipo regional se clasifica como unidad hidrogeológica de sedimentos y rocas con flujo esencialmente intergranular, de Unidad Hidrogeológica tipo (I1), representada por los depósitos aluviales de abanicos y/o terraza altas (Q1al), Depósitos aluviales de abanicos y/o terraza bajas (Q2al) y Depósitos aluviales recientes (Qalr), la Unidad Hidrogeológica tipo (I2) conformada por los Depósitos coluviones (Q2c), y Depósitos Fluvilacustres (Q2fl). Estos depósitos se hallan constituidos por intercalaciones de gravas, arenas gruesas y gravosas, conglomerados polimícticos, limos y arcillas; los clastos de composición ígnea y metamórfica proveniente de la erosión de las rocas de la Cordillera Oriental y el transporte hacia los principales valles fluviales del área.

Este acuífero es de carácter libre a semi-confinado y se encuentran a presión atmosférica, tiene un espesor medio de 400-500 m, aunque en algunos puntos puede ser mayor. Con resistividades comprendidas en el rango de 2 – 300 Ohm – m.

Las capacidades específicas son bajas con valores promedio de 1,2 l/s/m; los niveles estáticos se localizan a profundidades entre 1,5 y 20 m dependiendo del lugar y caudales promedio de 1,5 Lts/seg, las conductividades hidráulicas varían entre 0,75 a 119 m/día, coeficiente de almacenamiento 0,07 – 0,09 y Transitividad de 31,5 – 65,5 m^2/día, según los datos referencia.

En cuanto a la calidad del agua almacenada en estos acuíferos Cuaternarios (Q) es principalmente carbonatada y bicarbonatada, en donde los valores de resultados de laboratorio muestran que el acuífero es apto para el para uso doméstico, consumo humano siempre que se realice un proceso de desinfección y de cualquier su industrial y agrícola sin proceso de desinfección. Estos son acuífero vulnerable a la contaminación que son los más someros, próximo a las zonas donde se desarrolla las principales actividades económicas, y la expansión de los centros urbanos.

Estos acuíferos son considerados de principal importancia en la priorización, ya que son los más superficiales y pude suplir las necesidades para el abastecimiento de comunidades.

Se recomienda la protección de las zonas de recarga, el amplio Valle del Magdalena, así como los ápice de los abanicos aluviales y los altos topográficos de las cuencas hidrológicas.

7.1.5.1.2 Acuífero de la Formación Gigante miembro Medio (N2gim):

Este acuífero es clasificado como sedimentos y rocas con flujo esencialmente intergranular, con sistemas de acuíferos continuos de extensión local y regional conformados por la unidad hidrogeológica tipo (I2) de la Formación Gigante Medio (N2gim) representada por un nivel arenoso volcanoclástico, tobas, areniscas conglomerados polimícticos y arcillolitas, El espesor del acuífero es de aproximadamente 200 m, con resistividades comprendidas en un rango de 6 – 267 Ohm m.

El acuíferos es de carácter semi-confinado a confinado y en algunos sectores el comportamiento es libre. Los niveles estáticos registrados oscilan entre 5 y 35 m de profundidad, caudal de 2,15 a 5,4 Lts/seg y las capacidades específicas son cercanas a 1,2 l/s/m, sus coeficientes de almacenamiento varían entre 0,01 y 1,66 y sus transmisividades entre 5 y 193 m^2/día. Sus aguas son fundamentalmente de tipo bicarbonatado-cálcica, de buena calidad fisicoquímica Formación Gigante muestran en promedio un rango aceptable para cualquiera de los usos establecidos por el decreto y los resultados hidroquímicos, se halla en conexión hidráulica con el acuífero Cuaternario.

Estos acuíferos son considerados de principal importancia y su uso debe ser exclusivo para el abastecimiento de comunidades.

Se recomienda la protección de las zonas donde aflora esta formación, la zona de recarga directa el amplio Valle del Magdalena en donde existe un predominio del facie de arenas y gravas, que son materiales permeable donde se infiltran las aguas y en los altos topográficos de las estructuras anticlinales que por los flancos se direcciona el agua hasta llegar a los sinclinales contiguos, donde se almacena grandes reservas de aguas subterráneas.

7.1.5.1.3 Acuífero de la Formación Gigante miembro Inferior (N2gii):

El acuífero Gigante Inferior se clasifica dentro de los acuíferos conformados por sedimentos y rocas con flujo esencialmente intergranular, son acuíferos continuos de extensión local y regional, aunque aflora en el nororiente y en cercanías del Municipio Hobo y del Embalse de Betania.

Litológicamente este acuífero está constituido principalmente por conglomerados con algunas intercalaciones de areniscas, arcillolitas y limolitas, moderadamente seleccionadas y compuestos de granos y clastos de vulcanitas, plutonitas, granodioritas y metamorfitas dentro de una matriz arenosa con granos medios a gruesos mal seleccionados que corresponde a la Unidad Hidrogeológica tipo (I2). Su espesor promedio acuífero es de 125 m aproximadamente con resistividades comprendidas en el rango 9 – 240 Ohm m.

No existen hasta el momento suficientes datos hidráulicos que permitan estimar valores concretos para los parámetros hidrogeológicos de este acuífero; sin embargo, mediante analogías con zonas aledañas, se puede suponer se trata de un acuífero de carácter semi-confinado a confinado que podría estar en relación hidráulica con el acuífero suprayacente, ya que no fue detectada ninguna capa impermeable continua.

Con base en la litología y en el espesor de esta capa, se cree que esta podría constituir el acuífero más importante de la región. Estos acuíferos son considerados de principal importancia y su uso debe ser exclusivo para el abastecimiento de comunidades. Se recomienda la protección de las zonas donde aflora esta formación, ya que son materiales permeables.

7.1.5.1.4 Acuífero de la Grupo Honda (N1h):

Este Grupo se puede encontrar aflorando en la superficie en el amplio Valle del Magdalena y cerca al Embalse de Betania en forma de banda estrecha y alargada. Se clasifica como sistema de acuíferos conformados por sedimentos y rocas con flujo esencialmente intergranular de extensión regional, conformados por potentes estratos de arcillolita y limolitas con intercalaciones de areniscas conglomeraticas que permiten suponer, como en otras partes de la cuenca, que se trata de un buen acuífero multi-capas, que representa a la unidad hidrogeológica tipo (II2) con espesores entre 1000 a 1300 metros con resistividades comprendidas entre los 4 – 281 Ohm m.

Presentan nivel estático a los 7,4 m de profundidad, con unos caudales que varían desde los de 11 a 65 l/s. De la información de referencia se encuentra el diseño de un pozo profundo donde se destaca que fueron instalados 84 m de filtros en la parte inferior, en el intervalo de 123-216 m por donde se observaron las mayores entradas de agua. Este pozo tiene instalada una bomba de 8” con motor de combustión interna que permite

extraer un caudal aproximado de 40 – 50 l/s. En general el Grupo Honda (N1h) se puede caracterizar hidráulicamente por los valores promedios estimados de conductividad hidráulica 12,5 m/día, un coeficiente de almacenamiento 0,0028, capacidad especifica de 0,75 Lts/seg/m y Transmisividad entre 23,5 – 53,5 m^2/día.

Es importante señalar que esta Unidad Hidrogeológica tipo (II2) del Grupo Honda (N1h), no se observa comunicación hidráulica ni flujo entre el acuífero superior del Acuífero de la Formación Gigante, ni del acuífero inferior que subrayase de la Formación Gualanday, este último separados por la discordancia angular del Oligoceno.

Sus aguas son fundamentalmente de tipo de bi-carbonatos y sódica-potásica, las muestras de fisicoquímica en general los valores promedio se encuentran en un rango aceptable para casi todos los parámetros, siendo el valor de coliformes totales la excepción, superando por mucho cualquier límite establecido por el decreto, cabe aclarar que muchos valores excéntricos afectan este promedio y que no es representativo para los coliformes totales del Grupo, pero cerca del 15% del total de las muestras no cumplen con una cifra de coliformes apta para el consumo humano ni para uso doméstico, una parte considerable de las muestras si cumplen para uso agrícola y pecuario, pero al haber una amplia incertidumbre en la cifra de coliformes no es recomendado.

En la zona próxima al Embalse de Betania no se cuenta con información para la determinación de la calidad del agua.

Se recomienda la protección de la zona de recarga directa el amplio Valle del Magdalena, y pueden ser empleadas para uso industrial, agrícola y pecuario. Los niveles conglomeraticos de estos acuíferos son localizados a gran profundidad, por lo general, fuera del alcance de la técnica de perforación convencional para pozos de agua.

7.1.5.1.5 Acuífero de la Formación Gualanday Superior (E2gys):

Se clasifica dentro del grupo de acuíferos formados por rocas con flujo esencialmente a través de fracturas (rocas fracturadas y/o carstificadas). Son sistemas de acuíferos discontinuos de extensión regional, conformados por conglomerados potentes, arenitas e intercalaciones menores de lodolitas, y conforman la Unidad Hidrogeológica tipo (II1). Se estima que puede alcanzar espesores de 1300m, y presenta resistividades entre 10 – 500 Ohm-m.

Por sus características geológicas son materiales permeables que en sus niveles más conglomeraticos y arenitas pueden actuar como buenos acuíferos de mediana productividad, y capacidad especifica mayor de 5,0 l/s/m.

No existen hasta el momento suficientes datos hidráulicos que permitan estimar valores concretos para los parámetros hidrogeológicos de este acuífero; sin embargo, mediante analogías a la estratigrafía regional el acuífero está confinado entre el potente paquete de

las arcillolitas y areniscas conglomeraticas del Grupo Honda (N1h) y el material impermeable del miembro medio de la Formación Gualanday (E2gym) caracterizado por arcillolitas y lodolitas, se puede suponer se trata de un acuífero de carácter a confinado, donde la presión de sus aguas es mayor a la atmosférica.

Esta rocas aflora al costado noroccidental del área de la región hidrogeológica y por la disposición de las estructuras geológicas, en las zonas de alto topográfico y en las zonas donde le tectonismo forma fracturas y fallas y balance hídrico se considera zona de recarga ya que el agua se infiltran y se conducen hasta los bajos topográficos como lo son las estructuras de sinclinales donde es almacena el agua subterránea.

Se concluye que se trata de un nuevo acuífero identificado en la región a mayor profundidad que los anteriormente descritos, por lo tanto se sugiere adquisición de datos para su caracterización priorización calidad y uso. Sin embargo por estar localizados a gran profundidad, en general, fuera del alcance de la técnica de perforación convencional de pozos de agua, son recomendadas para el uso industrial. . En el caso donde aflore esta unidad se delimita como zona de recarga cuando la percolación esn año seco supere 0.01- 412.06 mm/a, año húmedo 0.01 – 1731.42 mm/a, promedio anual 0.01 – 867.3 mm/a.

7.1.5.1.6 Acuífero de la Formación Gualanday Inferior (E2gyi):

Se clasifica dentro del grupo de acuíferos formados por rocas con flujo esencialmente a través de fracturas (rocas fracturadas y/o carstificadas). Son sistemas de acuíferos discontinuos de extensión regional, conformados por conglomerados con lentes de arenitas de grano grueso, los conglomerados clastosoportados, presentan guijarros que gradan hacia el tope, compuestos de chert negro gris y pardo y cuarzo, con fragmentos de origen ígneo, la matriz en general es tamaño arena gruesa, cuarzosa, con cemento silíceo – ferruginoso; están dispuestos en capas muy gruesa en cuña y lenticular, los contactos son erosivos y la separación entre capas son niveles delgados de lodolitas rojizas, que conforman la Unidad Hidrogeológica tipo (II1).

Se estima que puede alcanzar espesores de 1000m, y presenta resistividades entre 13 – 659 Ohm-m.

Por sus características geológicas son materiales permeables que en sus niveles más conglomeraticos y arenitas pueden actuar como buenos acuíferos de mediana productividad, y capacidad especifica mayor de 5,0 l/s/m.

No existen hasta el momento suficientes datos hidráulicos que permitan estimar valores concretos para los parámetros hidrogeológicos de este acuífero; sin embargo, mediante analogías a la estratigrafía regional el acuífero está entre el material impermeable del miembro de Gualanday medio (E2gym) caracterizado por arcillolitas y lodolitas y la

Formación Seca (K2E1sc), se puede suponer se trata de un acuífero de carácter a confinado, donde la presión de sus aguas es mayor a la atmosférica.

Esta Formación geológica aflora al costado noroccidental del área de la región hidrogeológica y por la disposición de las estructuras geológicas, en las zonas de alto topográfico y en las zonas donde le tectonismo forma fracturas y fallas que conducen el agua hasta los bajos topográficos como lo son las estructuras de sinclinales donde se almacena el agua subterránea.

Se concluye que se trata de un nuevo acuífero identificado en la región a mayor profundidad que los anteriormente descritos, por lo tanto se sugiere adquisición de datos para su caracterización priorización calidad y uso. Sin embargo por estar localizados a gran profundidad, en general, fuera del alcance de la técnica de perforación convencional de pozos de agua, son recomendados para el uso industrial. En el caso donde aflore esta unidad se delimita como zona de recarga cuando la percolación esn año seco supere 0.01- 412.06 mm/a, año húmedo 0.01 – 1731.42 mm/a, promedio anual 0.01 – 867.3 mm/a.

7.1.5.1.7 Acuífero de la Formación Guadalupe (K2g):

Se clasifica dentro del grupo de acuíferos formados por rocas con flujo esencialmente a través de fracturas (rocas fracturadas y/o carstificadas). Son sistemas de acuíferos discontinuos de extensión regional, consta de arenitas cuarzosas, predominantes hacia la base y el tope, que alternan con de capas de limolita silícea y shale y limolita silícea y arenita. La parte media consta principalmente de lutitas con pequeñas intercalaciones de arenitas; las arenitas del tope pasan a conglomerados de cantos de cuarzo, lodolita silícea y chert. Conforman la Unidad Hidrogeológica (II1). Se estima que puede alcanzar espesores promedio de 200m, y presenta resistividades entre 5 – 40 Ohm-m.

Por sus características geológicas son materiales permeables de arenitas cuarzosas que pueden actuar como buenos acuíferos de mediana productividad, y capacidad especifica mayor de 5,0 l/s/m.

No existen hasta el momento suficientes datos hidráulicos que permitan estimar valores concretos para los parámetros hidrogeológicos de este acuífero; sin embargo mediante analogías a la estratigrafía regional el acuífero está confinado entre el material impermeable del Formación Seca (K2E1sc) y los materiales del Grupo Villeta (K2v), se puede suponer que se trata de un acuífero de carácter a confinado, donde la presión de sus aguas es mayor a la atmosférica.

Por la disposición de las estructuras geológicas, en las zonas de alto topográfico y en las zonas donde le tectonismo forma fracturas y fallas que produen porosidad secundaria en las rocas, se conducen el agua hasta alcanzar los bajos topográficos como lo son las

estructuras de sinclinales que son estructuras peferenciables donde se almacena el agua subterránea.

Se concluye que se trata de un nuevo acuífero identificado en la región a mayor profundidad que los anteriormente descritos, por lo tanto se sugiere la adquisición de datos para su caracterización, priorización, calidad y uso. Sin embargo, por estar localizados a gran profundidad, en general, fuera del alcance de la técnica de perforación convencional de pozos de agua, son recomendados para el uso industrial.

7.1.5.1.8 Acuífero de la Formación Caballos (K1c):

Se clasifica dentro del grupo de acuíferos formados por rocas con flujo esencialmente a través de fracturas (rocas fracturadas y/o carstificadas). Son sistemas de acuíferos discontinuos de extensión regional, consta de areniscas cuarzosas porosas grises, de granulometría media a gruesa, equiglanular de redondez intermedia con intercalación de láminas finas a muy finas de lodolitas carbonosas físiles. Conforman la Unidad Hidrogeológica (II1). Se estima que puede alcanzar espesores promedio de 630m, y presenta resistividades entre 100 – 672 Ohm-m.

Por su características geológicas son materiales permeable de areniscas cuarzosas granulometría media a gruesa pueden actuar como buenos acuíferos de mediana productividad, y capacidad especifica mayor de 5,0 l/s/m.

No existen hasta el momento suficientes datos hidráulicos que permitan estimar valores concretos para los parámetros hidrogeológicos de este acuífero; sin embargo, mediante analogías a la estratigrafía regional el acuífero está confinado entre los materiales impermeable del Grupo Villeta (K2v) y la Formación Yavi, que por la profundidad a ñla cual se encuentran se puede suponer que se trata de un acuífero de carácter a confinado, donde la presión de sus aguas es mayor a la atmosférica.

Por la disposición de las estructuras geológicas, en las zonas de alto topográfico y en las zonas donde le tectonismo forma fracturas y fallas que generan porosidad secundaria en las rocas se conducen el agua hasta los bajos topográficos que son por exclencia las estructuras de sinclinales donde se almacena el agua subterránea.

Se concluye que se trata de un nuevo acuífero identificado en la región a mayor profundidad que los anteriormente descritos, por lo tanto se sugiere adquisición de datos para su caracterización priorización calidad y uso. Sin embargo, por estar localizados a gran profundidad, en general, fuera del alcance de la técnica de perforación convencional de pozos de agua, son recomendados para el uso industrial. . En el caso donde aflore esta unidad se delimita como zona de recarga cuando la percolación esn año seco supere 0.01- 412.06 mm/a, año húmedo 0.01 – 1731.42 mm/a, promedio anual 0.01 – 867.3 mm/a.

Teniendo en cuenta las características y composición litológica y disposición estructural, espesores, geometría y delimitación de los acuíferos, inventario de puntos de agua subterránea, propiedades hidráulicas, hidrológicas, hidroquímicas para determinar la calidad del agua subterránea y su comportamiento, se observó que la Provincia Hidrogeológica del Valle Superior del Magdalena se puede diferenciar claramente tres zonas hidrogeológicas diferentes:

- Región Norte
- Región Centro
- Región Occidente
- Región Sur

Estas regiones están definidas de acuerdo con la posibilidad que tienen las unidades roca-sedimento y los cierres de las estructuras geológicas de permitir el almacenamiento y flujo de aguas subterráneas, como se muestra en la Ilustración 187.

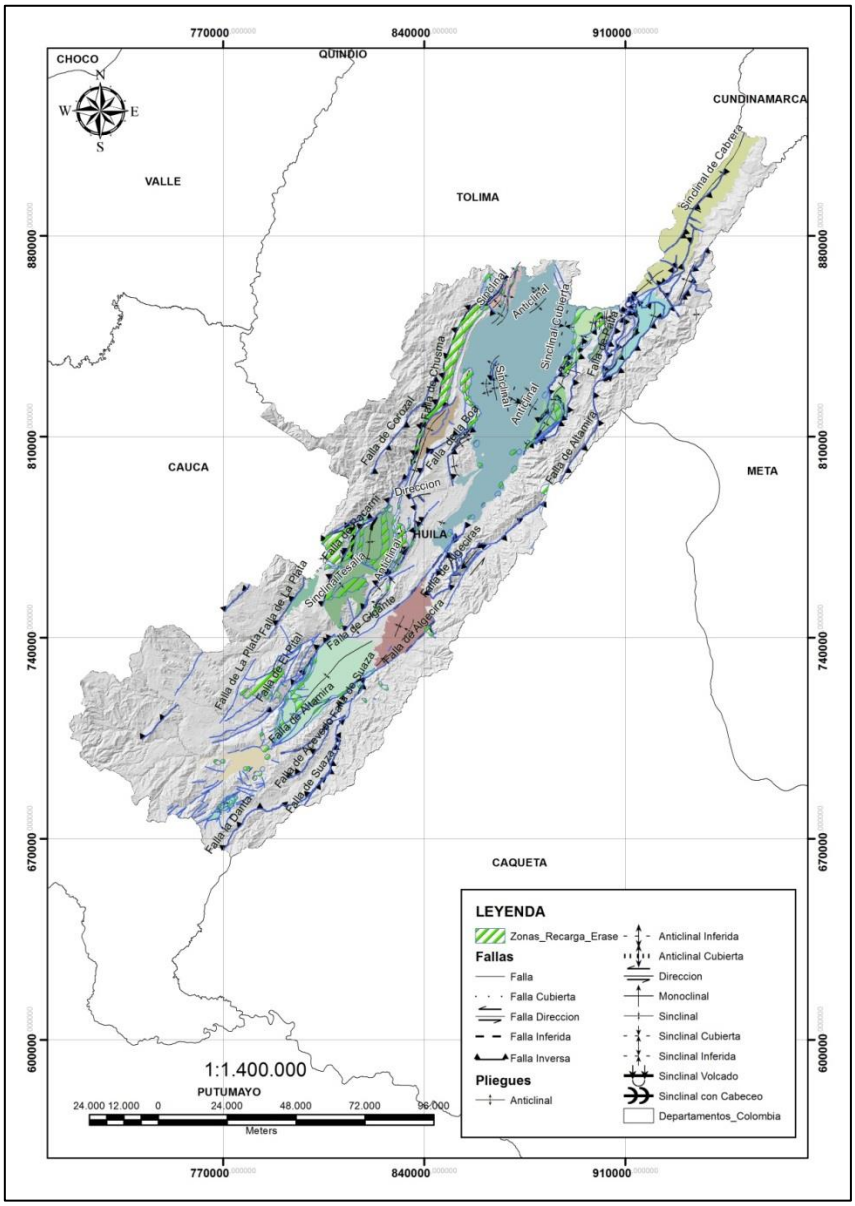


Ilustración 187 Zonas de potencial almacenamiento de agua subterránea Departamento del Huila
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

A continuación se describen cada una de las regiones hidrogeológicas que conforman la Provincia hidrogeológica del Valle Superior del Magdalena, que a su vez se dividen en sub-cuencas:

7.1.5.2 Región Hidrogeológica Norte:

La integran los acuíferos y las zonas de recarga, tránsito y descarga presentes en los Municipios de: Neiva, Aipe, Algeciras, Baraya, Campoalegre, Colombia Huila, Hobo, Iquira, Palermo, Rivera, Santa María, Tello, Teruel, Villavieja y Yaguará.

En la región hidrogeológica norte se presentan estructuras favorables para el almacenamiento potencial de agua subterránea como lo es el geosinclinal del Valle Superior del Magdalena y pliegues menores como lo son los sinclinales de Media Luna, Cabaña, Tivoli, Palermo, San Antonio, donde se encuentran plegadas las unidades hidrogeológicas que conforman los diferentes tipos de acuíferos, de las cuales se estiman las mayores reservas de agua subterráneas.

En cuanto a la estructura del sinclinal de Cabrera no se considera de interés hidrogeológico, ya que lo conforman las rocas de Arcillolita de Colombia con un espesor que supera los 200m de material impermeables que dificultan el transito del agua.

7.1.5.2.1 Diagramas en Bloque Región Norte:

El modo de representar gráficamente un modelo hidrogeológico conceptual, es a través de bloques diagramas, ya que permiten mostrar en términos generales el funcionamiento de los sistemas acuíferos en 3 dimensiones.

Para una mejor comprensión del Modelo Hidrogeológico Conceptual de la Región Norte, se esquematizan mediante tres diagramas en bloque nombrados A-A´, B-B´y C-C´, en donde se ilustran cada uno de los ocho acuíferos de carácter regional y local identificados, así como las zonas de recarga, tránsito y descarga del agua subterránea en esta región.

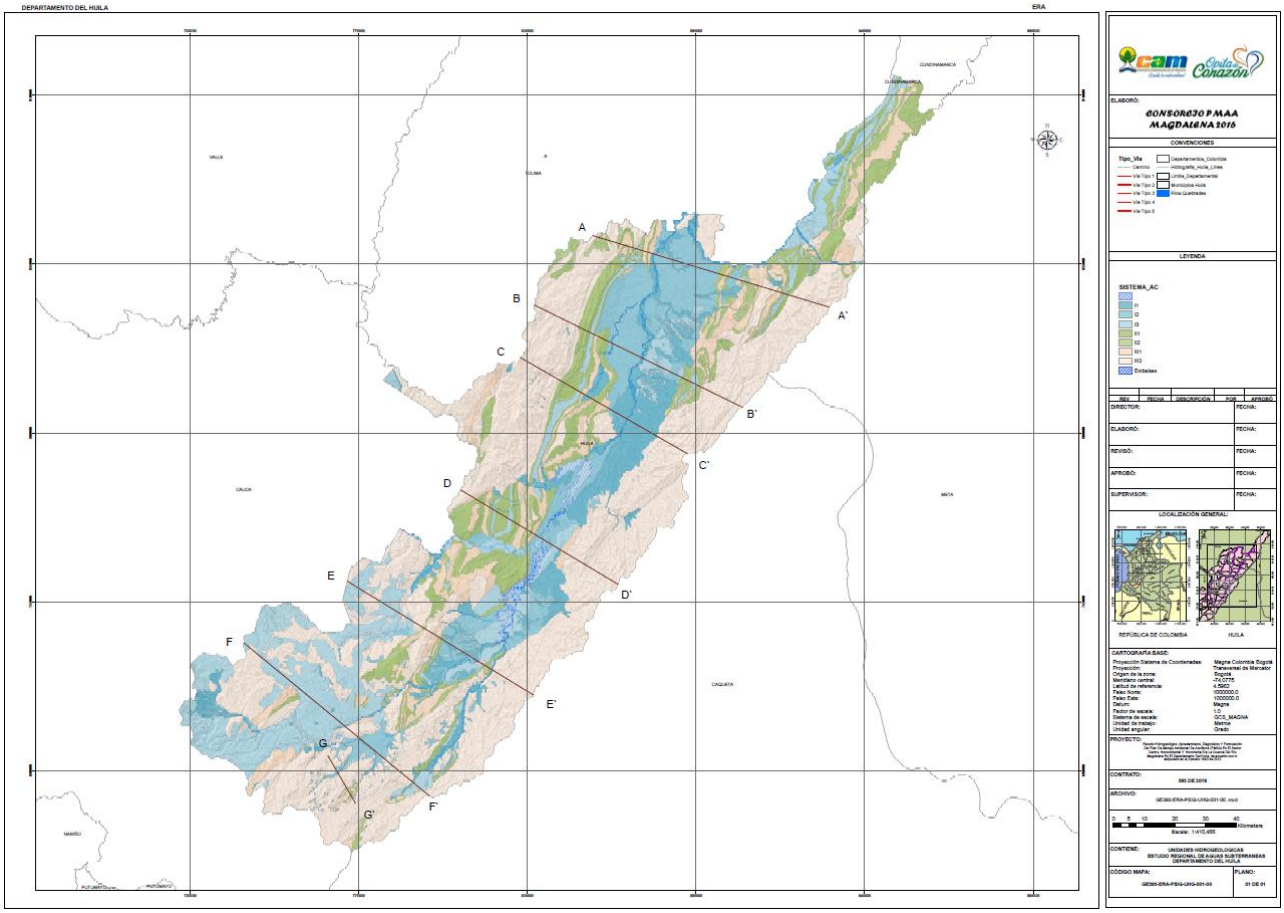
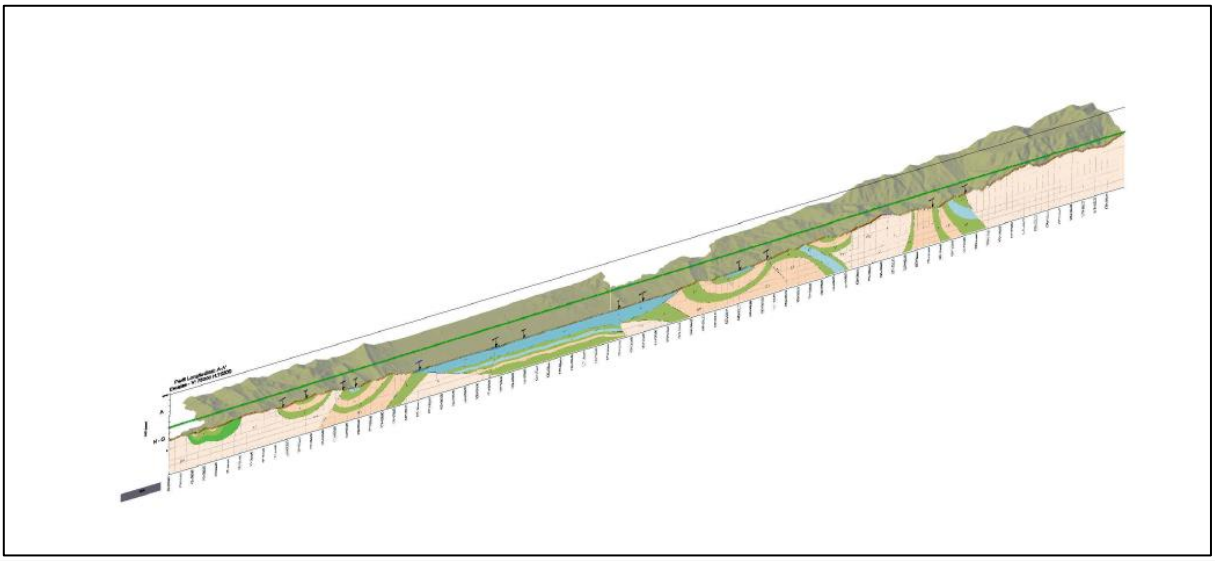


Ilustración 188 Localización Diagramas en Bloque.

7.1.5.2.1.1 Diagrama en Bloque A-A´:

La sección A – A´, se encuentra localizada al norte del área de estudio en dirección NO – SE, donde se representa la Provincia Hidrogeológica del Valle Alto del Magdalena, la cual se divide en cuatro sub-cuencas, delimitadas principalmente por los cierres de las estructuras geológicas de interés hidrogeológico como lo son sinclinales. Mientras que las zonas de recarga están definidas a partir de las características litológicas de los materiales que permiten el paso del agua infiltrando y percollando hasta alcanzar grandes profundidades, también son consideradas como zonas de recarga las zonas de falla y el área de alta densidad de fractura miento donde se generan porosidad secundaria en las rocas permitiendo la conducción y el transito del agua subterránea hasta alcanzar grandes profundidades. Finalmente se presentan los puntos de descarga, que en ocasiones surgen a la superficie formando manantiales, o recargando las aguas superficiales de lagos, quebradas y ríos que finalmente desembocan al mar.



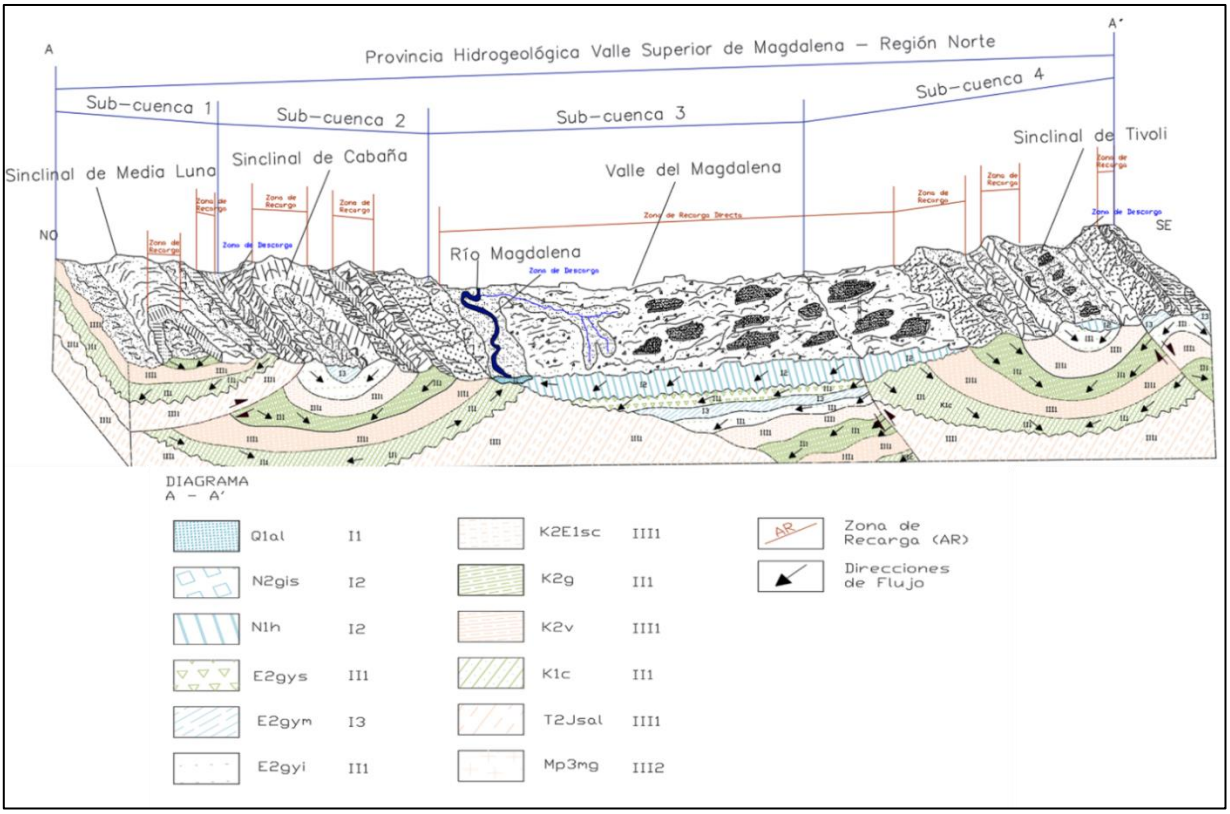


Ilustración 189 Modelo Hidrogeológicos Región Norte, Diagrama A-A´

A continuación se describen detalladamente cada una de las sub-cuencas en las cuales se estima las mayores reservas de agua subterránea de la Región Norte:

- **Sub-cuenca – 1 Sinclinal de Media Luna**: Localizado al Noroccidente del área de estudio se delimita por la estructura geológica del sinclinal de Media Luna, con un área aproximada de 36,5 Km^2, en donde se encuentran plegadas las Formaciones de edades Cretácicas, en el núcleo se encuentra las rocas del Grupo Guadalupe (K2g) que conforma acuíferos confinados de la Unidad Hidrogeológica (II1). La subrayase las rocas del Grupo Villeta (K2V) Unidad Hidrogeológica (III1), los cuales son materiales impermeables que forman acuitardos, a una mayor profundidad se encuentran las rocas de la Formación Caballo (K1c), que se consideran acuíferos confinados, el cual está rodeado de materiales impermeables de las rocas del Grupo Villeta (K2v) y el basamento hidrogeológico de la Formación Saldaña (T2Jsal). Es importante mencionar que no se evidencia conexión hidráulica entre el acuífero de la Formación Guadalupe (K2g) y el acuífero de la Formación Caballos (K1c).

  La zona de recarga se identifica en los flancos de los anticlinales contiguos a ambos lados del sinclinal de Media Luna, donde aflora materiales porosos donde el flujo de agua es direccionado al bajo topográficos y la percolación esn año seco supere 0.01- 412.06 mm/a, año húmedo 0.01 – 1731.42 mm/a, promedio anual 0.01 – 867.3 mm/a.. Otra zona de recarga es el área alta densidad de fracturamiento producto del tectonismo causado por el sistema de Falla de Chusmas, ya se genera porosidad secundaria en las rocas permitiendo el paso del agua alcanzado grandes profundidades. También se estima que las rocas afloran tés de la Formación Guadalupe que conforman el núcleo de la estructura se presente recarga directa.

  A partir de los espesores saturados de las unidades hidrogeológicas de interés, su porosidad eficaz y el área que abarca la estructura del Sinclinal de Media Luna se estimaron las reservas estáticas de 4 Km^3 aproximadamente. Para el cálculo de las reservas dinámica se considera la recarga potencial por precipitación que ingresan anualmente al sistema de acuífero, que para el caso específico del Sinclinal de Media Luna se valoran para un mínimo de 120 mm/año y un máximo 133 mm/año de esta forma se puede pensar que las reservas dinámicas en el área de la estructura es de 0,005 Km^3/año, y un caudal explotable de 0,0020 Km^3 aclarando que se trata del caudal téorico que se puede extraer de los recursos disponibles de un acuífero, sin alterar el régimen de explotación establecido por la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena.

- **Sub-cuenca – 2 Sinclinal de Cabaña**: Delimita por la estructura geológica del sinclinal de Cabaña, con un área de 76,7 Km^2 aproximadamente, donde se encuentran plegadas las Formaciones de edades Cretácicas y Terciarias, se presenta los acuíferos de la Formación Gualanday inferior (E2gyi), el cual se halla confinado entre los materiales impermeables de la Formación Gualanday medio (E2gym) y la Formación Seca (K2E1sc). Seguidamente se muestran los acuíferos confinados del Grupo Guadalupe (K2g) encerrado entre las rocas impermeables de

la Formación Seca (K2E1sc) y del Grupo Villeta (K2v). A una mayor profundidad se disponen los acuíferos de la Formación Caballos (K1c) (II1), los cuales son de carácter confinados ya que en su techo y en la base se halla rodeado por los materiales impermeables de las rocas del Grupo Villeta (K2V) (III1) y el basamento hidrogeológica de la Formación Saldaña (T2Jsal).

Es importante mencionar que no se evidencia de redes de flujo de conexión hidráulica entre los acuífero anteriormente descritos.

En cuanto a la zona de recarga se identifica los materiales permeables aflorantés en los flancos del anticlinal donde el flujo de agua es direccionado a los bajos topográficos. Otra zona de recarga identificada es la zonas de alta densidad de fracturamiento próximas a las fallas, mediante las cual agua ingresa agua al sistema recargando los acuíferos más profundos. También se estima que en los flancos del sinclinal donde aflora las rocas de la Formación Gualanday inferior (E2gys) es zona de recarga directa.

A partir de los espesores saturados de las unidades hidrogeológicas de interés, su porosidad eficaz y el área que abarca la estructura del Sinclinal de Cabaña se estiman que las reservas estáticas son de 17 Km^3 aproximadamente. Para el cálculo de las reservas dinámica se considera la recarga potencial por precipitación que ingresan anualmente al sistema de acuífero, que para el caso específico del Sinclinal de Cabaña se valoran un mínimo de 114 mm/año y un máximo 124 mm/año de esta forma se puede pensar que las reservas dinámicas en el área de la estructura son de 0,009 Km^3/año, y un caudal explotable de 0,0158 Km^3 al caudal que se puede extraer de los recursos disponibles de un acuífero, sin alterar el régimen de explotación establecido por la autoridad ambiental competente.

- **Sub-cuenca – 3 Valle del Magdalena**: se delimita por geo forma del amplio Valle del Río Magdalena con un área aproximada de 1977 Km^2, en donde se encuentran Depósitos Cuaternarios hasta las Formaciones de edades Cretácicas. Los acuíferos libres de los Depósitos Cuaternarios son los más someros y se presentan recarga directa por precipitaciones. También se hallan los acuíferos de la Formación Gigante medio y Gigante inferior, los cuales son de gran importancia, ya que son aguas subterráneas de uso prioritario para el abastecimiento de las comunidades. Estos acuíferos presentan conexión hidráulica con los acuíferos de Depósitos Cuaternarios, ya que en el tope no se encuentran rodeados de materiales impermeables por lo tanto son considerados de carácter semi-confinados. Seguidamente se localizan los acuíferos multicapas del Grupo Honda, estos acuíferos presentan capas potentes de material impermeables como son las arcillolitas con intercalaciones de areniscas conglomeraticas que son buenos almacenadores agua y se clasifican como acuíferos confinados. Los acuíferos del Grupo Honda se encuentran separados hidráulicamente de los acuíferos de la Formación Gualanday Superior por la discordancia del Oligoceno, ya que no es

evidencia de redes de flujo entre estos. Los acuíferos de la Formación Gualanday inferior (E2gyi), se hallan confinado entre los materiales impermeables de la Formación Gualanday medio (E2gym) y la Formación Seca (K2E1sc). Seguidamente se muestran los acuíferos confinados del Grupo Guadalupe (K2g) encerrado entre las rocas impermeables de la Formación Seca (K2E1sc) y del Grupo Villeta (K2v). A una mayor profundidad se disponen los acuíferos de la Formación Caballos (K1c) (II1), los cuales son de carácter confinados ya que en su techo y en la base están rodeado por los materiales impermeables de las rocas del Grupo Villeta (K2V) (III1) y el basamento hidrogeológico de la Formación Saldaña (T2Jsal).

La zona de recarga se identifica sobre las rocas y materiales permeables afloran tés en el amplio Valle del Magdalena. cuando la percolación esn año seco supere 0.01- 412.06 mm/a, año húmedo 0.01 – 1731.42 mm/a, promedio anual 0.01 – 867.3 mm/a. Otra zona de recarga son los ápices de los abanicos aluviales y en las partes alta de las cuencas hidrológicas, y en la zona de fallas donde se genera porosidad secundaria en las rocas permitiendo el paso del agua alcanzado grandes profundidades.

A partir de los espesores saturados de las unidades hidrogeológicas de interés, su porosidad eficaz y el área que abarca el valle del Magdalena, se estimaron las reservas estáticas de 1.057 Km^3 aproximadamente. Para el cálculo de las reservas dinámica se considera la recarga potencial por precipitación que ingresan anualmente al sistema de acuífero, que para el caso específico del Sinclinal de Media Luna se valoran para un mínimo de 91 mm/año y un máximo 131 mm/año de esta forma se puede pensar que las reservas dinámicas en el área del Valle del Magdalena es de 0,259 Km^3/año, y un caudal explotable de 27,35 Km^3 a aclarando que se trata del caudal téorico que se puede extraer de los recursos disponibles de un acuífero, sin alterar el régimen de explotación establecido por la autoridad ambiental competente.

- **Sub-cuenca – 4 Sinclinal de Tivoli**: delimitada por el cierre de la estructura del sinclinal de Tivoli que cuenta con un área de 126 Km^2, donde se encuentran plegadas las rocas del Grupo Honda, Gualanday inferior, Formación Seca, Grupo Guadalupe y Grupo Villeta. Los acuíferos formados por el Grupo Honda, Gualanday inferior y Guadalupe son de carácter confinado, ya que se encuentran rodeados de materiales impermeables.

  En cuanto a la zona de recarga se identifica los materiales permeables aflorantes en los flancos del anticlinal contiguo al sinclinal de Tivoli y las zonas de alta densidad de fracturamiento próximas a las fallas, mediante porosidad secundaria el agua ingresa al sistema recargando los acuíferos más profundos. También se estima que en los flancos del sinclinal donde aflora las rocas de la Formación

Gualanday inferior (E2gys) cuando la percolación en año seco supere 0.01- 412.06 mm/a, año húmedo 0.01 – 1731.42 mm/a, promedio anual 0.01 – 867.3 mm/a.

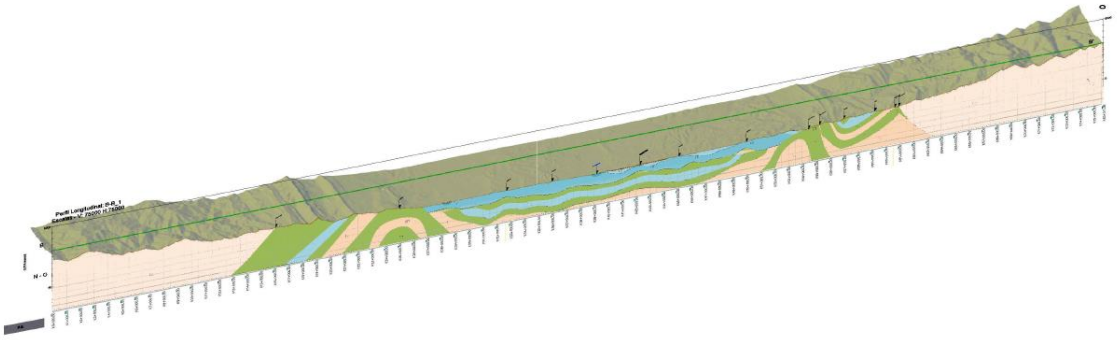
A partir de los espesores saturados de las unidades hidrogeológicas de interés, su porosidad eficaz y el área que abarca la estructura del Sinclinal de Tivoli, se estiman que las reservas estáticas son de 32Km^3 aproximadamente de agua es bicarbonatada cálcica. Para el cálculo de las reservas dinámica se considera la recarga potencial por precipitación que ingresan anualmente al sistema de acuífero, que para el caso específico del Sinclinal de Cabaña se valoran un mínimo de 93 mm/año y un máximo 131 mm/año de esta forma se puede pensar que las reservas dinámicas en el área de la estructura son de 0,014 Km^3/año, y un caudal explotable de 0,0445 Km^3 al caudal que se puede extraer de los recursos disponibles de un acuífero, sin alterar el régimen de explotación establecido por la autoridad ambiental competente.

7.1.5.2.1.2 Diagrama en Bloque B-B´:

La sección B – B´ tiene dirección NO – SE perpendicular a las estructuras geológicas, donde se representa la sub-cuenca 3 Valle del Magdalena, descrita anteriormente y la sub-cuenca 5 delimitada principalmente por la estructura del Sinclinales de San Antonio.

Las zonas de recarga están definidas a partir de las características litológicas de los materiales que permiten el paso del agua infiltrando y percollando hasta alcanzar grandes profundidades, también son consideradas como zonas de recarga las zonas de falla y el área de alta densidad de fracturamiento cuando la percolación esn año seco supere 0.01- 412.06 mm/a, año húmedo 0.01 – 1731.42 mm/a, promedio anual 0.01 – 867.3 mm/a.

Finalmente los puntos de descarga, que en ocasiones surgen a la superficie formando manantiales, o recargando las aguas superficiales de lagos, quebradas y ríos que finalmente desembocan al mar.



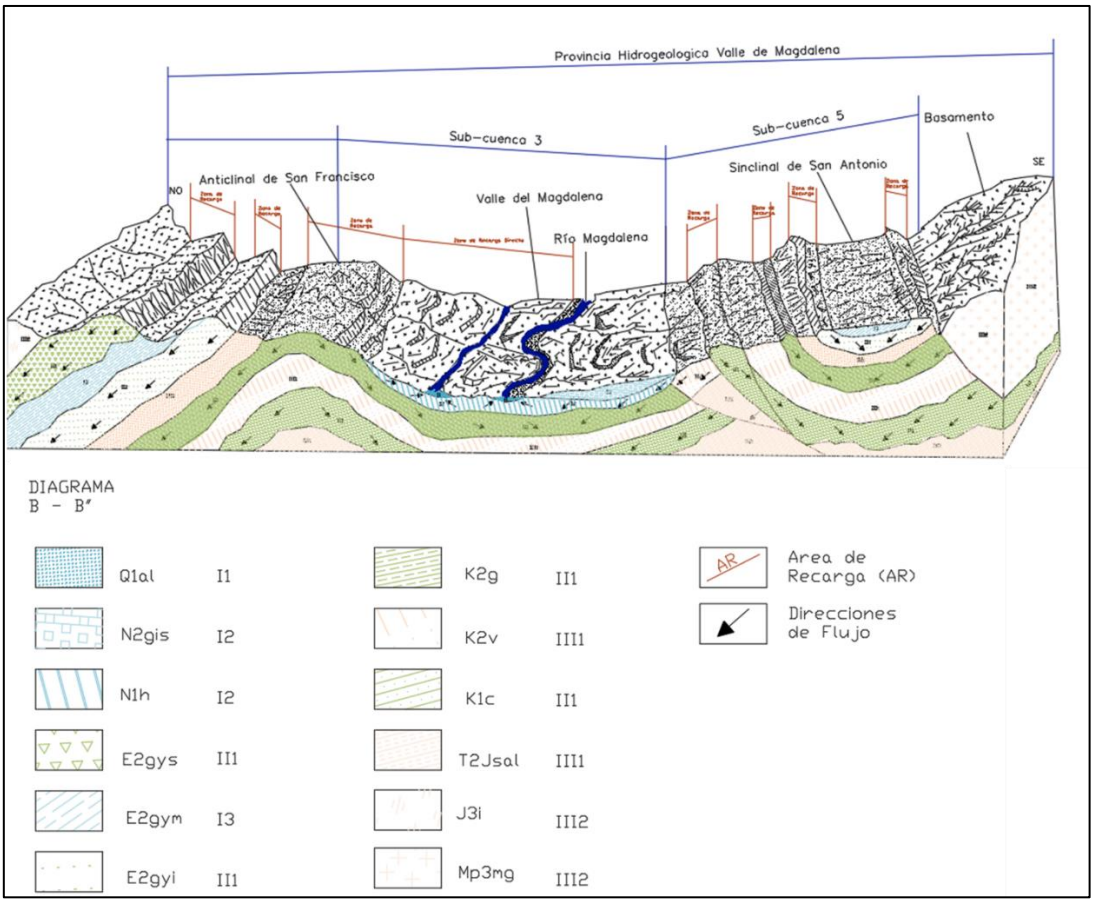


Ilustración 190 Modelo Hidrogeológicos Región Norte, Diagrama B-B´

- **Sub-cuenca – 3 Valle del Magdalena**: Como se explicó en el ítem anterior 2.8.5.10.2, lo conforma la geo forma del Valle del Río Magdalena con un área aproximada de 1977 Km^2, en donde se encuentran Depósitos Cuaternarios hasta las Formaciones de edades Cretácicas.

El bloque diagrama B-B`, se puede observar que el amplio Valle de magdalena presenta una zona de recarga en el flanco oriental del Anticlinal de San Francisco el cual mediante sus rocas premiables se infiltra el agua hasta alcanzar grandes profundidades recargando los acuíferos más profundos.

A partir de los espesores saturados de las unidades hidrogeológicas de interés, su porosidad eficaz y el área que abarca el valle del Magdalena, se estimaron las reservas estáticas de 1.057 Km^3 aproximadamente. Para el cálculo de las reservas dinámica se considera la recarga potencial por precipitación que ingresan anualmente al sistema de acuífero, que para el caso específico del Sinclinal de Media Luna se valoran para un mínimo de 91 mm/año y un máximo 131 mm/año de esta forma se puede pensar que las reservas dinámicas en el área del Valle del Magdalena es de 0,259 Km^3/año, y un caudal explotable de 27,35 Km^3 a aclarando que se trata del caudal téorico que se puede extraer de los recursos disponibles de un acuífero, sin alterar el régimen de explotación establecido por la autoridad ambiental competente.

- **Sub-cuenca – 5 Sinclinal de San Antonio**: delimitada por la estructura del sinclinal de San Antonio, con un área de 126 Km^2, donde se encuentran los acuíferos de la Formación Gualanday Superior, la cual se encuentra confinado por las rocas de la Formación Gualanday medio, seguidamente se presenta el acuífero de la Formación Gualanday inferior, confinado entre las rocas de la Formación Gualanday medio y las rocas de la Formación Seca. Inmediatamente se escueta el acuífero del Grupo Guadalupe confinado por las rocas de la Formación Seca y las rocas del Grupo Villeta.

  En cuanto a la zona de recarga cuando la percolación en un año seco supere 0.01-412.06 mm/a, año húmedo 0.01 – 1731.42 mm/a, promedio anual 0.01 – 867.3 mm/a en los materiales permeables aflorantes en los flancos del anticlinal contiguo al sinclinal de San Antonio y las zonas de alta densidad de fracturamiento próximas a las fallas, mediante las cual agua ingresa agua al sistema recargando los acuíferos más profundos.

  A partir de los espesores saturados de las unidades hidrogeológicas de interés, su porosidad eficaz y el área que abarca la estructura del Sinclinal de San Antonio, se estiman que las reservas estáticas son de 33 Km^3 aproximadamente. Para el cálculo de las reservas dinámica se considera la recarga potencial por precipitación que ingresan anualmente al sistema de acuífero, que para el caso específico del Sinclinal de San Antonio se valoran un mínimo de 130 mm/año y un máximo 160 mm/año de esta forma se puede pensar que las reservas dinámicas en el área de la estructura son de 0,019 Km^3/año, y un caudal téorico explotable de 0,0625 Km^3 al caudal que se puede extraer de los recursos disponibles de un acuífero, sin

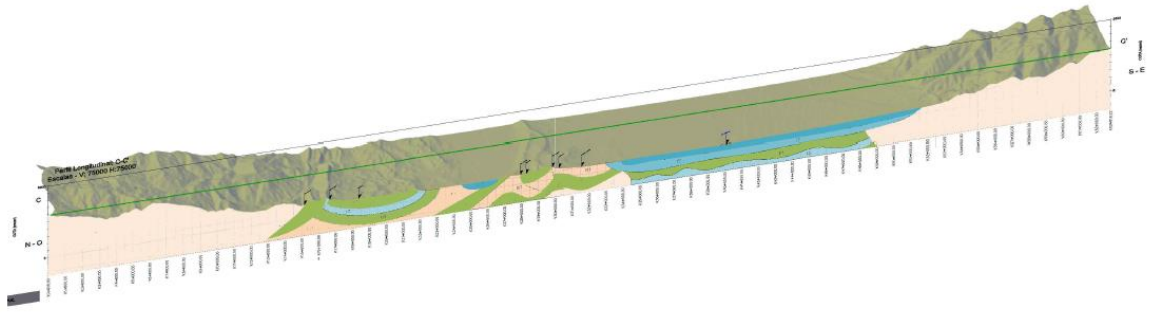
alterar el régimen de explotación establecido por la autoridad ambiental competente.

7.1.5.2.1.3 Diagrama en Bloque C-C´:

La sección C – C´ tiene dirección NO – SE perpendicular a las estructuras geológicas, donde se representa la sub-cuenca 3 Valle del Magdalena, descrita anteriormente y la sub-cuenca 6 delimitadas principalmente por la estructura del Sinclinales de Palermo.

Las zonas de recarga están definidas a partir cuando la percolación esn año seco supere 0.01- 412.06 mm/a, año húmedo 0.01 – 1731.42 mm/a, promedio anual 0.01 – 867.3 mm/a. y las características litológicas de los materiales que permiten el paso del agua infiltrando y percollando hasta alcanzar grandes profundidades, también son consideradas como zonas de recarga los altos topográficos y los flancos de los anticlinales contiguos a ambos lados del sinclinal de Palermo, y las zonas de falla y el área de alta densidad de fracturamiento.

Finalmente se presentan los puntos de descarga, que en ocasiones surgen a la superficie formando manantiales, o recargando las aguas superficiales de lagos, quebradas y ríos que finalmente desembocan al mar.



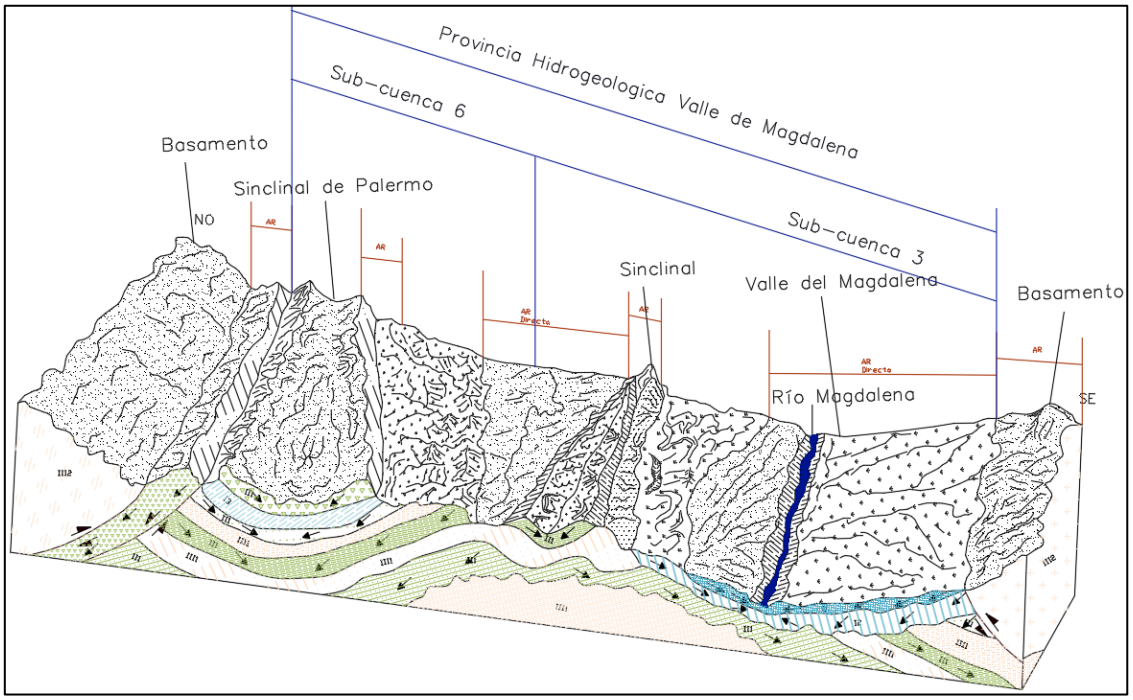


Ilustración 191 Modelo Hidrogeológicos Región Norte, Diagrama C-C´

- **Sub-cuenca – 3 Valle del Magdalena**: El bloque diagrama C-C`, se puede observar que el amplio Valle de Magdalena presenta acuíferos libres, los cuales presenta recarga directa por precipitaciones.

- **Sub-cuenca – 6 Sinclinal de Palermo**: delimitada por la estructura del sinclinal de Palermo, con un área de 112 Km^2, donde se encuentran los acuíferos de la Formación Gualanday Superior, la cual se encuentra confinado por las rocas de la Formación Gualanday medio, seguidamente se presenta el acuífero de la Formación Gualanday inferior, confinado entre las rocas de la Formación Gualanday medio y las rocas de la Formación Seca.

  En cuanto a la zona de recarga se identifica los materiales permeables aflorantes en los flancos del anticlinal contiguo al sinclinal de Palermo donde cuando la percolación esn año seco supere 0.01- 412.06 mm/a, año húmedo 0.01 – 1731.42 mm/a, promedio anual 0.01 – 867.3 mm/a y las zonas de alta densidad de fracturamiento próximas a las fallas, mediante porosidad secundaria ingresa agua al sistema recargando los acuíferos más profundos.

  A partir de los espesores saturados de las unidades hidrogeológicas de interés, su porosidad eficaz y el área que abarca la estructura del Sinclinal de San Antonio, se estiman que las reservas estáticas son de 33 Km^3 aproximadamente. Para el cálculo de las reservas dinámica se considera la recarga potencial por precipitación que ingresan anualmente al sistema de acuífero, que para el caso específico del

Sinclinal de San Antonio se valoran un mínimo de 162 mm/año y un máximo 201 mm/año de esta forma se puede pensar que las reservas dinámicas en el área de la estructura son de 0,020 Km^3/año, y un caudal téorico explotable de 0,0483 Km^3 al caudal que se puede extraer de los recursos disponibles de un acuífero, sin alterar el régimen de explotación establecido por la autoridad ambiental competente.

7.1.5.3 Región Hidrogeológica Centro:

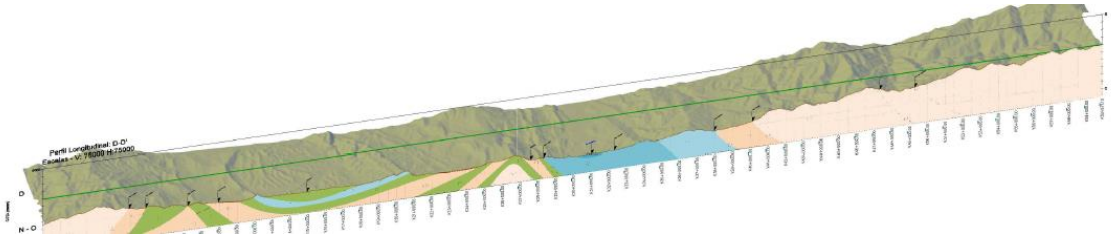
Lo conforman los acuíferos, zonas de recarga y descarga presentes en los Municipios de Garzón, Altamira, El Pital, El Agrado y Gigante, en donde se priorizan los acuíferos más someros es decir, los acuíferos de la libres de los Depósitos Cuaternarios y los acuíferos semi-confinados a confinados de la Formación Gigante, Grupo Honda. También se observa en esta región se presentan estructuras favorables para el almacenamiento potencial de agua subterránea como lo es el pliegues del sinclinales de Garzón.

- **Sub-Cuenca -7 Sinclinal de Garzón:** A partir de los espesores saturados de las unidades hidrogeológicas de interés, su porosidad eficaz y el área que abarca el valle del Magdalena, se estimaron las reservas estáticas de 1.057 Km3 aproximadamente. Para el cálculo de las reservas dinámica se considera la recarga potencial por precipitación que ingresan anualmente al sistema de acuífero, que para el caso específico del Sinclinal de Media Luna se valoran para un mínimo de 91 mm/año y un máximo 131 mm/año de esta forma se puede pensar que las reservas dinámicas en el área del Valle del Magdalena es de 0,259 Km3/año, y un caudal explotable de 27,35 Km^3 a aclarando que se trata del caudal que se puede extraer de los recursos disponibles de un acuífero, sin alterar el régimen de explotación establecido por la autoridad ambiental competente.

7.1.5.4 Región Hidrogeológica Occidente:

Lo conforman los acuíferos, zonas de recarga y descarga presentes en los Municipios de La Plata, Paicol, Tesalia, Nátaga. El cortes hidrogeológicos D-D´ y diagramas en bloque D-D´, esquematizan el Modelo Hidrogeológico Conceptual para dicha región hidrogeológica en donde se priorizan los acuíferos más someros es decir, los acuíferos de la libres de los Depósitos Cuaternarios, y las estructuras favorables para el almacenamiento potencial de agua subterránea como lo es el pliegues del sinclinales de Tesalia en el cual se almacena las mayores reservas de agua subterránea.

El Modelo Hidrogeológico Conceptual de la Región Occidente se representa mediante el bloque diagrama D - D`, donde se muestra en términos generales el funcionamiento de los sistemas acuíferos en 3 dimensiones ilustrando en profundidad los acuíferos de carácter regional y local identificados, así como las zonas de recarga, tránsito y descarga del agua subterránea en la Región Occidente.



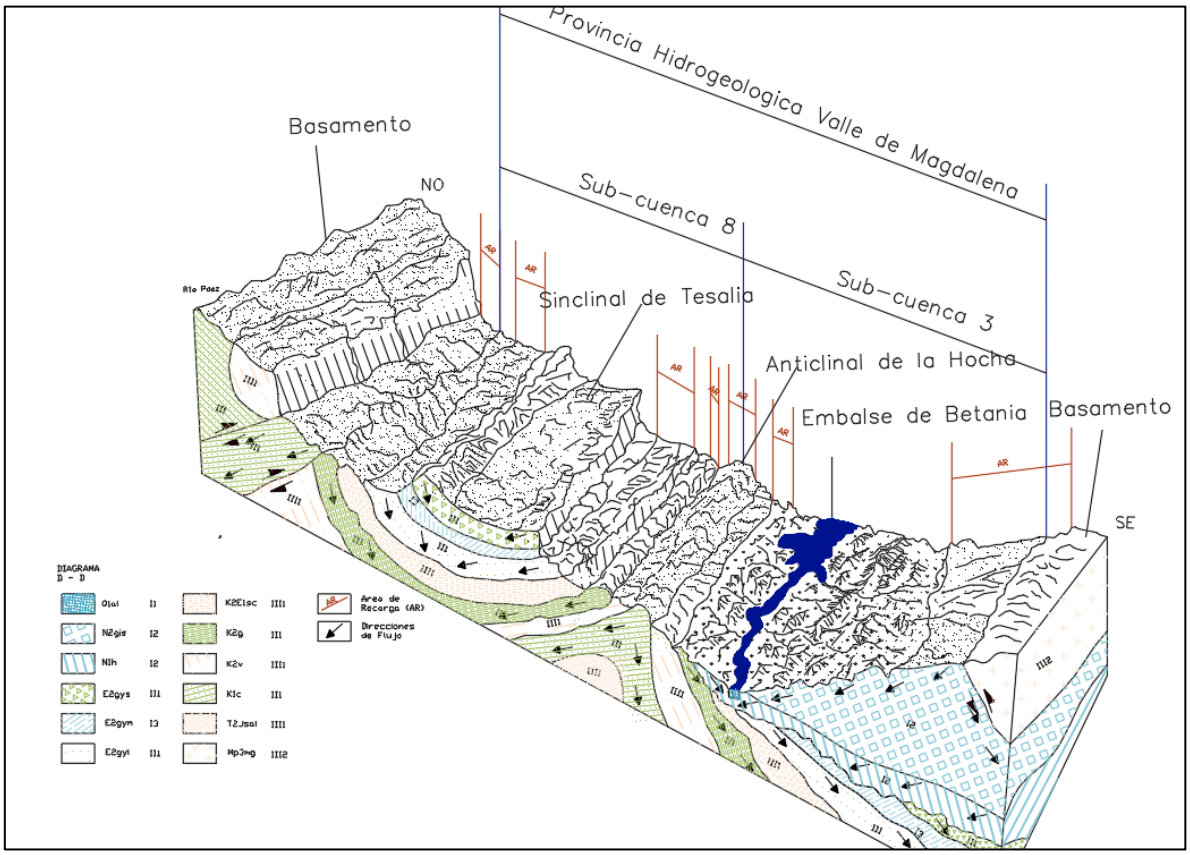


Ilustración 192 Modelo Hidrogeológicos Región Occidente Diagrama D-D´

- **Sub-cuenca – 8 Sinclinal de Tesalia**: delimitada por la estructura del sinclinal de Tesalia, con un área de 472 Km^2, donde se encuentran los acuíferos de la Formación Gualanday Superior, la cual se encuentra confinado por las rocas de la Formación Gualanday medio, seguidamente se presenta el acuífero de la Formación Gualanday inferior, confinado entre las rocas de la Formación Gualanday medio y las rocas de la Formación Seca.

  En cuanto a la zona de recarga se identifica los materiales permeables aflorantes en el flanco occidental del anticlinal de La Hocha y las zonas de alta densidad de fracturamiento próximas a las fallas, mediante las cual agua ingresa agua al sistema recargando los acuíferos más profundos.

A partir de los espesores saturados de las unidades hidrogeológicas de interés, su porosidad eficaz y el área que abarca la estructura del Sinclinal de Tesalia, se estiman que las reservas estáticas son de 324 Km^3 aproximadamente. Para el cálculo de las reservas dinámica se considera la recarga potencial por precipitación que ingresan anualmente al sistema de acuífero, que para el caso específico del Sinclinal de San Antonio se valoran un mínimo de 147 mm/año y un máximo 162 mm/año de esta forma se puede pensar que las reservas dinámicas en el área de la estructura son de 0,077 Km^3/año, y un caudal explotable de 2,47 Km^3 al caudal que se puede extraer de los recursos disponibles de un acuífero, sin alterar el régimen de explotación establecido por la autoridad ambiental competente.

7.1.5.5 Región Hidrogeológica Sur:

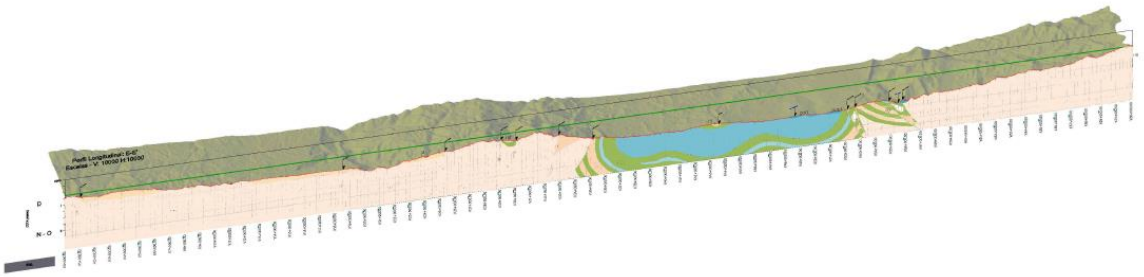
En la región sur se encuentran tres principales estructuras de interés como los son el sinclinal de Tarqui como su nombre lo indica en el Municipio de Tarquí, El Valle de laboyos en el Municipio de Pitalito, y el Sinclinal de Palestina también se observa una pequeña estructura próxima a la plata pero por ser un escala regional no se identifica no se logra detallar en el presente estudio por lo tanto se sugiere un estudio más local para lograr un mayor detalle, es decir se sugiere un estudio de mayor detalle al sur del Huila ya que se presenta escasez de datos.

A continuación se describen las estructuras más resaltantes desde el punto de vista de interés hidrogeológico en esta región:

7.1.5.5.1.1 Diagrama en Bloque E-E´:

- **Sub-Cuenca Sinclinal de Tarquí:**

  Es una estructura de gran potencial hidrogeológico ya que su litología y su gran extensión a real y de potentes espesores puede almacenar gran cantidad de agua subterránea. Desde la progresiva K34+000 hasta K57+000, se presenta un conjunto de fallas inversas las cuales por efecto de los esfuerzos tectonicos forma el pliegue la estructura del geosinclianl de Tarquí en doden se pliegan la secuencias de rocas de edades cretácias, Plaeógenas y Neógenas (K1c,K2v,K2g,K2E1Sc, E2gyi,E2ym,E2gs, N1h, N2Q1g). Esta estructura se considera de gran importancias desde el punto de vista hidrogeologico, ya que la estructura cumple con las condiciones ideales para el almacenamiento de agua subterranea y por su priviligiada localización se ubica en la zona donde la recara por presipitacion supera los 1730mm año.



7.1.5.5.1.2 Diagrama en Bloque F-F´:

- **Sub-cuenca Sinclinal de Palestina:**

Es una estructura cóncava ideal para el almacenamiento de agua subterránea, la cual presenta materiales permeables como son las areniscas del Grupo Guadalupe (K2g), y las rocas areniscas conglomera ticas de la Formación Caballos (K1c), las cuales se presentan confinadas por los estratos impermeables de las Formaciones Seca y el Grupo Villeta (K1K2v), respectivamente. La recarga del sistema se asocia a la las fallas regionales como son las fallas del silencio y Villa Lobos, que por porosidad secundaria actúan como un canal conductor que permite la entrada de agua al sistema acuífero. También se identifican como zonas de recarga en los altos topográficos de las cabeceras de la Cuenca cuando la percolación esn año seco supere 0.01- 412.06 mm/a, año húmedo 0.01 – 1731.42 mm/a, promedio anual 0.01 – 867.3 mm/a. El área de recarga los positivos topográficos (Charnela de anticlinales) que direccionan el agua que descarga en los bajos topográfico adyacente (estructuras del sinclinal) alimentando el acuífero. Es importante mencionar que en el área de estudio se encuentra influenciado por la tectónica en donde se observan falla de carácter regional y local que generan una porosidad secundaria las rocas denominadas como basamento hidrogeológico permitiendo que circule flujos de agua subterráneas en los primeros metros de profundidad en estos materiales impermeables. Además teniendo en cuenta la condiciones climáticas y atmosféricas los fenómenos de intemperismo formando una capa de meteorizada que pueden alcanzar 30m de espesores, lo que facilita el movimiento de flujos de agua subterránea, finalmente la dirección de flujo locales fueron asumidos en dirección donde se tiene evidencias de aguas superficiales como son los cuerpos de agua superficiales de manantiales y drenajes tributarios del Río Guarapas. (Ver **Ilustración 194**)

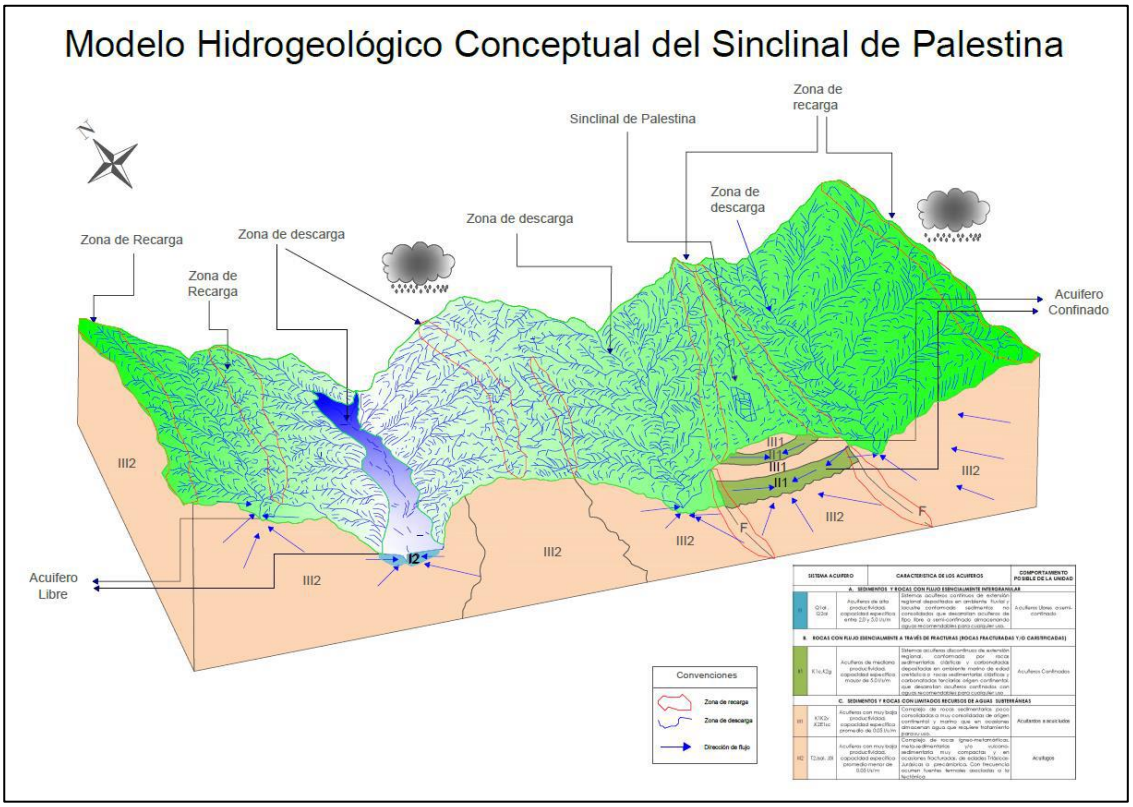


Ilustración 193 Modelo Hidrogeológicos Región sur Municipio Palestina Sinclinal de palestina Diagrama F-F´

1.1.2.1.1.1 Diagrama en Bloque G-G´:

- **Sub-cuenca Valle de Laboyos**

  Se encuentra dentro del área de la Cuenca del Río Guarapas y lo conforma la geoforma de planicie donde se disponen los Depósitos Fluviolacustres, los cuales presentan una alternancia de material fino como son arcillas y limos intercalados con capas de arenas y gravas que facilitan el almacenamiento de aguas subterráneas. Este sistema es catalogado como acuíferos libres a semi-confinados y presentan caudales entre 2,0 y 5,0 l/s/m. En la zona de recarga se estipula principalmente un sistema de recarga directa sobre el amplio Valle de Laboyos, en donde el aguas de las precipitaciones infiltran los primeros metros del subsuelo alimentando el acuífero. También se identifican como zonas de recarga en los altos topográficos de las cabeceras de la Cuenca y en el piedemonte donde se encuentran los ápices de los abanicos aluviales. Es importante mencionar que en el área de estudio se encuentra influenciado por la tectónica en donde se observan falla de carácter regional y local que generan una porosidad secundaria las rocas

Denominadas como basamento hidrogeológico permitiendo que circule flujos de agua subterráneas en los primeros metros de profundidad en estos materiales impermeables. Además teniendo en cuenta la condiciones climáticas y atmosféricas los fenómenos de intemperismo formando una capa de meteorizada que pueden alcanzar 30m de espesores, lo que facilita el movimiento de flujos de agua subterránea, finalmente la dirección de flujo locales fueron asumidos en dirección preferencial NW, donde se tiene evidencias de aguas superficiales como son los cuerpos de agua superficiales de manantiales, el Río Guarapas y el Río Guachicos.

En la Ilustración 194 se muestra el Diagrama en bloque del Modelo Hidrogeológico Conceptual del Valle de Laboyos, en donde se identifica el sistema de acuífero semi-confinado a confinado sobre los Depósitos Fluviolacustre (Q1fl) y se identifican las principales zonas de recarga consideradas zonas de zonas de protección y zonas de descargas evidenciados en cuerpos de agua superficial.

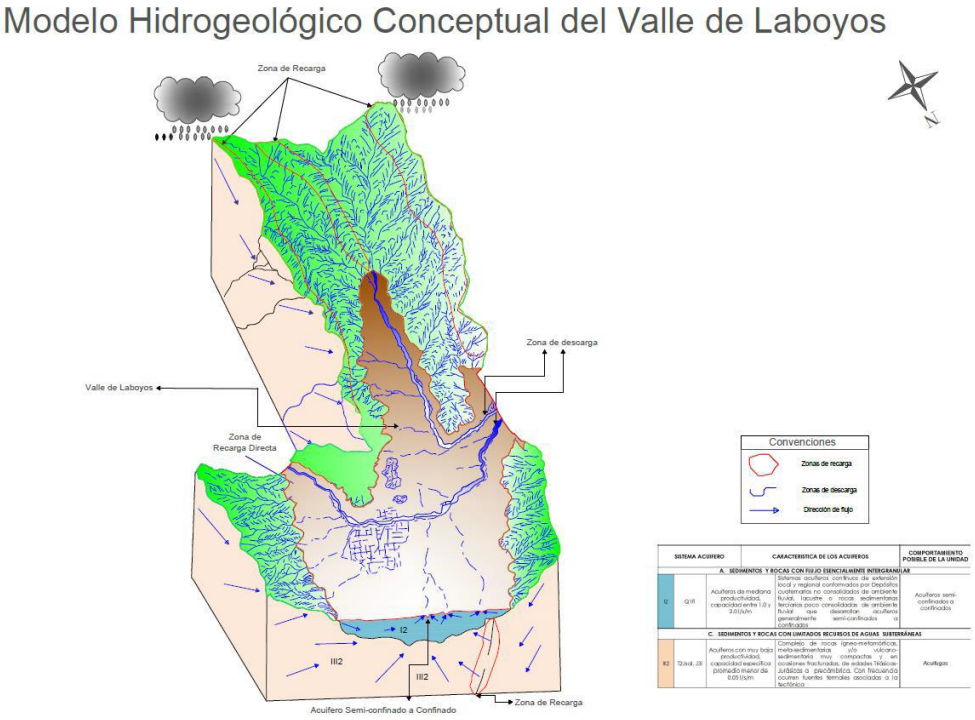


Ilustración 194 Modelo Hidrogeológicos Región sur Municipio Pitalito Diagrama G-G´

En la zona del Departamento se logra para la delimitación de las zonas de recarga, se utiliza la información existente de la topografía, suelos, vegetación, geología (con

información estructural de zonas de fallas, diaclasas, fracturas), y mapas de Isopiezas y recarga potencial por precipitación cuando la percolación esn año seco supere 0.01-412.06 mm/a, año húmedo 0.01 – 1731.42 mm/a, promedio anual 0.01 – 867.3 mm/a. Esta información puede fue evaluada con la ayuda de sistemas de información geográfica, de la cual se determina que las zonas de especial protección

Se establece las zona estratégica de recarga se encuentran en las cabeceras de la Cuenca y en el piedemonte donde se encuentran los ápices de los abanicos aluviales, así como la planicie del Valle de Laboyos donde se presenta zonas de recarga directa. El área de recarga en un alto topográfico (Charnela de anticlinales) que descarga en un bajo topográfico adyacente (estructuras del sinclinal de Palestina) y los planos de fallas se consideran áreas especial protección, ya que mediante estas estructuras se logra infiltrar el agua hasta mayores profundidades alimentando los acuíferos más profundos.

Se sugiere realizar un estudio detallado al Sur del Departamento del Huila como lo es el Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos (PMAA) al Sur del Departamento del Huila para la proteción reservación y el adecuado uso de estos imprtantes sistemas acuiferos identificados.

A continución se presentan un breve resumen del comportamiento hidraulicos de algunos de los mateiales presentes en el estudio.

7.2 DEPÓSITOS CUATERNARIOS (Q)

7.2.1 1 – 20 METROS DE PROFUNDIDAD

Se caracteriza por su potencial acuífero de poder almacenar y trasmitir agua, se clasifica dentro de los grupos de acuíferos libres.

7.2.1.1 Depósitos de Abanicos antiguos y/o terrazas altas (Q1al)

Tabla 68 parámetros hidráulicos Q1al

Depósitos de Abanico antiguo y/o Terraza alta Polígono (Q1al)							
sistema Captación de 1 a 20 m		Caudales (Q) Lts/seg	Conductividad (K) m/dia	Almacenamiento (S)	Específica (CE) Lts/seg/m	Transmisividad (T) m2/Dia	usos
P-1 Q1al (147 puntos)	V mínimo	0,01	0,75	0,09	0,2	6,99	Agrícola (4) Comercial (9) Domestico (18) Industrial (64) Sin información (52)
	V. promedio	1,25	9,5		0,69	31,5	
	V. máximo	6,7	27,05		1,38	79,05	

Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

Los depósitos cuaternarios de abanicos antiguos y/o terrazas altas de los polígonos Q1al se encuentran ubicados en los municipios de Neiva, Campoalegre, Rivera, Palermo,

Hobo, Yaguara, Garzón, Gigante y Villavieja, se determinaron valores promedio de las características hidráulicas de esta unidad acuífera somera, que se muestran en la Tabla 68, dentro del análisis de los valores de cada uno de los parámetros hidráulicos se establecieron puntos con valores atípicos en propiedades de conductividad hidráulica (K) con valores de 180 y 204 m/día muy por encima de la media de valores reportados, estos valores puntuales se encuentran en el municipio de Riviera, específicamente en la RADIO SUR COLOMBIANA Y LA HACIENDA LA PANORAMA, de igual manera se establecieron puntos atípicos en cuantificación de capacidad específica, con valores de 2.81 y 10.16 Ltrs/seg/m, ubicados en el municipio de Neiva, precisamente en los establecimientos DE SERVI AUTOS LA 64 Y LA INDUSTRIA LECHERA DEL HUILA.

Tabla 69 valores atípicos depósitos Q1al

Identificación	Municipio	Nombre Sito	Profundidad	Conductividad	CE	USO ACTUAL
323_IV_C_005	Rivera	Radio Sur Colombiana	8	180	0	sin_info
323_IV_C_008	Rivera	HACIENDA PANORAMA	6	204	0	sin_info
RCA_3_18_2013	Neiva	Industria Lechera del Huila	9,4	24,78	2,81	Industrial
RCA_3_006_2011	Neiva	Serviautos_la_64	12	1,71	10,16	Industrial

Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

Esta unidad está compuesta por depósitos no consolidados de arcillas, limos, arenas y gravas, materiales porosos que mediante la interconexión de los granos permiten el flujo de corriente de agua trasversal y vertical, según su comportamiento hidráulico se clasifican como sistema de acuífero libre a semiconfinados, estos depósitos se estiman con un espesor de 150 175 m

7.2.1.2 Depósitos de Abanico resiente y/o terrazas medias y bajas (Q2al)

Tabla 70 parámetros hidráulicos Q2al

Depósitos de Abanico resiente y/o terraza medias y bajas polígono (Q2al)							
sistema Captación de 1 a 20 m		Caudales (Q) Lts/seg	Conductividad (K) m/dia	Almacenamiento (S)	Específica (CE) Lts/seg/m	Transmisividad (T) m2/Dia	usos
P-2 Q2al (75 puntos)	V. mínimo	0,05	1,4	0,09	1,43	36	Agrícola (7) Comercial (2) Domestico (2) Industrial (14) Sin información (50)
	V. promedio	1,52	119		2,4	58	
	V .máximo	8,2	119		3,42	93	

Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

Los depósitos cuaternarios de abanicos resientes y/o terrazas medias y bajas de los polígonos Q2al se encuentran ubicados en los municipios de Baraya, Campoalegre, Neiva, Palermo, Rivera, Tello y Villavieja, se determinaron valores promedio de las características hidráulicas de esta unidad acuífera somera, que se muestran en la Tabla 70, dentro del análisis de los valores de cada uno de los parámetros hidráulicos se establecieron puntos con valores atípicos en propiedades de Transmisividad (T) con

valores de 6.12 y 16.33 m2/día muy por debajo de la media de valores reportados, estos valores puntuales se encuentran en el municipio de Neiva, específicamente en LOS PREDIOS LA GOAS Y LOS LAURELES.

Tabla 71 valores atípicos depósitos Q2al 1 – 20 m

Identificación	Municipio	Nombre Sito	Profundidad (m)	T (m2/día)	C. Almacenamiento	USO ACTUAL
323_IV_B_066	Neiva	Goas	0	6,12	<0.1	Industrial
323_IV_B_081	Neiva	Los Laureles	0	16,33	<0.1	Sin info

Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

Estas unidad está compuesta por depósitos no consolidados de arcillas, limos, arenas finas, materiales porosos que mediante la interconexión de sus granos permiten el flujo de corriente de agua trasversal y vertical, según su comportamiento hidráulico se clasifican como sistema de acuífero libre, estos depósitos se estiman con un espesor de 40 a 50 metros

7.2.2 MAYORES A 20- METROS DE PROFUNDIDAD

Tabla 72 parámetros hidráulicos Q1al > a 20 metros

Depósitos de Abanico antiguo y/o Terraza alta Polígono (Q1al)							
sistema Captación > a 20 m		Caudales (Q) Lts/seg	Conductividad (K) m/día	Almacenamiento (S)	Específica (CE) Lts/seg/m	Transmisividad (T) m2/Día	usos
P-1 Q1al (87 puntos)	V mínimo	0,02	2,85	0,03	0,05	5,4	Abandonado (6) Agrícola (6) Domestico (33) Industrial (14) Sin información (9)
	V. promedio	1,75	7.8	0,07	0,57	65.5	
	V. máximo	7	18,3	0,09	1.53	233	

Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

Los depósitos cuaternarios Qal se encuentran ubicados en los municipios de Neiva, Campoalegre, Rivera, Palermo, Hobo, Yaguara, se determinaron valores promedio de las características hidráulicas de esta unidad acuífera, que se muestran en la Tabla 72,Dentro del análisis de los valores de cada uno de los parámetros hidráulicos se establecieron puntos con valores atípicos en propiedades de caudal donde se establecieron valores de 13.05 y 50 litros/segundo presentes estos en los predios EL SANTUARIO, EN EL MUNICIPIO DE RIVIERA y CLUB LOS LAGOS – COMFAMILIAR, EN EL MUNICIPIO DE PALERMO, también se reportaron valores irregulares con 18.3 y 121.18 m/día muy por encima de la media de los valores reportados en conductividad hidráulica (K), estos ubicados en el municipio de Riviera, precisamente en el predio EL SANTUARIO y ESCUELA TECNOLÓGICA DE NEVIA, de igual manera se estableció un punto atípico en cuantificación de capacidad específica, con un valor de 54 Ltrs/seg/m, ubicado en el municipio de Hobo, precisamente en el predio HACIENDA LA BRASILIA.

Tabla 73 valores atípicos Depósitos cuaternarios (Qal) 20 – 200 m.

ID	Municipio	Nombre del Sitio	Prof_m	Q (l/s)	K (m2/dia)	CE	CA	USO ACTUAL
RCA_3_28_2016	Rivera	EL_SANTUARIO	0	50	18,3	1,53	0	Agrícola
RCA_3_038	Palermo	Comfamiliar Club Los Lagos"	150	13,05	8,43	0,2	0	Domestico
RCA_3_015_2013	Rivera	ESCUELA TECNOLÓGICA DE NEIVA	90	2	121,18	1,37	0	Domestico
	Hobo	Hacienda Brasilia	80	1,5	0	54	0	Domestico

Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

En estos depósitos se establece como profundidad tope 150 a 175 metros y se determina su presencia de manera regional en todo el Departamento del Huila, con alto interés hidrogeológico para la explotación de agua subterránea, aunque se establece que este tipo de depósitos, ofrecen la posibilidad de almacenar y trasmitir gran cantidad del agua que recibe, ya sea de infiltración vertical o transmisión lateral.

Los depósitos cuaternarios del área del área de estudio están compuestos por depósitos de Abanico resiente y/o terrazas medias y bajas (Q2al), depósitos de Abanicos antiguos y/o terrazas altas (Q1al), depósitos aluviales (Qalr), depósitos lahares (Ql), estos depósitos se estiman como no consolidados, altamente permeables y con alta capacidad para almacenar y trasmitir agua, en la Ilustración 195 se muestran las depósitos que hacen parte de las de la unidades cuaternarias, así como la georeferencia de los puntos de captación tipo aljibe o pozo que sustraen agua de estas formaciones geológicas que sirvieron como referente para caracterizar hidráulicamente estos depósitos; cabe resaltar, que los depósitos Q1al y Q2al son los que cuentan con la mayor cantidad de información, el resto de depósitos (Qalr, Ql, Qc) se estiman con comportamientos hidráulicos similares a los depósitos Qal 1 y 2, se evaluaron 362 puntos para la caracterización de los depósitos no consolidados, de los cuales 255 se establecieron para sistemas de captación tipo aljibe ya que su máxima profundidad de construcción no supera los 20 metros y 107 puntos para sistemas de captación tipo pozo profundo con profundidades de construcción mayor a 20 metros

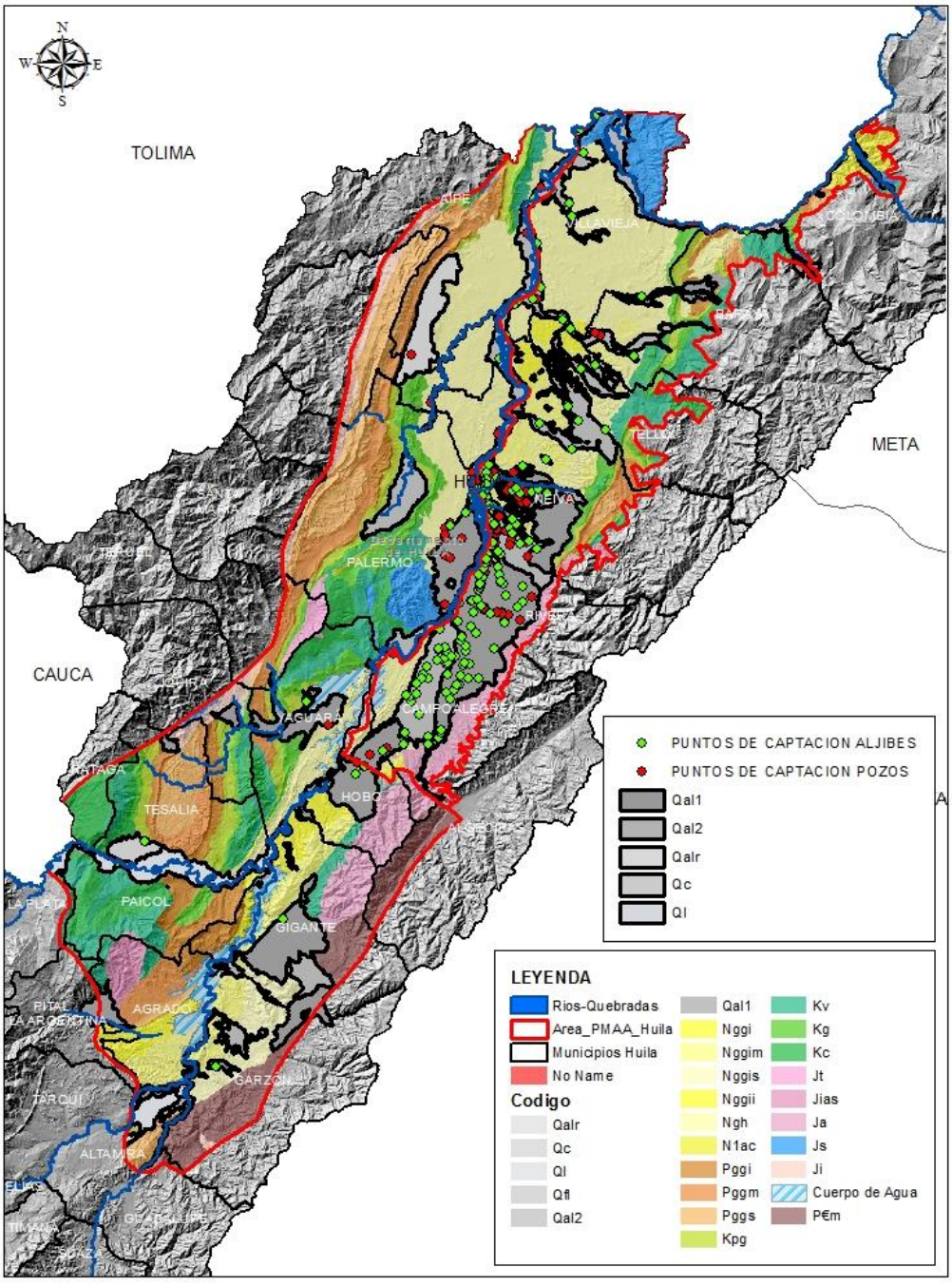


Ilustración 195 depósitos cuaternarios con georeferencia de sistemas de captación tipo pozos profundos y aljibes.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

7.3 DEPÓSITOS FLUVIOLACUSTRES (Q1fl)

De 5.25 – 135 Metros de profundidad se caracterizan estos depósitos con potencial acuífero de poder almacenar y trasmitir agua, se clasifica dentro del grupo de acuíferos libres a semiconfinados

Tabla 74 parámetros hidráulicos Q1fl

Depósitos de Abanico antiguo y/o Terraza alta Polígono (Q1fl)							
Categorización		**Caudales (Q) Lts/seg**	**Conductividad (K) m/dia**	**Almacenamiento (S)**	**Específica (CE) Lts/seg/m**	**Transmisividad (T) m2/Dia**	**usos**
Q1fl (8 puntos)	**V mínimo**	0,09	2	0,09	0,22	14.4	Abastecimiento(3) Agropecuario(2) Domestico (2) Industrial (6) Sin Formación (21)
	V. promedio	0.64	12.5		0,65	26.3	
	V. máximo	1.5	20.4		1,3	40.9	

Fuente: Consorcio Pitalito, 2017

Esta unidad está compuesta por depósitos que rellenan áreas relativamente cerradas o cuencas intramontaña evidenciando la ocurrencia sucesiva de flujos de escombros no consolidados de arcillas, limos, arenas y gravas, materiales porosos que mediante la interconexión de los granos permiten el flujo de corriente de agua trasversal y vertical, según su comportamiento hidráulico se clasifican como sistema de acuífero libre a semiconfinados, estos depósitos se estiman con un espesor de 115 a 120 m

7.4 FORMACIÓN GIGANTE (N2gii)

7.4.1 1 – 20 METROS DE PROFUNDIDAD

Tabla 75 parámetros hidráulicos Formación Gigante N2gii

Arenas_tobaceas_y_pumiticas_grises_cenizas_y_vonlcanicas_arcillolitas_grises Polígono (N2gii)							
sistema Captación de 1 a 20 m		**Caudales (Q) Lts/seg**	**Conductividad (K) m/dia**	**Almacenamiento (S)**	**Específica (CE) Lts/seg/m**	**Transmisividad (T) m2/Dia**	**usos**
P-3 N2gii (79 puntos)	**V. mínimo**	0,05	0,9	0,09	0,1	5	Abandonado (1) Agrícola (4) Comercial (4) Domestico (25) Industrial (33) Sin información (13)
	V. Promedio	2,15	17	0,31	1,2	59,4	
	V. máximo	23,5	71	1,4	4,5	193	

Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

La formación gigante en su miembro medio está compuesta por Arenas tobaceas y pumiticas, grises cenizas y volcánicas arcillolitas grises,. ubicados en los municipios de Baraya, Neiva, Tello y Villavieja, se determinaron valores promedio de las características hidráulicas de esta unidad acuífera, que se muestran en la Tabla 75,Dentro del análisis de los valores de cada uno de los parámetros hidráulicos se establecieron puntos con valores atípicos en propiedades de Capacidad Especifica (CE) con valores de 11.33 ltr/seg/m por

encima de la media de valores reportados, estos valores puntuales se encuentran en el municipio de Neiva, específicamente en EL PREDIO MOLINOS ROA

Tabla 76 valores atípicos Formación gigante medio (N2gii) 1 – 20 m

Identificación	Municipio	Nombre Sito	Profundidad	CE (ltr/seg/m)	CE	USO ACTUAL
RCA_3_017_2014	Neiva	MOLINOS_ROA	16,85	11,33	18,52	Industrial y Agrícola

Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

7.4.2 MAYORES A 20 METROS DE PROFUNDIDAD

Tabla 77 parámetros hidráulicos Formación Gigante medio N2gii 20 – 200 m

Fm_Gigante_Medio_Arenas_tobaceas_y_pumiticas_grises_cenizas_y_vonlcanicas_arcillolitas_grises Polígono (N2gii)							
sistema Captación > a 20 m		Caudal (Q) Lts/seg	Conductividad (K) m/día	Almacenamiento (S)	Específica (CE) Lts/seg/m	Transmisividad (T) m2/Dia	usos
P-1 (N2gii) (24 puntos)	V. mínimo	0,36	1,7	no reporta	0,6	25	Abandonado (3)Comercial (2) Domestico (9) Industrial (9) Sin información (2)
	V. promedio	5.4	5,5		1.06	58	
	V. máximo	20.4	9,3		1.66	85	

Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

las características hidráulicas de esta unidad acuífera en profundidades mayores a 20 metros se muestran en la Tabla 77,Dentro del análisis de los valores de cada uno de los parámetros hidráulicos se establecieron puntos con valores atípicos en la propiedad de Transmisividad (T) con valores de 118 y 290 m2/día por encima de la media de valores reportados, estos valores puntuales se encuentran en el municipio de Neiva, específicamente en EL PREDIO LA JUGUA 2 y PEÑO REDONDO.

Tabla 78 valores atípicos Formación gigante medio (N2gii) 20 – 200 m

Identificación	Municipio	Nombre sitio	Prof_m	Caudal (l/s)	T (m2/dia)	Abatimiento	USO ACTUAL
323_II_D_025	Neiva	LA_JAGUA_2	80	4,11	118	5,16	Domestico
0	Neiva	PEÑO_REDONDO	259	11	290	2,72	Domestico

Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

Constituido por tobas, arenas y clastos de rocas intrusivas, material poco consolidado que en condiciones de saturación permite la conducción de flujos de agua subterránea, se clasifica como acuífero semiconfinado a confiando, se estableciéndose como una unidad de alto interés para su exploración y explotación en recurso hídrico subterráneo, ya que se encuentra a niveles poco profundos (espesores alrededor de 500 metros) lo que ofrece viabilidad para proyectos de utilización de estos recursos.

La litología de esta unidad acuífera está areniscas, conglomerados y arcillolitas, que afloran en algunas partes del Departamento del Huila especialmente en la zona urbana de Neiva, los municipios de Hobo, Gigante y Garzón, las rocas de este acuífero están

plegadas dando origen a un sistema de anticlinales y sinclinales, lo que crea un ambiente favorable para el almacenamiento y transmisión de agua de manera lateral.

Se establece que esta formación se puede encontrar a unos 200 metros de profundidad según la columna estratigráfica que la sitúa debajo de los depósitos cuaternarios que oscilan un espesor de 175 metros y consecutivamente se encuentra el techo de la formación gigante en su parte más superficial, establecido por las pruebas de geofísica, se determina un espesor de alrededor de 200 a 220 metros del miembro medio de la formación gigante y 240 a 280 metros su miembro inferior , con excelente potencial de explotación de agua subterránea por su alta capacidad de Transmisividad.

Esta formación se encuentra dividida por miembros (superior, medio, inferior) acostuniacion se resalta un breve resumen litológico de cada uno de estos miembros

Nivel Superior (N2giis): Principalmente conglomerados inequigranulares, matriz soportados con clastos de granodioritas, granitos, granulitas, gneises migmatíticos, ignimbritas, pórfidos andesíticos a dacíticos, dacitas, tobas, chert y cuarzo. Se intercalan con capas de areniscas de grano fino a muy grueso y arcillolitas grises y amarillas (INGEOMINAS, 1999).

Nivel Medio (N2giim): Secuencia volcanoclástica de capas paralelas entre sí, poco consolidadas, constituidas de intercalaciones de tobas, pumitas y conglomerados polimícticos. Los niveles pumíticos y tobáceos varían su tamaño entre ceniza y lapilli, con fragmentos angulosos de pómez y vidrio. En los niveles arenosos y conglomeráticos, se observan fragmentos líticos de rocas extrusivas de composición intermedia, chert, cuarzo, rocas intrusivas y fragmentos de gneis y esquisto entre subangulosos y subredondeados (INGEOMINAS, 1999).

Gigante inferior (N2giii): Se presentan conglomerados de clastos parcialmente seleccionados, subredondeados, inequigranulares de chert, cuarzo y fragmentos de rocas extrusivas todo esto en una matriz areno-lodosa pobremente seleccionada.Estas rocas se encuentran intercaladas con areniscas lodosas y conglomeráticas mostradas como lentes con estratificación cruzada, presentan concreciones y bioturbación, así como también con capas de arcillas varicoloreadas (INGEOMINAS, 1999).

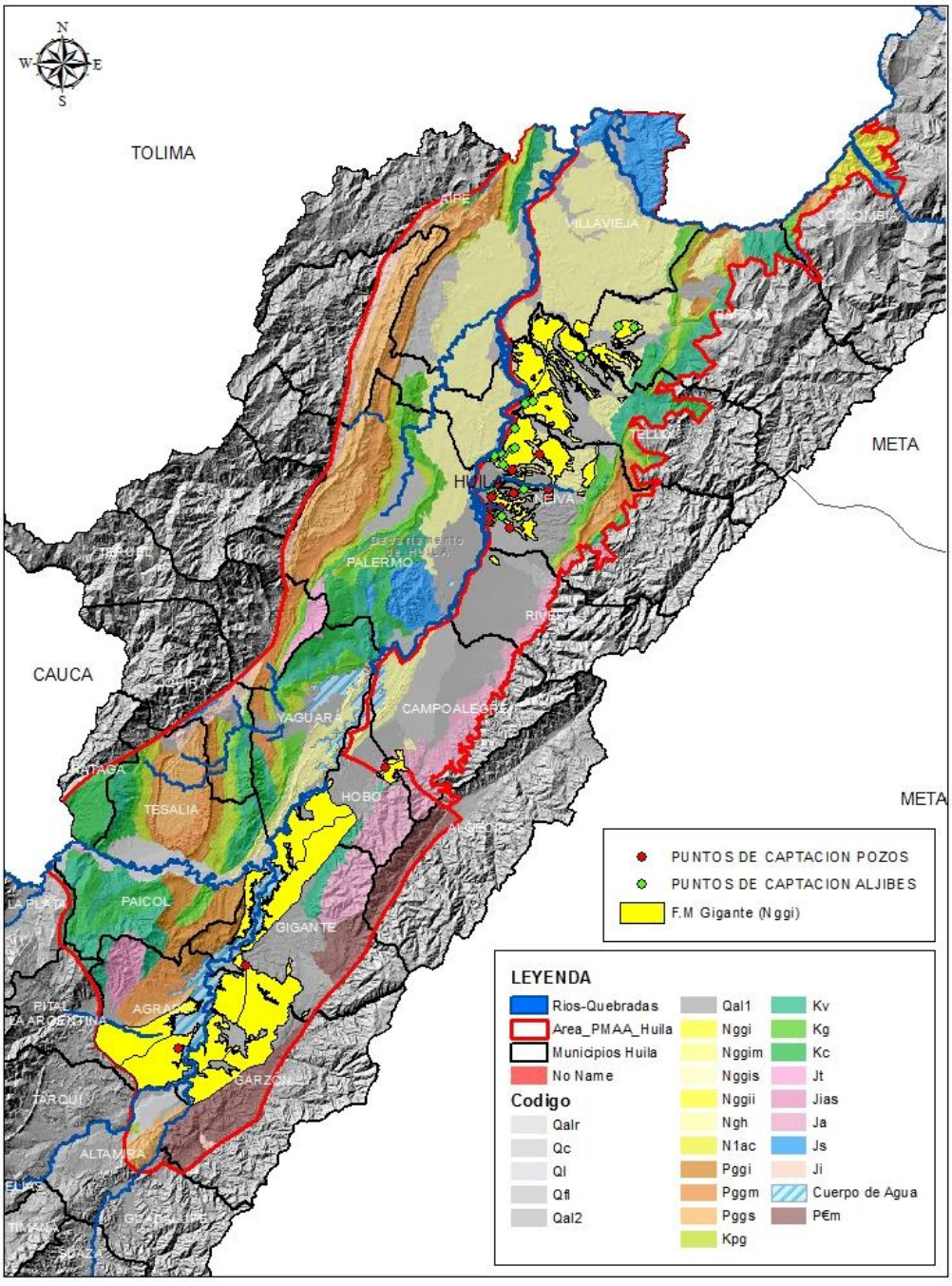


Ilustración 196 formación Gigante (N2gii) con georeferencia de sistemas de captación tipo pozos profundos y aljibes.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

7.5 GRUPO HONDA (N1h).

7.5.1 1 – 20 METROS DE PROFUNDIDAD

Dentro de la caracterización de esta formación se establecieron 341 puntos de captación de agua subterránea de los cueles 128 se definieron como tipo aljibe y 113 como tipo pozo profundo, estos con información de características hidráulicas que sirvieron como insumo para realizar la caracterización hidráulica de la formación Honda.

Tabla 79 parámetros hidráulicos Formación Honda (N1h) 1 – 20 m

Secuencia_de_areniscas_conglomeraticas_de_color_gris_intercalaciones_arcillolitas_rojizas Polígono (N1h)							
sistema Captación de 1 a 20 m		Caudales (Q) Lts/seg	Conductividad (K) m/día	Almacenamiento (S)	Específica (CE) Lts/seg/m	Transmisividad (T) m2/Dia	usos
P-4 N1h (128 puntos)	V .mínimo	0,01	6,61	<0,001	0,23	2,83	Agricola (4) Comercial (5) Domestico (22) Industrial (27) Sin información (74)
	V .promedio	1,41	12,5		0,75	23,5	
	V. máximo	5,2	21,5		1,45	74,5	

Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

El Grupo Honda está compuesta por una secuencia de areniscas y conglomerados de grano fino que presentan niveles calcáreos intercalados en forma de nódulos de tamaño variado, también se presentan intercalaciones con rocas arcillosas rojizas, tobas y areniscas tobáceas,. ubicados en los municipios de Aipe, Baraya, Campoalegre, Neiva, Palermo, Tello y Villavieja, se determinaron valores promedio de las características hidráulicas de esta unidad acuífera, que se muestran en la Tabla 79,Dentro del análisis de los valores de cada uno de los parámetros hidráulicos se establecieron puntos con valores atípicos en Transmisividad (T) con valores de 395 y 867.9 m2/día muy por encima de la media de valores reportados, estos valores puntuales se encuentran en los municipio de Palermo y Campoalegre específicamente en los predios EL ANDAQUIES Y ENCIERRO CONALPIEL en el caso Palermo LA PROCESADORA DE PESCADO ALFAPEZ DE HUILA en el municipio de Campoalegre, adicionalmente los predios de ALFAPEZ Y CONALPIEL, evidencian valores atípicos en su capacidad especifica reportando 7.04 ltr/seg/m por encima de los valores máximos reportados para este parámetro.

Tabla 80 valores atípicos Formación Honda (N1h) 1 – 20 m.

Identifi_1	Municipio	Nombre Sitito	Prof_ m	T m2/dia	Conductiviidad m3/dia	CE ltr/seg/m	USO ACTUAL
323_IV_A_024	Palermo	Andaquies	15,44	395	0	0	Domestico
RCA_3_009	Campoalegre	Procesadora de pescado de Huila ALFAPEZ	9	867,9	0	7,04	industrial
RCA_3_20_2014	Palermo	ENCIERRO CONALPIEL	8	867,9	0	7,04	Domestico
RCA_3_005_2011	Aipe	QUIMONSA LTDA Ingenieros Contratistas (El Mirador)	16,6	14,23	0,95	0,34	Domestico

Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

Predominan las arcillolitas moderadamente consolidadas, con intercalación de areniscas conglomeraticas de grano muy grueso y conglomerados de chert de fragmentos redondeados, que permiten el almacenamiento, adicional su recarga principal es por infiltración.

Se estima que esta formación en la zona del desierto de la Tatacoa, alcanza espesores entre 1000 a 1060 metros, con paquetes potententes de arcillolita que confinan los estratos de roca arenisca, siendo estos estratos de interés hidrogeólogo.

7.5.2 MAYORES A 20 METROS DE PROFUNDIDAD

Tabla 81 parámetros hidráulicos Formación Honda (N1h) > a 20 m

Gr. Honda Secuencia de areniscas conglomeraticas de color gris intercalaciones arcillolitas rojizas Polígono (N1h)							
sistema Captación > a 20m		Caudal (Q) Lts/seg	Conductividad (K) m/día	Almacenamiento (S)	Específica (CE) Lts/seg/m	Transmisividad (T) m2/Dia	USOS
P-1 (N1h) (113puntos)	V. mínimo	0,04	1,12	0,00044	0,27	2,8	Abandonado (3)Agropecuario (5) Domestico (16) Industrial (34) Sin información (33)
	V. Promedio	4.9	3.03	0,0028	0.75	53,5	
	V. Máximo	22	6.4	0,01	1.67	153,5	

Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

Los puntos de captación con profundidad mayor a 20 metros presentes sobre los afloramientos del Grupo Honda en la parte norte del Departamento del Huila, se encuentran ubicados en los municipios de Aipe, Baraya, Neiva, Palermo y Villavieja, basado en estos sistemas de captación se determinaron valores promedio de las características hidráulicas de la unidad acuífera, que se muestran en la Tabla 81,Dentro del análisis de los valores de cada uno de los parámetros hidráulicos se establecieron puntos con valores atípicos en capacidad especifica con 9.66 Ltrs/seg/m, muy por encima de la media de valores reportados para esta característica en particular lo que deja establecer que este punto en concreto puede estar captando probablemente de un horizonte de conglomerados, que bien sea por su alta permeabilidad o espacios presentes entre partículas permiten el alto flujo del agua en este sitio, esto puntualmente se evidencia en el predio con coordenadas E:862055 y N:814765, ubicado en el municipio de Palermo.

adicionalmente en el municipio de Palermo los predios de COOPERATIVA PARA LA COMERCIALIZACIÓN, IMPORTACIÓN Y EXPORTACIÓN DE PRODUCTOS AGRÍCOLAS COFFE COMPANY HUILA Y WEATHERFORD COLOMBIA LTDA, evidencian valores atípicos en su Conductividad hidráulica reportando valores de 20.88 y 206.53 m/día muy por encima de los valores máximos reportados para este parámetro, lo que permite concluir que la captación en estos puntos se está dando sobre una capa de conglomerados que permiten que el agua fluya por los poros o vacíos del esqueleto mineral del material.

Tabla 82 valores atípicos Formación Honda (N1h) 20 – 200 m

Identificación	Municipio	Nombre Sitio	Prof m	Cauda L/s	T m2 dia	Conductivi	Capacidad	USO ACTUAL
RCA 3 003	Palermo	Cooperativa para la Comercialización, Importación y Exportación de Productos Agrícolas COFFE COMPANY HUILA	24,33	1,38	54,55	20,88	1,49	Domestico
RCA 3 035 2010	Palermo	WEATHERFORD COLOMBIA LTDA	130	2,2	80,55	206,53	9,66	Industrial

Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

Este sistema acuífero se estima con un espesor en su afloramientos más superficiales entre 200 a 250 metros con una profundidad tope máxima de 1100 metros, este Grupo es de gran interés de hidrológico para su explotación. Ya que dentro de la misma formación se encuentran capas que fungen como sellos inferiores y superiores de arcillas, donde en medio de ellas se encuentran estratos con capacidad de almacenar y trasmitir agua, se estima como unidad semiconfianda a confinada por su baja capacidad específica, pero alta capacidad para transmitir.

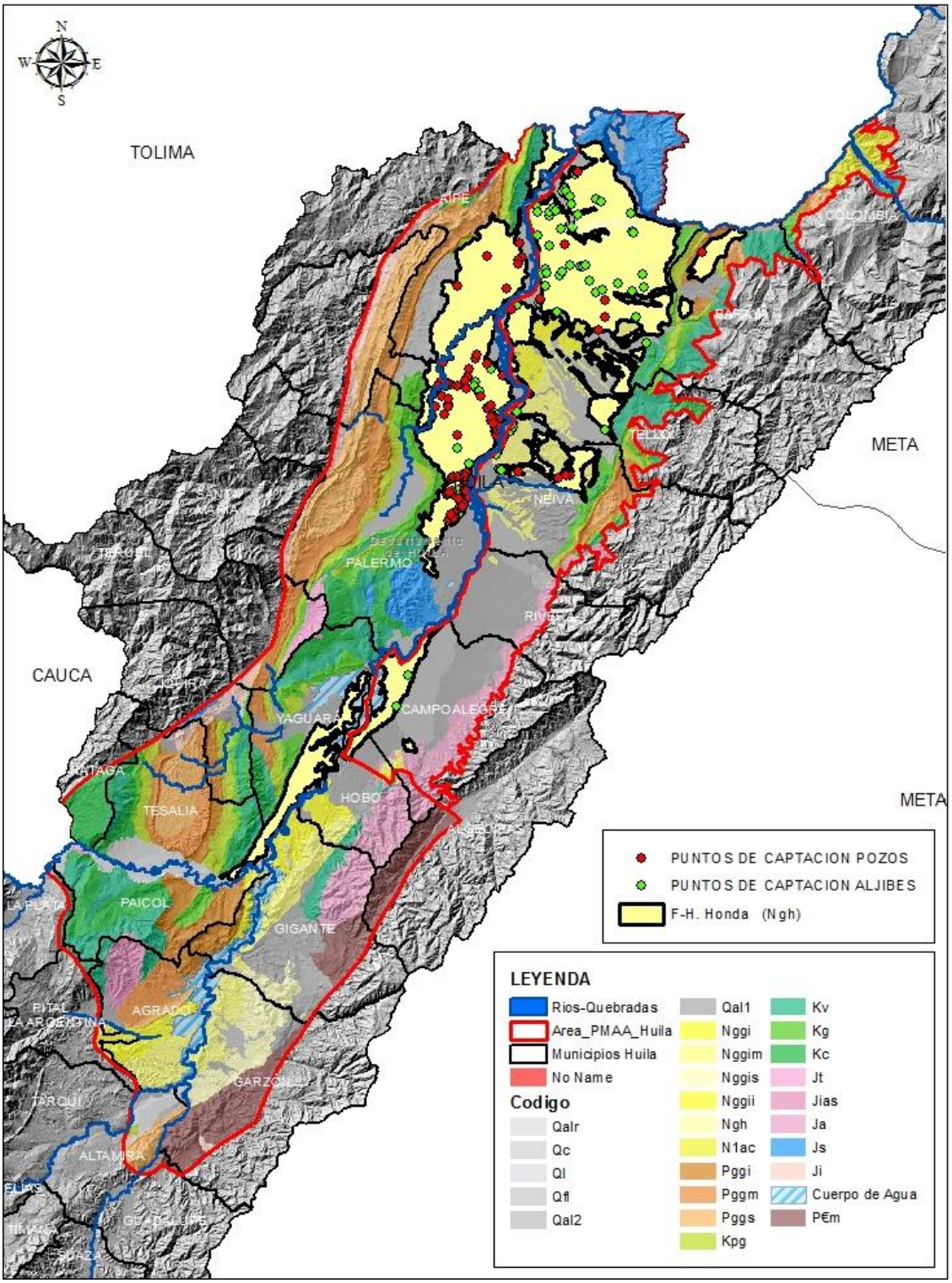


Ilustración 197 Formación Honda (N1h) con georeferencia de sistemas de captación tipo pozos profundos y aljibes.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

8. ANÁLISIS DE LA OFERTA Y LA DEMANDA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

8.1.1 ANÁLISIS DE LA OFERTA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Para cuantificar la oferta de agua subterránea, se realizó el cálculo de las reservas estáticas y dinámicas existentes en el área de estudio, y así estimar un volumen de los recursos hídricos subterráneos, aprovechados actualmente en los acuíferos del Departamento del Huila y sus posibilidades de explotación futura.

Para el cálculo de las reservas estáticas de agua subterránea, se determinó un espesor saturado promedio del acuífero de cada uno de los sistemas y una porosidad eficaz acorde a las formaciones geológicas en estudio.

Partiendo del modelo geológico se analizaron las principales estructuras para la delimitación geométrica de las provincias hidrogeológicas, las cuales se subdividen en sub cuencas limitadas por el cierre de las estructuras geológicas.

Del análisis de los cortes geológicos transversales (A-A´, B-B´, C-C´, D-D`, E-E´; F-F´, G-G´) presentados en el Anexo B-3 Perfiles Geológicos ERA se estimaron los espesores aproximados de cada una de las formaciones geológicas de interés hidrogeológico

Se utilizaron las siguientes expresiones para definir las reservas estáticas, dinámicas y explotables:

Tabla 83 Ecuaciones cálculo de reservas acuíferos Departamento del Huila

parámetro	formula	Variables
R. Estáticas	$Q_{estáticas} = A \cdot \overline{E_{Saturado}} \cdot n_{eficaz}$	Q estáticas: Reservas estáticas de agua subterránea (m^3) A= Área en superficie del acuífero (m2) E saturado= Espesor saturado promedio (m) n eficaz: Porosidad eficaz
R. Dinámicas	$Q_{dinámicas} = R \cdot A$	Q dinámicas: Reservas estáticas de agua subterránea (m^3/año) R: Recarga anual m/año A= Área en superficie del acuífero (m2)
R. Explotable	$Q_{explotables} = K_1 \cdot Q_{dinámicas} \; x \; K_2 \cdot Q_{estáticas}$	Q explotables: Reservas explotables de agua subterránea (Km^3) K1, K2: porcentajes de uso, generalmente inferiores al 100% Q dinámicas: Reservas estáticas de agua subterránea (Km3) Q estáticas: Reservas estáticas de agua subterránea (Km3).

8.1.1.1 RESERVAS ESTÁTICAS.

Según el mapa de sistemas de acuíferos se establecieron las áreas de alto interés hidrogeológico, principalmente donde se ubican las zonas de potencial almacenamiento de agua subterránea, estas áreas se definieron previamente basadas en los lugares donde se presentan estructuras tipo sinclinal, siendo estas propicias para almacenar agua por su disposición estructural.

A partir de esas zonas se establecieron las reservas estáticas potenciales del área de estudio como se evidencia en la Tabla 84.

Tabla 84 Espesores Formaciones geológicas de interés Hidrogeológico

Formación Geológica	Simbología	Resistividad (Ohm-m)	Espesor promedio de la unidad (m)	Espesor promedio de potencial Acuífero (m)
Depósitos Cuaternarios	Qalr	>300	-	-
	Q2c	2 – 300	1 - 145 (variable)	-
	Q2lh	29 - 240	75-250 (Variable)	-
	Q2al	18 - 224	200 – 250	
	Q1fl	2 - 100	150	10
	Q1al	12 - 283	175 - 250	200
Fm. Gigante	N2gim	6 - 267	500	220
	N2gii	9 – 240		125
Grupo. Honda	N1h	4 – 281	1000	300
Grupo Gualanday	E2gys	10 - 500		1300
	E2gym	2 – 364	3000	200
	E2gyi	13 - 659		1000
Fm. Guacacallo	N2Q1g	10- 100	230	30
Fm. Seca	K2E1sc	17 – 408	120 – 400	150
Grupo Guadalupe	K2g	5 – 40	200	150
Grupo Villeta	K2v	10 - 108	450	100
Fm. Caballos	K1c	100 - 672	650	630
Fm. Saldaña	T2Jsal	>100	-	-
Macizo de Garzón	Mp3mg	>500	-	-

Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

Estos espesores definen el espacio disponible para el almacenamiento del agua, en cada una de las formaciones que hacen parte de las estructuras sinclinales, cabe resaltar que no todas las formaciones caracterizadas anteriormente tienen la capacidad de almacenar agua, estas funcionan como capas impermeables que confinan el agua en los estratos almacenantes, estos estratos impermeables se categorizan de acuicludos a acuifugos.

Con base a estos espesores y la identificación de los sistemas estructurales presentes en la zona de estudio y caracterización litológica, se definieron 15 zonas de alto potencial de almacenamiento de agua subterránea, las cuales se muestran en la Ilustración 198.

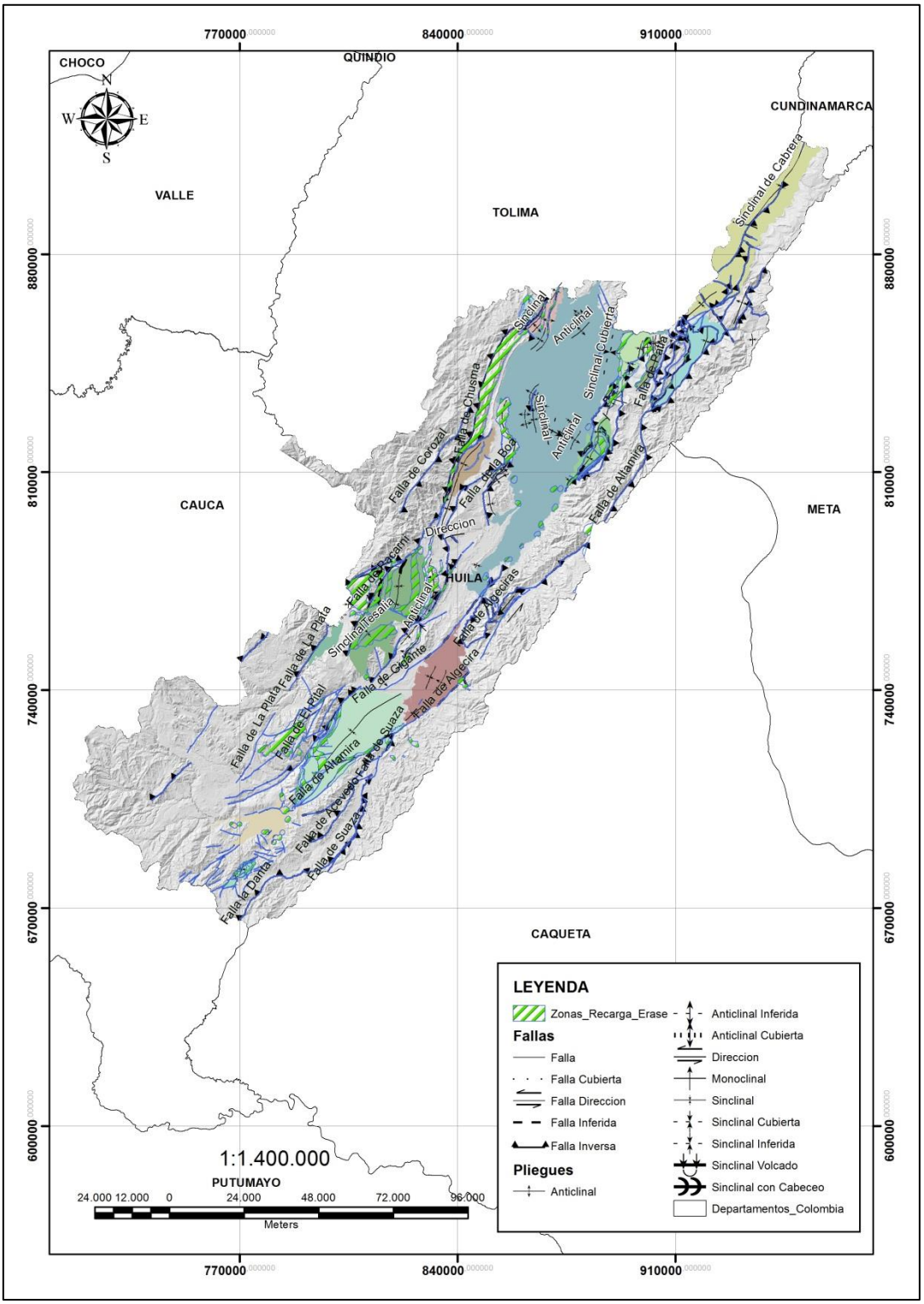


Ilustración 198 Zonas de potencial almacenamiento de agua subterránea
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

Con la identificación de estas zonas de potencial almacenamiento se determinaron las reservas estáticas estimadas para el área de estudio.

Tabla 85 Áreas potencialmente almacenadoras.

Zona	Área (Km2)	Área (Ha)	Área (m2)
Sinclinal de Bogonia	38,8	3875,302976	38.753.030
Sinclinal de Tesalia	472,5	47247,80342	472.478.034
Sinclinal de Tivoli	126,0	12601,77705	126.017.770
Sinclinal de Media luna	36,5	3652,364584	36.523.646
Sinclinal de Cabrera	557,0	55695,71743	556.957.174
Valle de Rio Magdalena	1977,3	197725,2733	1.977.252.733
Sinclinal de Palermo	112,1	11212,68855	112.126.886
Sinclinal de Garzón	290,2	29017,90618	290.179.062
Sinclinal de Cabaña	76,7	7673,337461	76.733.375
Sinclinal de San Antonio	126,4	12642,54373	126.425.437
Sinclinal de Potrero Grande	142,3	14225,5163	142.255.163
Sinclinal de Tarqui	625,0	62502,59972	625.025.997
Sinclinal de Palestina	34,0	3400,091199	34.000.912
Depósitos de Laboyos	166,7	16670,2676	166.702.676
Depósitos de la Plata	46,3	4626,502385	46.265.024

Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

De estas zonas se determinaron cada uno de los espesores de las formaciones que se encuentran dentro de la estructura sinclinal, estableciendo cuales de estas formaciones podrían almacenar agua, cuales podían trasmitirla y no almacenarla y cuales eran totalmente impermeables todo esto basados en la litología de estas, con el fin de estimar los espesores potenciales para almacenar agua de cada una de las formaciones, además de esto se estimaron valores promedios de la porosidad eficaz que podría tener cada una de las formaciones según ENA 2010. (IDEAM, 2010a) como se evidencia en la Tabla 86

Tabla 86 valores porosidad eficaz según litología

Porosidad efectiva o rendimiento específico (%)					
Material	**Walton 1970**	**Johnson 1967**	**Rodríguez 1984**	**USGS 1987**	**Sanders 1998**
Arcilla	1 a 10	0 a 5	0 a 3	2	
Arcilla arenosa		3 a 12			
Arena	10 a 30			22	
Arena fina		10 a 28	18 a 22		10 a 28
Arena media		15 a 32	26 a 28		
Arena gruesa		20 a 35	27 a 30		22 a 35
Arena y grava	15 a 25	20 a 35	17 a 21		

Porosidad efectiva o rendimiento específico (%)					
Material	**Walton 1970**	**Johnson 1967**	**Rodríguez 1984**	**USGS 1987**	**Sanders 1998**
Arenisca	5 a 15			6	0,5 a 10
Arenisca semiconsolidada				19	
Grava	15 a 30				13 a 26
Grava fina		21 a 35	22 a 24		
Grava media		13 a 26	16 a 24		
Grava gruesa		12 a 28	17 a 22	18	
Caliza	0,5 a 5				
Calizas, dolomitas no carstificadas					0,5 a 10
Calizas, dolomitas carstificadas					5 a 40
Lutita	0,5 a 5		0 a 3		0,5 a 5
Limo		3 a 19			3 a 19
Granito				0,09	
Basalto				8	
Rocas ígneas					0,005 a 0,01

Fuente: ENA 2010. (IDEAM, 2010a)

Tabla 87 Estimados de porosidad formaciones geológicas.

NOMBRE	NOMENCLATURA	POROSIDAD TOTAL	POROSIDAD EFICAZ
Depósitos Coluviales	Q2c	20-50	10--28
Depósitos lacustres	Qlc	25-40	13-26
Depósitos de terraza baja	Q2al	21-50	22-35
Depósitos fluviolacustres	Q1fl	1--10	0,1
Depósitos de terraza alta	Q1al	21-50	22-35
Formación Guacacallo	N2Q1g	1--10	0,00005-0,01
Formación Gigante Superior	N2gis	21-50	22-35
Formación Gigante Medio	N2gim	20-50	10--28
Formación Gigante Inferior	N2gii	21-50	22-35
Arcillolitas de Colombia	N1ac	40-60	0-5
Grupo Honda	N1h	20-50	10--28
Formación Gualanday Superior	E2gys	5--35	0,5-10
Formación Gualanday Medio	E2gym	20-25	10--15
Formación Gualanday Inferior	E2gyi	5--35	0,5-10
Formación Seca	K2E1sc	40-60	0-5
Grupo Guadalupe	K2g	5--35	0,5-10
Grupo Villeta	K2v	1--10	0,5-5
Formación Caballos	K1c	5--35	0,5-10

Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

Con base en los estimados de área, espesor y porosidad eficaz de cada una de las formaciones con alto potencial hidrogeológico se determinaron las posibles reservas estáticas para el área de estudio del que se muestran en la Tabla 88.

Tabla 88 cálculo de reservas estáticas en la zona de estudio

Zona acuífera	Área zona acuífera (m2)	Espesor saturado promedio (m)	$\eta_(e)$	Q estáticas (km3)
Sinclinal de Bogonia	38.753.030	1528	8%	5
Sinclinal de Tesalia	472.478.034	1905	36%	324
Sinclinal de Tivoli	126.017.770	2866	9%	32
Sinclinal de Media luna	36.523.646	3027	4%	4
Sinclinal de Cabrera	556.957.174	3246	11%	206
Valle de Rio Magdalena	1.977.252.733	2796	19%	1057
Sinclinal de Palermo	112.126.886	2000	11%	24
Sinclinal de Garzón	290.179.062	726	84%	177
Sinclinal de Cabaña	76.733.375	2769	8%	17
Sinclinal de San Antonio	126.425.437	2919	9%	33
Sinclinal de Potrero Grande	142.255.163	3608	11%	59
Sinclinal de Tarqui	625.025.997	5355	17%	583
Sinclinal de Palestina	34.000.912	462	10%	2
Depósitos de Pitalito	166.702.676	238	13%	5
Depósitos de la Plata	46.265.024	1018	94%	44
Reservas estáticas totales del Departamento del Huila				2572

Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

8.1.1.2 RESERVAS DINÁMICAS

8.1.1.2.1 RECARGA POTENCIAL POR PRECIPITACIÓN

Para el cálculo de las recarga potencial que ingresan anualmente al acuífero, se toma en cuenta el valor de la recarga anual por precipitación, según lo enunciado en la guía metodológica para la formulación de planes de manejo ambiental de acuíferos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014), donde se han presentado expresiones empíricas para estimar la recarga a partir de la precipitación las cuales se muestran se **Tabla 89**.

Basados en el mapa de precipitación promedio multianual se determinaron los valoren en (mm/año) de recarga potencial para cada una de las zonas de interés hidrogeológico.

Tabla 89 recargas zonas de interés hidrogeológico zona de estudio

Autor	Expresión	Descripción
Cheeturvedi (Sinha y Sharma, 1988):	$r = 1.35\ (p - 14)^{0.5}$	Dónde: r es la recarga (pulg/año); y p es la precipitación (pulg/año).
Sehgal (1973)	$r = 2.5\ (p - 16)^{0.5}$	Dónde: r es la recarga (pulg/año); y p es la precipitación (pulg/año).

Fuente: (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014)

Mediante utilización de sistemas de información geográfica (SIG) se realiza el análisis hidrológico donde se obtuvo la precipitación total anual, como se muestra en la **Ilustración 199**

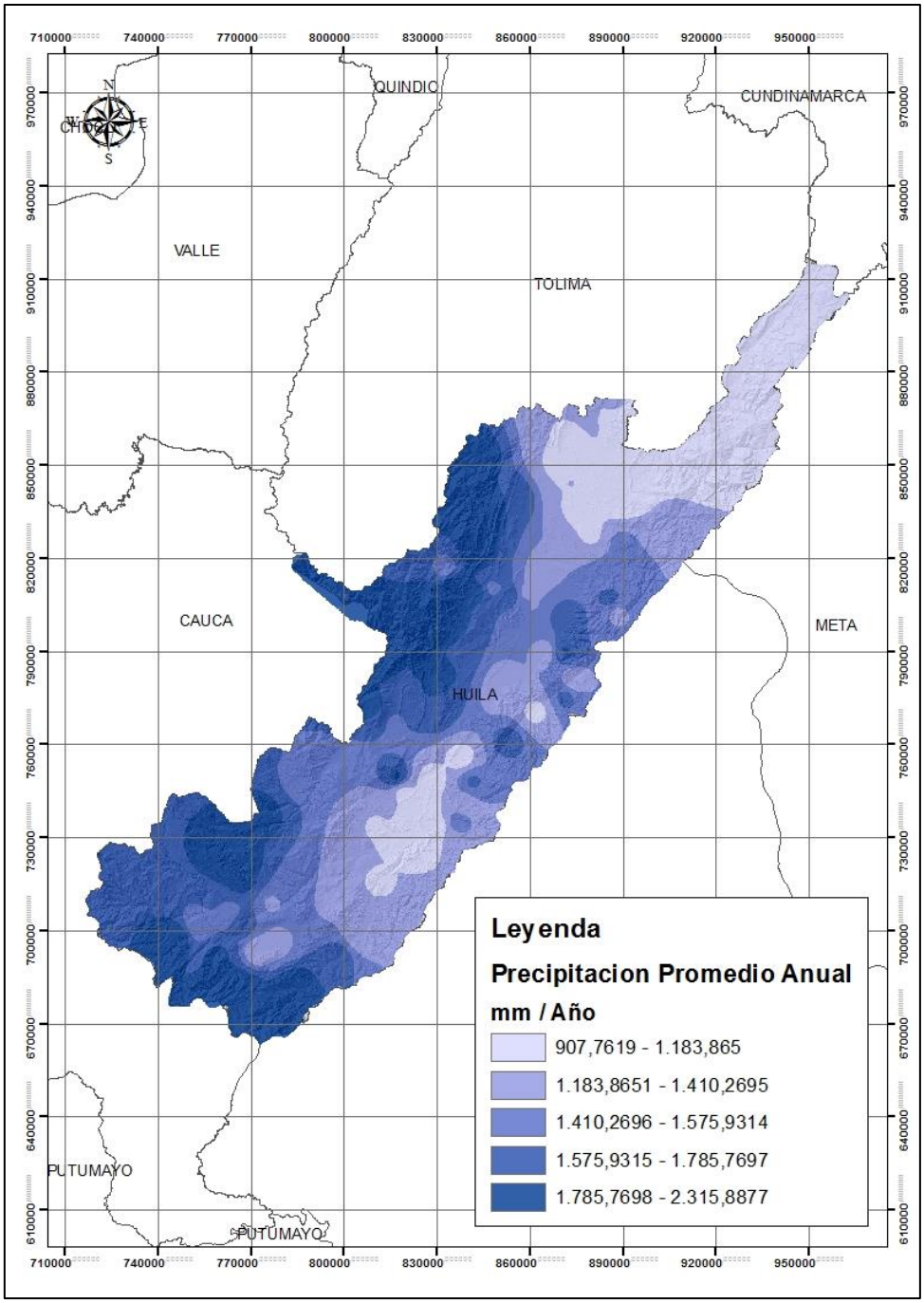


Ilustración 199 Mapa de precipitación total anual.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

8.1.1.2.1.1 Recarga según Cheeturvedi

De la expresión empírica de chereturvedi se obtiene que la recarga potencial corresponde a valores comprendidos entre el 2,6 % y el 4,5% de los valores extremos de precipitación observados en el Mapa de Precipitación Total Anual (908 – 2316 mm), con una distribución de las zonas de recarga heterogénea, resaltando que las zonas con mayor recarga corresponden a los municipios de Palestina, Salado blanco, Pitalito ,Aipe, Acevedo, Nataga, Iquira, Teurel, Palermo y en la parte noroeste del municipio de Neiva y las zonas de menor recarga corresponden a las zonas bajas sobre los Depósitos de terraza y Depósitos Coluviales.(ver **Ilustración 200**)

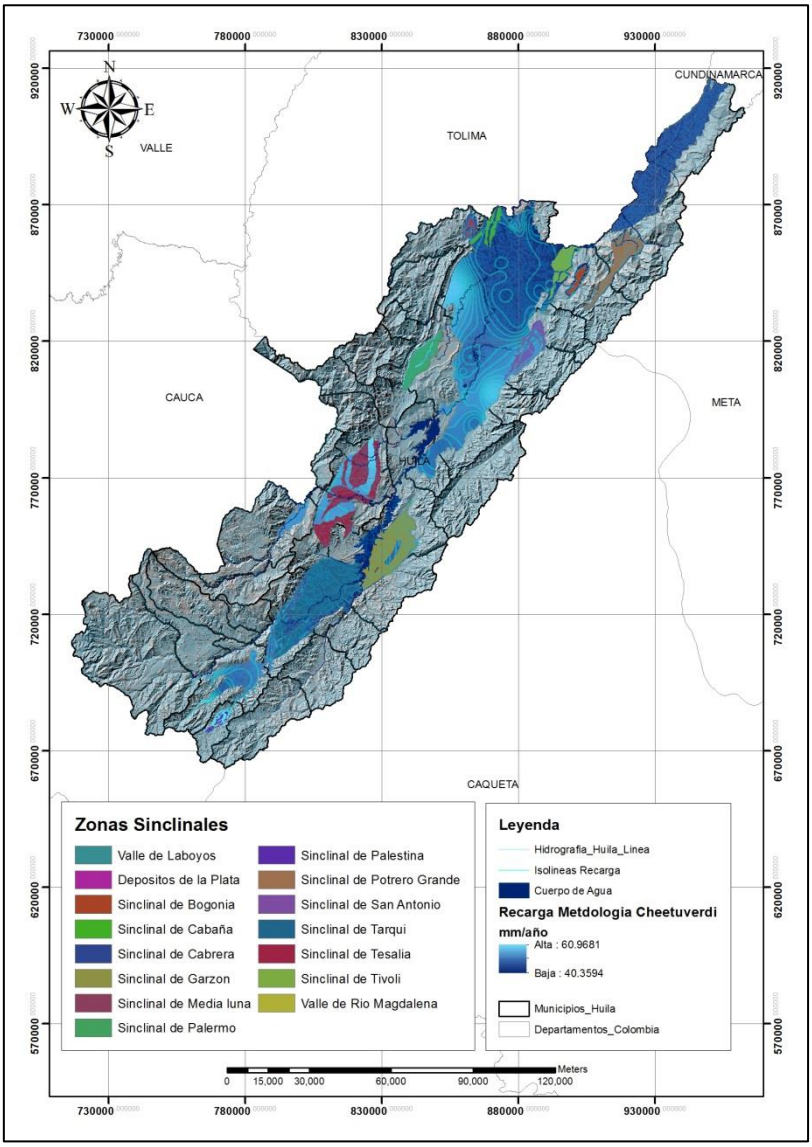


Ilustración 200 Mapa de recarga según Cheeturvedi.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

8.1.1.2.1.2 Recarga según Sehgal

De este se obtiene que la recarga potencial corresponde a valores comprendidos entre el 22,1% y el 31% de los valores extremos de precipitación observados en el Mapa de Precipitación Total Anual (908 – 2316 mm), observándose una distribución homogénea a lo largo del Departamento del Huila, pareciendo que la mayor recarga por precipitación se concentrara en los lugares de mayor elevación siendo estos lo municipios de Palestina, Salado blanco, Pitalito ,Aipe, Acevedo, Nataga, Iquira, Teurel, Palermo y en la parte noroeste del municipio de Neiva, a su vez se determinó que Depósitos de terraza y Depósitos Coluviales serán zonas de menor recarga.(Ver **Ilustración 201)**

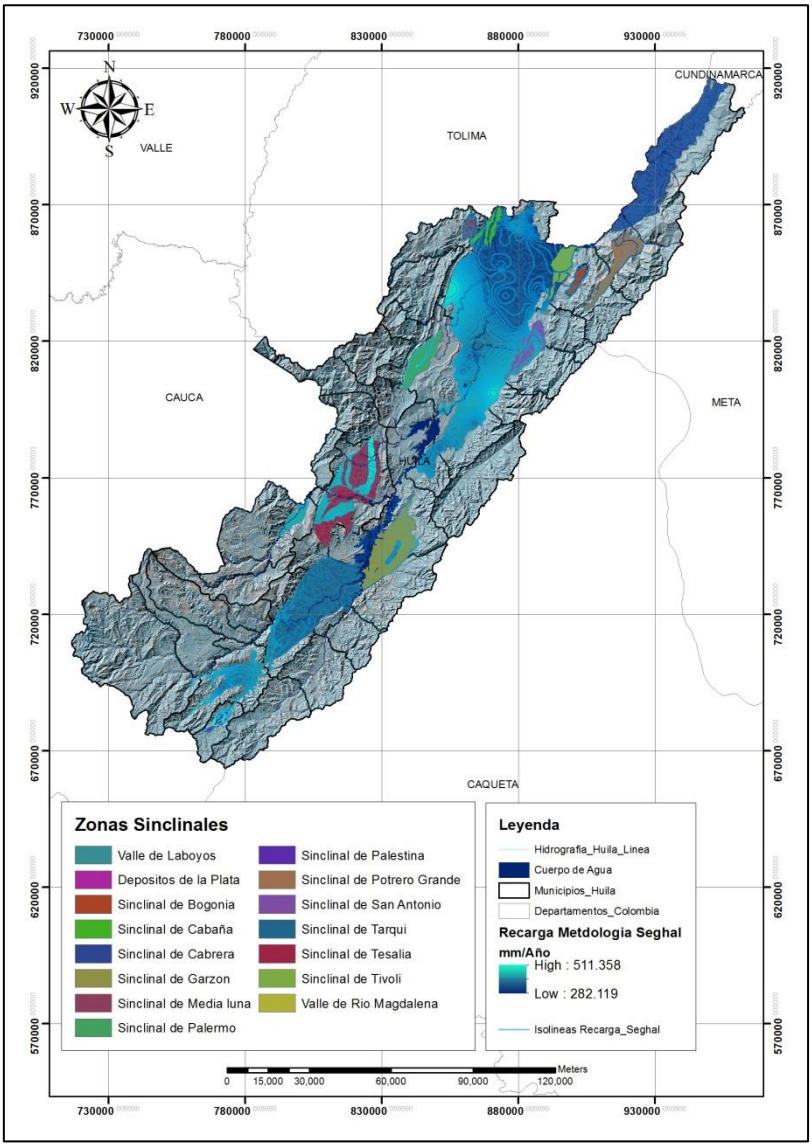


Ilustración 201 Mapa de recarga según Sehgal.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

De las expresiones evaluadas se observa que el método empleado por Cheeturvedi tiende a ser la apreciación más conservadora estimando valores de recarga que oscilan entre el 2,6% y el 4,4 % con respecto a los valores de precipitación con un promedio de 51 mm al año, sin embargo, la expresión de Sehgal, muestra valores con una media de 397 mm al año con variaciones en referencia a la precipitación que van desde 22% a 31%, esto se resume a continuación en la **Tabla 90**.

Tabla 90 Valores promedios de recargas potencial

Expresiones de cálculo	R Cheeturvedi	R Sehgal
Porcentaje con respecto a la precipitación	2,6%-4,4%	22%-31%
Promedio (mm/año)	51	397

Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

De manera general la totalidad de los métodos empleados muestran que las zonas con mayor recarga potencial corresponden a las zonas de mayor elevación topográfica y las zonas con menor recarga corresponden a las zonas bajas específicamente a los valles, depósitos y demás zonas de elevación cercana al nivel del mar.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto se puede deducir que la recarga de los principales sistemas de acuíferos en el Departamento (Sinclinal de Bogonia, Sinclinal de Tesalia, Sinclinal de Tivoli, Sinclinal de Media luna, Sinclinal de Cabrera, Valle de Rio Magdalena, Sinclinal de Palermo, Sinclinal de Garzón, Sinclinal de Cabaña, Sinclinal de San Antonio, Sinclinal de Potrero Grande, Sinclinal de Tarqui, Valle de Laboyos, Depósitos de la Plata y sinclinal de palestina) se dará en menor escala por el aporte de recarga directa en las zonas bajas de las cuencas que recarga los acuíferos someros y el mayor aporte de recarga se estima en la parte alta de las cuencas que posiblemente se direcciona por fallas y fracturas que recarga a los acuíferos más profundos.

Se tiene en cuenta que el ingreso de agua se dará a partir de recarga lateral debido el flujo regional proveniente de las unidades geológicas que bordean estos sistemas y la recarga directa estará dada por la infiltración de agua proveniente de la precipitación en las zonas de mayor densidad de fractura miento, es por esto que se estima la recarga potencial de los sistemas acuíferos presentes en el Departamento del Huila como el diez por ciento de la precipitación promedio multianual, acorde según lo estipulado en la guía del (SERVICIO DE EVALUACION AMBIENTAL, 2012) donde se establece que para el método básico de estimación de recarga pot precipitación estará en el orden del cinco al treinta por ciento de la precipitación media multianual como se muestra a continuación en **Ilustración 202**

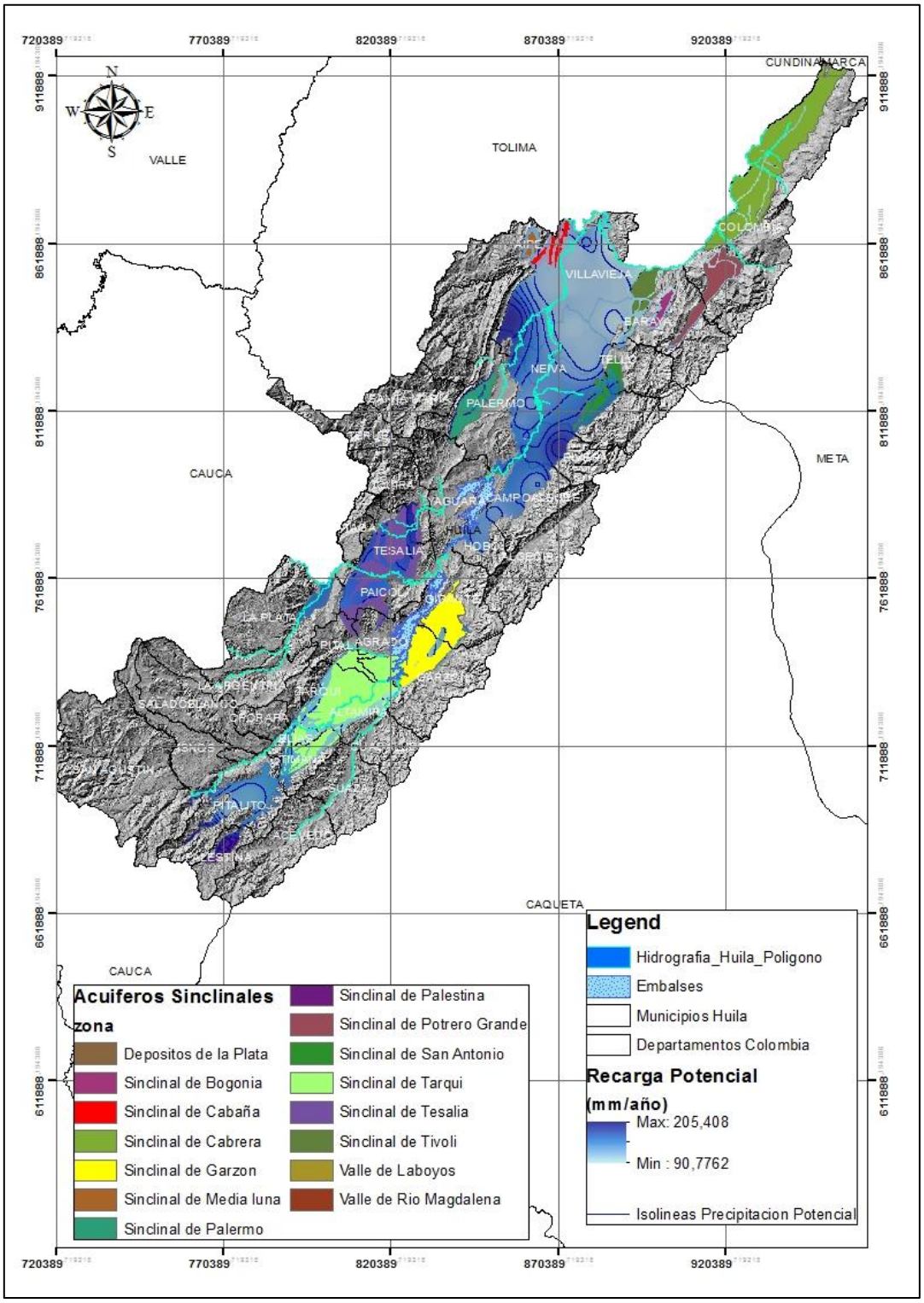


Ilustración 202 Mapa de recarga potencial
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

El valor de recarga dinámica se estimó a partir de la expresión relacionada en la expresiones de la Tabla 83**,** se establecieron las recargas anuales para cada una de las áreas potenciales de almacenamiento.

Basados en el Mapa de recarga potencial referente a la recarga por precipitación que se pueda presentar en la zona de estudio se determinaron los valores de recarga dinámica (mm/año) para cada una de las zonas de interés hidrogeológico relacionadas en la Tabla 91

Tabla 91 recarga estimada para las zonas de interés hidrogeológico.

Zona	Área (Km2)	Área (Ha)	Área (m2)	Recarga (mm/año)		
				Max (mm/año)	Medio (mm/año)	Min (mm/año)
Sinclinal de Bogonia	39	3875	38.753.030	118	106	95
Sinclinal de Tesalia	472	47248	472.478.034	189	162	147
Sinclinal de Tivoli	126	12602	126.017.770	131	111	93
Sinclinal de Media luna	37	3652	36.523.646	133	124	120
Sinclinal de Cabrera	557	55696	556.957.174	115	108	103
Valle de Rio Magdalena	1977	197725	1.977.252.733	179	131	91
Sinclinal de Palermo	112	11213	112.126.886	201	178	162
Sinclinal de Garzón	290	29018	290.179.062	159	133	103
Sinclinal de Cabaña	77	7673	76.733.375	124	118	114
Sinclinal de San Antonio	126	12643	126.425.437	160	151	130
Sinclinal de Potrero Grande	142	14226	142.255.163	123	108	100
Sinclinal de Tarqui	625	62503	625.025.997	150	127	102
Sinclinal de Palestina	34	3400	34.000.912	205	192	165
Valle de Laboyos	167	16670	166.702.676	202	142	124
Depósitos de la Plata	46	4627	46.265.024	158	153	151

Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

A partir de la información de recarga potencial se determinan las reservas dinámicas con los valores de recarga medio-anuales y las áreas de cada una de las zonas de interés como se muestra en la Tabla 92.

Tabla 92 Reservas Dinámicas

Zona	Área (Km2)	Área (m2)	Recarga (mm/año)	Reservas dinámicas	
				(m3/año)	(Km3/año)
Sinclinal de Bogonia	39	38.753.030	106	4.093.898	0,004
Sinclinal de Tesalia	472	472.478.034	162	76.558.861	0,077
Sinclinal de Tivoli	126	126.017.770	111	13.984.600	0,014
Sinclinal de Media luna	37	36.523.646	124	4.510.782	0,005
Sinclinal de Cabrera	557	556.957.174	108	60.143.591	0,060
Valle de Rio Magdalena	1.977	1.977.252.733	131	258.701.713	0,259

Zona	Área (Km2)	Área (m2)	Recarga (mm/año)	Reservas dinámicas	
				(m3/año)	(Km3/año)
Sinclinal de Palermo	112	112.126.886	178	19.940.475	0,020
Sinclinal de Garzón	290	290.179.062	133	38.537.735	0,039
Sinclinal de Cabaña	77	76.733.375	118	9.058.532	0,009
Sinclinal de San Antonio	126	126.425.437	151	19.125.640	0,019
Sinclinal de Potrero Grande	142	142.255.163	108	15.353.143	0,015
Sinclinal de Tarqui	625	625.025.997	127	79.218.759	0,079
Sinclinal de Palestina	34	34.000.912	192	6.519.459	0,007
Valle de Laboyos	167	166.702.676	142	23.623.865	0,024
Depósitos de la Plata	46	46.265.024	153	7.095.993	0,007
Reservas dinámicas anuales Departamento del Huila				636.467.046,43	0,6365

Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

Sin embargo, se estimó una reserva de explotación de agua subterránea, que se define como la cantidad de agua subterránea que puede ser extraída racional y económica por un período determinando, evitando la minería del agua y garantizando su calidad. Estas reservas se calculan utilizando la siguiente expresión:

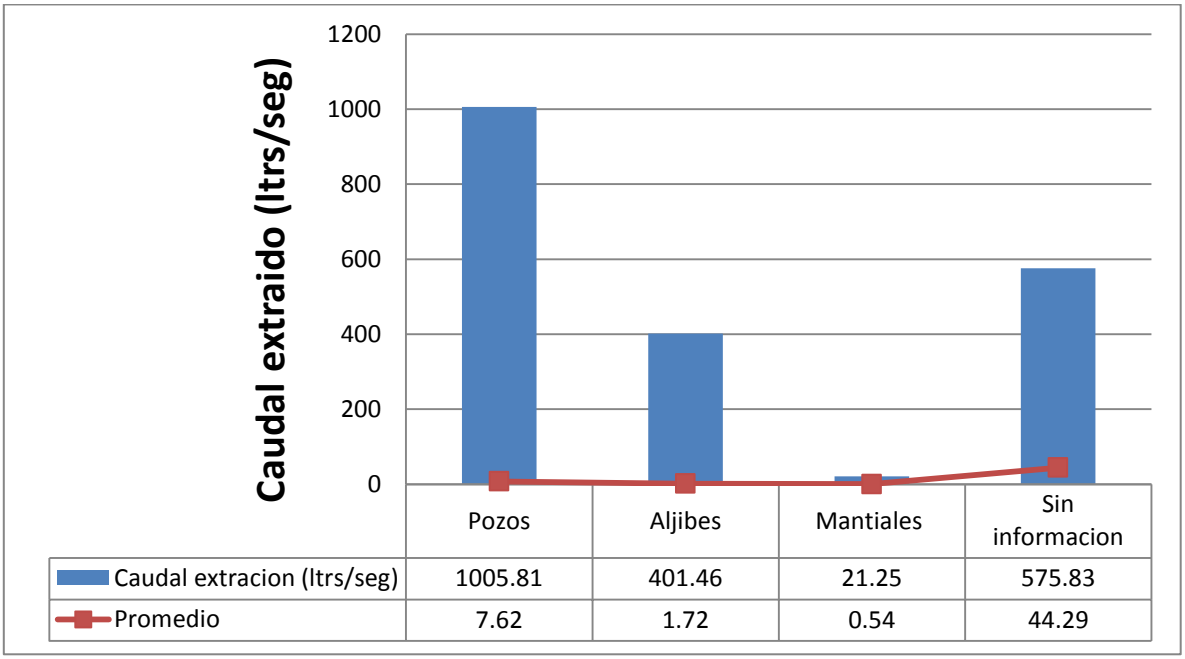
$$Q_{explotables} = K_1 . Q_{dinámicas}\ x\ K_2 . Q_{estáticas}$$

Tabla 93 Reserva Explotable de agua subterránea en el Departamento del Huila

Zona	Reservas Estáticas (Km3)	Reservas Dinámicas (Km3)	Reserva Explotable (m3)	Reserva Explotable (Km3)
Sinclinal de Bogonia	5	0,004	1.937.921	0,0019
Sinclinal de Tesalia	324	0,077	2.479.616.655	2,4796
Sinclinal de Tivoli	32	0,014	44.496.518	0,0445
Sinclinal de Media luna	4	0,005	2.023.132	0,0020
Sinclinal de Cabrera	206	0,060	1.236.495.271	1,2365
Valle de Rio Magdalena	1057	0,259	27.357.467.723	27,3575
Sinclinal de Palermo	24	0,020	48.261.110	0,0483
Sinclinal de Garzón	177	0,039	680.308.300	0,6803
Sinclinal de Cabaña	17	0,009	15.830.715	0,0158
Sinclinal de San Antonio	33	0,019	62.468.189	0,0625
Sinclinal de Potrero Grande	59	0,015	90.354.721	0,0904
Sinclinal de Tarqui	583	0,079	4.618.373.454	4,6184
Sinclinal de Palestina	2	0,007	1.050.926	0,0011
Valle de Laboyos	5	0,024	12.154.151	0,0122
Depósitos de la Plata	44	0,007	31.539.834	0,0315
Reserva Explotable de agua subterránea en el Departamento del Huila			**36.682.378.619**	**36,68**

8.1.2 DEMANDA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

En cuanto al uso de agua subterránea en el Departamento del Huila, se calculó una demanda de agua subterránea de 2,72 m^3/s, siendo extraídos en su mayoría de los pozos profundos. El caudal promedio de extracción de los pozos es de 7.56 L/s, como se puede observar en la **Gráfica 204**



Gráfica 204 Demanda de agua subterránea Departamento del Huila.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

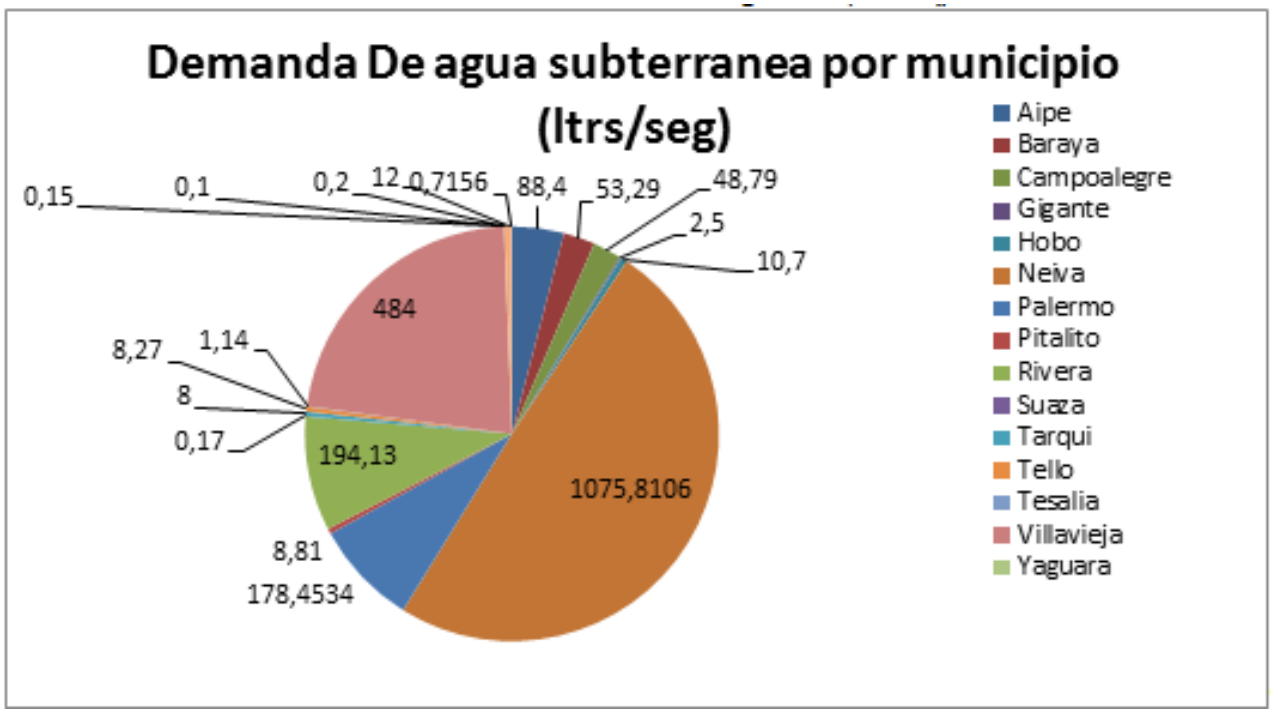
En la **Tabla 94** y la **Gráfica 204**, se presenta los totales de número de puntos y el caudal explotado por municipios en el Departamento del Huila, claramente los municipios que más explotan agua subterránea son Aipe, Baraya, Campoalegre, Neiva, Palermo, Pitalito; Riviera y Villavieja, en menor medida Tello y casi sin explotación Agrado, Colombia, Paicol, Suaza, Yaguara, Garzón, La Plata Los mayores caudales de explotación se presentan en la zona centro-oriente del Departamento, donde confluyen los límites administrativos de Neiva, Palermo y Villavieja, por ello estos son los municipios que más caudal extraen agua subterránea en el Departamento.

Las actividades que usan agua subterránea se presentan en número de puntos de agua subterránea en la **Tabla 95** En las **Gráfica 205** y **Gráfica 206** se puede apreciar que las actividades que más demandan agua son la Comercial, doméstica e Industrial.

Tabla 94 Demanda de agua subterránea por municipios en el Departamento del Huila.

Municipio	N- puntos de agua	porcentaje	Caudal de explotación municipal (ltrs/seg)
Aipe	60	6,6%	88,4
Baraya	20	2,2%	53,29
Campoalegre	64	7,1%	48,79

Municipio	N- puntos de agua	porcentaje	Caudal de explotación municipal (ltrs/seg)
Colombia	1	0,1%	0
Gigante	4	0,4%	2,5
Hobo	7	0,8%	10,7
Neiva	392	43,3%	1075,8106
Palermo	125	13,8%	178,4534
Pitalito	41	4,5%	8,81
Rivera	83	9,2%	194,13
Suaza	1	0,1%	0,17
Tarqui	1	0,1%	8
Tello	17	1,9%	8,27
Tesalia	2	0,2%	1,14
Villavieja	75	8,3%	484
Yaguara	3	0,3%	0,15
Garzón	1	0,1%	0,1
La Plata	2	0,2%	0,2
Oporapa	2	0,2%	12
Sin información	1	0,1%	0,7156
Total General	905	100,0%	2175,6296

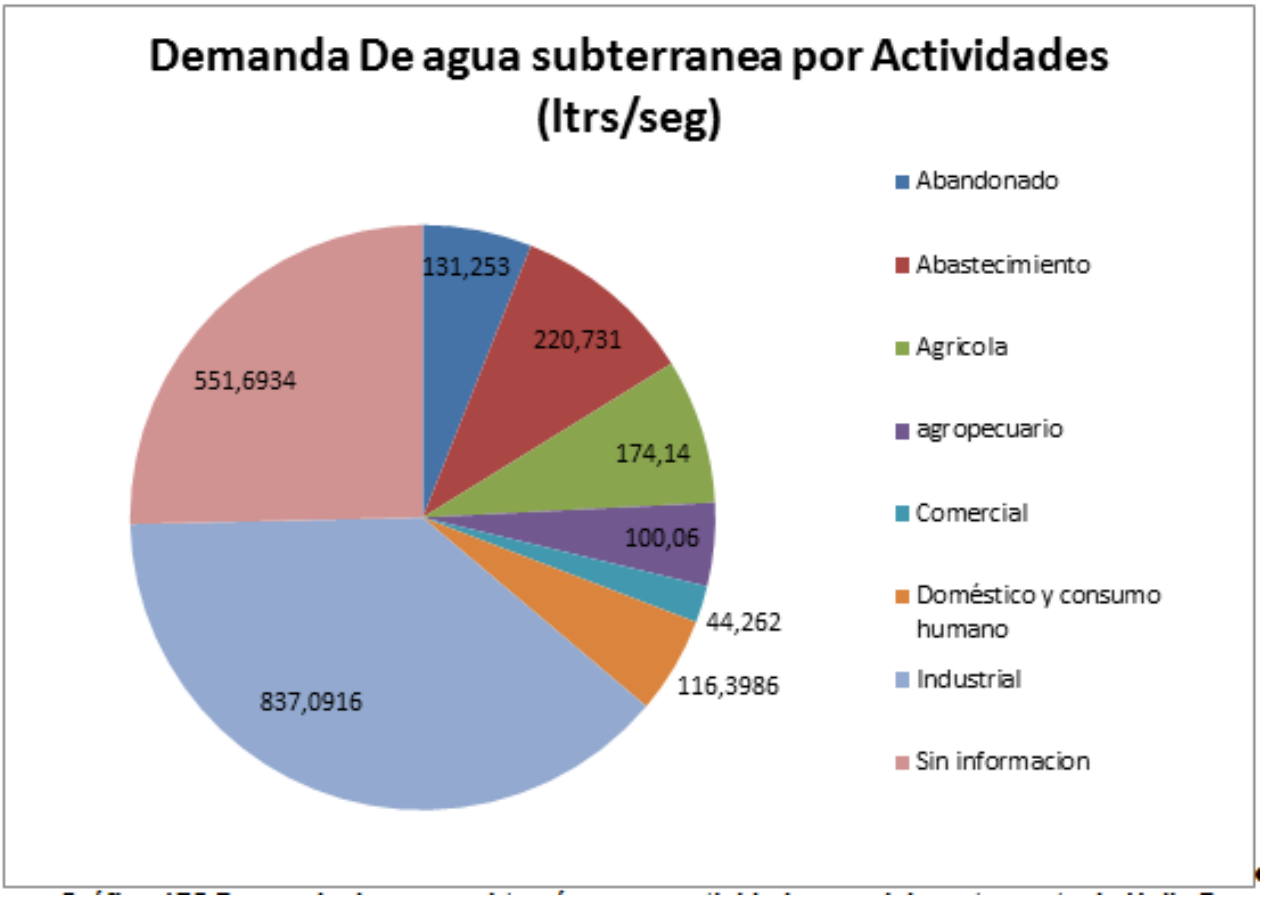


Gráfica 205 Demanda de agua subterránea por municipio en el Departamento del Huila
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

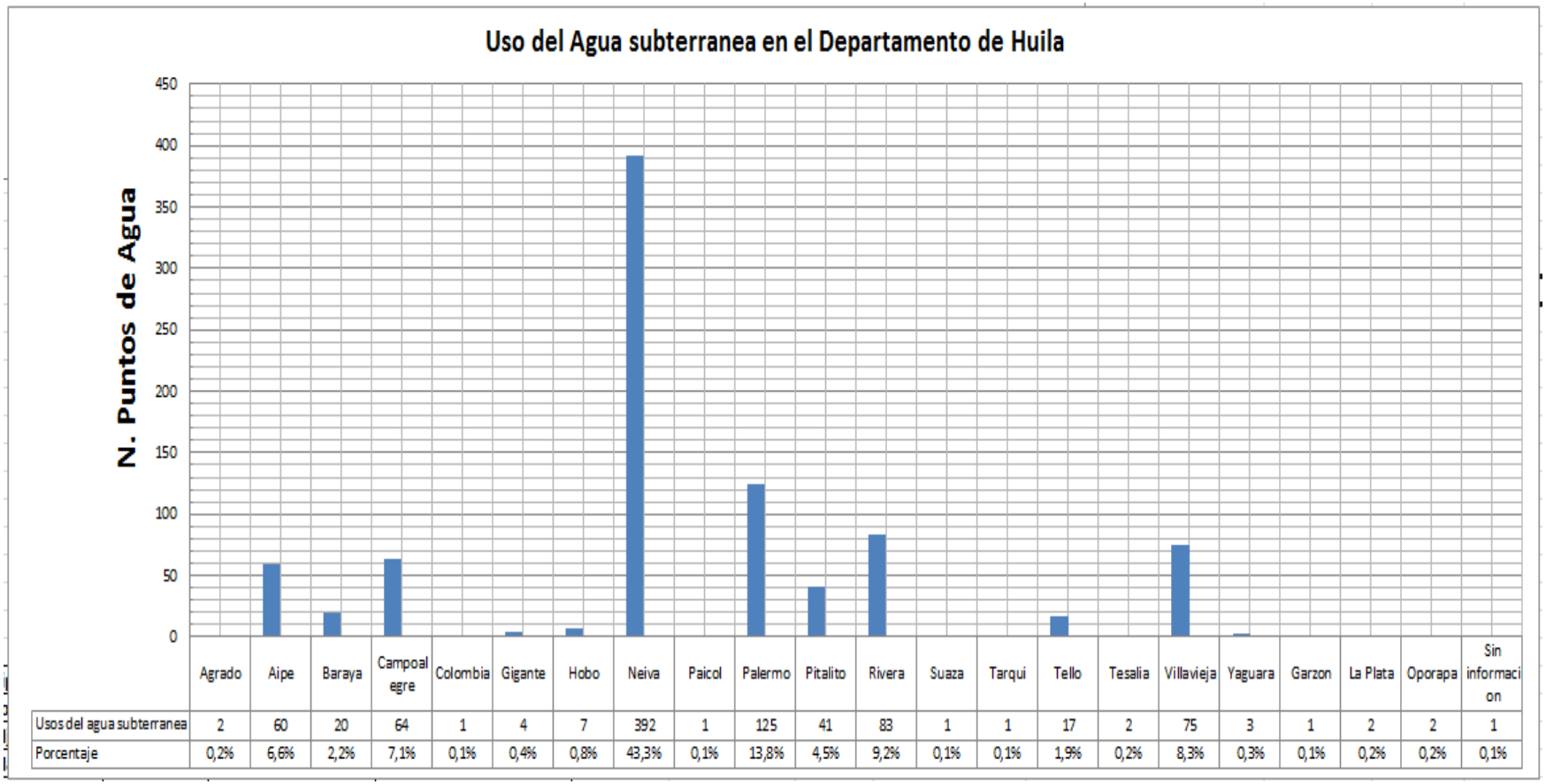
Tabla 95 Actividades que usan agua subterránea en el Departamento del Huila

Uso Actual	Puntos de Agua	Porcentaje	Caudal (Ltrs/seg)
Abandonado	12	2,7%	131,253
Abastecimiento	21	4,7%	220,731
Agrícola	40	9,0%	174,14
agropecuario	19	4,3%	100,06
Comercial	34	7,6%	44,262
Doméstico y consumo humano	50	11,2%	116,3986
Industrial	154	34,6%	837,0916
Sin información	115	25,8%	551,6934
Total Consumo por actividades	445		2175,6296

Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016



Gráfica 206 Demanda de agua subterránea por actividades en el Departamento del Huila.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016



	Agrado	Aipe	Baraya	Campoalegre	Colombia	Gigante	Hobo	Neiva	Paicol	Palermo	Pitalito	Rivera	Suaza	Tarqui	Tello	Tesalia	Villavieja	Yaguara	Garzon	La Plata	Oporapa	Sin informacion
Usos del agua subterranea	2	60	20	64	1	4	7	392	1	125	41	83	1	1	17	2	75	3	1	2	2	1
Porcentaje	0,2%	6,6%	2,2%	7,1%	0,1%	0,4%	0,8%	43,3%	0,1%	13,8%	4,5%	9,2%	0,1%	0,1%	1,9%	0,2%	8,3%	0,3%	0,1%	0,2%	0,2%	0,1%

Gráfica 207 Uso de agua subterránea en el Departamento del Huila.
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

También se calculó el consumo anual del recurso hídrico subterráneo considerado como la descarga provocada a los acuíferos, este se determinó con base en los registros de caudal explotado obtenidos en el inventario de puntos de agua y por el flujo natural en manantiales. En la **Tabla 96** se presenta el cálculo de la descarga anual debido a la explotación del agua subterránea, de acuerdo a su uso diario.

Tabla 96 Descarga anual del recurso hídrico subterráneo Departamento del Huila

Tipo de Captación	Caudal (ltrs/seg)	Horas de uso promedio (H)	Descargas Anuales (m3/año)
Pozo	1059,094	8	267.196.707,07
Aljibe	415,6556	8	104.864.920,01
Manantial	22,25	24	16.840.224,00
Sin información	678,63	8	171.210.205,44
Total de consumo recurso hídrico Departamento de Huila (m3/año)			560.112.056,52

Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

9. INDICADORES DE NATURALES Y DE INTERVENCIÓN ANTRÓPICA EN EL AGUA SUBTERRÁNEA

9.1 INDICE A VULNERABLES INTRÍNSECA A LA CONTAMINACIÓN.

9.1.1 METODOLOGÍA

La vulnerabilidad intrínseca es una propiedad cualitativa que indica el grado de protección natural que tiene un acuífero respecto a la contaminación, esta propiedad es principalmente cualitativa y se refiere a la vulnerabilidad derivada de las características propias del acuífero y su entorno, sin tener en cuenta la incidencia de sustancias contaminantes.

Para evaluar y mapear la vulnerabilidad se hace uso de distintos métodos dependiendo de la cantidad de parámetros conocidos del sistema acuífero, siendo utilizadas las siguientes: DRASTIC, GOD, EPIK, SINTACS y GALDIT. Teniendo en cuenta la escasez de información se concluye que el método más adecuado para evaluar la vulnerabilidad intrínseca es GOD explicada a continuación.

El método GOD propuesto por (Foster & Hirata, 1988) es el más aplicado en áreas de trabajo con escasa información, con irregular distribución de datos o con incertidumbre en la información, cada sigla indica un parámetro a evaluar (**Ilustración 203**).

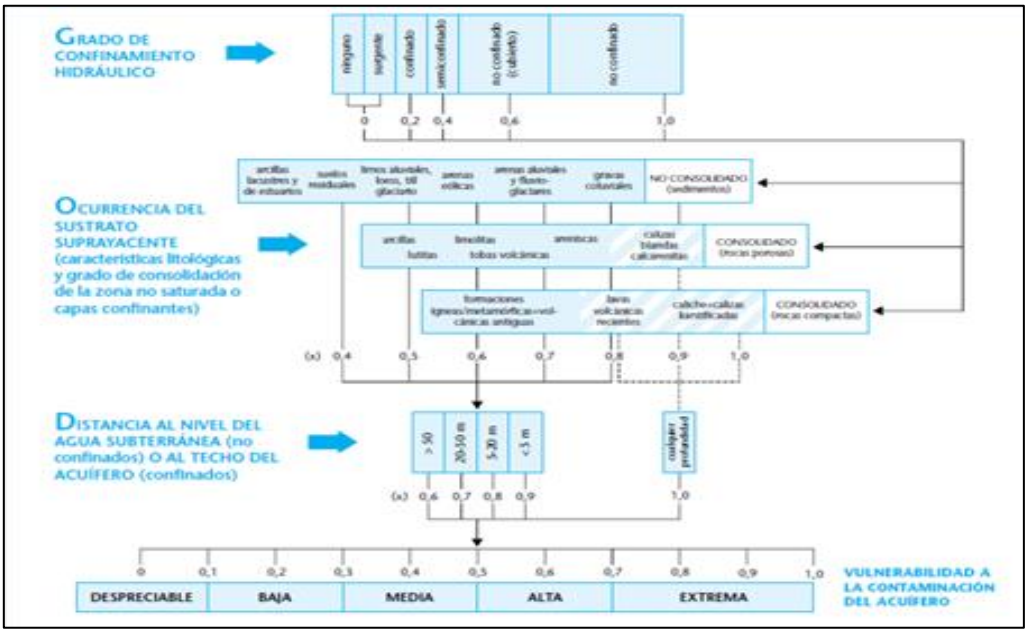


Ilustración 203 Método GOD para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca
Fuente: (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010)

G (Groundwater Ocurrence): Tipo de acuífero, grado de confinamiento u ocurrencia del agua subterránea. Su índice puede variar entre 0 y 1 siendo la ausencia de acuíferos el índice 0, mientras que el índice 1 indica la presencia de un acuífero libre o freático.

O (Overall Aquifer Class): 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. Los índices más bajos (0,4) corresponden a los materiales no consolidados, mientras que los más altos (0,9 – 1,0) corresponden a rocas compactas fracturadas o karstificadas.

D (Depht of Groundwater): Profundidad del agua subterránea o del acuífero, siendo la profundidad del nivel freático para los acuíferos libres y el techo del acuífero en el caso de los confinados. Los índices más bajos (0,6) corresponden a acuíferos libres con profundidad mayor a 50 m; mientras que los índices altos (1,0) corresponden a acuíferos que independientemente de la profundidad se encuentran en medios fracturados.

El esquema original GOD no incluye una consideración explícita acerca de los suelos en un sentido agrícola.

El índice de vulnerabilidad GOD se obtiene, entonces, de multiplicar los valores asignados a cada parámetro:

$$iV_{GOD} = G * O * D$$

El iVGOD puede variar entre 0,1 y 1,0, obteniendo las categorías de vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación, presentados en la **Tabla 97**

Tabla 97 Categorías de vulnerabilidad para el método GOD

iVGOD	Vulnerabilidad
0.7-1.0	Extrema
0.5-0.7	Alta
0.3-0.5	Moderada
0.1-0.3	Baja
<0.1	Muy Baja

Fuente: (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010)

9.1.2 PONDERACIÓN DE DATOS

De acuerdo con el método GOD, se asignaron valores entre 0 y 1 para cada parámetro de tal forma que se pueda realizar un mapa de vulnerabilidad. La **Tabla 98** muestra los valores asignados para el parámetro "G", acorde con la **Ilustración 203** aquellos clasificados como acuicierres o basamentos hidrogeológicos son asignados al número 0, indicando la ausencia de acuíferos.

Tabla 98 Ponderación del parámetro "G"

Tipo de Acuífero	Ponderación
Acuicierre	0
Acuíferos Confinados	0,2
Acuíferos Libres	1
Acuíferos Semiconfinados a Confinados	1
Acuitardos	0,2
Basamentos Hidrogeológicos	0

Fuente: (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010)

La **Tabla 99** Muestra la totalidad de las unidades geológicas con su respectiva descripción; con base en la cual se asignaron los valores que se observan en la columna de ponderación del parámetro "O".

Tabla 99 Ponderación del parámetro "O"

Unidad Geológica		Descripción Litológica	Ponderación
Qalr	Depósitos aluviales recientes	Depósitos recientes no consolidados de origen fluvial	0,7
Q2al	Depósitos de terraza baja	Depósitos fluvio-volcánicos de bajo espesor no consolidados de gravas subredondeadas compuestas por fragmentos de cuarzo, chert, granitos, migmatitas y gneises biotíticos	0,7
Q2c	Coluviales	Clastos angulosos con cantos de granodioritas, tobas y vulcanitas recientes	0,6

Unidad Geológica		Descripción Litológica	Ponderación
Q2lh	Depósitos de Lahares	Conglomerados de rocas volcánicas, en una matriz areno-tobácea soldada	0,5
Q2tp	Terrazas Pumíticas	Depósitos volcaniclásticos de gravas y arenas pumíticas con niveles clastosoportados y estratificación cruzada	0,8
Q1al	Depósitos de terraza alta	Depósitos parcialmente consolidados con intercalaciones de gravas polimícticas, arenas y limos.	0,8
Q1fl	Depósitos fluviolacustres	Materiales que evidencian sucesivos episodios de flujos de escombros acumulados en un área cerrada	0,8
Qlc	Depósitos lacustres	Depósitos finogranulares con alto contenido de materia orgánica formados en cráteres o antiguas calderas de erupción	0,4
Qfg	Depósitos fluvioglaciares	Depósitos que rellenan áreas relativamente cerradas o cuencas intramontaña evidenciando la ocurrencia sucesiva de flujos de escombros.	0,7
Qlb	Lavas Laguna del Buey	Andesitas porfiríticas hipocristalinas sobre la cual se construyó la estructura de la Laguna del Buey	0,8
Qvlm	Lavas del Meremberg	Andesitas vesiculares grises con textura fanerítica de grano muy fino	0,8
Qv	Depósitos volcánicos	Depósitos de flujo de cenizas y cenizas de caída, presenta textura limo arenosa y está compuesto por micas	0,6
Qvb	Vulcanitas básicas	Flujos de lavas básicas y depósitos piroclásticos	0,8
N2Qnh	Formación Nevado del Huila	Lavas andesíticas de uno o dos piroxenos de color gris claro a oscuro y negro	0,6
NQlp	Lavas y Piroclastos	Depósitos piroclásticos de flujo y caída de composición riolítica interestratificados con derrames lávicos.	0,6
N2Q1g	Formación Guacacallo	Secuencia ignimbrítica, de composición riolítica dacítica, con intercalaciones de flujos de escombros y lahares	0,6
N2gis	Formación Gigante Superior	Conglomerados inequigranulares, matriz soportados con clastos de granodioritas, granitos, granulitas, gneises migmatíticos, ignimbritas, pórfidos andesíticos a dacíticos, dacitas, tobas, chert y cuarzo.	0,8
N2gim	Formación Gigante Medio	Secuencia volcanoclástica de capas paralelas entre sí, poco consolidadas, constituidas de intercalaciones de tobas, pumitas y conglomerados polimícticos	0,7
N2gii	Formación Gigante Inferior	Conglomerados de clastos parcialmente seleccionados, subredondeados, inequigranulares de chert, cuarzo y fragmentos de rocas extrusivas	0,8
N1ac	Arcillolitas de Colombia	Arcillolitas verdosas y rojizas con intercalaciones de areniscas cuarzofeldespáticas de color gris verdoso, blanco y rojizo	0,5
N1h	Grupo Honda	Areniscas y conglomerados de grano fino que presentan niveles calcáreos intercalados en forma	0,7

Unidad Geológica		Descripción Litológica	Ponderación
		de nódulos	
E2gys	Formación Gualanday Superior	Conglomerados ricos en cuarzo, intercalados con niveles competentes de areniscas conglomeráticas y lodolitas rojas	0,7
E2gym	Formación Gualanday Medio	Arcillolitas y lodolitas fisibles grises y marrones intercaladas con algunas capas de areniscas y conglomerados	0,5
E2gyi	Formación Gualanday Inferior	Conglomerados inequigranulares con variaciones en la escala de tamaño guijo encuentran intercalados con capas de areniscas y lodolitas grises	0,7
K2E1sc	Formación Seca	Intercalación de arcillolitas varicoloreadas con capas de areniscas y conglomerados	0,5
K2g	Formación Guadalupe	Areniscas cuarzosas de grano fino a medio con intercalaciones de cherts y lutitas, hay ocurrencia de fósiles, bioturbación y nódulos silicio-calcáreos	0,7
K2v	Grupo Villeta	Lodolitas y arcillolitas de color gris y negro, físiles, con concreciones, se presentan intercalaciones de capas de calizas y areniscas	0,5
K1c	Formación Caballos	Areniscas cuarzosas porosas grises intercalados con shales carbonaceos	0,7
K1y	Formación Yaví	Conglomerados con intercalaciones de areniscas y arcillolitas	0,7
Jt	Cuarzomonzodiorita de Teruel	Cuarzomonzonitas, monzonitas y cuarzomonzodioritas	0,6
Jias	Monzodiorita de El Astillero	Monzodiorita de textura fanerítica, holocristalina con tamaño de grano entre medio y fino	0,6
J3i	Batolito de Ibagué	Cuerpo intrusivo de composición monzogranítica dominante, atravesado en múltiples instancias por diques dioríticos	0,6
Jcmdsom	Cuarzomonzodiorita de Sombrerillos	Cuarzomonzodioritas, cuarzomonzonitas, granitos y granodioritas de textura fanerítica.	0,6
Jgal	Monzogranito de Altamira	Monzogranitos de grano medio, con textura equigranular, diques andesíticos de textura afanítica cortan el intrusivo	0,6
Jmgalg	Monzogranito de Algeciras	Granitos, granodioritas, dioritas y monzogranitos de color gris claro a rosa	0,6
T2Jsal	Formación Saldaña	Riolitas, riodacitas, ignimbritas y aglomerados volcánicos. La textura de las riolitas y riodacitas varía de porfirítica a afanítica	0,6
T3py	Formación Payandé	Calizas micríticas de color gris oscuro	0,6
C2Tls	Formación Luisa	Secuencia de arenitas rojizas en parte feldespáticas de color rojizo	0,7
Pzh	Formación El Hígado	Segmentos constituidos por lodolitas calcáreas, arenitas de grano fino con fósiles, limolitas grises oscuras	0,6
PZlcg	Lodolitas y Calizas Granadillo	Sucesión lodolítica, de colores gris oscuro, gris claro con tonalidades verdes y negro, se encuentran metarenitas y cuarzoarenitas de grano fino y algunos niveles de caliza esparítica	0,5

Unidad Geológica		Descripción Litológica	Ponderación
T1ev	Complejo Cajamarca	Esquistos Cuarzo – Sericíticos, cuarcitas, esquistos actinolíticos – cloríticos	0,6
PEp	Ortogranito de La Plata	Cuerpo conformado por rocas en avanzado estado de metamorfismo, presentando localmente estructuras de rocas plutónicas, granulitas y gneisses migmatíticos	0,6
PEa	Complejo Aleluya	Mármoles de colores blanco y gris con tonos azules, de textura granoblástica fina a media, con cristales de calcita más o menos equigranulares	0,6
Mp3mg	Macizo de Garzón	Rocas metamórficas de alto grado, migmatitas, granulitas y anfibolitas asociadas a un cuerpo intrusivo de composición granítica, cortado por diques de composición ácida	0,6

Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

La **Tabla 100** muestra los valores asignados para el parámetro “D” que es aquel relacionado a la profundidad, la cual tiene alta incertidumbre. Sólo se tiene información de este parámetro para menos de la mitad de los puntos, por lo que se infiere la posible profundidad de los restantes teniendo en cuenta el entorno y unidades geológicas asociadas con nivel estático conocido.

Tabla 100 Ponderación del parámetro "D"

Profundidad de la Tabla de Agua (m)	Ponderación
0 - 2	0,9
2 - 5	0,8
5 - 10	0,8
10 - 20	0,8
20 - 50	0,7
50 - 100	0,6
>100	0,6
Sedimentos y rocas con limitados recursos de agua	0,6
Sin Información	0,6

9.1.3 MAPAS DE VULNERABILIDAD

Se generaron mapas de vulnerabilidad de acuerdo al método GOD, 3 mapas representan los parámetros evaluados, mientras el 4to muestra el mapa general de vulnerabilidad intrínseca fusionando los valores obtenidos a partir de los 3 parámetros.Ya que el método GOD utiliza únicamente tres parámetros para evaluar la vulnerabilidad, es bastante sensible a los valores extremos, por lo tanto este método tiende a subestimar los valores totales calculados.

9.1.3.1 PARÁMETRO "G"

Se observa inicialmente un área de color celeste con un grado de confinamiento de 0, lo que indica ausencia de acuíferos, correspondiente con los basamentos hidrogeológicos observados, donde predomina el color azul. Las rocas cretácicas, paleógenas, así como también la Formación Guacacallo y los depósitos fluviolacustres muestran una vulnerabilidad algo más alta.

Los depósitos fluviolacustres muestran una ponderación intermedia a alta (amarillo), mientras que el Grupo Honda, Fm. Gigante y el resto de depósitos cuaternarios muestran los valores más altos de ponderación (rojo) (**Ilustración 204**) (ANEXO GE393-ERA-PSIG-VIA-002 G-VULNERABILIDAD DE CONTAMINACIÓN INTRÍNSECA DE ACUÍFEROS – GRADO DE CONFINAMIENTO (G)).

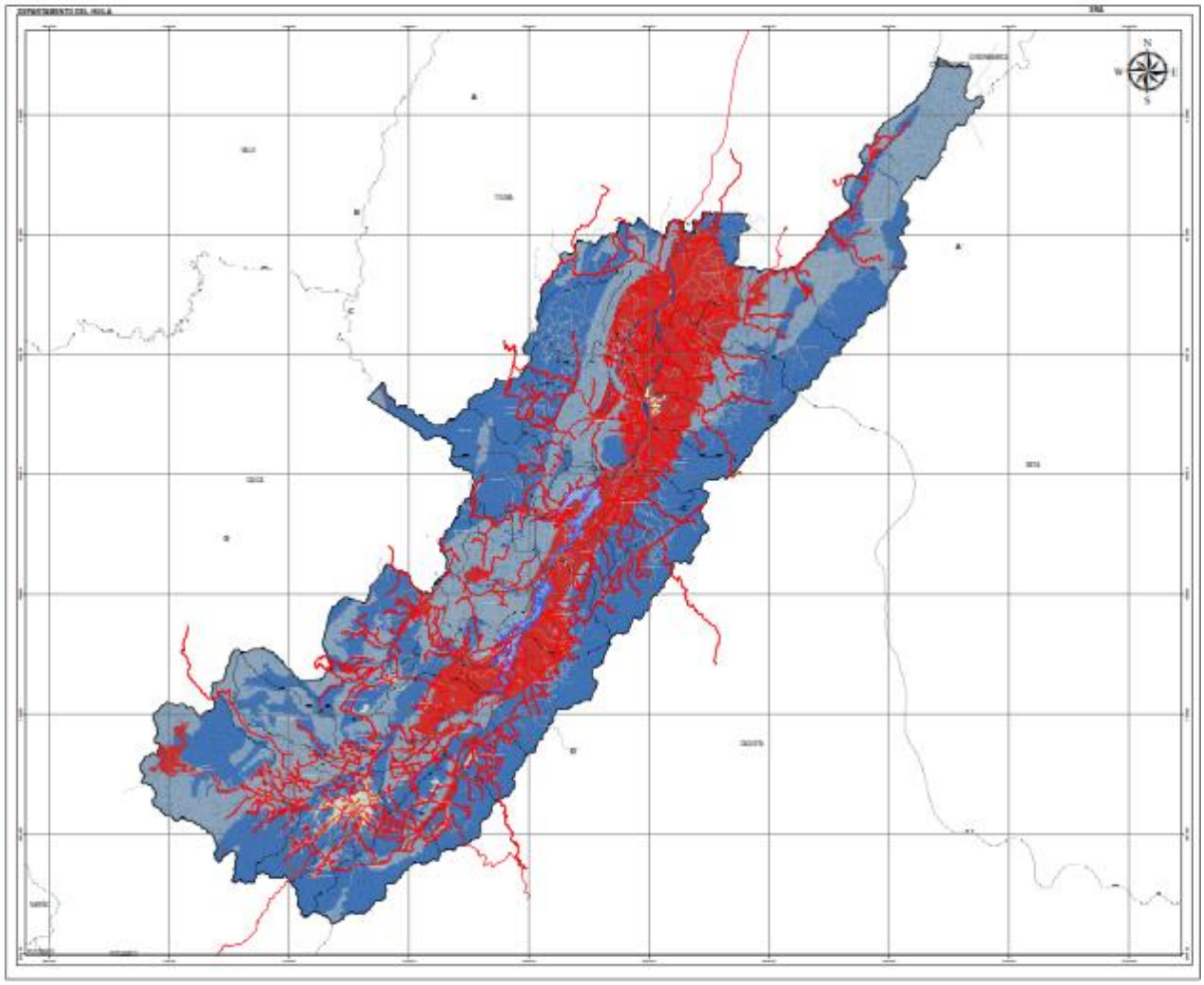


Ilustración 204 Mapa de vulnerabilidad parámetro "G"
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

9.1.3.2 PARÁMETRO "O"

Siguiendo el método observado en la **Ilustración 205**, se observa que las rocas de los basamentos hidrogeológicos, las formaciones Villeta, Gualanday medio, Guacacallo y Seca y los depósitos coluviales muestran un número más bajo para este parámetro (café y naranja pálido), mientras que las formaciones Gigante medio, Gr.Honda y algunos depósitos cuaternarios aluviales presentan un mayor grado de vulnerabilidad intrínseca (verde claro). Finalmente se observa que la gran mayoría de los depósitos cuaternarios y la Formación Gigante inferior y superior muestran una mayor vulnerabilidad con valores de 0.7 y 0.8. (ANEXO GE393-ERA-PSIG-VIA-003-O-VULNERABILIDAD DE CONTAMINACIÓN INTRÍNSECA DE ACUÍFEROS – OCURRENCIA DE GRADO SUPRAYACENTE (O)).

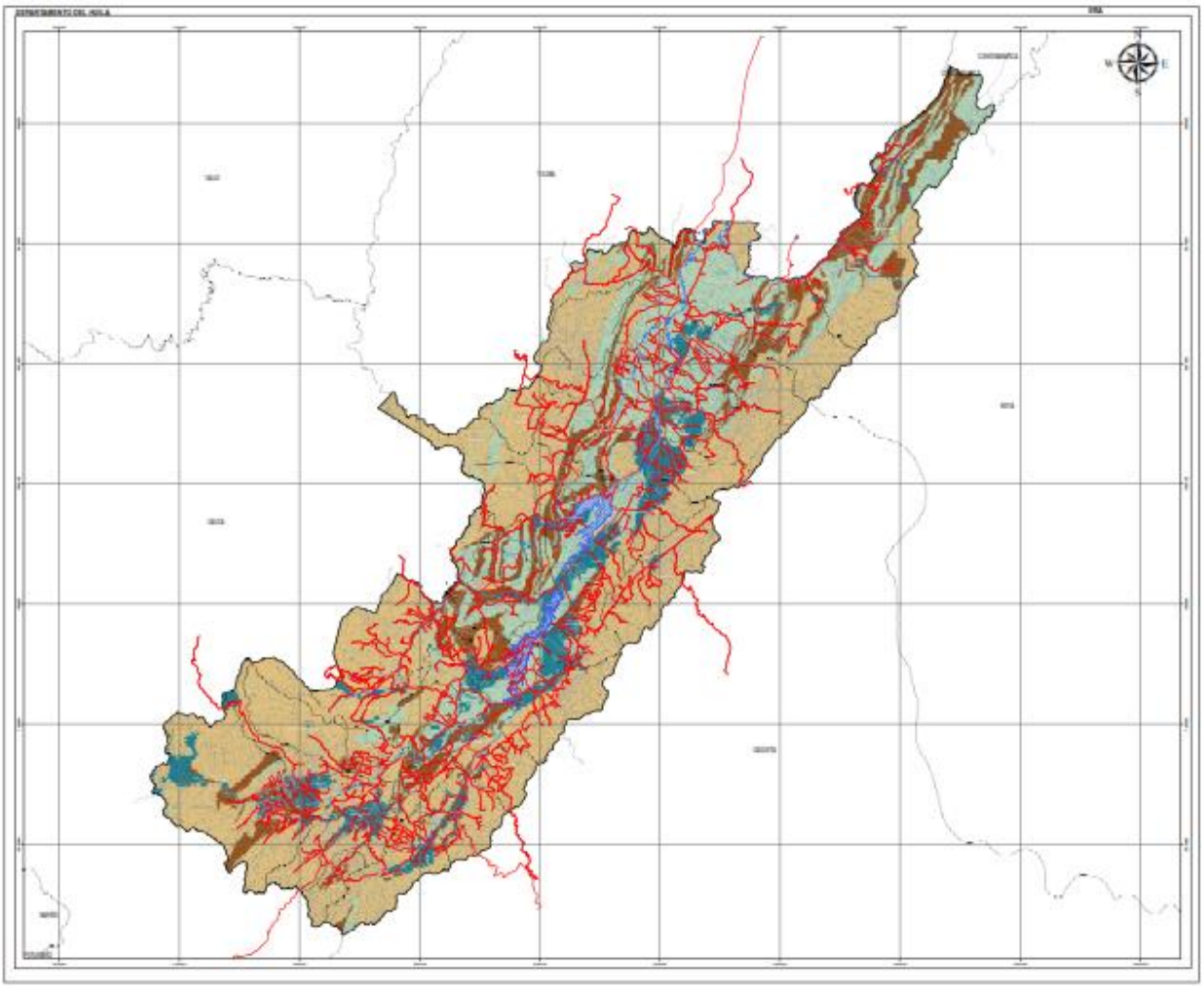


Ilustración 205 Mapa de vulnerabilidad parámetro "O"
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

9.1.3.3 PARÁMETRO "D"

Este parámetro es el que tiene el mayor grado de incertidumbre, donde cerca del 20% de puntos muestreados tienen un dato de nivel estático conocido, para los demás se infiere a partir de los datos muestreados e interpretación.

Se observa una tendencia general para todas las rocas recientes (neógenas a cuaternarios), donde se muestra un alto valor de ponderación exceptuando para la Formación Guacacallo, que, junto con las rocas más antiguas muestran bajos valores y se observan en el mapa de tonos azules claros (**Ilustración 206**) (**ANEXO GE393-ERA-PSIG-VIA-004-**D-VULNERABILIDAD DE CONTAMINACIÓN INTRÍNSECA DE ACUÍFEROS – DISTANCIA DE LA TABLA DE AGUA (D)).

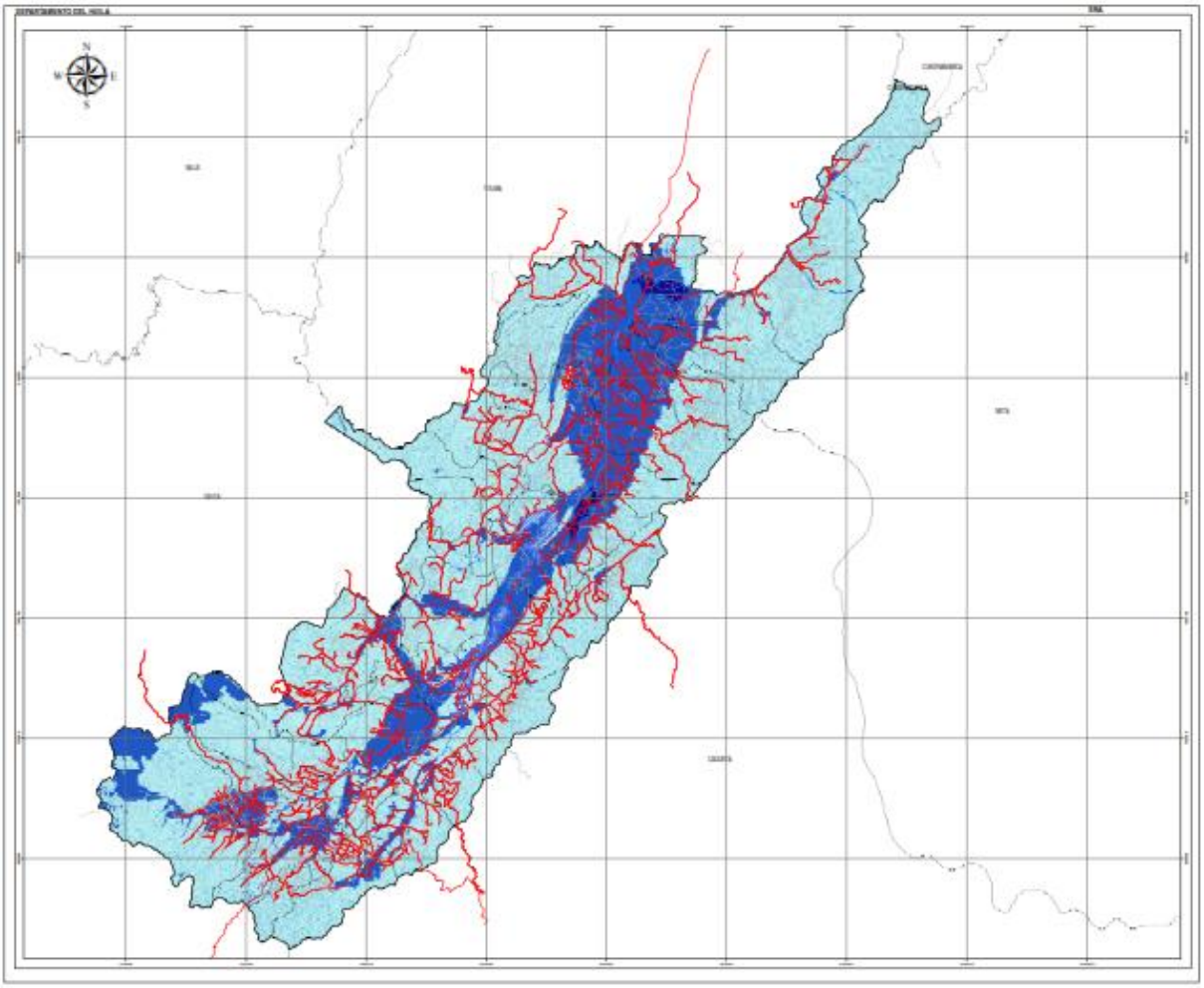


Ilustración 206 Mapa de vulnerabilidad parámetro "D"
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

9.1.3.4 VULNERABILIDAD GOD

Este mapa muestra la unificación de los 3 parámetros evaluados, para así mostrar las zonas de vulnerabilidad, siendo los valores de 0 a 0.1 los de más baja vulnerabilidad y los de 0.7 a 1 los de mayor vulnerabilidad. Los colores del mapa se tomaron de acuerdo a la Leyenda Estándar Internacional (INGEOMINAS, 1995).

En la **Ilustración 207** Se tiene que hay Muy baja vulnerabilidad para los basamentos hidrogeológicos (color marrón), Vulnerabilidad baja para los acuíferos confinados de la Formación Caballos (K1c), Gr. Guadalupe (K2g),. Una Vulnerabilidad media (color amarillo) para los acuíferos confinado en multicapas del Gr. Honda (N1h) y los acuíferos semi-confinados de la Formación Gigante (N2g), una vulnerabilidad extrema (color naranja) a los Depósitos Abanico aluvial y/o Terraza alta (Q2al) o Depósitos Abanico aluviales y/o Terraza baja (Q2al) y Depósitos aluviales recientes (Qalr). (**ANEXO GE393-ERA-PSIG-VIA-001**-GOD-VULNERABILIDAD DE CONTAMINACIÓN INTRÍNSECA DE ACUÍFEROS (GOD)).

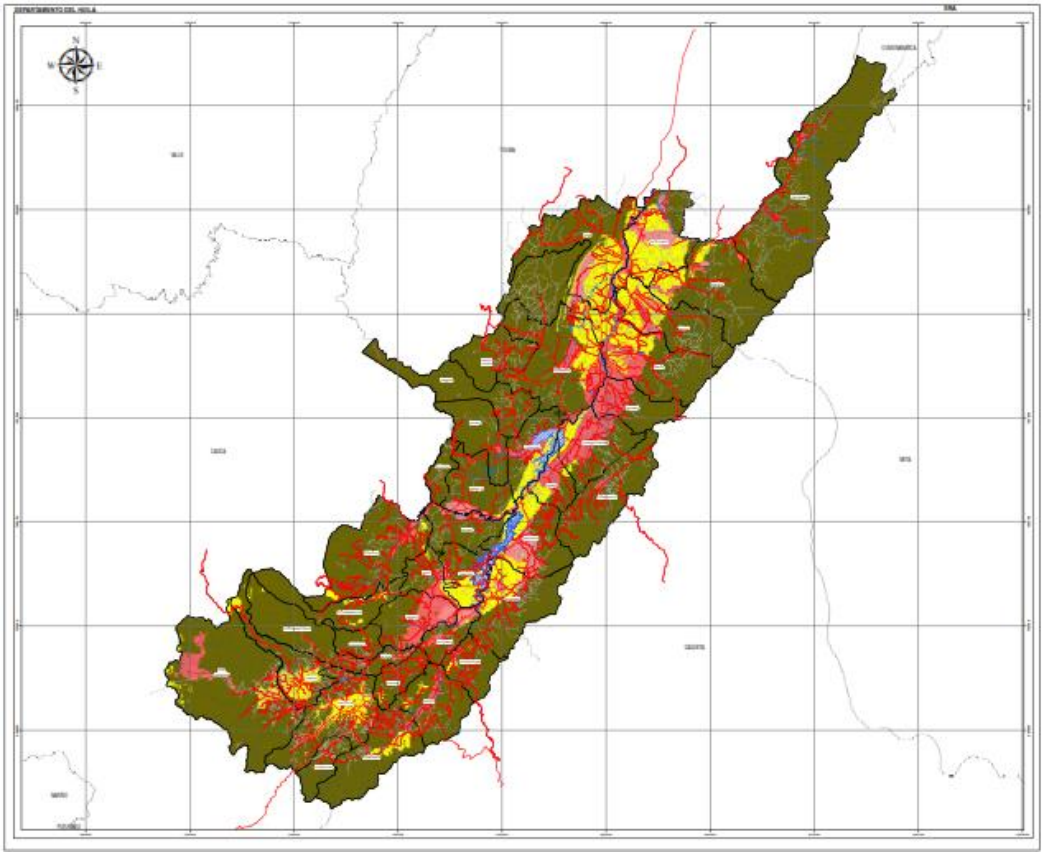


Ilustración 207 Mapa de vulnerabilidad intrínseca
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

En la **Ilustración 208** se muestra la comparativa de los tres parámetros con el mapa total de vulnerabilidad donde sobresale el comportamiento de los depósitos cuaternarios aluviales como los más vulnerables a nivel general y también en cada parámetro visto de manera individual.

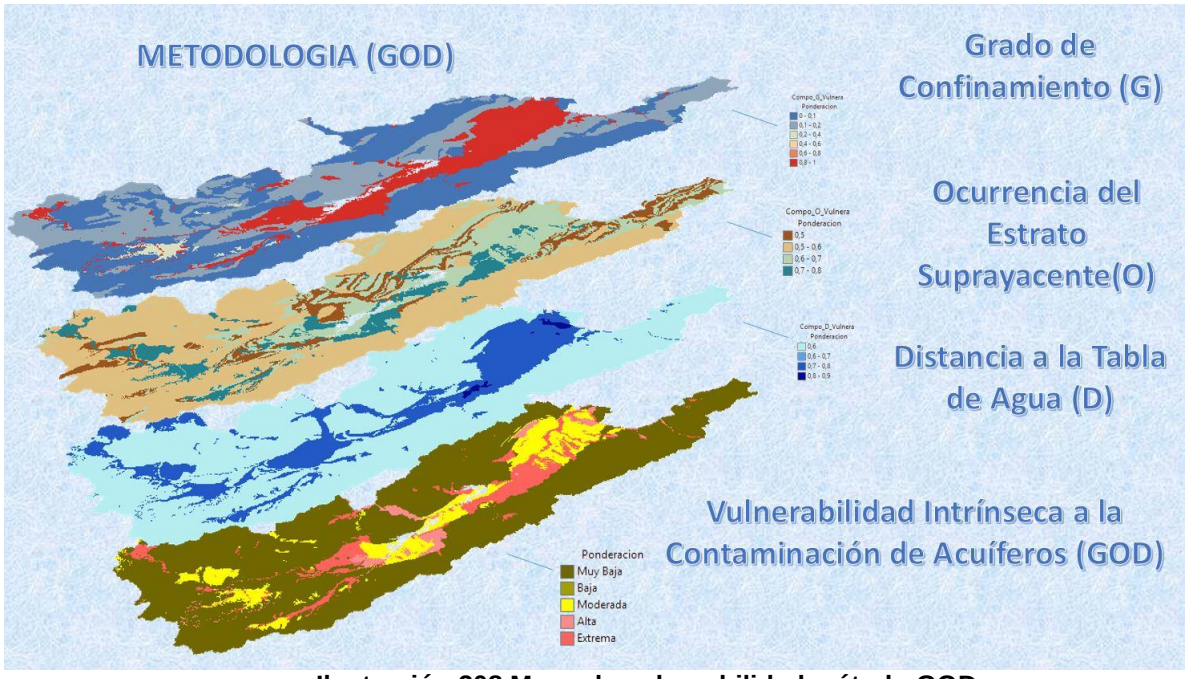


Ilustración 208 Mapa de vulnerabilidad método GOD
Fuente: Consorcio PMAA Magdalena, 2016

9.1 ÍNDICE DE AGUA SUBTERRÁNEA PARA ABASTECIMIENTO PÚBLICO CON RESPECTO AL NÚMERO DE HABITANTES (IASAP)

Es el indicador que muestra la cantidad teóricamente disponible de agua subterránea para cada habitante por año.

El indicador permite reconocer el uso que se hace del agua subterránea para abastecimiento público per cápita (Unesco et ál., 2007)

IASAP= Agua subterranea para abastecimiento público/Numero habitantes
Ecuación 4

Dónde:

Agua suterránea demandada para el abastecimiento público

N° de Habitantes del Departamento del Huilla (DANE, 2017): 1.182.985 habitantes.

9.2 ÍNDICE DE EXTRACCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA (IEAS)

Este indicador permite reconocer a nivel anual la intensidad de uso que se hace de la oferta renovable de aguas subterráneas (recarga) (Unesco et ál., 2007). Es definido así:

IEAS= Extracción total de aguas subterráneas / Recarga *100

Ecuación 5

Dónde:

Extración Agua Subterránea: 68610655.06 m3/año
(cosumo de todas las actividades demanda total del Dpto. Huila)

Recarga máx año prom: 86763 m3/año

IEAS =0.0079%

Este indicador es particularmente útil para los diseñadores de políticas en la gestión del recurso hídrico subterráneo.

9.3 ÍNDICE DE RIESGO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO – (IRCA)

Las muestras no cumplen con los 22 parámetros necesarios para el cálculo de IRCA Según Res. 2115 de 2007

10. CONCLUSIONES

A continuación se presentan las conclusiones más revéanles de la Evaluación Regional del Agua Subterránea en el Departamento del Huila, acerca del conocimiento sobre el comportamiento, el estado actual en cantidad y calidad, distribución espacial, oferta y demanda, así como los indicadores índices de la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación del agua subterránea, Índice De Agua Subterránea Para Abastecimiento Público Con Respecto Al Número De Habitantes (IASAP), Índice De Extracción De Agua Subterránea (IEAS).

El Departamento del Huila pertenece a la Provincia Hidrogeológica Valle Alto del Magdalena (PM2), la cual es una Cuencas hidrogeológicas de montanas e intramontanas, que se disponen entre las Cordilleras Oriental y Central, corresponde a una depresión tectónica del Valle del Magdalena que se ha rellenado en el tiempo geológico y posterior al Mioceno donde se depositaron las secuencias Formaciones geológicas que van desde el Precámbrico hasta el Cuaternario. Regionalmente la cuenca forma una estructura de Geosinclinal donde se identifican dos grandes dominios tectónicos: el flanco occidental de la Cordillera Central y el Oriental limitado por la Cordillera Oriental. El flanco oriental caracterizado por ser una cadena plegada y cabalgante convergencia al oeste, con fallas inversas que buzan hacia el oriente como el sistema de falla de Algeciras y el sistema de fallas de Suaza Garzón y el Valle del Río Magdalena. Con una deformación menor que el bloque anterior con presencia de pliegues suaves y algunas fallas locales limitados al Occidente por la Cordillera Central, que a su vez se limitan por el sistema de Fallas La Plata – Chusma al Occidente.

Esta complejidad estructural forma pliegues menores dentro del gran geosinclinal, desde el punto de vista hidrogeológico tienen una gran importancia, ya que los pliegues sinclinales tiene un papel fundamental en la conformación de los sistemas acuíferos. En el área de estudio del ERA para el Departamento del Huila se identificaron quince (15) estructuras geológicas que cumplen con las condiciones estructurales y litológicas:

- Región Norte: Sinclinal de Media Luna, Sinclinal de Cabañas, Sinclinal de Tivoli, Sinclinal de Palermo, Sinclinal de San Antonio, Amplio Valle del Magdalena que se extiende hasta la región centro.
- Región Centro: Sinclinal de Garzón
- Región Occidente: Sinclinal de Tesalia
- Región Sur: Sinclinal de Tarqui, Sinclinal de palestina y el Valle de Laboyos en Pitalito.
  Y otras estructuras y depósitos que por la escala de trabajo no son cartografíables en este estudio regional.

Las estructuras anteriormente descritas conforma sistemas acuíferos compuesto por zonas de recarga, zona de tránsito, unidades hidrogeológicas como por ejemplo

acuíferos, acuítardos, acuícludos, y acífugo o basamento hidrológico y finalmente las zonas de descarga. Todos conforman un rol importante en los sistemas acuíferos identificados en el área del Departamento del Huila.

En la Provincia Hidrogeológica del Alto Magdalena se identificaron ocho acuíferos regionales importantes como lo son Depósitos Cuaternario (Q), Formación Gigante medio (N2gm), Formación Gigante inferior (N2gii), Grupo Honda (N1h), Formación Gualanday superior (E2gis), Formación Gualanday inferior (E2gii), Formación Guadalupe (K2g) y Formación Caballo (K1c), espacial limitado en superficie y en profundidad y se encuentra delimitado en las estructuras de interés hidrogeológico de sinclinales, valles y en los Depósitos Cuaternarios anteriormente mencionados.

Las zonas de recarga se delimitaron teniendo en cuenta las formaciones geológicas permeables que permite la infiltración del agua lluvias, así como también las zonas de fallas que permiten la conducción del agua hasta alcanzar grandes profundidades. A demás se tiene en cuenta el balance hídrico del cual se estimó que la infiltración Total Año Promedio de 0,01 – 867, 63 mm año, año seco 0,01 – 412, 06 mm año y para año húmedo 0,01 - 1.731,42 mm año.

De lo anterior se toman los resultados del balance hídrico para el cálculo de la infiltración Total Año Promedio, permitiendo determinar el estado actual en cantidad de las reservas estáticas, dinámicas y explotables en cada una de las estructuras de interés hidrogeológico de las cuales se tiene:

Zona	Reservas Estáticas (Km3)	Reservas Dinámicas (Km3)	Reserva Explotable (Km3)
Sinclinal de Bogonia	5	0,004	0,0019
Sinclinal de Tesalia	324	0,077	2,4796
Sinclinal de Tivoli	32	0,014	0,0445
Sinclinal de Media luna	4	0,005	0,0020
Sinclinal de Cabrera	206	0,060	1,2365
Valle de Rio Magdalena	1057	0,259	27,3575
Sinclinal de Palermo	24	0,020	0,0483
Sinclinal de Garzón	177	0,039	0,6803
Sinclinal de Cabaña	17	0,009	0,0158
Sinclinal de San Antonio	33	0,019	0,0625
Sinclinal de Potrero Grande	59	0,015	0,0904
Sinclinal de Tarqui	583	0,079	4,6184
Sinclinal de Palestina	2	0,007	0,0011
Valle de Laboyos	5	0,024	0,0122
Depósitos de la Plata	44	0,007	0,0315
Reserva Explotable de agua subterránea en el Departamento del Huila			**36,68**

En cuanto a la demada del agua subterránea en el Departamento del Huila, se calculó 2,72 m^3/s, siendo extraídos en su mayoría de los pozos profundos y un caudal promedio de extracción de los pozos es de 7l56 ltrs/s, con una demanda por municipio de:

Municipio	N- puntos de agua	porcentaje	Caudal de explotación municipal (ltrs/seg)
Aipe	60	6,6%	88,4
Baraya	20	2,2%	53,29
Campoalegre	64	7,1%	48,79
Colombia	1	0,1%	0
Gigante	4	0,4%	2,5
Hobo	7	0,8%	10,7
Neiva	392	43,3%	1075,8106
Palermo	125	13,8%	178,4534
Pitalito	41	4,5%	8,81
Rivera	83	9,2%	194,13
Suaza	1	0,1%	0,17
Tarqui	1	0,1%	8
Tello	17	1,9%	8,27
Tesalia	2	0,2%	1,14
Villavieja	75	8,3%	484
Yaguara	3	0,3%	0,15
Garzón	1	0,1%	0,1
La Plata	2	0,2%	0,2
Oporapa	2	0,2%	12
Sin información	1	0,1%	0,7156
Total General	905	100,0%	2175,6296

El uso del agua subterránea se destina en las siguientes actividades

Uso Actual	Puntos de Agua	Porcentaje	Caudal (Ltrs/seg)
Abandonado	12	2,7%	131,253
Abastecimiento	21	4,7%	220,731
Agrícola	40	9,0%	174,14
agropecuario	19	4,3%	100,06
Comercial	34	7,6%	44,262
Doméstico y consumo humano	50	11,2%	116,3986
Industrial	154	34,6%	837,0916
Sin información	115	25,8%	551,6934
Total Consumo por actividades	445		2175,6296

Del calculó el consumo anual del recurso hídrico subterráneo considerado como la descarga provocada a los acuíferos, este se determinó con base en los registros de caudal explotado obtenidos del inventario de puntos de agua y por el flujo natural en manantiales.

Tipo de Captación	Caudal (ltrs/seg)	Horas de uso promedio (H)	Descargas Anuales (m3/año)
Pozo	1059,094	8	267.196.707,07
Aljibe	415,6556	8	104.864.920,01
Manantial	22,25	24	16.840.224,00
Sin información	678,63	8	171.210.205,44
Total de consumo recurso hídrico Departamento de Huila (m3/año)			560.112.056,52

En resumen la Oferta de agua subterránea para el Departamento del Huila de las Reservas Explotable de 36 Km3, una Demanda estimada de 2173.62 ltrs/seg y una Recarga 867.63 mm/año.

El Índice de Agua Subterránea para Abastecimiento Público es el indicador que muestra la cantidad teóricamente disponible de agua subterránea para cada habitante por año IASAP= 3.69E+04 m3/a/Hab, y un Índice de Extracción de Agua Subterránea este indicador permite reconocer a nivel anual la intensidad de uso que se hace de la oferta renovable de aguas subterráneas, este indicador es particularmente útil para los diseñadores de políticas en la gestión del recurso hídrico subterráneo IEAS= 0.0079 %. En cuanto a la demanda actual el Departamento del Huila no presenta riesgos por agotamiento, por lo tanto se recomienda no exceder los caudales téoricos máximos de explotación estimados en cada una de las estructuras de interés hidrogeológico.

Para evaluar la vulnerabilidad intrínseca se empleo el método GOD, ya que es el más aplicado en áreas de trabajo con escasa información, con irregular distribución de datos o con incertidumbre en la información. A partir del indicador del índice de la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de los acuíferos se determina que existe una vulnerabilidad en los acuíferos del área de estudio, por lo tanto se presentan riesgos a la contaminación de las aguas subterráneas como consecuencia del desarrollo de actividades potencialmente contaminantes, entre las cuales se identificaron expansión de centros urbanos, relleno sanitario, escombreras, cementerios, almacenamiento, tratamiento, y disposición de residuos peligrosos, actividades que generen lixiviados, actividades agrícolas, pecuarias, piscícolas, industriales como petroleras (exploración y producción), vertimientos de aguas mediante reinyección y minería a gran escala.

Delimitados y caracterizado cada uno de los sistemas acuíferos cartografíables a escala 1:100.000 del Departamento del Huila, y para dar cumplimiento al Decreto Único 1076 del 2015 en su artículo 2.2.3.1.11.2. "*En aquellos acuíferos que no hagan parte de un Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica, la autoridad ambiental competente elaborará el Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos, previa selección y priorización del mismo, cuando se presenten o se prevean como mínimo una de las siguientes condiciones, en relación con oferta, demanda y calidad hídrica, riesgo y gobernabilidad", el numeral 3 del mismo artículo y norma "Cuando por sus características hidrogeológicas*

el acuífero sea estratégico para el desarrollo socioeconómico de una región" y el parágrafo del mismo artículo y norma "(…)las autoridades ambientales competentes impondrán las medidas de conservación, protección y uso sostenible de los recursos naturales a que haya lugar, en aquellos acuíferos que aún no han sido objeto de Plan de manejo Ambiental".

Es propicio plantear el Estudio Hidrogeológico, Aprestamiento, Diagnóstico Y Formulación Del Plan De Manejo Ambiental De Acuíferos (PMAA), el cual es objeto del presente contrato. Y se recomienda que dado al reconocimiento delimitación y caracterización de estructuras de interés hidrogeológico en el sector Sur del Departamento del Huila, realizar el PMAA donde se incluyan los sistemas acuíferos del sinclinal de Tesalia, sinclinal de Palaestina, Valle de Laboyos, y otros acuíferos libres de Depostiros Cuaternarios, abarcando un área de influencia directa de 647.890 Ha aproximadamente, beneficiando a los Municipios La Plata, Argentina, Pital, Tarqui, Altamira, Guadalupe, Suaza, Argentina, Timana, Elías, Oporapa, Saladoblanco, Isnos, Pitalito, Palestina, Acevedo, y San Agustín, con una estimación de costos para la ejecución del proyecto $ 909.207.600 COP.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Chow V.T., Maidment D.R., Mays L.W. (1990). Applied Hydrology. McGraw-Hill International Editions, Civil Engineering Series. New York, U.S.A.

IDEAM. (2013). Lineamientos Conceptuales y Metodológicos para la Evaluación Regional del Agua. Bogotá D.C. 276 Págs.

IDEAM. (2015). Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales.

Monsalve, G. (1995). Hidrología en la Ingeniería, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Santafé de Bogotá D.C.

Ponce, V, M (1989). Engineering Hydrology, Principles and Practices, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA.

Burgos, G., & Moreira, R. (1982). ESTUDIO FOTOGEOLÓGICO PRELIMINAR LA PLATA - AGRADO, DEPARTAMENTO DEL HUILA. CENTRO INTERAMERICANO DE FOTOINTERPRETACIÓN.

INGEOMINAS. (1999). ESTUDIO HIDROGEOLOGICO Y PLAN DE MANEJO DEL AGUA SUBTERRANEA EN EL SECTOR NORORIENTAL DE LA CUENCA DEL RIO MAGDALENA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA. PROGRAMA DE EXPLORACION Y EVALUACION DE FUENTES DE AGUA SUBTERRANEA.

INGEOMINAS. (1999). Estudio Hidrogeológico Y Plan De Manejo del Agua Subterránea en el Sector Nororiental de La Cuenca del Rio Magdalena en el Departamento del Huila. Bogotá D.C: INGEOMINAS.

INGEOMINAS. (2001). Memoria explicativa. Mapa Geológico del Departamento del Huila.

Jiménez, G. (2008). ANALISIS DE LA DEFORMACION Y MODELO ESTRUCTURAL BASADO EN DATOS PALEOMAGNETICOS Y CINEMATICOS EN EL SECTOR SUR DEL VALLE SUPERIOR DEL MAGDALENA (ANTICLINAL DE LA HOCHA).

Mojica, J. y. (1990). Estructuras y Evolución Tectónica del Valle Medio y Superior del Magdalena, . Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

S.G.I, C. (2000). Estudio de Evaluación de la Vulnerabilidad a la Contaminación de los Acuíferos que Subyacen La Ciudad De Neiva y Su Area de Influencia para la Posterior Implementación del Estudio de Modelación Hidrogeológica del Área . Neiva: S.G.I.

IDEAM. (2015). *Estudio Nacional del Agua 2014.* Bogotá, D. C: IDEAM.

Alcaldía Arauca. (2015). *Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de Arauca.*

Alcaldía de Arauquita. (2000). *Plan Básico de Ordenamiento territorial municipio de Arauquita.* Arauquita , Arauca.

Alcaldía de Cravo Norte. (2009). *ACUERDO No. 200.02.009.* Cravo Norte, Arauca.

Alcaldía de Fortul. (2012). *ACUERDO No. 005 DE 2012.* Fortul, Arauca.

Alcaldía de Puerto Rondón. (2012). *Plan de Desarrollo Municipal Puerto Rondón 2012-2015.* Puerto Rondón, Arauca.

Alcaldía de Saravena. (2008). *Plan de Desarrollo Saravena 2008-2011: Saravena... Un compromiso social.* Saravena, Arauca.

Alcaldía de Tame. (2008). *Plan de Desarrollo Municipal Tame 2008-2011.* Tame, Arauca.

ANH, UIS. (2009). *INFORME EJECUTIVO EVALUACIÓN DEL POTENCIAL HIDROCARBURÍFERO DE LAS CUENCAS COLOMBIANAS.* BOGOTÁ D.C: ANH.

Arauca. (04 de 01 de 2016a). *Gobernación de Arauca*. Obtenido de Generalidades: http://www.arauca.gov.co/departamento/generalidades#.VopyUPnhDcc

Arauca. (04 de 01 de 2016b). *Gobernación de Arauca*. Obtenido de Cartografía: http://www.arauca.gov.co/departamento/cartografia#.VorWtfnhDcc

ASF. (2012). *Alaska Satellite Facility*. Obtenido de ALOS-1 PALSAR Global Radar Imagery, 2006-2012: https://www.asf.alaska.edu/sar-data/palsar/terrain-corrected-rtc/

Burgos, G., & Moreira, R. (1982). ESTUDIO FOTOGEOLÓGICO PRELIMINAR LA PLATA - AGRADO, DEPARTAMENTO DEL HUILA. *CENTRO INTERAMERICANO DE FOTOINTERPRETACIÓN*.

Crites, R., & Tchobanoglous, G. (2000). *Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones.*

Custodio, E., & Llamas, R. M. (1976). *Hidrología subterránea.* Barcelona: Omega S.A.

Esri. (2013). *Arcgis Help*. Obtenido de http://help.arcgis.com/En/Arcgisdesktop

Foster, S., & Hirata, R. (1988). Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data.

Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., & Paris, M. (2003). *Protección de la Calidad del Agua Subterránea.*

Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D'Elia, M., & Paris, M. (2003). Protección de la Calidad del Agua Subterránea: guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales. Banco Mundial.

IDEAM. (2013). *Lineamientos conceptuales y metodológicos para la evaluacion regional del agua.* Bogotá D.C: IDEAM.

IDEAM. (2013). *Lineamientos conceptuales y metodológicos para la Evaluación Regional del Agua - ERA.* Bogotá D.C: IDEAM.

INGEOMINAS. (1995). Leyenda de Vulnerabilidad.

INGEOMINAS. (1999). ESTUDIO HIDROGEOLOGICO Y PLAN DE MANEJO DEL AGUA SUBTERRANEA EN EL SECTOR NORORIENTAL DE LA CUENCA DEL RIO MAGDALENA EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA. *PROGRAMA DE EXPLORACION Y EVALUACION DE FUENTES DE AGUA SUBTERRANEA*.

INGEOMINAS. (1999). *Estudio Hidrogeológico Y Plan De Manejo del Agua Subterránea en el Sector Nororiental de La Cuenca del Rio Magdalena en el Departamento del Huila.* Bogotá D.C: INGEOMINAS.

INGEOMINAS. (1999). *Estudio Hidrogeológico y Plan de Manejo del Agua Subterranea en el sector Nororientalde la Cuenca del Río Magdalena en el Departamento del Huila.* Bogotá D.C.: INGEOMINAS.

INGEOMINAS. (2001). *Memoria explicativa. Mapa Geológico del Departamento del Huila.*

IUGS. (30 de Junio de 2017). *International commission on Stratigraphy*. Obtenido de IUGS: http://strarigraphy.org

Jiménez, G. (2008). ANALISIS DE LA DEFORMACION Y MODELO ESTRUCTURAL BASADO EN DATOS PALEOMAGNETICOS Y CINEMATICOS EN EL SECTOR SUR DEL VALLE SUPERIOR DEL MAGDALENA (ANTICLINAL DE LA HOCHA).

MinAmbiente. (2014). *Guía metodológica para la formulación de planes de manejo ambiental de acuíferos.*

Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD INTRINSECA DE LOS.* Bogotá.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Guía MEtodológica para la Formulación de Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos .* Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Mojica, J. y. (1990). *Estructuras y Evolución Tectónica del Valle Medio y Superior del Magdalena, .* Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

NASA. (2011). *ASTER*. Obtenido de Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer: http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp

S.G.I, C. (2000). *Estudio de Evaluación de la Vulnerabilidad a la Contaminación de los Acuíferos que Subyacen La Ciudad De Neiva y Su Area de Influencia para la Posterior Implementación del Estudio de Modelación Hidrogeológica del Área .* Neiva: S.G.I.

Sanders, L. (1998). A manual of field hidrogeology. En L. Sanders, *A manual of field hidrogeology* (pág. 381).

SERVICIO DE EVALUACION AMBIENTAL. (2012). *Guia para el uso de modelos de aguas subterráneas en el SEIA.* Chile : Servicio de Evaluacion Ambiental (SEA).

SGC. (2012). *ESTÁNDARES CARTOGRÁFICOS Y DE MANEJO DE INFORMACIÓN GRÁFICA PARA MAPAS GEOLÓGICOS DEPARTAMENTALES Y PLANCHAS A ESCALA 1:100.000 VERSIÓN 2.* BOTOGOTÁ D.C: SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO.

SGI LTDA. (2000). *Estudio de Evaluación de la Vulnerabilidad a la Contaminicación de los Acuiferos que Subrayacen la Ciudad de Neiva y su Arean de Influencia para la posterior Implementación del Estudio de Modelación Hidrogeologica del Area.* 2000: CAM, SGI LTDA.

SGI LTDA. (2004). *Estudio Hidrogeológico del Valle de Laboyos Pitalito - Huila.* Bogotá: SGI LTDA.

Tuinhof, A., Foster, S., Kemper, K., Garduño, H., & Nanni, M. (2002). *Requerimentos de Monitoreo del Agua Subterránea para manejar la respuesta de los acuíferos y las*

amenazas a la calidad del agua, in Gestión Sustentable del Agua Subterránea Conceptos y Herramientas. Serie de Notas Informativas Nota 9, edited by B. M.-G. MATE.

Vallejo, L. I. (2002). *Ingeniería Geológica.* Madrid: PEARSO EDUCACIÓN .

Van Houten, F., & Travis, R. (1968). Cenozoic deposits, Upper Magdalena Valley. *A.A.P.G. Bulletin. Vol. 52*.

Vargas, N. O. (2001). *ZONAS HIDROGEOLÓGICAS HOMOGÉNEAS DE COLOMBIA Escala 1:1.200.000.* Bogotá D.C. : Postgrado en Recursos Hidráulicos UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA.

Vásquez, L. E. (2017). *Geofísica para Exploración de Aguas Subterráneas.* Bogotá D.C.

Vrba, J. (2002). GROUNDWATER QUALITY MONITORING NETWORKS. *GROUNDWATER AND HUMAN DEVELOPMENT*.