



**DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN
DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL
SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE
ANTIOQUEÑO E LA TERRITORIAL
HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA**



**DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL
SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO EN LA TERRITORIAL HEVÉXICOS DE
CORANTIOQUIA - CONTRATO 1409-241**

INFORME FINAL

Por:

Servicios Hidrogeológicos Integrales S.A.S.

Para:

CORANTIOQUIA

CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DEL CENTRO DE

ANTIOQUIA

Medellín, Mayo de 2015



**DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN
DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL
SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE
ANTIOQUEÑO E LA TERRITORIAL
HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA**



CORANTIOQUIA

**DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL
SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO EN LA TERRITORIAL HEVÉXICOS DE
CORANTIOQUIA - CONTRATO 1409-241**

ALEJANDRO GONZÁLEZ VALENCIA

Director General

JUAN DAVID RAMIREZ SOTO

Subdirección de Gestión Ambiental

ARBEI DE JESUS OSORIO

Supervisor Técnico

JORGE IGNACIO GAVIRIA SALDARRIAGA

Supervisor Técnico

GLORIA CECILIA ARAQUE

Supervisora Técnica



**DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN
DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL
SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE
ANTIOQUEÑO E LA TERRITORIAL
HEVÉXICOS DE CORATIOQUIA**



SERVICIOS HIDROGEOLOGICOS INTEGRALES

CAROLINA ORTIZ PIMIENTA

Coordinadora

MARIA VICTORIA VELEZ OTALVARO

Profesional en hidrología

SANTIAGO HIDALGO GAONA

Profesional en Calidad

ALBA MERY UPEGUI POSADA

Profesional en el área social

CONNIE PAOLA LÓPEZ GÓMEZ

Profesional en el área social

SANDRA LILIANA AGUDELO DUQUE

Profesional en SIG



**DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN
DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL
SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE
ANTIOQUEÑO E LA TERRITORIAL
HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA**



PROFESIONALES DE APOYO

MARIA ISABEL RAMIREZ ROJAS – INGENIERA GEÓLOGA

JULIETH KATHERINE HEREDIA BEDOYA – INGENIERA CIVIL

DEYSI NATALIA CÁRDENAS GIRALDO – INGENIERA GEÓLOGA

JULIO CÉSAR ALVAREZ VILLA – INGENIERO QUÍMICO

LAURA CHAVARRÍA ARBOLEDA– INGENIERA GEÓLOGA

SEBASTIAN BALBÍN BETANCUR – INGENIERO CIVIL

SEBASTIAN CANO ACOSTA – INGENIERO SANITARIO

LUISA FERNANDA GOMEZ OSSA – INGENIERA FORESTAL

TABLA DE CONTENIDO

| | | |
|-------|---|----|
| 1. | INTRODUCCIÓN..... | 29 |
| 1.1 | LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO | 30 |
| 2. | RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN SECUNDARIA | 33 |
| 3. | HIDROLOGÍA | 36 |
| 3.1 | METODOLOGÍA..... | 36 |
| 3.2 | SISTEMA HIDROGRÁFICO - DESCRIPCIÓN DE LA RED DE DRENAJE | 37 |
| 3.3 | ANÁLISIS DE INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA | 39 |
| 3.3.1 | Influencia del fenómeno ENSO en el régimen de precipitación | 44 |
| 3.4 | MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN | 47 |
| 3.5 | DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE VARIABLES CLIMÁTICAS | 48 |
| 3.5.1 | Campo de precipitación | 49 |
| 3.5.2 | Campo de temperatura | 52 |
| 3.5.3 | Campo de evapotranspiración real | 53 |
| 3.6 | ESTIMACIÓN DE CAUDALES MEDIOS | 56 |
| 3.6.1 | Balance hidrológico a largo plazo..... | 56 |
| 3.7 | RECARGA POTENCIAL POR PRECIPITACIÓN | 60 |
| 3.7.1 | Marco general de la recarga en la zona | 60 |
| 3.8 | Modelo de recarga de Vélez y Salazar, 2005 | 61 |
| 3.8.1 | Información de entrada | 65 |
| 3.8.2 | Algoritmo utilizado (Vélez y Salazar, 2005) | 79 |

| | | |
|---|---|---|
|  <p>SHI SERVICIOS HIDROGEOLOGICOS INTEGRALES</p> | <p>DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO E LA TERRITORIAL HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA</p> |  <p>CORANTIOQUIA</p> |
|---|---|---|

| | | |
|-------|---|-----|
| 3.8.3 | Resultados | 80 |
| 4. | INFORME HIDROGEOQUÍMICA, ISOTOPIA Y CALIDAD DE AGUAS | 85 |
| 4.1 | INTRODUCCIÓN..... | 85 |
| 4.2 | REVISIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA EN FÍSICO – QUÍMICA E ISOTÓPIA..... | 85 |
| 4.2.1 | Base de datos Corantioquia | 85 |
| 4.2.2 | “Evaluación del potencial acuífero de los municipios de Santa Fe de Antioquia, Sopetrán, San Jerónimo, Olaya y Liborina”. Ortiz y Restrepo (2004) | 87 |
| 4.2.3 | “Validación del modelo hidrogeológico del Occidente Antioqueño mediante técnicas isotópicas e hidroquímicas” por Rhenals (2007). | 88 |
| 4.2.4 | Consolidado de Información recolectada | 90 |
| 4.3 | ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO | 92 |
| 4.3.1 | Inventario de información de análisis físico – químicos para puntos de agua subterránea | 92 |
| 4.3.2 | Calidad de los análisis físico – químicos | 93 |
| 4.3.3 | Diagramas de Piper | 100 |
| 4.3.4 | Diagramas de Stiff | 103 |
| 4.3.5 | Secuencia de Cheboratev | 104 |
| 4.4 | ISÓTOPOS ESTABLES: DEUTERIO Y OXÍGENO 18 | 106 |
| 4.4.1 | Red de monitoreo de isótopos ambientales | 106 |
| 4.4.2 | Puntos de agua lluvia | 107 |
| 4.4.3 | Puntos de agua subterránea | 111 |
| 4.5 | PROPUESTA DE RED DE MONITOREO | 116 |
| 4.6 | CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS | 117 |
| 4.6.1 | Parámetros físicos | 119 |
| 4.6.2 | Parámetros químicos | 124 |
| 4.6.3 | Calidad de las aguas en la zona de estudio | 127 |

| | | |
|---|---|---|
|  <p>SERVICIOS HIDROGEOLOGICOS INTEGRALES</p> | <p>DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO E LA TERRITORIAL HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA</p> |  <p>CORANTIOQUIA</p> |
|---|---|---|

| | | |
|--------------|---|------------|
| 5. | GEOLOGÍA..... | 128 |
| 5.1 | GEOLOGÍA REGIONAL..... | 128 |
| 5.2 | GEOLOGÍA LOCAL..... | 128 |
| 5.2.1 | Rocas cristalinas..... | 129 |
| 5.2.2 | Rocas sedimentarias..... | 132 |
| 5.2.3 | Depósitos superficiales..... | 133 |
| 5.3 | TECTÓNICA Y GEOLOGÍA ESTRUCTURAL..... | 134 |
| 6. | GEOMORFOLOGÍA..... | 136 |
| 6.1 | GEOMORFOLOGÍA REGIONAL..... | 136 |
| 6.2 | GEOMORFOLOGÍA LOCAL..... | 136 |
| 6.2.1 | Cuchillas..... | 137 |
| 6.2.2 | Filos..... | 139 |
| 6.2.3 | Vertientes..... | 140 |
| 6.2.4 | Cerros aislados (Ca)..... | 141 |
| 6.2.5 | Colinas..... | 141 |
| 6.2.6 | Aluviales..... | 142 |
| 6.3 | ZONAS POTENCIALES DE RECARGA..... | 144 |
| 7. | PROSPECCIÓN GEOFÍSICA..... | 149 |
| 7.1 | MÉTODO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA EMPLEADO..... | 149 |
| 7.2 | RESISTIVIDAD EN LAS ROCAS..... | 151 |
| 7.3 | SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES (SEV)..... | 152 |
| 7.3.1 | Interpretación de los SEV..... | 158 |
| 7.3.2 | Mapas de isorresistividad..... | 161 |

| | | |
|---|--|---|
|  <p>SERVICIOS HIDROGEOLOGICOS INTEGRALES</p> | DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO E LA TERRITORIAL HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA |  <p>CORANTIOQUIA</p> |
|---|--|---|

| | | |
|--------------|---|------------|
| 8. | POTENCIAL HIDROGEOLOGICO | 170 |
| 8.1 | ISOPIEZAS..... | 170 |
| 8.2 | ZONAS CON POTENCIAL ACUÍFERO ALTO | 172 |
| 8.2.1 | Acuíferos asociados a depósitos aluviales del río Cauca..... | 173 |
| 8.2.2 | Acuíferos asociados a materiales de tributarios del río Cauca..... | 174 |
| 8.2.3 | Acuíferos asociados a depósitos de vertiente | 178 |
| 8.3 | ZONAS CON POTENCIAL ACUÍFERO MEDIO | 179 |
| 8.4 | ZONAS DE POTENCIAL BAJO | 180 |
| 8.5 | PROPIEDADES HIDRÁULICAS | 181 |
| 8.6 | VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN..... | 182 |
| 8.6.1 | Método DRASTIC | 183 |
| 8.6.2 | Método GOD..... | 188 |
| 9. | INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA | 192 |
| 9.1 | INTRODUCCIÓN..... | 192 |
| 9.2 | METODOLOGÍA..... | 192 |
| 9.3 | TRABAJO EN CAMPO..... | 193 |
| 9.4 | ANÁLISIS DE PARÁMETROS | 199 |
| 9.4.1 | Parámetros de campo..... | 199 |
| 9.5 | USOS Y USUARIOS | 213 |
| 9.5.1 | Fuentes de abastecimiento | 215 |
| 9.5.2 | Estado de los aljibes..... | 216 |
| 9.5.3 | Régimen de bombeo | 219 |
| 9.5.1 | Caudales de explotación | 220 |

| | | |
|---|--|---|
|  <p>SERVICIOS HIDROGEOLOGICOS INTEGRALES</p> | <p>DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO E LA TERRITORIAL HEVÉXICOS DE CORATIOQUIA</p> |  <p>CORANTIOQUIA</p> |
|---|--|---|

| | | |
|---------------|--|-----|
| 9.6 | FUENTES POTENCIALES DE CONTAMINACIÓN..... | 220 |
| 10. | FASE DE DIAGNÓSTICO – COMPONENTE SOCIAL, ECONÓMICO Y CULTURAL | 224 |
| 10.1 | INTRODUCCIÓN..... | 224 |
| 10.2 | OBJETIVOS | 225 |
| 10.3 | MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO DEL ENFOQUE PARTICIPATIVO Y ANÁLISIS DE ACTORES..... | 226 |
| 10.3.1 | Enfoque participativo..... | 226 |
| 10.3.2 | Análisis de Actores | 228 |
| 10.3.3 | Metodología | 230 |
| 10.3.4 | Plan de trabajo | 233 |
| 10.3.5 | Estrategias de convocatoria..... | 235 |
| 10.4 | DESCRIPCIÓN DE TERRITORIO OCCIDENTE CERCANO – TERRITORIAL HEVÉXICOS 236 | |
| 10.4.1 | Dinámica poblacional (Población y densidad poblacional)..... | 238 |
| 10.4.2 | Vivienda..... | 239 |
| 10.4.3 | Servicios públicos | 241 |
| 10.4.4 | Salud..... | 247 |
| 10.4.5 | Educación | 249 |
| 10.4.6 | Actividades económicas | 250 |
| 10.5 | CARACTERIZACION SOCIOECONOMICA Y CULTURAL DE LOS ACTORES DEL SISTEMA ACUIFERO DEL OCCIDENTE CERCANO – ANTIOQUIA..... | 251 |
| 10.5.1 | Formas tradicionales de acceso y gestión del agua en el occidente cercano: Las acequias y los sistemas de riego..... | 252 |
| 10.5.2 | Identificación y descripción de los actores sociales que se relacionan con el recurso subterráneo | 254 |
| 10.5.3 | Usuarios del agua subterráneas – actores del sector privado..... | 257 |

| | | |
|---|--|---|
|  <p>SERVICIOS HIDROGEOLOGICOS INTEGRALES</p> | DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO E LA TERRITORIAL HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA |  <p>CORANTIOQUIA</p> |
|---|--|---|

| | | |
|--------|--|-----|
| 10.5.4 | Instituciones con responsabilidad en el sistema de agua subterránea – Actores institucionales | 262 |
| 10.5.5 | Actores potenciales y estratégicos en el uso y gestión del agua subterránea | 266 |
| 10.6 | DIAGNÓSTICO SOBRE LOS ACTORES DEL RECURSO SUBTERRÁNEO | 267 |
| 10.6.1 | Áreas estratégicas definidas por la comunidad asociadas a la accesibilidad del recurso subterráneo | 277 |
| 10.6.2 | Identificación de problemáticas asociadas al recurso subterráneo | 278 |
| 10.6.3 | Balance de la participación..... | 282 |
| 11. | SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA | 289 |
| 11.1 | CARTOGRAFÍA..... | 289 |
| 11.1.1 | 1GDB | 289 |
| 11.1.2 | 2GRD | 289 |
| 11.1.3 | 3LYR | 289 |
| 11.1.4 | 4LOGOS..... | 289 |
| 11.1.5 | MXD | 290 |
| 11.1.6 | IMÁGENES | 290 |
| 11.2 | INFORME FINAL..... | 290 |
| 12. | CONCLUSIONES..... | 291 |
| 12.1 | HIDROLOGÍA | 291 |
| 12.2 | GEOLOGÍA..... | 291 |
| 12.3 | GEOMORFOLOGÍA | 292 |
| 12.4 | GEOFISICA..... | 292 |
| 12.5 | HIDROGEOQUIMICA, ISOTOPÍA Y CALIDAD | 293 |
| 12.6 | RECARGA..... | 293 |



**DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN
DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL
SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE
ANTIOQUEÑO E LA TERRITORIAL
HEVÉXICOS DE CORATIOQUIA**



| | | |
|--|---|-----|
| 12.7 | POTENCIAL ACUIFERO | 294 |
| 12.8 | CARACTERIZACION SOCIOCULTURAL Y ECONÓMICO | 295 |
| 13. | RECOMENDACIONES | 297 |
| 14. | BIBLIOGRAFÍA..... | 299 |
| 15. | ANEXOS..... | 305 |
| CAPÍTULO 2 INFORMACIÓN SECUNDARIA | | 305 |
| CAPÍTULO 3 HIDROLOGÍA..... | | 305 |
| CAPÍTULO 4 HIDROGEOQUÍMICA, ISOTOPIA Y CALIDAD | | 305 |
| CAPITULO 9 INVENTARIO PUNTOS AGUA | | 305 |
| CAPITULO 10 CARACTERIZACIÓN SOCIOCULTURAL | | 305 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Fases del plan de manejo ambiental del acuífero (PMAA). Fuente: Decreto 1640 de 2012. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible..... | 29 |
| Figura 2. Localización general del área de estudio. Fuente: elaboración propia..... | 30 |
| Figura 3. Localización del área de estudio. Fuente: elaboración propia..... | 31 |
| Figura 4. Diagrama metodológico del análisis hidrológico. Fuente: elaboración propia..... | 37 |
| Figura 5. Hidrografía de la zona de estudio. Fuente: elaboración propia. | 38 |
| Figura 6. Zona de estudio; con exageración en la escala vertical de 3. Fuente: elaboración propia. 39 | 39 |
| Figura 7. Ubicación de estaciones hidrometeorológicas. Fuente: elaboración propia..... | 41 |
| Figura 8. Ciclo anual de precipitación de la zona de estudio. Fuente: elaboración propia..... | 42 |
| Figura 9. Ciclo anual de anomalías en la precipitación. Fuente: elaboración propia..... | 42 |
| Figura 10. Ciclo anual de caudales de las estaciones de la zona. Fuente: elaboración propia. | 43 |
| Figura 11. Correlación temporal entre la precipitación y el caudal de la estación La Galera. Fuente: elaboración propia..... | 43 |
| Figura 12. Correlación temporal entre la precipitación y el caudal de la estación Peñalta. Fuente: elaboración propia..... | 44 |
| Figura 13. Efectos del fenómeno ENSO en los registros de las estaciones. Fuente: elaboración propia..... | 46 |

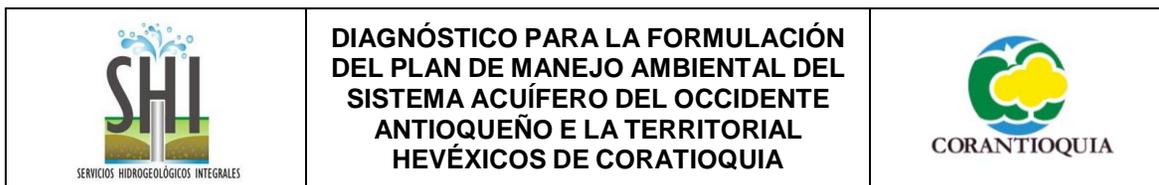


Figura 14. Variación porcentual de la precipitación para las fases El Niño y La Niña, con respecto a la fase normal de las estaciones. Fuente: elaboración propia. 47

Figura 15. Modelo digital de elevación de la zona de estudio. Fuente: elaboración propia. 48

Figura 16. Estaciones de precipitación mensual de la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.
50

Figura 17. Variograma ajustado con modelo tipo Efecto pepita + Esférico. Fuente: HidroSIG 4.0. 51

Figura 18. Mapa de precipitación media multianual. Fuente: elaboración propia..... 52

Figura 19. Mapa de temperatura media anual. Fuente: elaboración propia. 53

Figura 20. Mapa de evapotranspiración real por Cenicafé – Budyko. Fuente: elaboración propia. 55

Figura 21. Mapa de evapotranspiración real por Turc. Fuente: elaboración propia. 56

Figura 22. Esquema del balance hidrológico sobre una cuenca. Fuente: Poveda et al, 2007..... 57

Figura 23. Caudal medio a largo plazo en las cuencas de interés de la zona de estudio. Fuente: elaboración propia. 59

Figura 24. Balance hídrico en una celda (P: precipitación; EVP: evapotranspiración; ESD: escorrentía) (Fuente: Vélez y Salazar, 2005). 62

Figura 25. Diagrama de flujo del modelo (Fuente: Vélez y Salazar, 2005). 63

Figura 26. Zonas de interés y estaciones de precipitación. Fuente: elaboración propia. 66

Figura 27. Modelo de elevación digital. Fuente: elaboración propia..... 67

Figura 28. Convenciones direcciones de flujo. Fuente: software Hidrosig 4.0. 68

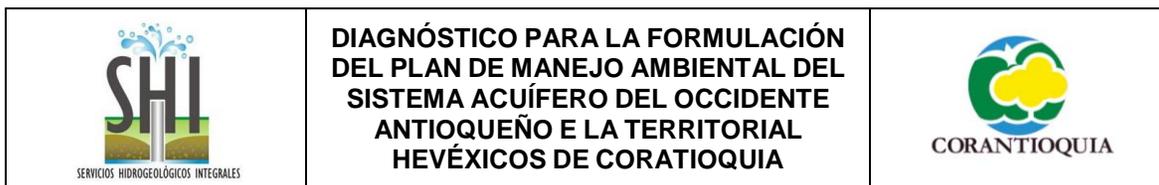


Figura 29. Mapa de asociaciones de suelos. Fuente: IGAC, 2007..... 69

Figura 30. Triángulo de texturas de suelo. Fuente: Bradbury et al., 2000..... 69

Figura 31. Mapa de texturas de suelo. Fuente: elaboración propia..... 70

Figura 32. Nomograma para la estimación de la capacidad de campo. Fuente: Rawls, 1983..... 71

Figura 33. Mapa de coberturas. Fuente: Corantioquia, 2008. 73

Figura 34. Mapa de coberturas reclasificado. Fuente: elaboración propia. 75

Figura 35. Variabilidad espacial de la recarga para condiciones normales. Fuente: elaboración propia..... 82

Figura 36. Variabilidad espacial de la recarga para condiciones secas. Fuente: elaboración propia.
83

Figura 37. Variabilidad espacial de la recarga para condiciones húmedas. Fuente: elaboración propia..... 84

Figura 38. Puntos de agua subterránea de la base de datos de Corantioquia. Fuente: Corantioquia, 2014..... 86

Figura 39. Inventario de aguas subterráneas (UNALMED, 2004). Fuente: “Evaluación del Potencial Acuífero de los Municipios de Santa Fe de Antioquia, Sopetrán, San Jerónimo, Olaya y Liborina”, Unalmed, 2004. 87

Figura 40. Red de monitoreo físico – químico (UNALMED, 2004). Fuente: Evaluación del Potencial Acuífero de los Municipios de Santa Fe de Antioquia, Sopetrán, San Jerónimo, Olaya y Liborina. Unalmed, 2004. 88

Figura 41. Red de monitoreo físico químico (UNALMED, 2007). Fuente: Validación del Modelo Hidrogeológico del Occidente Antioqueño Mediante Técnicas Isotópicas e Hidroquímica. Unalmed, 2007..... 89

Figura 42. Red de monitoreo de aguas lluvias. Fuente: Validación del Modelo Hidrogeológico del Occidente Antioqueño Mediante Técnicas Isotópicas e Hidroquímicas. Unalmed. 2007..... 90

Figura 43. Inventario recopilado de puntos de agua subterránea. Fuente: Corantioquia, 2012, 2013, 2014..... 91

Figura 44. Puntos con resultados de análisis físico – químico. Fuente: Corantioquia, 2004, 2007, 2012, 2013 y 2014..... 93

Figura 45. Porcentaje de desviación del balance para los resultados de la campaña del 2004. Fuente: elaboración propia..... 98

Figura 46. Desviación del balance para los resultados de la campaña del 2007. Fuente: elaboración propia..... 98

Figura 47. Desviación del balance iónico para los resultados de la campaña del 2012. Fuente: elaboración propia..... 99

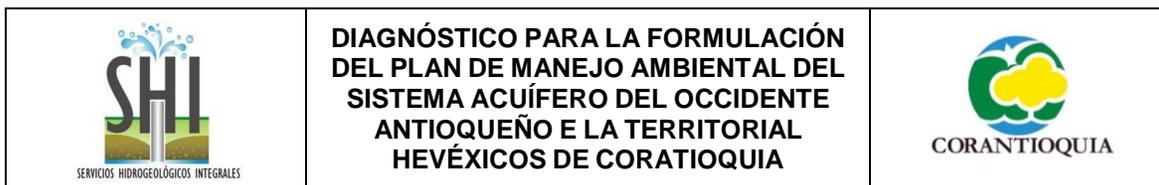
Figura 48. Desviación del balance iónico para los resultados de la campaña del 2013. Fuente: elaboración propia..... 99

Figura 49. Desviación del balance iónico para los resultados de la campaña del 2014. Fuente: elaboración propia..... 100

Figura 50. Clasificación de las aguas según el diagrama de Piper. Fuente: Fetter, 2001. 101

Figura 51. Diagrama de Piper. Fuente: elaboración propia..... 101

Figura 52. Diagramas de Piper para cada uno de los años de muestreo. Fuente: elaboración propia..... 103



| | |
|--|-----|
| Figura 53. Diagramas de Stiff. Fuente: Fitts, 2002..... | 104 |
| Figura 54. Diagramas de Stiff. Fuente: elaboración propia..... | 104 |
| Figura 55. Secuencia de cheboratev. Fuente: Freeze & Cherry, 1979..... | 105 |
| Figura 56. Red de monitoreo de isotopos ambientales. Fuente: Universidad Nacional de Colombia 2007..... | 107 |
| Figura 57. Variación temporal del oxígeno 18. Fuente: Rhenals, 2007..... | 109 |
| Figura 58. Variación temporal del deuterio. Fuente: Rhenals, 2007..... | 109 |
| Figura 59. Línea meteórica local. Fuente: Rhenals, 2007. | 110 |
| Figura 60. Puntos de agua lluvia por campaña. Fuente: Rhenals, 2007. | 111 |
| Figura 61. Puntos de agua subterránea. Fuente: Rhenals, 2007. | 112 |
| Figura 62. Composición isotópica de las aguas subterráneas. Fuente: Rhenals, 2007. | 114 |
| Figura 63. Deuterio vs altura. Fuente: Rhenals, 2007. | 115 |
| Figura 64. Oxígeno 18 vs altura. Fuente: Rhenals, 2007. | 115 |
| Figura 65. Red de monitoreo propuesta por SHI. Fuente: elaboración propia. | 117 |
| Figura 66. Color verdadero 2004. Fuente: elaboración propia. | 120 |
| Figura 67. Color verdadero 2014. Fuente: elaboración propia. | 121 |
| Figura 68. Color verdadero de los puntos de agua subterránea. Fuente: elaboración propia. | 121 |

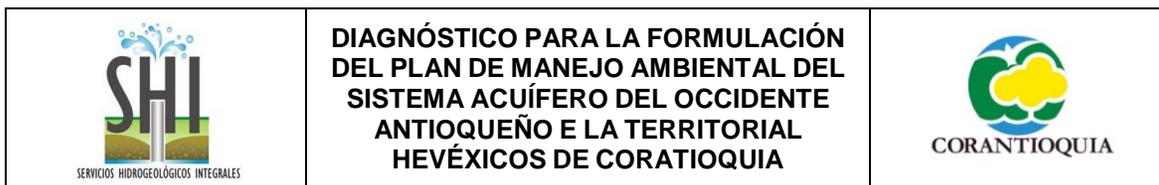


Figura 69. Turbiedad de los puntos de agua subterránea. Fuente: elaboración propia. 122

Figura 70. Conductividad eléctrica. Fuente: elaboración propia. 123

Figura 71. Potencial de hidrógeno. Fuente: elaboración propia. 123

Figura 72. Carbono orgánico total. Fuente: elaboración propia. 124

Figura 73. Nitratos. Fuente: elaboración propia. 124

Figura 74. Nitritos. Fuente: elaboración propia. 125

Figura 75. Alcalinidad total. Fuente: elaboración propia. 125

Figura 76. Dureza total. Fuente: elaboración propia. 126

Figura 77. Coliformes totales. Fuente: elaboración propia. 126

Figura 78. Coliformes totales. Fuente: elaboración propia. 127

Figura 79. Mapa geológico para la zona de estudio. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo.2004.
135

Figura 80. Unidades geomorfológicas para la zona de estudio. Fuente: modificado de Ortiz y
Restrepo.2004. 137

Figura 81. Mapa de pendientes para la zona de estudio. Fuente: elaboración propia. 147

Figura 82. Zonas potenciales de recarga por geomorfología para la zona de estudio. Fuente:
elaboración propia. 148

Figura 83. Arreglo tipo Schlumberger. Fuente: Elaboración propia. 150

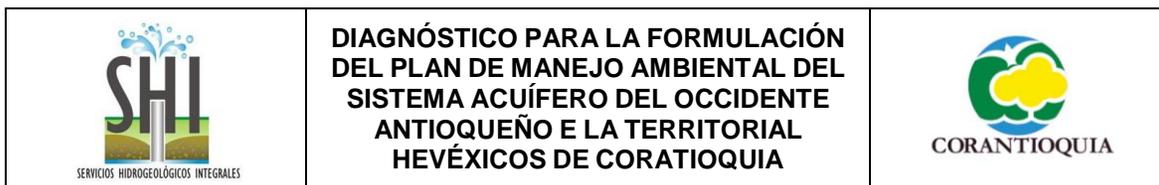


Figura 84. Arreglo tipo Wenner. Fuente: Elaboración propia..... 150

Figura 85. Localización de los sondeos eléctricos verticales (SEV) en la zona de estudio. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo, 2004..... 155

Figura 86. Gráfica de columnas geoelectricas con base en las curvas. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo, 2004..... 158

Figura 87. Curva correspondiente al SEV 17 en el sector del Tonusco, cercanías al casco urbano de Santa Fe de Antioquia. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo, 2004..... 159

Figura 88. Transecto de la zona de Sopetrán bajo, correlación entre los SEV 28, 35 y 39. Al lado derecho se hace referencia a la gama de colores para cada rango de resistividad, y al lado izquierdo, se muestra la altura sobre el nivel del mar de los techos y fondos de las capas. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo, 2004..... 160

Figura 89. Mapa de isorresistividad para 10 m de profundidad. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo, 2004..... 162

Figura 90. Mapa de isorresistividad para 20 m de profundidad. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo, 2004..... 163

Figura 91. Mapa de isorresistividad para 30 m de profundidad. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo, 2004..... 165

Figura 92. Mapa de isorresistividad para 50 m de profundidad. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo, 2004..... 166

Figura 93. Mapa de isorresistividad para 70 m de profundidad. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo, 2004..... 168

Figura 94. Variación de la resistividad en profundidad. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo, 2004..... 169

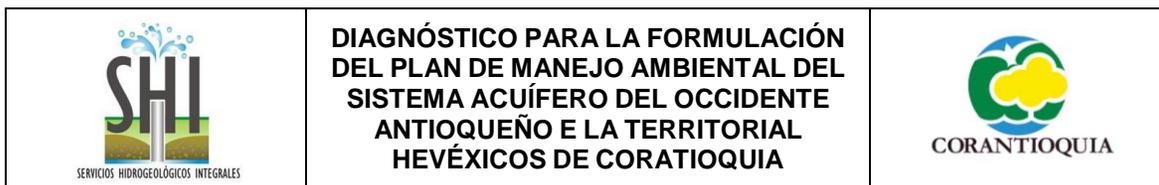


Figura 95. Mapa de isopiezas para la zona de estudio. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo, 2004, a partir de los datos tomados en 2015..... 171

Figura 96. Acuíferos libres en la zona de estudio. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo, 2004.
173

Figura 97. Acuífero sector La Florida. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo, 2004. 174

Figura 98. Acuífero sector Tonusco. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo, 2004 175

Figura 99. Acuífero río Aurrá. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo, 2004 176

Figura 100. Acuífero de La Sopetrana. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo, 2004 177

Figura 101. Acuífero Juan García. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo, 2004 178

Figura 102. Acuífero San Jerónimo. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo, 2004..... 179

Figura 103. Zonas de potencial acuífero alto y medio. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo, 2004..... 180

Figura 104. Mapa de vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea en el área de estudio por el método DRASTIC. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo, 2004 187

Figura 105. Caracterización de la vulnerabilidad GOD. Fuente: Foster e Hirata, 1991..... 189

Figura 106. Mapa de vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea en el área de estudio por el método GOD. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo, 2004 190

Figura 107. Distribución espacial de los puntos de agua inventariados en el año 2004. Fuente: Ortiz y Restrepo. 2004. 195

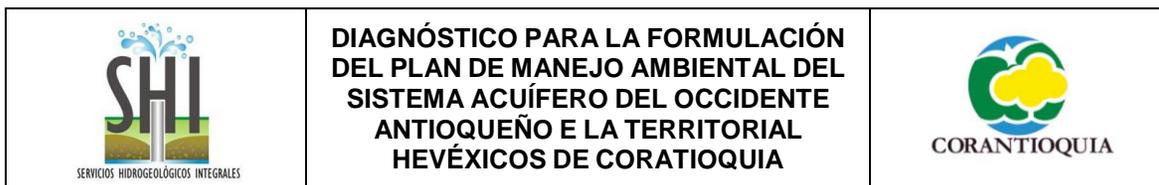


Figura 108. Distribución espacial de los puntos de agua subterránea inventariados. Fuente: elaboración propia. 196

Figura 109. Valores de temperatura registrados en los puntos de agua. Fuente: elaboración propia. 200

Figura 110. Distribución espacial de los valores de temperatura registrados. Fuente: elaboración propia..... 201

Figura 112. Distribución espacial de los valores de pH registrados. Fuente: elaboración propia. 204

Figura 113. Relación de la conductividad eléctrica con la elevación. . Fuente: elaboración propia. 205

Figura 114. Distribución espacial de la conductividad eléctrica de los puntos de agua inventariados. Fuente: elaboración propia..... 206

Figura 115. Distribución espacial de la salinidad de los puntos de agua inventariados. Fuente: elaboración propia. 207

Figura 116. Distribución espacial de los sólidos disueltos totales de los puntos de agua inventariados. Fuente: elaboración propia. 208

Figura 117. Distribución espacial del potencial de óxido reducción de los puntos de agua inventariados. Fuente: elaboración propia. 210

Figura 119. Distribución espacial de los niveles de los puntos de agua inventariados. Fuente: elaboración propia. 212

Figura 120. Grupos de usuarios del recurso hídrico subterráneo. Fuente: elaboración propia..... 213

Figura 121. Distribución espacial de los grupos de usuarios. Fuente: elaboración propia..... 214

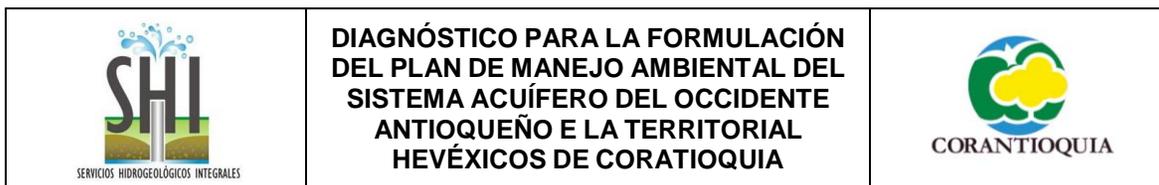


Figura 122. Distribución de usuarios por municipio. Fuente: elaboración propia. 215

Figura 123. Estado de los puntos de agua inventariados. Fuente: elaboración propia. 216

Figura 124. Distribución espacial del estado de los aljibes. Fuente: elaboración propia. 217

Figura 125. Usos del agua de los puntos de agua inventariados. Fuente: elaboración propia. 218

Figura 126. Distribución espacial del uso del agua de los aljibes. Fuente: elaboración propia. 218

Figura 127. Distribución de los usos del agua por municipio. Fuente: elaboración propia. 219

Figura 128. Distribución espacial de los grupos de usuarios comparados con la zona de potencial acuífero. Fuente: elaboración propia. 221

Figura 129. Población consolidada occidente antioqueño. Fuente: Planes de Desarrollo municipal 2012-2015 239

Figura 130. Número de viviendas municipios área de estudio. Fuente: Planes de Desarrollo municipal 2012-2015 241

Figura 131. Cobertura en el servicio de acueducto. Fuente: Planes de Desarrollo municipal 2012-2015 243

Figura 132. Cobertura en el servicio de alcantarillado. Fuente: Planes de Desarrollo municipal 2012-2015 244

Figura 133. Cobertura recolección de residuos sólidos conglomerado. Fuente: Planes de Desarrollo municipal 2012-2015 246

Figura 134. Cobertura servicio de energía eléctrica. Fuente: Planes de Desarrollo municipal 2012-2015 247

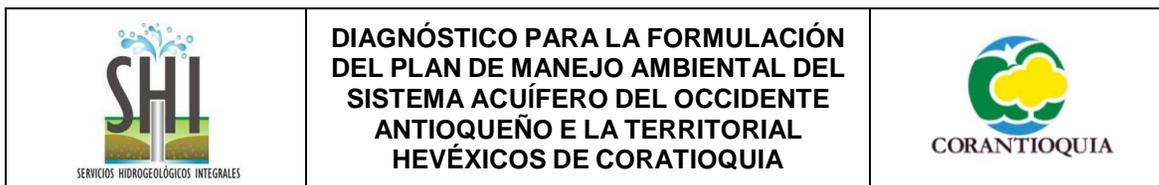


Figura 135. Cobertura servicio de salud consolidado por municipio. Fuente: Planes de Desarrollo municipal 2012-2015 249

Figura 136. Esquema actores y su escala de acción en cuanto al Sistema Acuífero en el occidente Antioqueño. Fuente: elaboración propia. 266

Figura 137. Esquema de actores y su rol frente al Sistema Acuífero en Occidente Antioqueño. Fuente: elaboración propia..... 269

Figura 138. Áreas de extracción de agua subterránea identificadas socialmente..... 278

Figura 139. Matriz de problemas aguas subterráneas occidente antioqueño 281

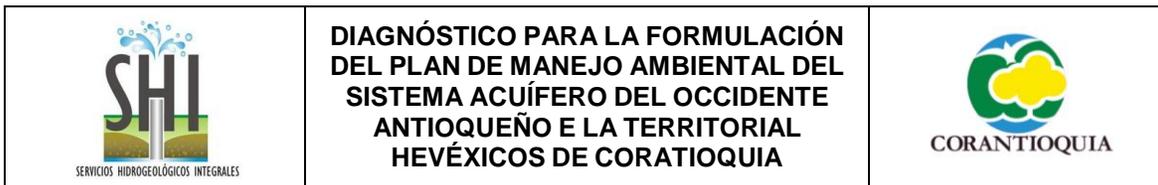
LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Veredas visitadas durante el trabajo de campo en cada municipio. | 32 |
| Tabla 2. Esquemas de Ordenamiento Territorial municipios de la zona de estudio. | 33 |
| Tabla 3. Expedientes de trámites ambientales. | 33 |
| Tabla 4. Mapas disponibles en escala 1:25.000. | 33 |
| Tabla 5. Estaciones hidrometeorológicas. | 39 |
| Tabla 6. Datos faltantes estaciones hidrometeorológicas. | 40 |
| Tabla 7. Generalidades de las 32 estaciones de precipitación. | 49 |
| Tabla 8. Caudales medios multianuales de las estaciones de caudales en la zona. | 58 |
| Tabla 9. Caudales medios a largo plazo en los puntos de interés de la zona de estudio. | 59 |
| Tabla 10. Períodos de simulación. | 65 |
| Tabla 11. Texturas presentes en la zona de estudio. | 70 |
| Tabla 12. Capacidad de campo para cada unidad de suelo. | 71 |
| Tabla 13. Reclasificación coberturas. Mapa de coberturas reclasificado. | 73 |
| Tabla 14. Profundidad de las raíces [cm] para cada tipo de suelo y cobertura. | 76 |
| Tabla 15. Selección del grupo hidrológico. | 76 |
| Tabla 16. Número de curva asociado a cada par de textura de suelo y tipo de cobertura. | 77 |

| | | |
|---|---|---|
|  <p>SERVICIOS HIDROGEOLOGICOS INTEGRALES</p> | <p>DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO E LA TERRITORIAL HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA</p> |  <p>CORANTIOQUIA</p> |
|---|---|---|

| | |
|--|-----|
| Tabla 17. Resultados de recarga para cada período simulado. | 81 |
| Tabla 18. Resultados de recarga para el polígono de estudio. | 84 |
| Tabla 19. Información consignada en la base de datos de CORANTIOQUIA. | 85 |
| Tabla 20. Puntos de agua con información de análisis físico – químicos. | 94 |
| Tabla 21. Error aceptable en un balance iónico según la sumatoria de aniones. | 97 |
| Tabla 22. Puntos que conforman la red de monitoreo de isótopos ambientales. | 106 |
| Tabla 23. Resultados de los análisis de isótopos ambientales deuterio y oxígeno 18. | 108 |
| Tabla 24. Puntos de muestreo para determinación de la concentración de los isotopos ambientales deuterio y oxígeno 18. | 112 |
| Tabla 25. Puntos de la red de monitoreo propuesta. | 116 |
| Tabla 26. Puntos con información de calidad de aguas. | 118 |
| Tabla 27. Características físicas. | 119 |
| Tabla 28. Potencial de recarga para cada unidad geomorfológica. | 145 |
| Tabla 29. Resistividad de las aguas y rocas (Astier, 1982 en Ortiz y Restrepo, 2004). | 151 |
| Tabla 30. Rangos de resistividad eléctrica para las rocas de la zona de estudio medidas en campo. Tomado de Ortiz y Restrepo (2004). | 152 |
| Tabla 31. Rangos de resistividad para los depósitos cuaternarios. Tomado de Ortiz y Restrepo (2004). | 153 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 32. Número de SEV de calibración para cada unida geológica. Tomado de Ortiz y Restrepo (2004). | 153 |
| Tabla 33. Número de SEV por sector o cuenca en la zona de estudio. Tomado de Ortiz y Restrepo (2004). | 154 |
| Tabla 34. Características de los SEV ejecutados en el estudio de Ortiz y Restrepo (2004). | 155 |
| Tabla 35. Propiedades hidráulicas para 16 pozos de la zona de estudio, a partir de pruebas de bombeo ejecutadas por Ortiz y Restrepo (2004). | 181 |
| Tabla 36. Valoración de cada uno de los parámetros empleados en la metodología DRASTIC (Aller et al, 1987 en Ortiz y Restrepo, 2004). | 185 |
| Tabla 37. Factores de ponderación para cada parámetro (Aller et al, 1987 en Ortiz y Restrepo, 2004). | 185 |
| Tabla 38. Veredas visitadas durante el trabajo de campo en cada municipio. | 193 |
| Tabla 39. Consolidado por municipio de los puntos de agua subterránea inventariados. | 197 |
| Tabla 40. Régimen de bombeo..... | 219 |
| Tabla 41. Caudales de explotación para la zona de estudio..... | 220 |
| Tabla 42. Codificación de los tipos de zonas acuíferas | 221 |
| Tabla 43. Ejercicios y experiencias de análisis de actores | 228 |
| Tabla 44. Concesiones de agua subterránea formalizada y en trámite. Fuente: Corantioquia expedientes Hevéxicos. 2014. | 234 |



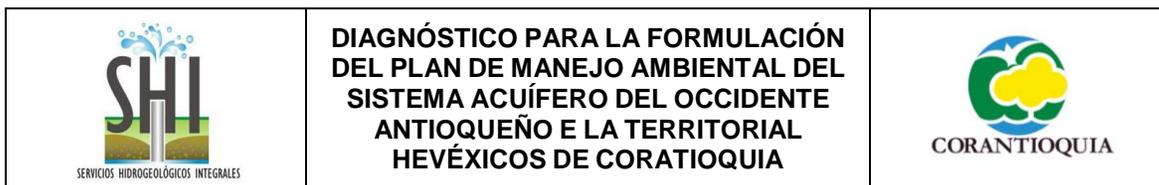
| | |
|--|-----|
| Tabla 45. Dinámica Poblacional consolidado municipios occidente antioqueño. Fuente: (DANE, 2005b), Fuente: Planes de Desarrollo municipal 2012-2015..... | 238 |
| Tabla 46. Componente vivienda conglomerado occidente antioqueño. Fuente: Planes de Desarrollo municipal 2012-2015. | 240 |
| Tabla 47. Servicios públicos consolidado municipios occidente antioqueño. Fuente: Planes de Desarrollo municipal 2012-2015..... | 245 |
| Tabla 48. Salud municipios de occidente antioqueño. Fuente: Planes de Desarrollo municipal 2012-2015..... | 248 |
| Tabla 49. Cobertura educación por categorías consolidado occidente antioqueño. Fuente: Planes de Desarrollo municipal 2012-2015. | 249 |
| Tabla 50. Nivel alfabetismo consolidado occidente antioqueño. Fuente: (DANE, 2005a) | 250 |
| Tabla 51. Listado de parcelaciones identificadas con uso de agua subterránea..... | 258 |
| Tabla 52. Proyectos constructivos en proceso para el año 2015 en los municipios del occidente antioqueño cercano. Fuente: Revista Informe inmobiliario primer trimestre de 2015. | 258 |
| Tabla 53. Número de empresas de construcción, alojamiento e inmobiliarias en occidente. Fuente: Cámara de Comercio, estadísticas 2013. | 259 |
| Tabla 54. Listado de Hoteles y hosterías con uso de agua subterránea | 259 |
| Tabla 55. Fincas de recreo identificadas en la zona de estudio..... | 260 |
| Tabla 56. Caracterización roles actores institucionales | 264 |
| Tabla 57. Síntesis de roles e importancia en los actores claves identificados en el Sistema Acuífero de Occidente. | 268 |

| | | |
|---|--|---|
|  <p>SERVICIOS HIDROGEOLÓGICOS INTEGRALES</p> | <p>DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO E LA TERRITORIAL HEVÉXICOS DE CORATIOQUIA</p> |  <p>CORANTIOQUIA</p> |
|---|--|---|

Tabla 58. Consolidado de actores a partir de información primaria y secundaria: Caracterización y análisis..... 271

Tabla 59. Áreas estratégicas definidas por la comunidad asociadas a la accesibilidad del recurso subterráneo Poner nombre a esta tabla..... 277

Tabla 60. Balance actividades de acercamiento a los diversos actores del área de estudio 284



LISTA DE FOTOS

| | | |
|----------------|---|-----|
| Foto 1. | Identificación del personal en campo con camiseta y chaleco. | 197 |
| Foto 2. | Identificación del personal en campo con chaleco y pava. | 198 |
| Foto 3. | Muestra de agua con contenido de hierro. | 203 |
| Foto 4. | Izquierda: aljibe con tubería de descarga de aguas residuales. Derecha: aljibe con basura. | 222 |
| Foto 5. | Izquierda: aljibe con animales muertos en su interior. Derecha: aljibe abandonado. | 223 |
| Foto 6. | Ubicación del aljibe y el pozo séptico. | 223 |
| Foto 7. | Taller con las comunidades y la territorial Hevéxicos sobre resultados finales del diagnóstico para la Formulación del Plan de Manejo del sistema acuífero del Occidente Antioqueño. Mayo de 2015. Fuente: SHI | 287 |
| Foto 8. | Socialización resultados finales del Diagnóstico para la formulación del PMA del sistema acuífero del Occidente Antioqueño, con la territorial Hevéxicos y funcionarios de la administración municipal de San Jerónimo. Mayo de 2015. Fuente: SHI | 287 |
| Foto 9. | Socialización resultados finales del Diagnóstico para la formulación del PMA del sistema acuífero del Occidente Antioqueño, con funcionarios de la administración de Sopetrán y de la administración municipal de Liborina. Mayo de 2015. Fuente: SHI | 287 |

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso fundamental e indispensable en todos los procesos de la vida, por tal razón es de vital importancia hacer un uso adecuado de este, al igual proteger todas aquellas fuentes disponibles tanto superficiales como subterráneas, pero para esto se necesita conocer el territorio propio, a la población, sus necesidades, hábitos y costumbres. En pro de este objetivo Corantioquia y la Universidad Nacional ya han realizado anteriormente estudios acerca del potencial acuífero en el Occidente Antioqueño. Y ahora, en aras de realizar el Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos (PMAA), la corporación ha visto la necesidad de llevar a cabo la segunda fase, la cual consiste en el diagnóstico ambiental del sistema acuífero.

Tal y como lo establece el Decreto 1640 de 2012, un Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos (PMAA) se compone de 4 fases, tal y como se presenta en forma resumida en la Figura 1

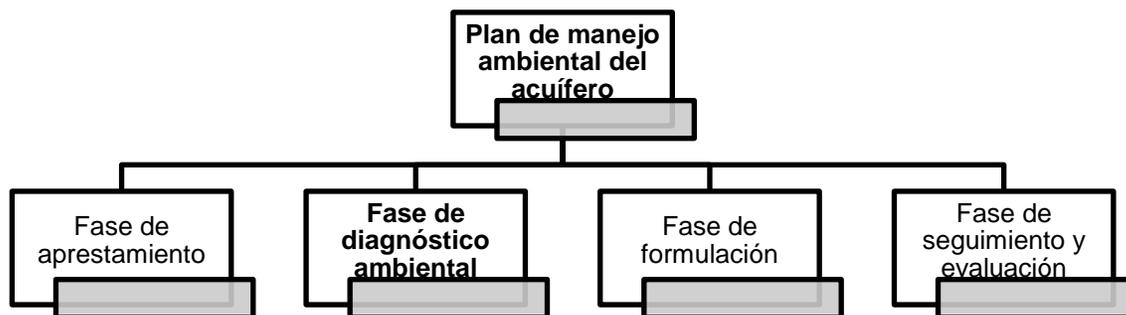


Figura 1.Fases del plan de manejo ambiental del acuífero (PMAA). Fuente: Decreto 1640 de 2012. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

El diagnóstico para la formulación del plan de manejo del sistema acuífero del occidente Antioqueño, se realizó mediante 5 alcances:

- Recopilación, organización y análisis de información.
- Actualización del inventario de puntos de agua.
- Actualización de la evaluación hidrológica
- Actualización de la evaluación hidrogeoquímica

- Caracterización socioeconómica y cultural de los principales actores del sistema acuífero y socialización.
- La cartografía base proporcionada por la corporación se encuentra en escala 1:25.000.

1.1 LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicada en un tramo del Cañón del Río Cauca al Occidente cercano del departamento de Antioquia, como se muestra en la Figura 2.

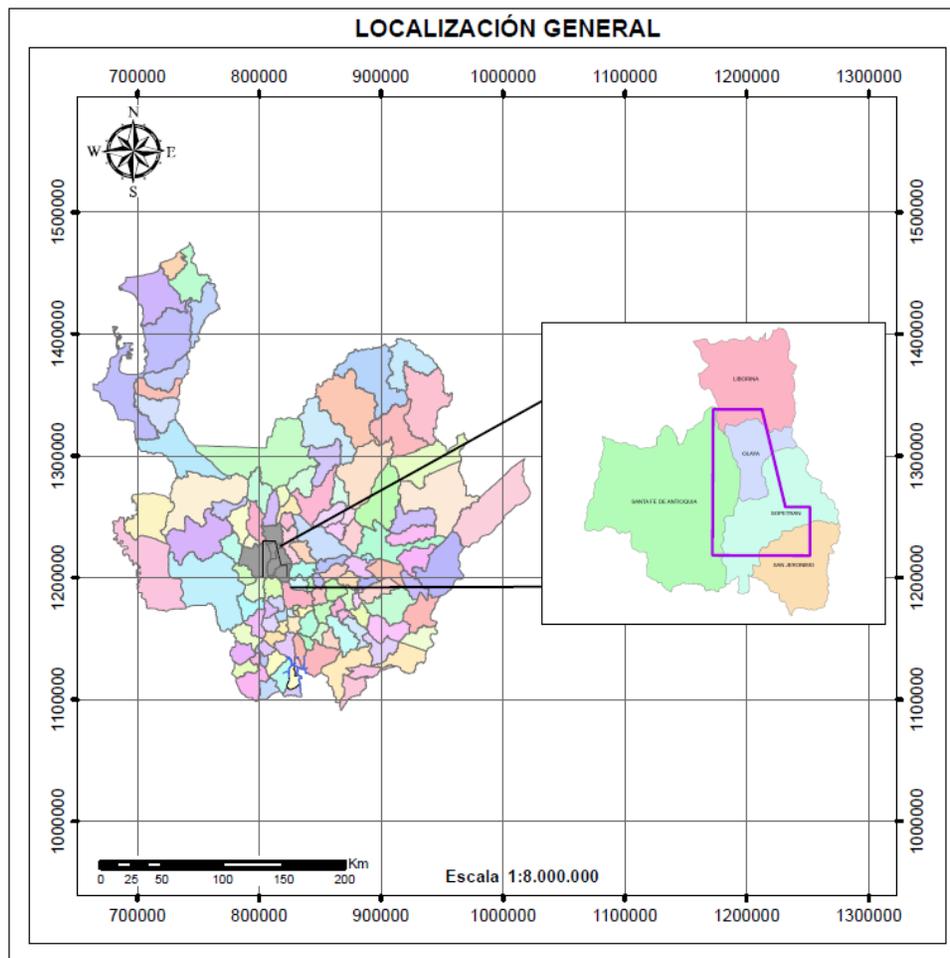


Figura 2. Localización general del área de estudio. Fuente: elaboración propia.

Los municipios que comprende el estudio incluyen los municipios de Liborina, Olaya, Santa Fe de Antioquia, San Jerónimo y Sopetrán, encerrando un área de 450 km², como se muestra en la Figura 3.

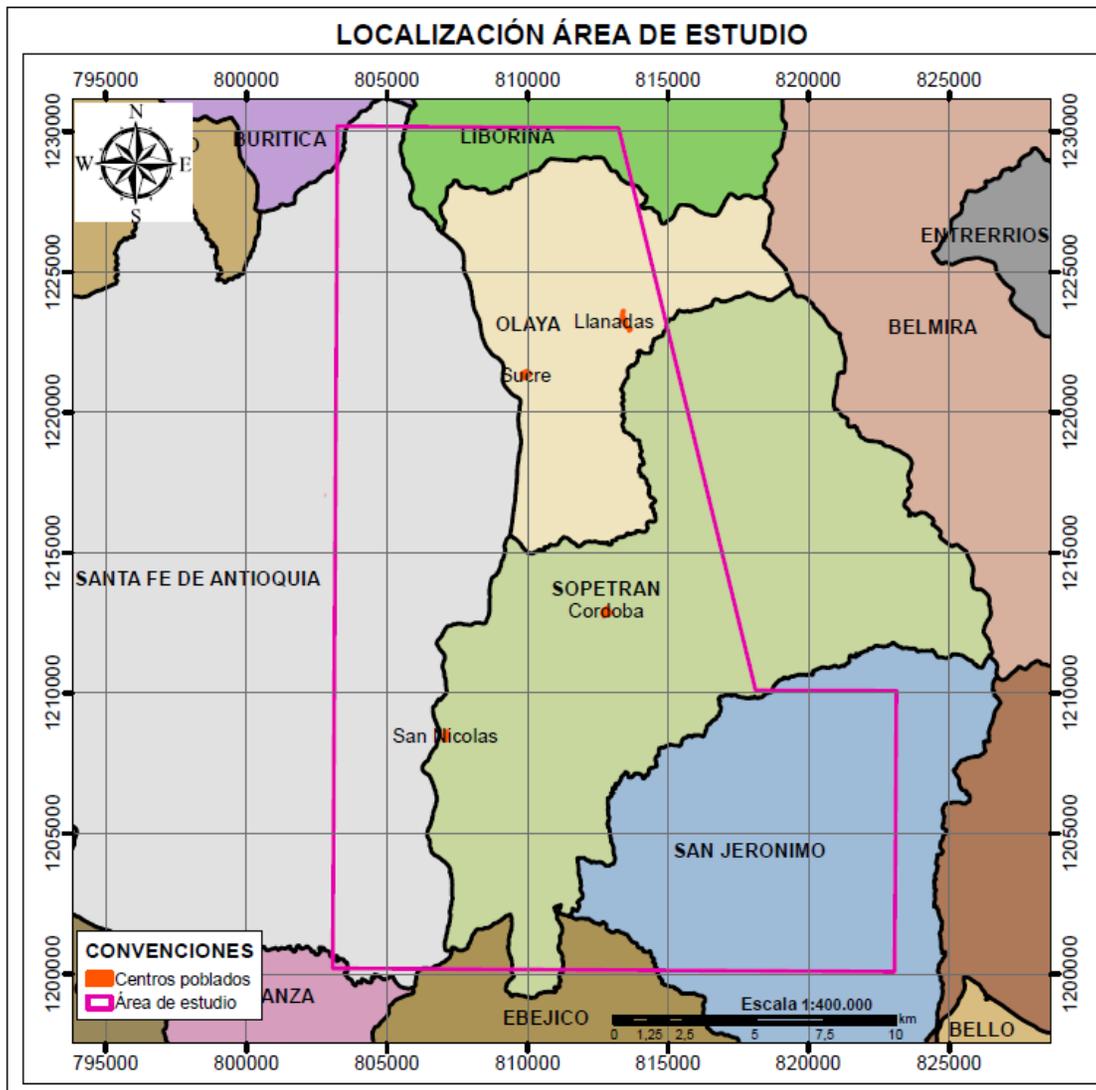


Figura 3. Localización del área de estudio. Fuente: elaboración propia.

La veredas visitadas durante la campaña de campo para la actualización de puntos de agua y para realizar el diagnóstico socioeconómico y cultural se presenta en la Tabla 1.



**DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN
DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL
SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE
ANTIOQUEÑO E LA TERRITORIAL
HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA**



Tabla 1. Veredas visitadas durante el trabajo de campo en cada municipio.

| Municipio | Vereda/Sector |
|-----------------------|---------------------------|
| Liborina | Llano Grande |
| Olaya | La Florida |
| | Quebrada Seca |
| | Sucre |
| Santa Fe de Antioquia | Pangordito |
| | El Bajío |
| | El Espinal |
| | El Paso |
| | Kilómetro 2 |
| | La Noque |
| | La USA |
| | Las Estancias |
| | Obregón |
| | Parcelación Las Magnolias |
| | Parcelación Manantiales |
| | Parcelación La India |
| | Parcelación Los Halcones |
| | Parcelación Molinares |
| Sopetrán | El Rodeo |
| | Guaymaral |
| | La Ahuyamal |
| | Tafetanes Alto |
| | Tafetanes Medio |
| | Tafetanes Bajo |
| | Llano de Montaña |
| | Córdoba |
| | Sector La Guamala |
| | La Mirandita |
| | San Nicolás |
| San Jerónimo | Llano de Aguirre |

| | | |
|---|--|---|
|  <p>SERVICIOS HIDROGEOLOGICOS INTEGRALES</p> | DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO E LA TERRITORIAL HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA |  <p>CORANTIOQUIA</p> |
|---|--|---|

2. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

La información secundaria recopilada hasta el momento está compuesta por:

- Esquemas de ordenamiento territorial vigentes según acuerdo, son los que se presentan a continuación en la Tabla 2.

Tabla 2. Esquemas de Ordenamiento Territorial municipios de la zona de estudio.

| Municipio | Año EOT | Acuerdo |
|-----------------------|---------|-----------------------------------|
| Liborina | 1999 | N° 2 del 14 de septiembre de 1999 |
| Olaya | 2000 | N° 5 del 27 de mayo de 2000 |
| Santa Fe de Antioquia | 2000 | N° 10 del 6 de noviembre de 2000 |
| San Jerónimo | 2012 | N° 3 del 4 de mayo de 2012 |
| Sopetrán | 2007 | N° 12 del 19 de noviembre de 2007 |

- Expedientes de concesiones de aguas subterráneas, superficiales, vertimientos y licencias ambientales (Tabla 3); en los que se encontró información geológica y geomorfológica de la zona, de suelos, pruebas de bombeo.

Tabla 3. Expedientes de trámites ambientales.

| Tipo | Total expedientes |
|-------------------------------|-------------------|
| Concesión Aguas subterráneas | 5 |
| Concesión Aguas superficiales | 42 |
| Permiso de Vertimientos | 10 |
| Licencias ambientales | 6 |

- Cartografía de la zona de estudio en escala 1:25.000, también del inventario de puntos de agua, red de monitoreo, geología. En la Tabla 4 se presenta un resumen de los mapas disponibles (MXD).

Tabla 4. Mapas disponibles en escala 1:25.000.

| Mapas generales |
|-------------------------------|
| Mapa área de estudio |
| Mapa de centros poblados |
| Mapa municipios |
| Mapa curvas de nivel |
| Modelo digital de elevaciones |
| Mapa de drenajes dobles |
| Mapa de drenajes sencillos |

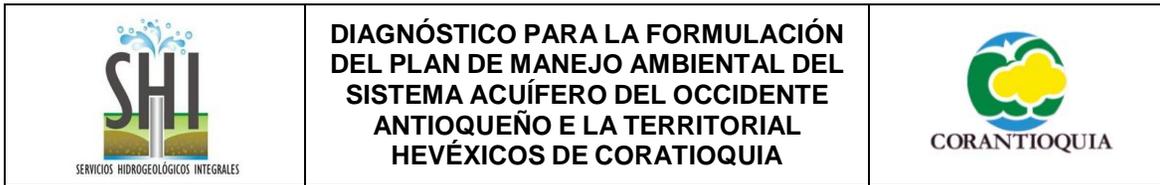
| | | |
|---|---|---|
|  <p>SERVICIOS HIDROGEOLOGICOS INTEGRALES</p> | <p>DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO E LA TERRITORIAL HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA</p> |  <p>CORANTIOQUIA</p> |
|---|---|---|

| |
|--|
| Mapa de vías principales |
| Mapa de senderos |
| Mapas temáticos |
| Mapa inventario puntos de agua |
| Mapa red de monitoreo de puntos de agua |
| Mapa de unidades geológicas |
| Mapa de fallas geológicas |
| Mapa de cortes geológicos |
| Mapa de sectores de interés hidrogeológico |
| Mapa de unidades geomorfológicas |
| Mapa de afloramientos geológicos |
| Mapa de coberturas vegetales |
| Mapa de sondeos eléctricos verticales |
| Mapas de resistividad para 10, 20, 30, 50 y 70 m |
| Mapas de isoresistividad para 10, 20, 30, 50 y 70 m |
| Mapas de espesor de unidades acuíferas. |
| Mapa de profundidad de la base de unidades acuíferas libres. |
| Mapa de estaciones hidrometeorológicas |
| Mapa de unidades hidrogeológicas / hidrostratigráficas libres |
| Mapa de zonas de potencial acuífero |
| Mapa de recarga potencial por precipitación en un año niño, niña y normal. |

- **Revisión bibliográfica**

Ortiz Pimienta, Carolina y Restrepo Vallejo, Camilo. Evaluación del Potencial Acuífero en los municipios de Santa Fe de Antioquia, San Jerónimo, Sopetrán, Olaya y Liborina. Trabajo Dirigido de Grado (2004). Realiza un trabajo en el que se definen las zonas con potencial acuífero Alto y Medio, las cuales abarcan un área de aproximadamente 180 km². Para obtener dicho resultado se inició con recopilación de información, estudio hidrológico, prospección geológica con 96 sondeos eléctricos verticales, e inventario de puntos de agua, 56 en total.

Rhenals Garrido, Remberto L. Validación del modelo hidrogeológico del occidente antioqueño mediante técnicas isotópicas e hidroquímicas. Tesis de Maestría (2007). En este trabajo se realizó la validación mediante técnicas isotópicas del modelo hidrogeológico en el Occidente antioqueño, buscando identificar las fuentes principales de recarga, su localización y las interconexiones existentes entre fuentes superficiales y subterráneas; para llegar a esto se utilizó información isotópica e hidroquímica, y se realizó una caracterización del flujo subterráneo y los procesos de recarga.



Como anexo del capítulo 2 se presenta una ficha que contiene la descripción de cada uno de los archivos consultados y que sirvieron como fuente de consulta de información secundaria, el anexo se denomina 1 - Fichas_bibliográficas_Hevéxicos.

3. HIDROLOGÍA

En este capítulo se presentan las principales conclusiones acerca de la hidrología y climatológica en la zona de estudio.

3.1 METODOLOGÍA

A partir del análisis de registros históricos de series de precipitación y caudal se estimaron los caudales medios espacialmente distribuidos, usando la metodología del balance hídrico a largo plazo

Inicialmente se hizo una caracterización de la red hidrográfica superficial de la zona, luego se analizó la información hidrometeorológica disponible, se construyó el ciclo anual de precipitación y se analizó su comportamiento frente al fenómeno macro-climático El Niño - Oscilación del Sur ENSO.

El procesamiento de la información meteorológica adquirida incluyó el proceso de reconstrucción de los valores diarios faltantes y un análisis de homogeneidad.

Se construyeron campos de variables climáticas: precipitación, temperatura y evapotranspiración. En el caso de la precipitación se implementó la técnica de interpolación de Kriging con deriva externa, usando datos puntuales y en el caso de temperatura y evapotranspiración real se usaron formulas empíricas para su estimación.

Con los campos construidos se estimaron los caudales medios por el método del balance hídrico a largo plazo.

La metodología utilizada se resume en el diagrama que se presentan en la Figura 4.

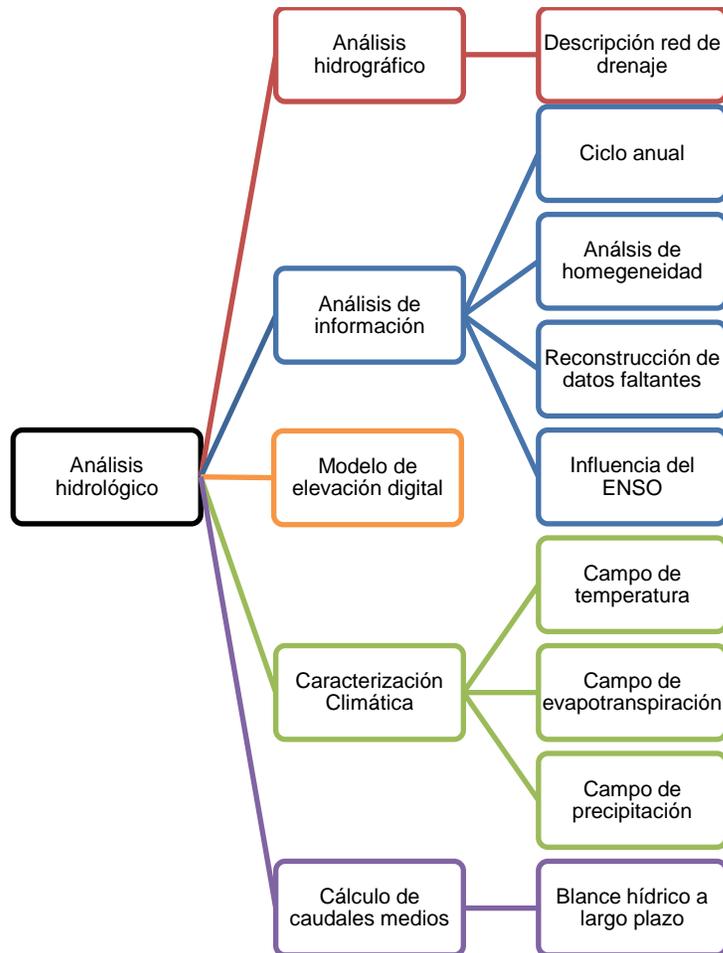


Figura 4.Diagrama metodológico del análisis hidrológico. Fuente: elaboración propia.

3.2 SISTEMA HIDROGRÁFICO - DESCRIPCIÓN DE LA RED DE DRENAJE

El patrón característico de la red de drenajes para los canales de la región es dendrítico.

El cuerpo de agua más importante en la zona es el río Cauca, al cual desemboca el caudal de todos los drenajes ubicados dentro de la zona de estudio, con excepción del río Chico que hace parte de la cuenca del río Porce.

En la ladera occidental los drenajes principales son la quebrada Puna (tributaria del río Tonusco), quebrada Seca y el río Tonusco; este último tiene la particularidad que entrega sus aguas al río Cauca en contra flujo.

A su vez en la ladera oriental las quebradas La Sucia, La Clara, La Cosme, La Mirandita, La Yuma, La Sopetrana, Juan García y el río Aurrá son las corrientes principales; todas ellas afluentes directos del río Cauca.

Además de esto se considera dentro del área de interés la cuenca del río Chico, que a pesar de no drenar directamente al río Cauca y de pertenecer a otra cuenca hidrográfica (cuenca del río Porce) juega un papel importante en la recarga de la zona (ver el capítulo de recarga potencial).

La red hidrográfica de la zona de estudio se presenta en la Figura 5.

En la Figura 6 se muestran las cuencas más importantes de la zona de estudio y el modelo digital de elevación de la zona de estudio con un tamaño de celda de 30 m x 30 m.

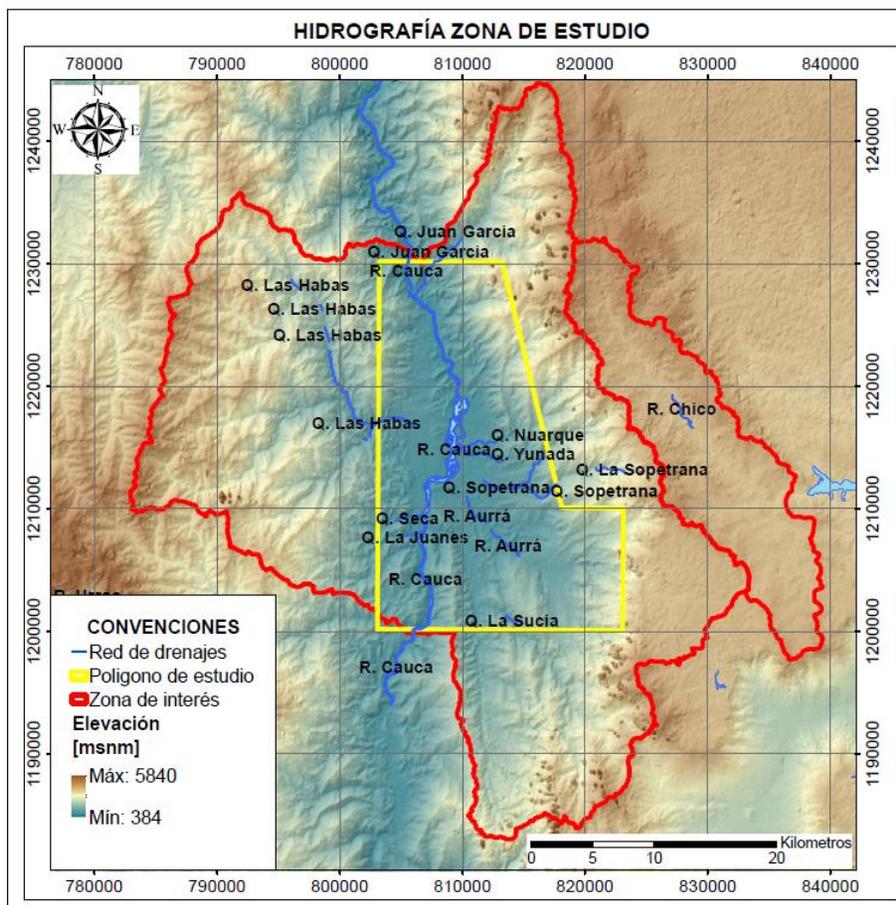


Figura 5. Hidrografía de la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.

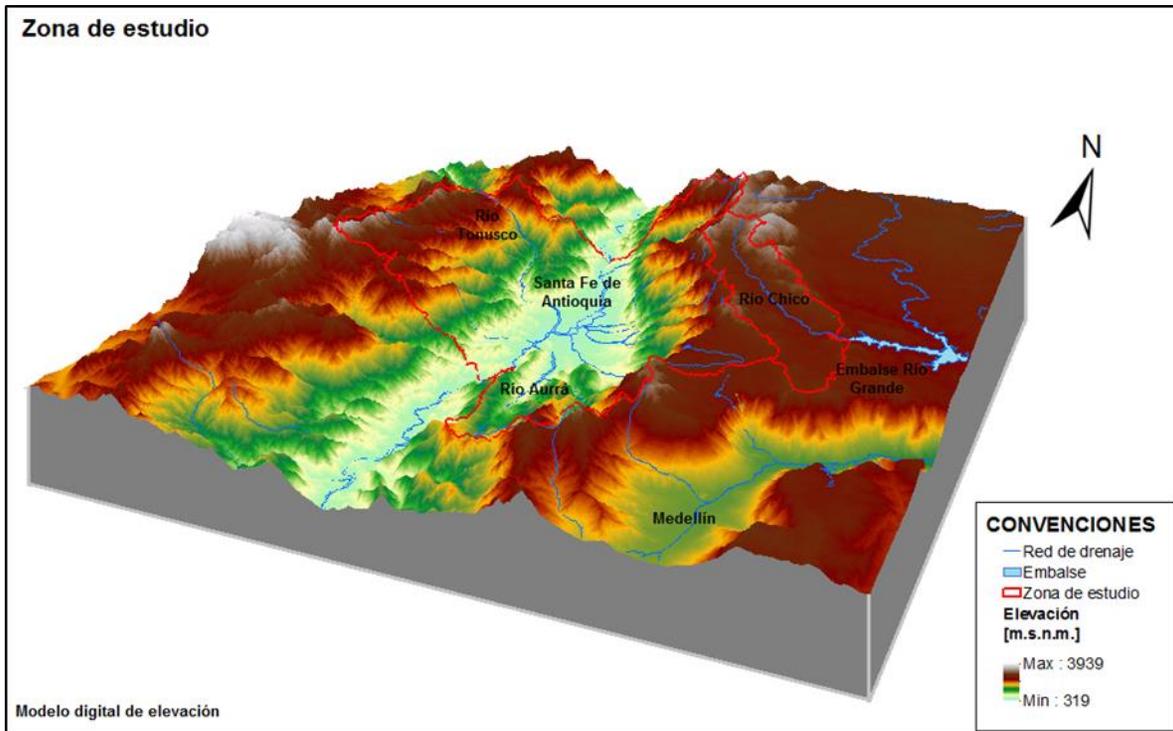


Figura 6. Zona de estudio; con exageración en la escala vertical de 3. Fuente: elaboración propia.

3.3 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA

Para este análisis se solicitó información hidrometeorológica en cercanías a la zona estudio, al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). La información disponible incluye ocho (8) estaciones pluviométricas (PM), una (1) estación pluviográfica (PG), dos (2) estaciones climatológicas ordinarias, una (1) estación agrometeorológica (AG) y dos (2) estaciones limnigráficas (LM). Las generalidades de estas estaciones se muestran en la Tabla 5; los datos tienen resolución temporal diaria y su ubicación es presentada en la Figura 7 y se encuentran consolidados en el anexo del capítulo 3 denominado: Información_meteorológica.

Tabla 5. Estaciones hidrometeorológicas.

| Código | Estación | Tipo | Variable | Coordenadas [m.s.n.m.] | | Fuente | Registro | | Longitud [Años] |
|---------|------------------|------|----------|------------------------|---------|--------|----------|------|-----------------|
| | | | | Norte | Este | | Inicio | Fin | |
| 1111011 | Boqueron de Toyo | PG | P | 1.189.096 | 802.811 | IDEAM | 1983 | 2010 | 28 |
| 2620506 | La Noque | CO | P | 1.199.803 | 805.716 | IDEAM | 1981 | 1988 | 7 |
| 2621007 | Caicedo | PM | P | 1.200.522 | 789.343 | IDEAM | 1970 | 2014 | 45 |



**DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN
DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL
SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE
ANTIOQUEÑO E LA TERRITORIAL
HEVÉXICOS DE CORATIOQUIA**



| Código | Estación | Tipo | Variable | Coordenadas [m.s.n.m.] | | Fuente | Registro | | Longitud [Años] |
|---------|--------------------|------|----------|---------------------------|---------|--------|----------|------|--------------------|
| | | | | Norte | Este | | Inicio | Fin | |
| 2621009 | Anzá | PM | P | 1.202.748 | 818.518 | IDEAM | 1970 | 2014 | 45 |
| 2621013 | Guasabra | PM | P | 1.211.284 | 792.199 | IDEAM | 1975 | 2014 | 39 |
| 2622009 | Giraldo | PM | P | 1.214.617 | 806.425 | IDEAM | 1977 | 2014 | 37 |
| 2622503 | Hacienda Cotové | AM | P | 1.222.884 | 824.051 | IDEAM | 1977 | 2014 | 37 |
| 2622504 | Hacienda Piunti | CO | P | 1.225.100 | 808.287 | IDEAM | 1977 | 2014 | 37 |
| 2623001 | Olaya | PM | P | 1.231.724 | 792.123 | IDEAM | 1970 | 2014 | 44 |
| 2623014 | La Placita | PM | P | 1.232.993 | 789.884 | IDEAM | 2004 | 2013 | 9 |
| 2623018 | Llanos de San Juan | PM | P | 1.235.277 | 814.167 | IDEAM | 1990 | 2014 | 24 |
| 2701074 | Belmira | PM | P | 1.236.291 | 797.035 | IDEAM | 1990 | 1997 | 7 |
| 2621701 | La Galera | LG | Q | 1.216.950 | 802.360 | IDEAM | 1977 | 2012 | 36 |
| 2623702 | Peñalta | LG | Q | 1.206.702 | 814.270 | IDEAM | 1972 | 2012 | 41 |

Las longitudes de registro de las estaciones de precipitación, a resolución diaria, varían entre 7 y 45 años; mientras que las estaciones de caudal La Galera y Peñalta tiene una longitud de registros de 36 y 41 años respectivamente.

Se verifican los registros faltantes en las series de precipitación y caudal; adicionalmente se descartan las estaciones con porcentaje de datos faltantes mayores a 20% (2620506 La Noque y 26211007 Caicedo), la cantidad de datos faltantes se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6.Datos faltantes estaciones hidrometeorológicas.

| Código | Estación | Tipo | Variable | Inicio | Fin | Longitud [Años] | % Faltantes |
|---------|--------------------|------|---------------|--------|------|-----------------|-------------|
| 1111011 | Boqeron de Toyo | PG | Precipitación | 1983 | 2010 | 28 | 17,8 |
| 2620506 | La Noque | CO | Precipitación | 1981 | 1988 | 7 | 54,3 |
| 2621007 | Caicedo | PM | Precipitación | 1970 | 2014 | 45 | 31,3 |
| 2621009 | Anzá | PM | Precipitación | 1970 | 2014 | 45 | 6,5 |
| 2621013 | Guasabra | PM | Precipitación | 1975 | 2014 | 39 | 3,3 |
| 2622009 | Giraldo | PM | Precipitación | 1977 | 2014 | 37 | 4,7 |
| 2622503 | Hacienda Cotové | AM | Precipitación | 1977 | 2014 | 37 | 1,6 |
| 2622504 | Hacienda Piunti | CO | Precipitación | 1977 | 2014 | 37 | 5,2 |
| 2623001 | Olaya | PM | Precipitación | 1970 | 2014 | 44 | 5,5 |
| 2623014 | La Placita | PM | Precipitación | 2004 | 2013 | 9 | 14,9 |
| 2623018 | Llanos de San Juan | PM | Precipitación | 1990 | 2014 | 24 | 3,4 |
| 2701074 | Belmira | PM | Precipitación | 1990 | 1997 | 7 | 10,3 |

| Código | Estación | Tipo | Variable | Inicio | Fin | Longitud [Años] | % Faltantes |
|---------|-----------|------|----------|--------|------|-----------------|-------------|
| 2621701 | La Galera | LG | Caudal | 1977 | 2012 | 36 | 1,0 |
| 2623702 | Peñalta | LG | Caudal | 1972 | 2012 | 41 | 1,0 |

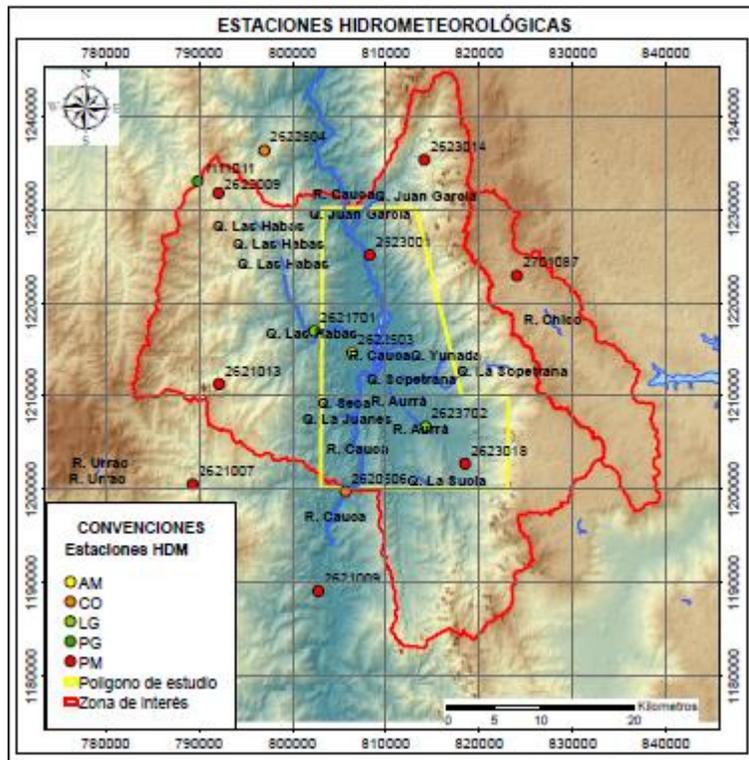


Figura 7.Ubicación de estaciones hidrometeorológicas. Fuente: elaboración propia.

Con los datos de precipitación se obtuvo el ciclo anual de la zona, el cual se muestra en la Figura 8. El ciclo anual presenta un comportamiento bimodal para todas las estaciones, observando dos periodos típicamente húmedos, abril-mayo y septiembre-noviembre, mientras que en los periodos diciembre-marzo y junio-agosto se presenta una disminución en las precipitaciones.

En la Figura 9 se presentan los valores de las anomalías estandarizadas de las lluvias mensuales, donde se identifican dos periodos secos y dos periodos húmedos como se describió anteriormente.

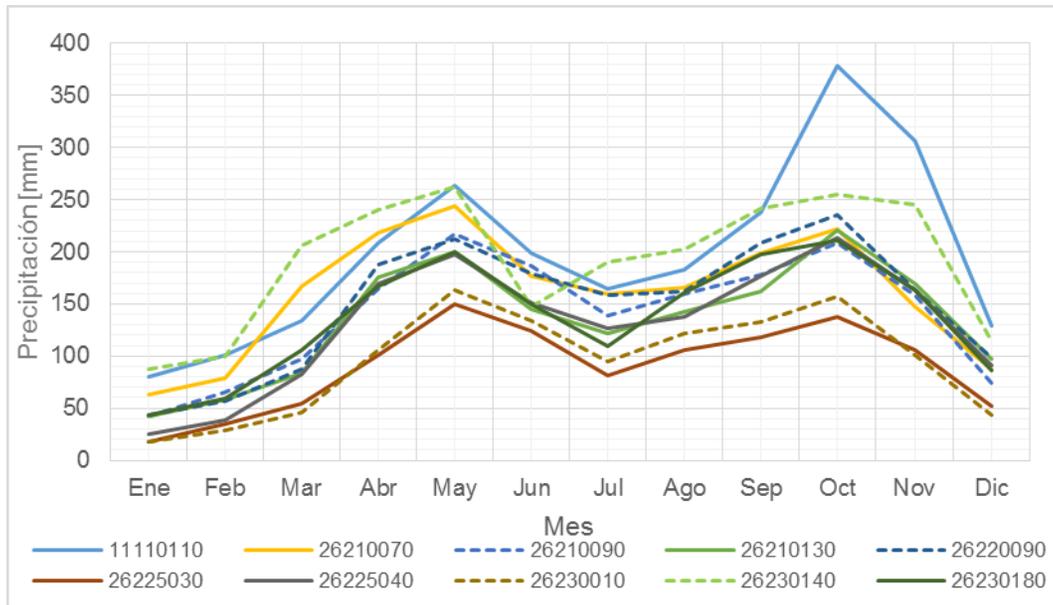


Figura 8. Ciclo anual de precipitación de la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.

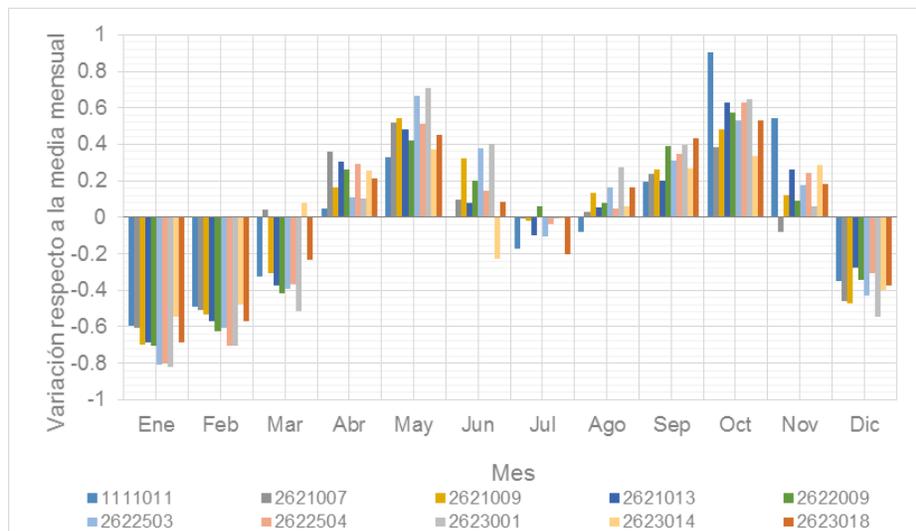


Figura 9. Ciclo anual de anomalías en la precipitación. Fuente: elaboración propia.

Con los datos de caudales se realizó el ciclo anual para las estaciones de la región, como se muestra en la Figura 10. La relación existente entre la lluvia y la escorrentía en la zona se presenta en la Figura 11 y la Figura 12. Se observan picos de caudal en junio y noviembre para la estación La Galera, y un rezago temporal de un mes entre las lluvias máximas para ambos semestres; para

la estación Peñalta los picos de caudal se presentan en los meses de mayo y octubre, atendiendo al ciclo de precipitación de todas las estaciones de la zona.

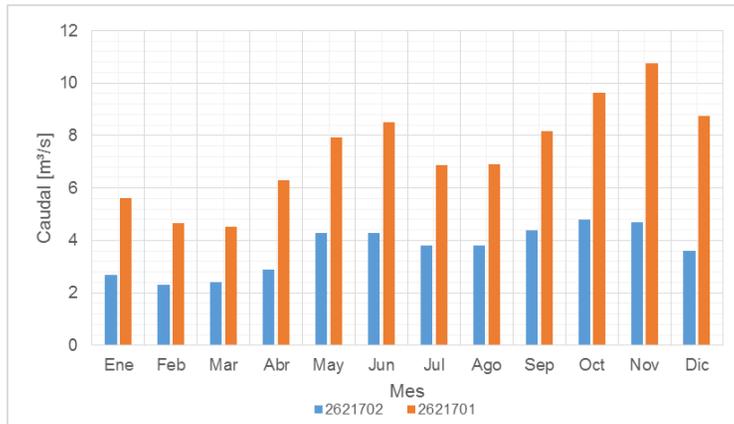


Figura 10. Ciclo anual de caudales de las estaciones de la zona. Fuente: elaboración propia.

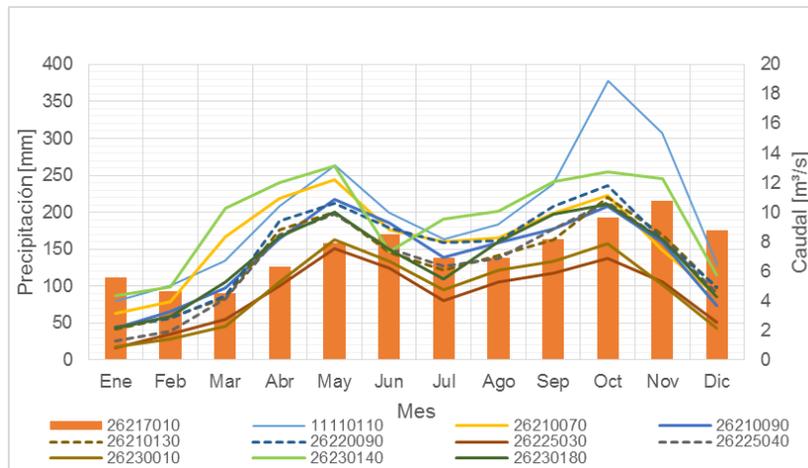


Figura 11. Correlación temporal entre la precipitación y el caudal de la estación La Galera. Fuente: elaboración propia.

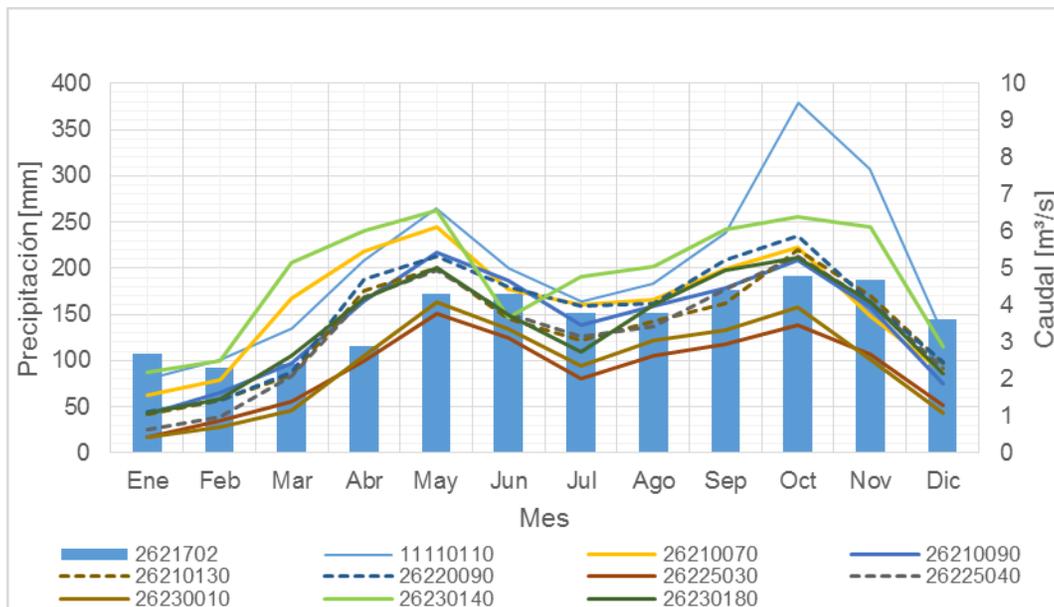
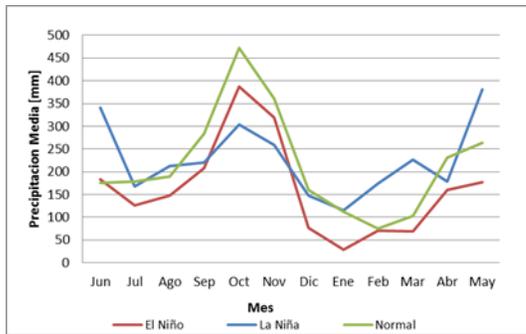


Figura 12. Correlación temporal entre la precipitación y el caudal de la estación Peñalta. Fuente: elaboración propia.

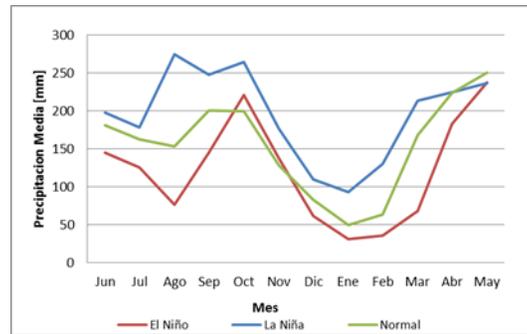
3.3.1 Influencia del fenómeno ENSO en el régimen de precipitación

Debido a la importancia del fenómeno ENSO en la hidrología de Colombia, se construyen los ciclos de precipitación para cada estación, clasificando los años hidrológicos (comprendidos entre junio del año 0 y mayo del año +1) de acuerdo a las tres fases del fenómeno ENSO: El Niño, La Niña y la fase normal, como se muestra en la Figura 13; la finalidad es determinar los efectos del fenómeno macroclimático ENSO sobre el régimen de precipitaciones en la zona.

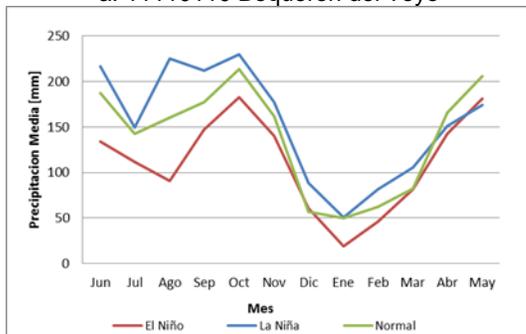
Los efectos del fenómeno ENSO en la mayor parte del país se reflejan en un aumento en las precipitaciones para la fase fría (La Niña) y una disminución en éstas para la fase cálida (El Niño), lo que se confirma en las figuras presentadas. Para este análisis sólo se tuvieron en cuenta las estaciones con períodos de registro superiores a 10 años.



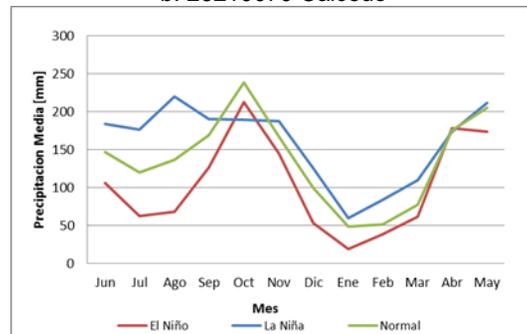
a. 11110110 Boqueron del Toyo



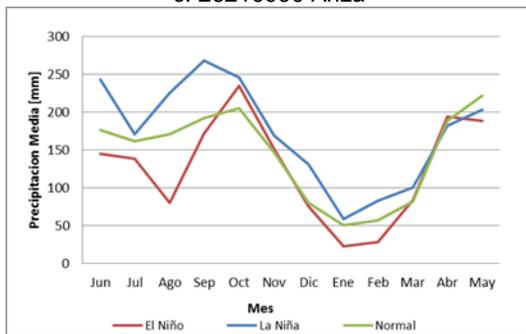
b. 26210070 Caicedo



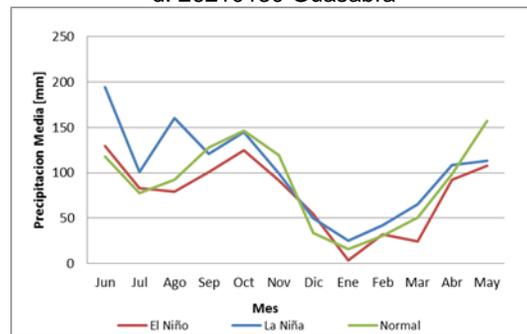
c. 26210090 Anzá



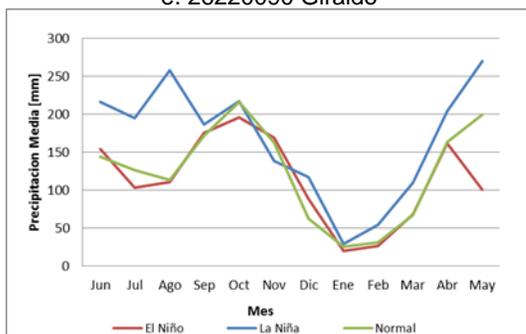
d. 26210130 Guasabra



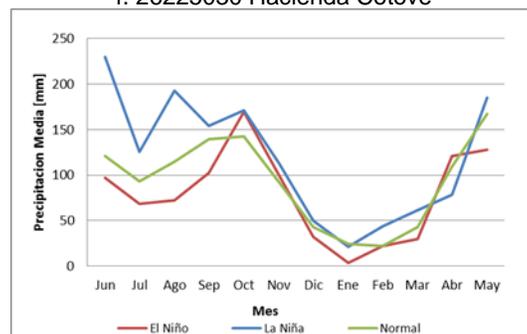
e. 26220090 Giraldo



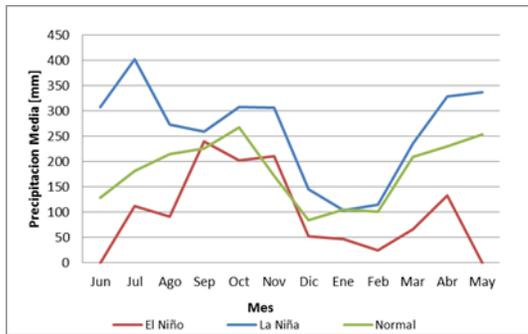
f. 26225030 Hacienda Cotove



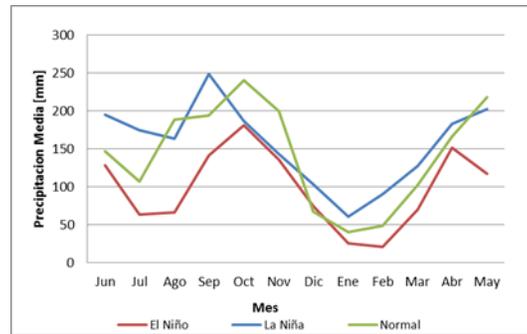
g. 26225040 Hacienda Piunti



h. 26220010 Olaya



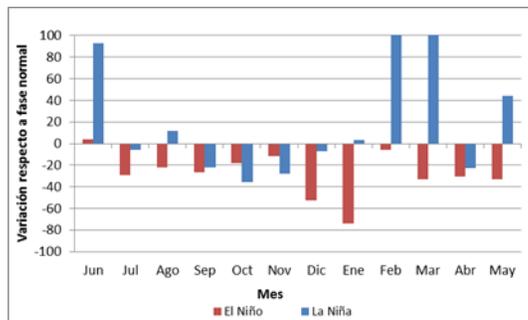
i. 26220140 La placita



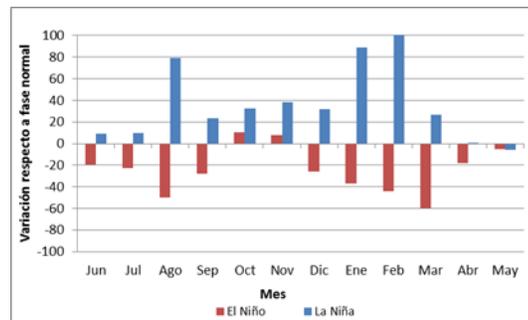
j. 26230180 Llanos de San Juan

Figura 13. Efectos del fenómeno ENSO en los registros de las estaciones. Fuente: elaboración propia.

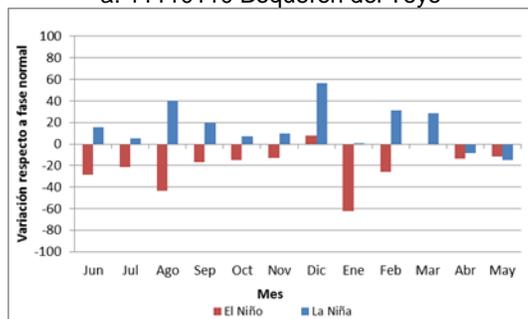
Adicionalmente se muestra un gráfico de barras (Figura 14) con la variación porcentual de la precipitación para las fases del ENSO con respecto a la fase normal para cada estación, de las cuales se concluye que durante años El Niño en general se presenta un déficit de lluvias para todos los meses del año, mientras que para años La Niña típicamente se presentan mayores valores de precipitación.



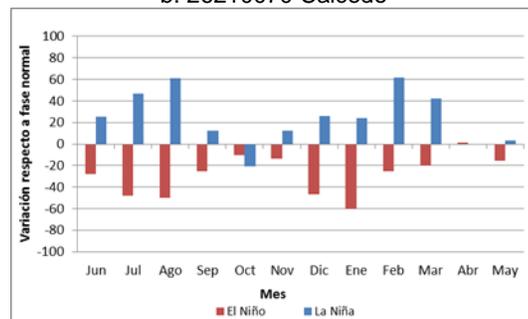
a. 11110110 Boqueron del Toyo



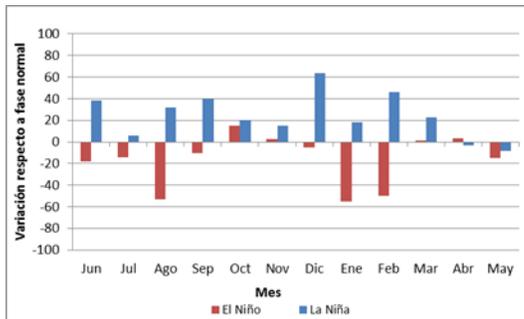
b. 26210070 Caicedo



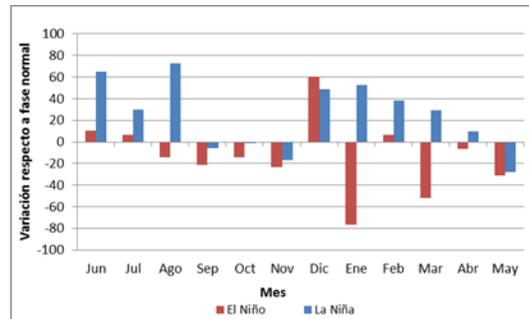
c. 26210090 Anzá



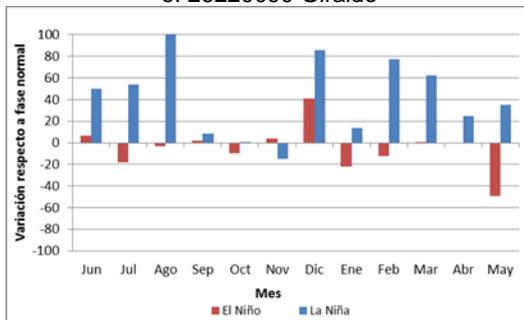
d. 26210130 Guasabra



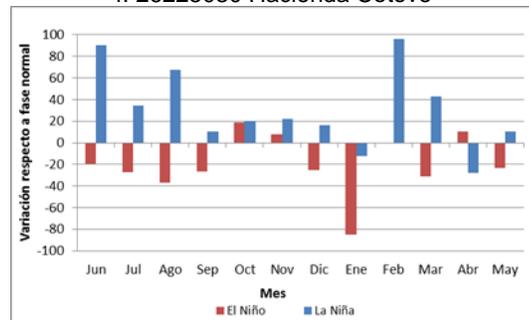
e. 26220090 Giraldo



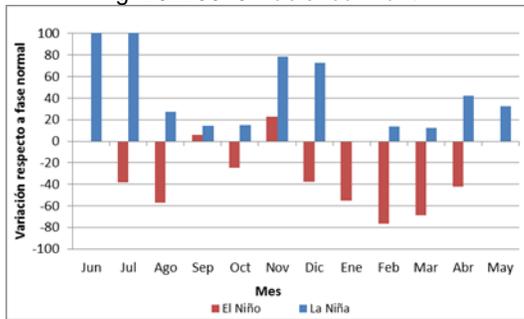
f. 26225030 Hacienda Cotove



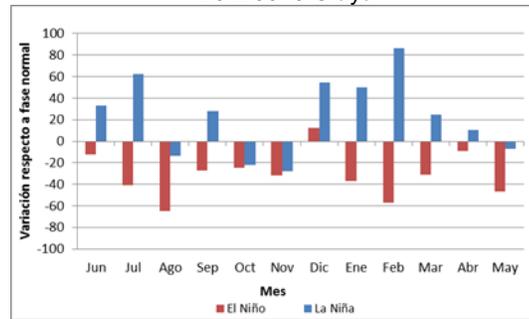
g. 26225040 Hacienda Piunti



h. 26220010 Olaya



i. 26220140 La placita



j. 26230180 Llanos de San Juan

Figura 14. Variación porcentual de la precipitación para las fases El Niño y La Niña, con respecto a la fase normal de las estaciones. Fuente: elaboración propia.

3.4 MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN

Un modelo digital de terreno (MDT) o modelo digital de elevación (MDE) es una representación digital del terreno que permite el almacenamiento de la variable cota y su procesamiento en sistemas de información geográfica. Los modelos digitales de elevación tienen estructura de datos tipo Raster, según esta estructura, el área que se desea representar se discretiza en regiones elementales rectangulares (píxeles), y a cada una de ellas se les asigna un valor de elevación sobre el nivel del mar; este valor representa el valor medio de la altura tomado sobre todos los puntos al interior del píxel.

Para este proyecto se contó con información satelital ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), la cual se puede descargar de forma gratuita en la página web <http://asterweb.jpl.nasa.gov> y tiene resolución de pixeles de 30 metros de ancho. En la Figura 15 se muestra el MDT utilizado

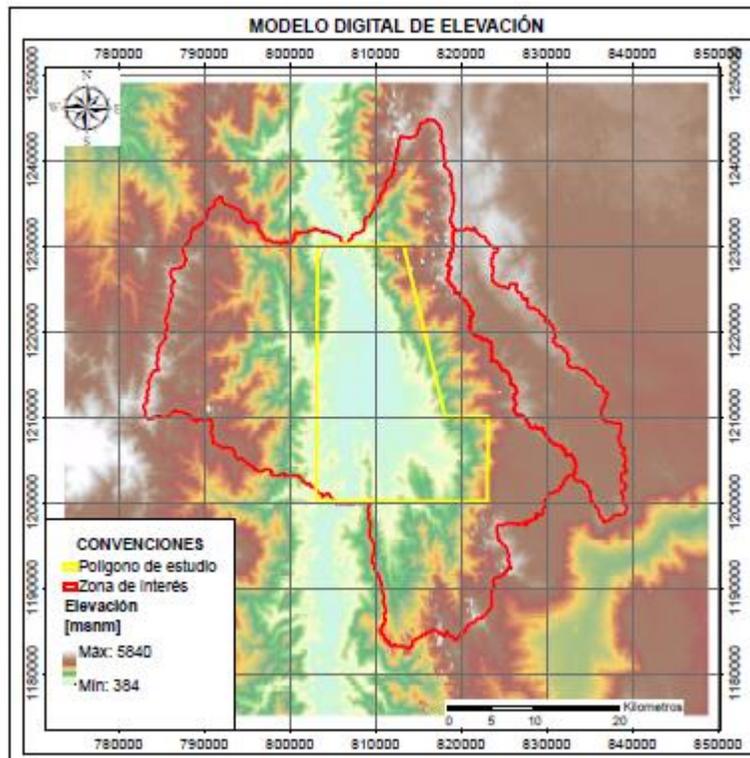
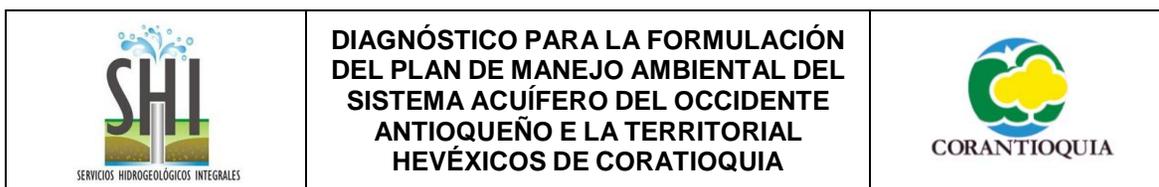


Figura 15. Modelo digital de elevación de la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.

3.5 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE VARIABLES CLIMÁTICAS

En este apartado se presenta la metodología para la obtención de los campos que representan la variación espacial (a resolución espacial de 30 m) de la precipitación, temperatura y evapotranspiración real dentro de la zona de estudio.

Para la precipitación se utilizaron los registros mensuales históricos de estaciones cercanas a la zona de estudio, interpolados usando el método de Kriging con deriva externa. Se utilizó como información secundaria (deriva) el campo de precipitación media anual obtenido por Álvarez, 2007, en base a datos puntuales y observaciones satelitales del TRMM (Tropical Rainfall Measuring



Mission). Los campos de temperatura y evapotranspiración real se definieron a partir de expresiones empíricas con datos de precipitación y altura.

3.5.1 Campo de precipitación

El mapa de precipitación se construyó con registros históricos mensuales de 20 estaciones de precipitación (Hurtado, 2009), adicionales a las 12 estaciones que se adquirieron a escala diaria y que se encuentran ubicadas en cercanías a la zona de estudio, las generalidades de las 32 estaciones se presentan en la Tabla 7. La longitud de las series históricas de todas las estaciones es superior a 7 años. La distribución espacial de las estaciones usadas se presenta en la Figura 16.

En la Figura 17 se presenta el variograma ajustado a un modelo tipo efecto pepita más esférico.

En la Figura 18 se presenta el mapa de precipitación media anual en la zona de estudio.

Tabla 7. Generalidades de las 32 estaciones de precipitación.

| Código | Estación | Categoría | Norte | Este | Municipio |
|---------------|--------------------------|------------------|--------------|-------------|----------------------|
| 2701081 | Santa Elena | PM | 1.177.225 | 840.691 | Medellín |
| 2621014 | Altamira | PM | 1.179.768 | 793.229 | Betulia |
| 2701507 | Aeropuerto Olaya Herrera | SP | 1.179.872 | 832.703 | Medellín |
| 2701111 | Astilleros | PM | 1.183.960 | 823.096 | Medellín |
| 2701521 | El Vivero | CP | 1.186.783 | 842.572 | Guarne |
| 2701512 | Piedras Blancas | CO | 1.188.627 | 842.577 | Medellín |
| 2621009 | Anzá | PM | 1.189.097 | 802.811 | Anzá |
| 2701112 | Iguaná | PG | 1.190.478 | 825.146 | Medellín |
| 2701509 | Tulio Ospina | CO | 1.190.979 | 836.773 | Bello |
| 2701078 | Boquerón | PM | 1.194.218 | 822.301 | Medellín |
| 2701082 | La Cuchilla | PM | 1.196.172 | 847.732 | Girardota |
| 2701080 | La Meseta De San Pedro | PM | 1.199.693 | 830.741 | Bello |
| 2620506 | La Noque | CO | 1.199.803 | 805.717 | Anzá |
| 2621007 | Caicedo | PM | 1.200.523 | 789.344 | Caicedo |
| 2621502 | Cañafisto | CO | 1.201.641 | 807.568 | Santafé de Antioquia |
| 2623018 | Llanos De San Juan | PM | 1.202.748 | 818.519 | San Jerónimo |
| 2621013 | Guasabra | PM | 1.211.285 | 792.200 | Santafé de Antioquia |
| 2623502 | La Vega | CO | 1.214.543 | 809.456 | Sopetrán |
| 2622503 | Hacienda Cotové | AM | 1.214.618 | 806.425 | Santafé de Antioquia |
| 2701511 | Aragón | CO | 1.214.627 | 806.469 | Santa Rosa de Osos |
| 2701083 | San Isidro | PM | 1.217.750 | 840.916 | Entrerrios |
| 2701087 | Belmira | PM | 1.222.884 | 824.051 | Belmira |
| 2623001 | Olaya | PM | 1.225.101 | 808.288 | Olaya |
| 1111002 | Abriaquí | PG | 1.226.735 | 779.073 | Abriaquí |
| 2622009 | Giraldo | PM | 1.231.727 | 792.123 | Giraldo |
| 1111011 | Boqueron De Toyo | PG | 1.232.993 | 789.885 | Giraldo |

| Código | Estación | Categoría | Norte | Este | Municipio |
|---------|---------------------|-----------|-----------|---------|--------------|
| 2623014 | La Placita | PM | 1.235.277 | 814.167 | Liborina |
| 2622504 | Hacienda Piunti | CO | 1.236.292 | 797.035 | Buriticá |
| 1111502 | Cañasgordas | CO | 1.239.502 | 784.133 | Cañas Gordas |
| 2623022 | Ocultá La | PM | 1.241.706 | 827.402 | Belmira |
| 2702022 | Los Llanos De Cuiba | PM | 1.245.439 | 844.523 | Yarumal |
| 2701074 | Belmira | PG | 1.221.870 | 824.238 | Belmira |

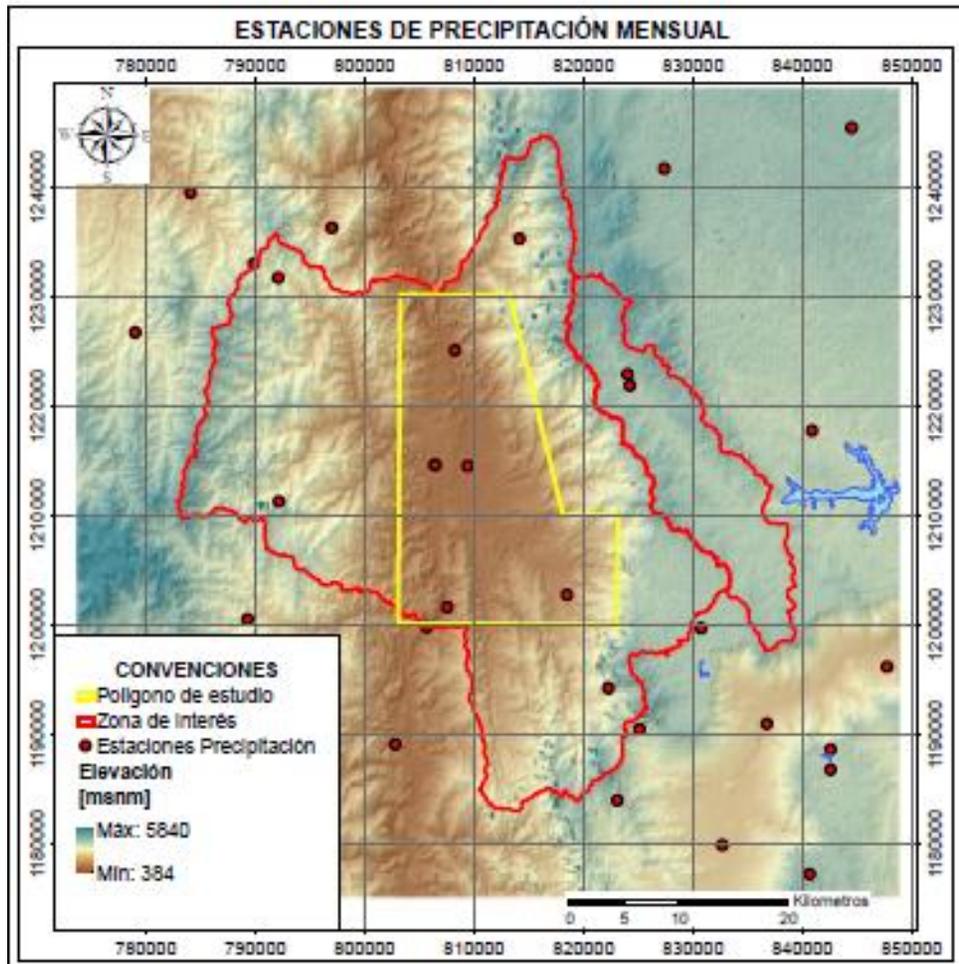


Figura 16.Estaciones de precipitación mensual de la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.

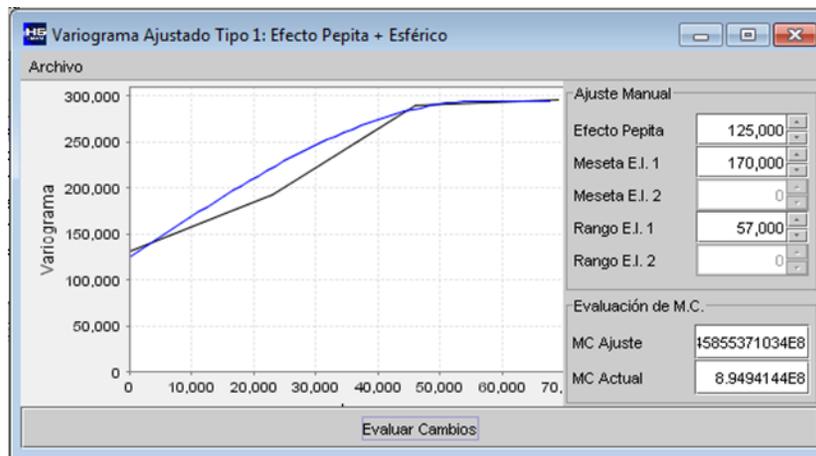


Figura 17. Variograma ajustado con modelo tipo Efecto pepita + Esférico. Fuente: HydroSIG 4.0.

La precipitación media sobre el polígono de estudio es de 1276 mm/año, presentando una variación entre 1010 y 2008 mm/año.

Se aprecia que el gradiente máximo sobre toda la región de estudio es de 998 mm/año, además se identificó una relación entre la precipitación y la topografía de la zona, observando precipitaciones mayores en las zonas más altas y una disminución a medida que reduce la elevación.

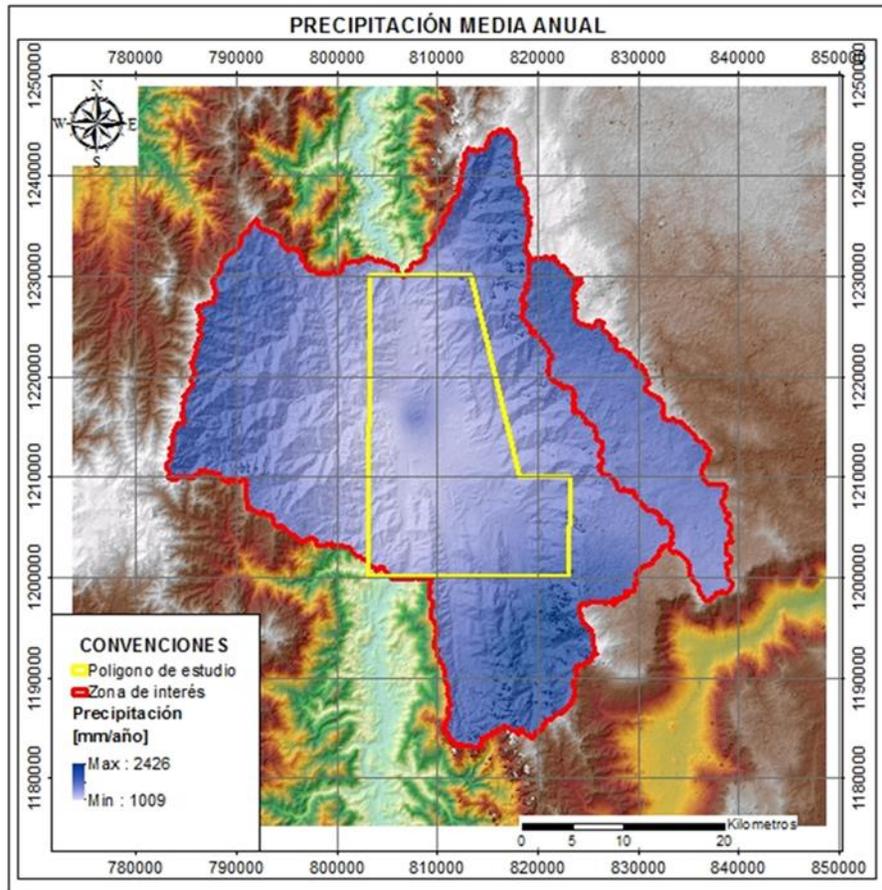


Figura 18. Mapa de precipitación media multianual. Fuente: elaboración propia.

3.5.2 Campo de temperatura

La temperatura se estimó mediante la ecuación propuesta por Cenicafé (Chávez y Jaramillo, 1998), para la región andina. La ecuación utilizada se presenta a continuación:

$$T_{media} = 29,42 - 0,0061H \quad (1)$$

Donde, T_{media} es la temperatura media anual en [°C] y H es la altura sobre el nivel medio del mar en [m]. La Figura 19 muestra la distribución espacial de la temperatura media anual en la zona de estudio.

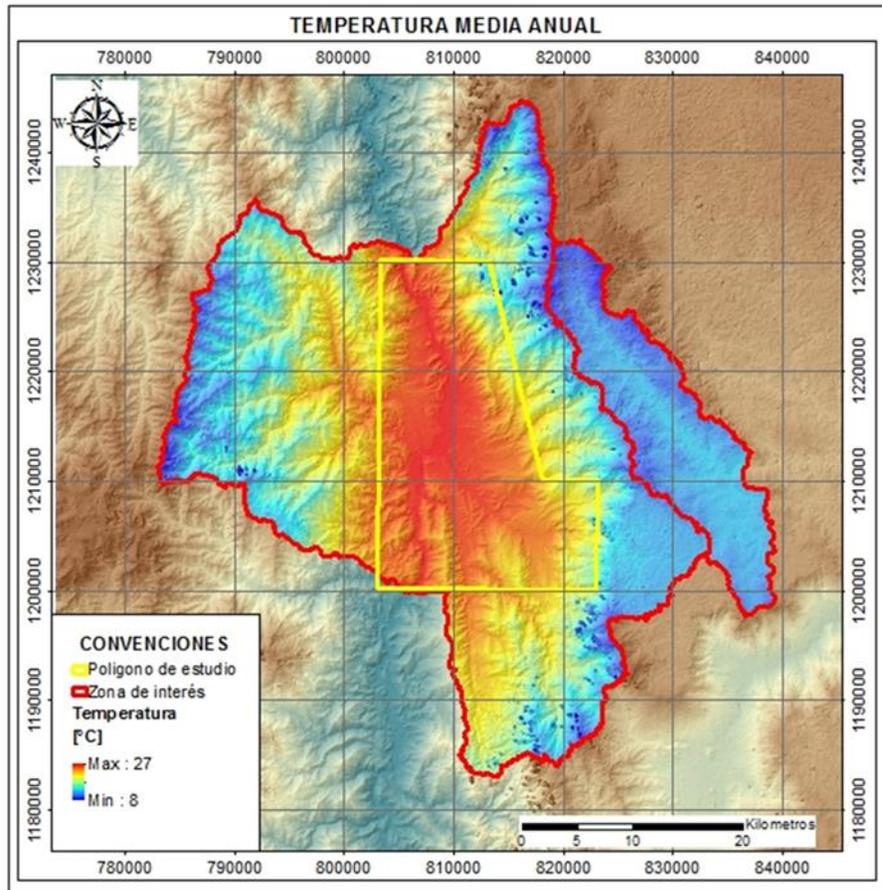


Figura 19. Mapa de temperatura media anual. Fuente: elaboración propia.

En el polígono de estudio se tiene una temperatura media de 24 °C; en este polígono la temperatura tiene un rango de variación entre 11 °C y 27 °C.

3.5.3 Campo de evapotranspiración real

La evapotranspiración es uno de los componentes más importantes del balance hídrico, y se define como la suma de la evaporación física de agua desde la superficie y la transpiración de las plantas y los seres vivos (Barco y Cuartas, 1998). En el balance de masas representa la cantidad de agua saliente del volumen de control hacia la atmósfera en forma de vapor de agua.

Los diferentes métodos por los cuales se calculará la evaporación real en la zona de estudio se describen a continuación.

3.5.3.1 Cenicafé

Esta metodología permite calcular la evapotranspiración potencial de forma sencilla, pues ésta solo depende de la elevación sobre el nivel del mar. La ecuación fue producto de una regresión con los valores obtenidos de aplicar el método de Penman a los datos de las estaciones climáticas en Colombia.

$$ETP = 1700,17 \exp(-0,0002 h) \quad (2)$$

Donde, ETP es la evapotranspiración potencial [mm/año] y h es la elevación [m.s.n.m.].

La evapotranspiración potencial se transforma a evapotranspiración real mediante la expresión de Budyko, presentada en la ecuación.

$$ETR = \left(\left(ETP \cdot P \cdot \tanh\left(\frac{P}{ETP}\right) \right) * \left(1 - \cosh\left(\frac{ETP}{P}\right) \right) + \left(\sinh\left(\frac{ETP}{P}\right) \right) \right)^{0,5} \quad (3)$$

Donde, ETR es la evapotranspiración real [mm/año], ETP es la evapotranspiración potencial [mm/año] y P es la precipitación media en la cuenca [mm/año].

En la Figura 20 se presenta la distribución espacial de la evaporación obtenida por este método.

3.5.3.2 Turc

Está basada en un balance de masas, en función de elementos meteorológicos simples como la temperatura y la precipitación de la cuenca.

Si $P/L > 0,316$

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad (4)$$

Si $P/L < 0,316$

$$ETR = P \quad (5)$$

Donde, ETR es la evapotranspiración real [mm/año], P es la precipitación media en la cuenca [mm/año], T la temperatura promedio anual en °C y L es un parámetro heliotérmico en función de la temperatura y se expresa como se muestra en la ecuación.

$$L = 300 + 25T + 0,05T^3 \quad (6)$$

En la Figura 21 se presenta el mapa obtenido (7. Caudales_medios ETR_cafe).

Para la zona de estudio se obtiene un valor mínimo para la evapotranspiración de 589 [mm/año], una máxima de 1257 [mm/año] y una media de 1016 [mm/año] por el método de Turc y por el método de Cenicafé-Budyko se obtiene una mínima de 765 [mm/año], una máxima de 1090 [mm/año] y una media de 928 [mm/año].

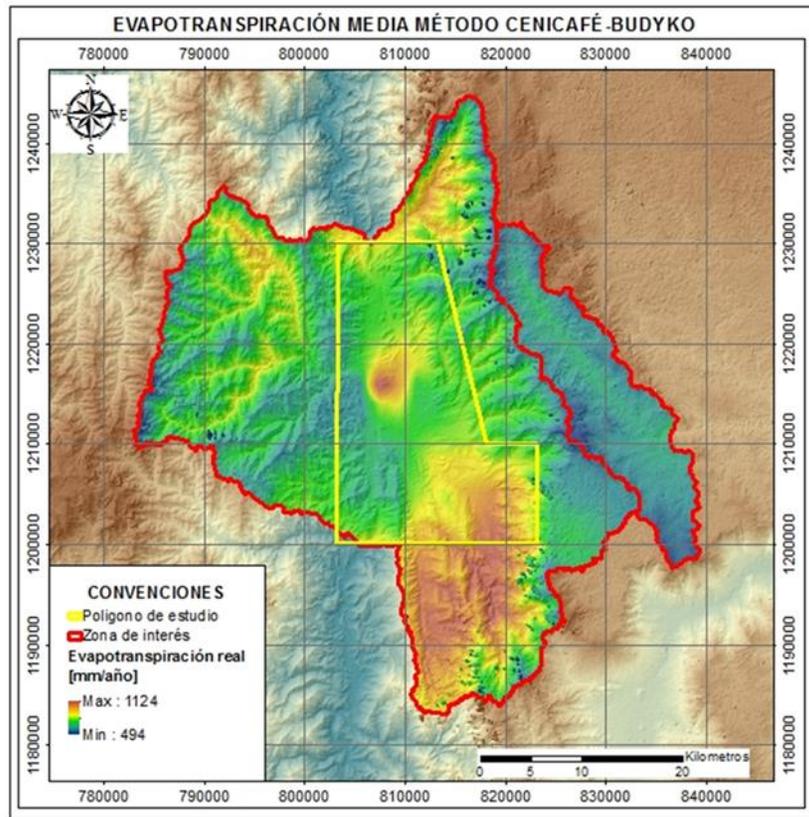


Figura 20. Mapa de evapotranspiración real por Cenicafé – Budyko. Fuente: elaboración propia.

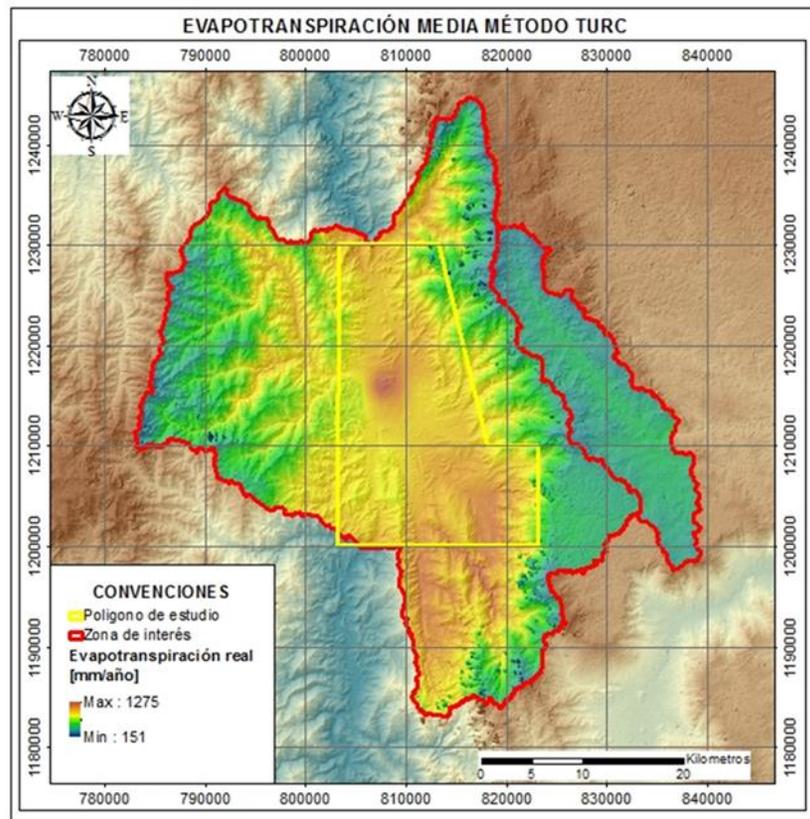


Figura 21. Mapa de evapotranspiración real por Turc. Fuente: elaboración propia.

3.6 ESTIMACIÓN DE CAUDALES MEDIOS

Para la estimación de caudales se usó la metodología del balance hidrológico a largo plazo, a continuación se describen los pasos para realizar el balance hidrológico en la cuenca, señalando las hipótesis asumidas, las fuentes de información. Igualmente, se presentan las metodologías usadas para evaluar las variables involucradas en el balance hidrológico.

3.6.1 Balance hidrológico a largo plazo

Para el balance hidrológico, se utilizan las ecuaciones de conservación de masa de agua en un sistema o volumen de control (Poveda et al, 2007).

En la Figura 22 se presenta un esquema del volumen de control donde se indican las variables del sistema.

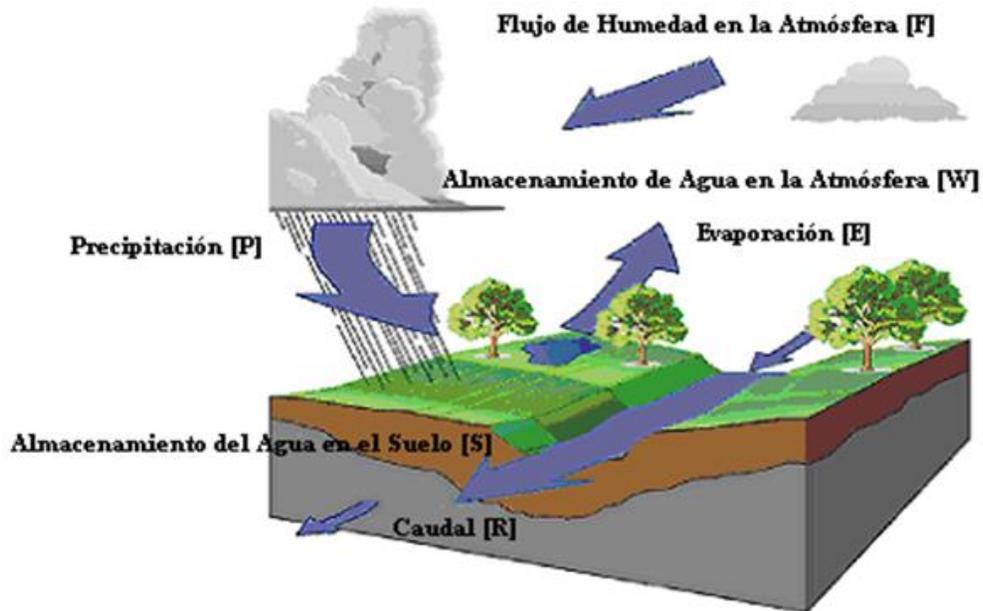


Figura 22. Esquema del balance hidrológico sobre una cuenca. Fuente: Poveda et al, 2007.

El balance de agua para la columna atmosférica está dado por la ecuación:

$$\frac{dS(t)}{dt} = P(t) - E(t) - R(t) \quad (7)$$

Donde $S(t)$ el almacenamiento de agua en el suelo; $P(t)$ y $E(t)$ la precipitación y evapotranspiración promedio en la cuenca y $R(t)$ la escorrentía superficial en la cuenca.

Integrando la ecuación a largo plazo para un tiempo T , se obtiene:

$$\bar{R} = \bar{P} - \bar{E} \quad (8)$$

Donde \bar{P} , \bar{E} y \bar{R} representan los valores medio a largo plazo para la precipitación, evapotranspiración y escorrentía para la cuenca. Considerando que a largo plazo, la aproximación de la ecuación es cero.

Multiplicando por el área y reemplazando en la ecuación se tiene que:

$$Q = A[P - E] \quad (9)$$

Finalmente el caudal medio se obtiene aplicando la ecuación mediante diferenciales de área cuyo tamaño corresponde al de los píxeles del MDT (30 m x 30 m).

En la Tabla 8 se presentan los resultados correspondientes a los caudales estimados con los diferentes mapas de evaporación y los errores con respecto al caudal medio histórico de las estaciones de caudal La Galera y Peñalta. Se observa claramente que los errores se minimizan con la estimación de la evapotranspiración por el método de Cenicafé-Budyko; por lo que se considera que este método de es el que mejor representa las condiciones reales de la región. Los valores de caudal medio obtenidos para las corrientes principales por esta metodología se muestran en la Figura 23.

Tabla 8. Caudales medios multianuales de las estaciones de caudales en la zona.

| Método | Q Histórico Estación La Galera [m ³ /s] | Q medio a largo plazo [m ³ /s] | Error [%] |
|--------|--|---|-----------|
| 1 | 7,34 Periodo (1977-2012) | 7,73 | 5 |
| 2 | | 8,38 | 14 |
| Método | Q Histórico Estación Peñalta [m ³ /s] | Q medio a largo plazo [m ³ /s] | Error [%] |
| 1 | 3,67 Periodo (1972-2012) | 4,91 | 34 |
| 2 | | 5,14 | 40 |

* **Método 1:** Corresponde a la estimación del caudal medio multianual usando la evaporación estimada por la ecuación de Cenicafé-Budyko.

Método 2: Corresponde a la estimación del caudal medio multianual usando la evaporación estimada por por la ecuación de Turc.

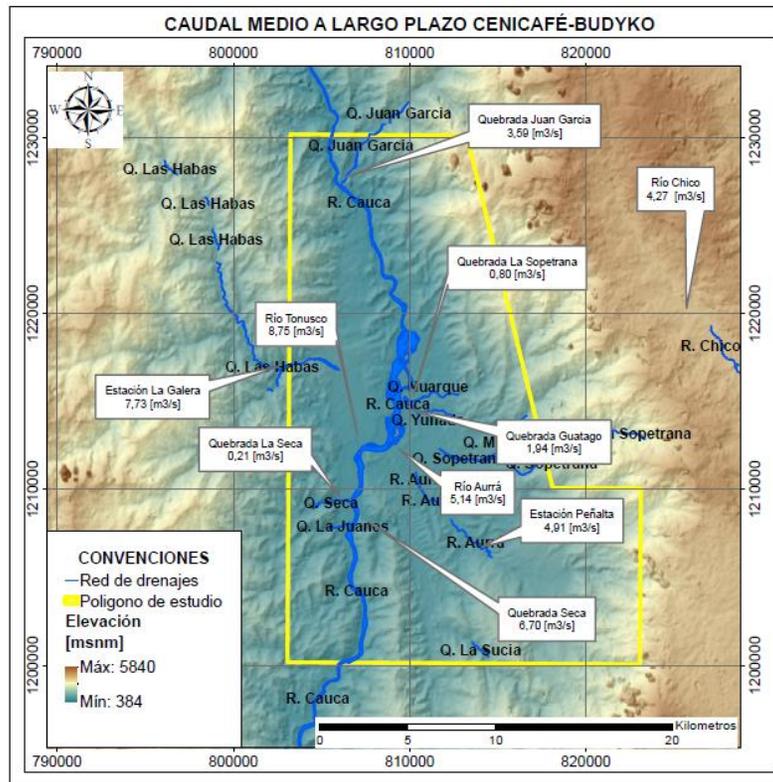


Figura 23. Caudal medio a largo plazo en las cuencas de interés de la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.

En la se Tabla 9 se presentan los caudales medios estimados con la evapotranspiración de Cenicafé-Budyko en los puntos de interés.

Tabla 9. Caudales medios a largo plazo en los puntos de interés de la zona de estudio.

| Puntos de interés | Caudal [m ³ /s] |
|----------------------|----------------------------|
| Quebrada Juan García | 3,59 |
| Quebrada Sopetrana | 0,80 |
| Quebrada La Seca | 0,21 |
| Quebrada Seca | 6,70 |
| Quebrada Guatago | 1,94 |
| Río Aurrá | 5,14 |
| Río Chico | 4,27 |
| Río Tonusco | 8,75 |
| Estación La Galera | 7,73 |
| Estación Peñalta | 4,91 |

| | | |
|---|--|---|
|  <p>SERVICIOS HIDROGEOLOGICOS INTEGRALES</p> | <p>DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO E LA TERRITORIAL HEVÉXICOS DE CORATIOQUIA</p> |  <p>CORANTIOQUIA</p> |
|---|--|---|

3.7 RECARGA POTENCIAL POR PRECIPITACIÓN

Cuantificar la variación espacial y temporal de la recarga de las aguas subterráneas es indispensable para el manejo óptimo de este recurso. Diferentes autores (Bradbury et al., 2000; Balek, 1988; Scanlon et al., 2002; De Vries y Simmers, 2002) han definido la recarga como la entrada de agua hacia la zona saturada, donde se vuelve parte de las reservas subterráneas.

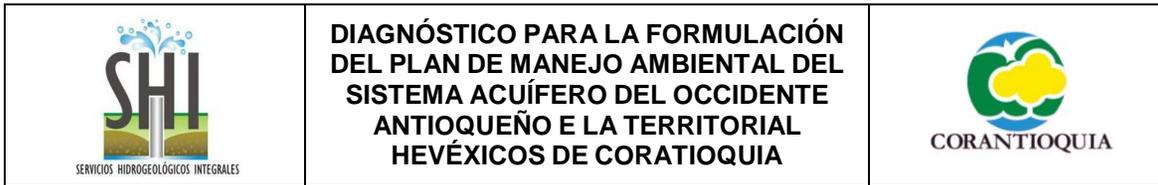
La recarga puede darse naturalmente por la precipitación, desde cuerpos de agua superficiales o por medio de transferencias desde otras unidades hidrogeológicas o acuíferos; pero también puede darse de manera artificial, producto de actividades como la irrigación, fugas de redes de abastecimiento o infiltraciones de embalses y depósitos (Balek, 1988; Custodio, 1997; Simmers, 1990; Lerner, 1990; Samper, 1997).

En general, la recarga por lluvia es la más significativa. La recarga producida por ríos y lagos es importante en climas poco lluviosos, y la debida a fugas en redes de abastecimiento es importante en zonas urbanas. La recarga que se da por lluvia o por aguas superficiales afecta los acuíferos freáticos, es decir, aquellos que limitan con el medio no saturado (Custodio, 1997).

3.7.1 Marco general de la recarga en la zona

En la zona se han realizado diversos estudios hidrogeológicos con el objetivo de caracterizar el acuífero, Ortiz y Restrepo en el 2004 con el fin de evaluar el potencial acuífero del polígono, realizaron la estimación de la recarga potencial del área de estudio y las cuencas aledañas, donde hallaron que la recarga es mayor en la zona occidental, es decir que gran parte de la recarga proviene de la ladera de la margen izquierda del río Cauca y los depósitos aluviales que se encuentran dentro del polígono; por su parte Rhenals en el 2007 realizó un modelo hidrogeológico conceptual de la zona y determinó con hidroquímica e isotopía que gran parte de la recarga proviene de la parte media y alta de la ladera Este, siendo una zona importante en la recarga la margen derecha de la cuenca del río Chico.

Por tal motivo se realizó el modelo de Vélez y Salazar en una zona más amplia, enmarcada por la cuenca del río chico en el Este y la cuenca del río Tonusco en el Oeste, con el objetivo de captar todas las posibles zonas que aporten recarga por precipitación a la zona en cuestión.



3.8 Modelo de recarga de Vélez y Salazar, 2005

Para este trabajo se sigue la metodología empleada en el 2005 por Vélez y Salazar, los cuales desarrollaron una aplicación del modelo de Bradbury et al. (2000) para una zona húmeda tropical del este del departamento de Antioquia, Colombia.

La implementación del modelo corresponde a la programación de un algoritmo basado en la aplicación de la ecuación de balance de agua a cada una de las celdas (de tamaño arbitrario) que conforman la representación digital del área de estudio. A cada una de estas celdas se le asigna un valor de información de variables hidrometeorológicas, físicas y de características del terreno. Los elementos de cada celda que intervienen en el balance, se muestran esquemáticamente en la Figura 24.

La escorrentía superficial (ESD) que ingresa a una celda proveniente de sus vecinas, depende de las direcciones de flujo que definen el recorrido seguido por el agua durante su tránsito por el área de estudio. El mapa de direcciones de flujo se genera a partir de un modelo digital de elevación.

La ecuación de balance para cada celda es:

$$\text{Cambio en la humedad del suelo} = \text{Precipitación} - \text{Escorrentía} - \text{Evapotranspiración} \quad (10)$$

Este cálculo se realiza a escala de cuencas, ya que la variabilidad espacial de la información puede generar inconvenientes de cálculo.



Figura 24. Balance hídrico en una celda (P: precipitación; EVP: evapotranspiración; ESD: escorrentía)
(Fuente: Vélez y Salazar, 2005).

El modelo sigue el diagrama de flujo presentado en la Figura 25 y a partir de éste se obtiene un mapa que representa la distribución espacial de la recarga potencial anual en el área de estudio. Esta metodología tiene la ventaja de no requerir muchos parámetros y diferencia la recarga de la descarga.

Los principales parámetros meteorológicos del modelo son:

- Precipitación

La precipitación se considera como la principal fuente de recarga de agua subterránea. Se usan registros a escala temporal diaria como datos de entrada.

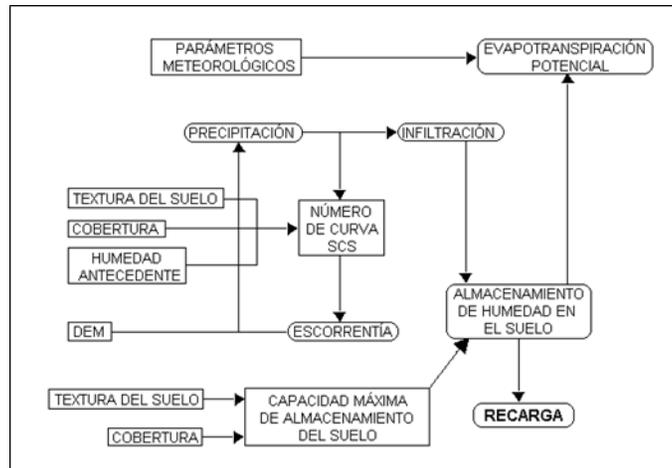


Figura 25.Diagrama de flujo del modelo (Fuente: Vélez y Salazar, 2005).

- Escorrentía

Para este caso, el cálculo se realiza con el método desarrollado por el SCS de los Estados Unidos (1964) a partir de la precipitación. El método relaciona la escorrentía total (R) con la precipitación (P) y el coeficiente de capacidad de almacenamiento ($S_{m\acute{a}x}$) de cada celda usando la siguiente ecuación.

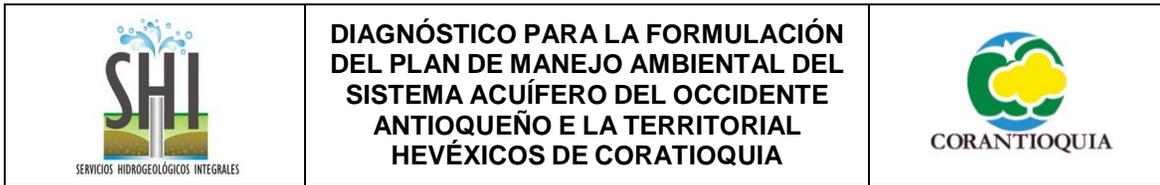
$$R = \frac{(P - 0.2S_{m\acute{a}x})^2}{(P + 0.8S_{m\acute{a}x})} \text{ para } P > 0,2S_{m\acute{a}x} \quad (11)$$

Donde P es la precipitación medida (milímetros) y $S_{m\acute{a}x}$ se calcula como una función del número de curva (CN) mediante la expresión mostrada a continuación.

$$S_{m\acute{a}x} = \left[\left(\frac{1000}{CN} \right) - 10 \right] * 25.4 \quad (12)$$

El cálculo de este parámetro se realiza a escala diaria.

El número de curva (CN) varía entre 0 y 100 en función del tipo de suelo, la cobertura, y las condiciones de humedad antecedente del suelo. El CN y la escorrentía son directamente proporcionales y éste toma diferentes valores según la época del año en relación con la humedad antecedente del suelo.



La escorrentía obtenida en cada celda es transitada por la zona de acuerdo a las direcciones de flujo obtenidas a partir del modelo de elevación digital de la cuenca. La escorrentía que se traslada a las celdas adyacentes es considerada como “precipitación adicional” y parte de esta puede convertirse en infiltración.

El modelo supone que la precipitación que entra en un día sale el mismo día. Una vez calculada la escorrentía y la infiltración para un día dado, el modelo avanza un día y repite iterativamente el proceso.

- Evapotranspiración

El cálculo de la evapotranspiración potencial se hace a partir de ecuaciones empíricas, las cuales están basadas en variables atmosféricas.

- Infiltración

La infiltración está definida por la entrada de agua desde la superficie hacia el interior del suelo y se asume que es un flujo unidireccional vertical. El cálculo se hace a nivel mensual en cada celda como la diferencia entre la precipitación total (incluyendo la escorrentía proveniente de otras celdas) en un mes determinado y la escorrentía total calculada para ese mismo mes.

- Humedad del Suelo, SM

Después de la estimación a nivel mensual de la precipitación, la escorrentía, la evapotranspiración y la infiltración, se procede a realizar el cálculo del cambio de humedad en el suelo. El valor de SM se calcula como la diferencia a nivel mensual entre la infiltración y la evapotranspiración. Si el valor de SM es mayor que cero indica almacenamiento en la masa de suelo y la posibilidad de que haya recarga. Si SM es negativo se concluye que la evapotranspiración es mayor que la infiltración, por lo cual hay disminución de la humedad del suelo.

Las estimaciones mensuales de la recarga se agregan para obtener en cada celda la recarga potencial anual.

- Capacidad de Almacenamiento Máxima del Suelo, SM_{máx}

Representa la cantidad de agua que puede retener el suelo, para una combinación de textura de suelo y cobertura. La recarga se presenta cuando el suelo alcanza el valor de SM_{máx}.

3.8.1 Información de entrada

Con el propósito de construir todos los mapas requeridos para el modelo, se delimitó un área de estudio comprendida aproximadamente entre los 780.000 m y 840.000 m Este y entre los 1'118.000 m y 1'245.000 m Norte según la proyección cartográfica MAGNA-Colombia, con origen Bogotá. Dicha zona de estudio incluye el área de influencia del proyecto desde una perspectiva hidrológica, e incluye la cuenca del río Chico con el objetivo de estimar la recarga que aporta dicha cuenca al polígono de estudio (Rhenals, 2007). Debido a la alta variabilidad climática e hidrológica en la zona de estudio se optó por dividirla en 4 zonas con el objetivo de capturar dichas variaciones: Zona ladera Oeste, zona ladera Este, zona ribera del río Cauca y zona cuenca río Chico.

La información utilizada como entrada al modelo se presenta a continuación.

- Períodos de estudio

Se estimó la recarga potencial anual para cada una de las zonas de interés en los tres períodos: condición normal, año seco y año húmedo; esta clasificación se realizó con base en los registros históricos de las estaciones de precipitación 26230180 Llanos de San Juan, 26225040 Piunti Hacienda, 2701074 Belmira y 26225030 Cotove Hacienda, tomando en cuenta la lluvia promedio anual en cada cuenca y la cantidad de registros faltantes; se considera que el área de estudio es muy grande y la variación espacio-temporal de la precipitación es alta, por consiguiente se distribuyó la precipitación de acuerdo a la cercanía de cada zona con determinada estación y a la cantidad de registros existentes (Figura 26), por lo tanto los periodos escogidos son los más críticos para cada una de las estaciones de precipitación (Tabla 10). Cada período anual se inicia en noviembre debido a una consideración sobre la humedad del suelo que se expone más adelante. Las series de las estaciones usadas se presentan el anexo del Capítulo 3 denominado: información_meteorológica.

Tabla 10.Períodos de simulación.

| Zona | Estación Usada | Condición | Periodo | Precipitación media [mm/año] | Registros faltantes |
|-------|--------------------------------|------------|-----------|------------------------------|---------------------|
| Este | 26230180 Llanos de San Juan | Año normal | 1994-1995 | 1662,31 | < 1 % |
| | | Año seco | 1996-1997 | | < 1 % |
| | | Año húmedo | 1995-1996 | | < 1 % |
| Oeste | 26225040 | Año normal | 1992-1993 | 1417,95 | < 1 % |

| Zona | Estación Usada | Condición | Periodo | Precipitación media [mm/año] | Registros faltantes |
|-----------|--------------------------------|------------|-----------|------------------------------|---------------------|
| | Piunti Hacienda | Año seco | 2000-2001 | | < 1 % |
| | | Año húmedo | 2009-2010 | | < 1 % |
| Río Chico | 2701074 Belmira | Año normal | 1992-1993 | 1836,7 | < 1 % |
| | | Año seco | 1996-1997 | | < 1 % |
| | | Año húmedo | 1994-1995 | | < 1 % |
| Ribera | 26225030 Cotove Hacienda | Año normal | 1993-1994 | 1075,53 | < 1 % |
| | | Año seco | 2000-2001 | | < 1 % |
| | | Año húmedo | 2007-2008 | | < 1 % |

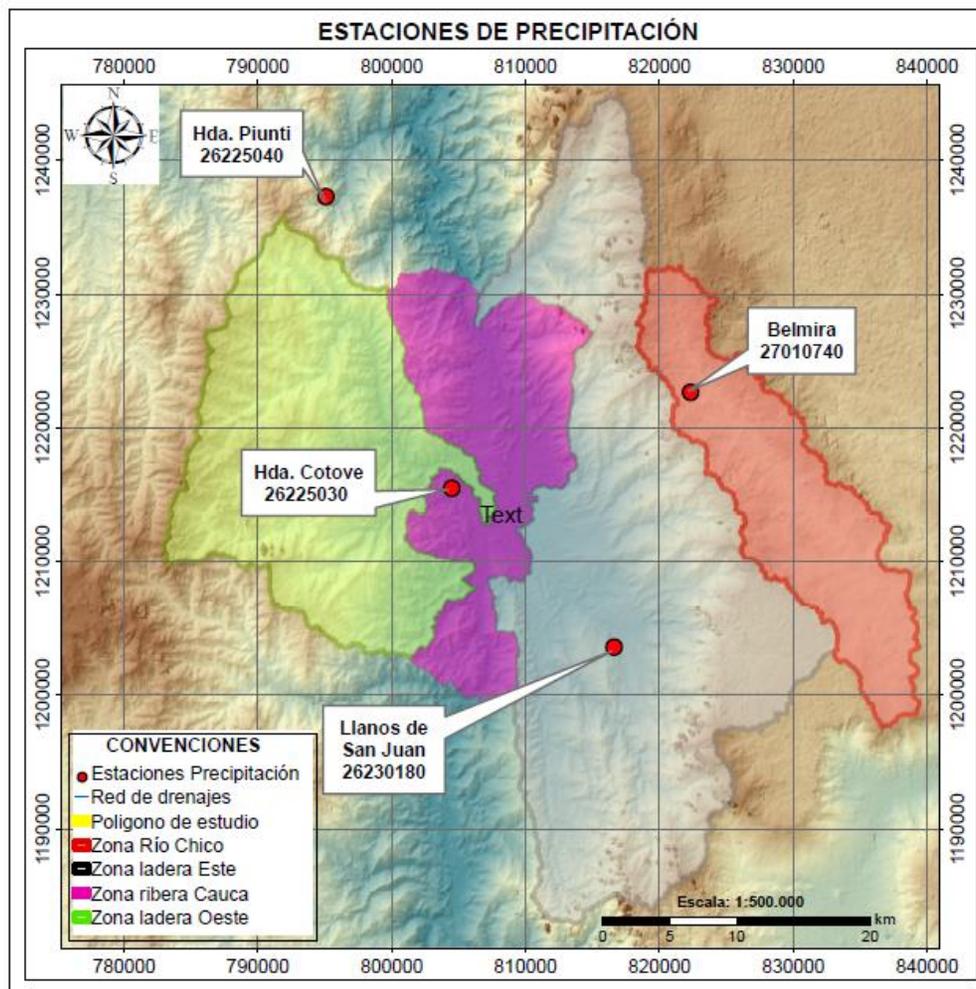


Figura 26. Zonas de interés y estaciones de precipitación. Fuente: elaboración propia.

- Modelo digital de elevación

Para la zona de estudio el modelo digital de elevación (MDE) fue extraído de la información satelital ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), la cual se puede descargar de forma gratuita en la página web <http://asterweb.jpl.nasa.gov>; con resolución espacial de 30 m (píxeles de 30 metros de lado), el cual se procesó en el software Hidrosig 4.0 con la finalidad de corregir posibles errores, como sumideros, y asegurar que el flujo se distribuyera conforme a la red de drenaje definida por Corantioquia, luego de este procesamiento se trazó el área de influencia del proyecto. En la Figura 27 se muestra el MDE del área de estudio.

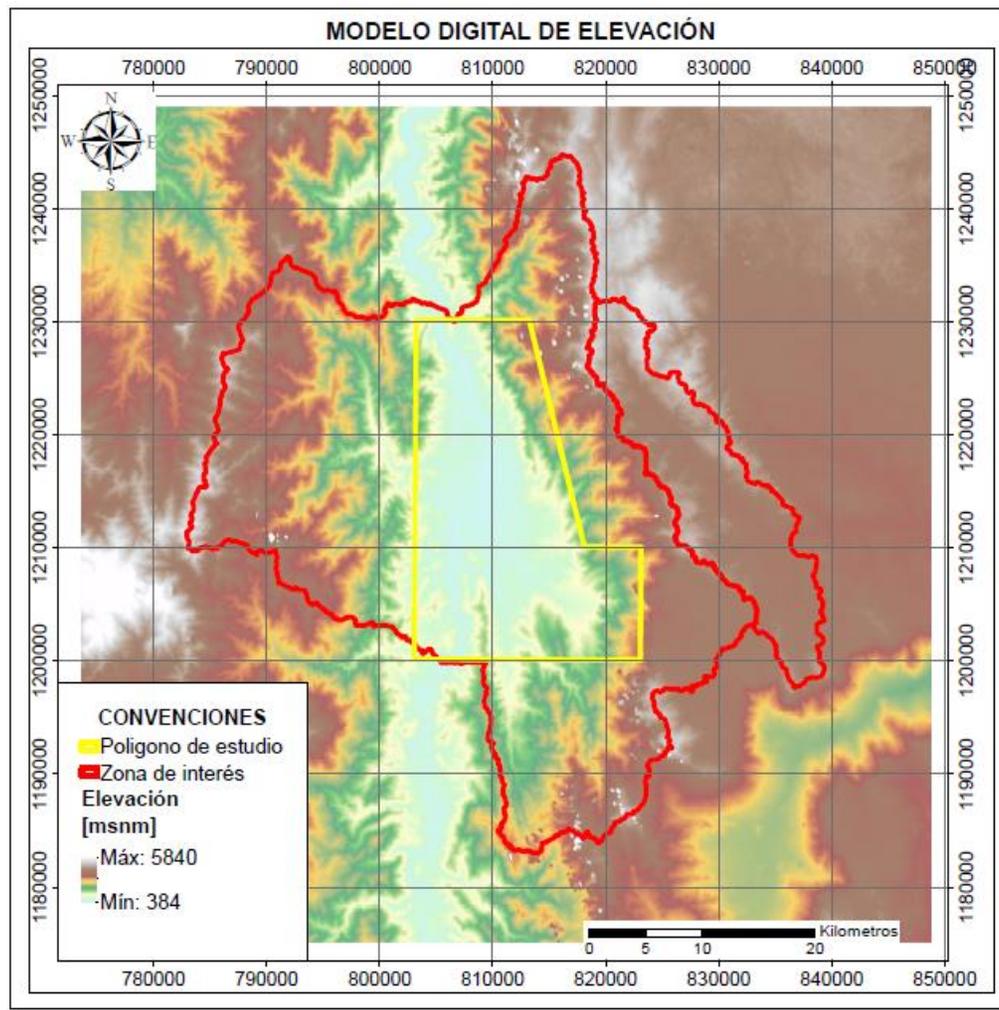


Figura 27. Modelo de elevación digital. Fuente: elaboración propia.

- Mapa de direcciones de flujo

Este mapa se construye a partir del MDE y cada celda contiene un valor de ocho valores posibles que indican la dirección (referida al norte) que sigue la escorrentía producida en dicha celda. La convención requerida para el modelo es la que se presenta en la Figura 28, e indica que en una celda con valor igual a 1 la escorrentía producida se mueve hacia el este; 2, sureste; 4, sur; 8, suroeste; 16, oeste; 32, noroeste; 64, norte y 128, noreste.

| | | |
|----|----|-----|
| 32 | 64 | 128 |
| 16 | X | 1 |
| 8 | 4 | 2 |



Figura 28. Convenciones direcciones de flujo. Fuente: software Hidrosig 4.0.

- Mapa de texturas de los suelos

El tamaño de las partículas de suelo (textura) determina la capacidad del suelo para transmitir o retener agua. Para la construcción del mapa de texturas del área de interés se utilizó el Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Antioquia del año 2007, realizado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), en dicho estudio se hace una descripción de las unidades cartográficas del departamento. En la Figura 29 se presentan las unidades de suelo presentes en la zona de estudio.

Dentro del estudio del IGAC cada unidad cartográfica tiene asociados varios perfiles de suelo levantados en campo y en la descripción de dichos perfiles se encuentra la granulometría de los mismos a diferentes profundidades y la clasificación de su textura según el Triángulo de Texturas Figura 30. Con el propósito de determinar la textura de los suelos presentes en la zona de estudio se hace una selección de los perfiles de suelo más cercanos. En la Tabla 11 se presenta la textura resultante para cada unidad cartográfica y se concluye que dentro del área de estudio existen 5 texturas de suelo distintas: franco arenoso (FA), franco arcilloso (FAr), franco (F), franco arcillo arenoso (FArA) y arcilloso (Ar). El mapa de texturas resultante es presentado en la Figura 31.

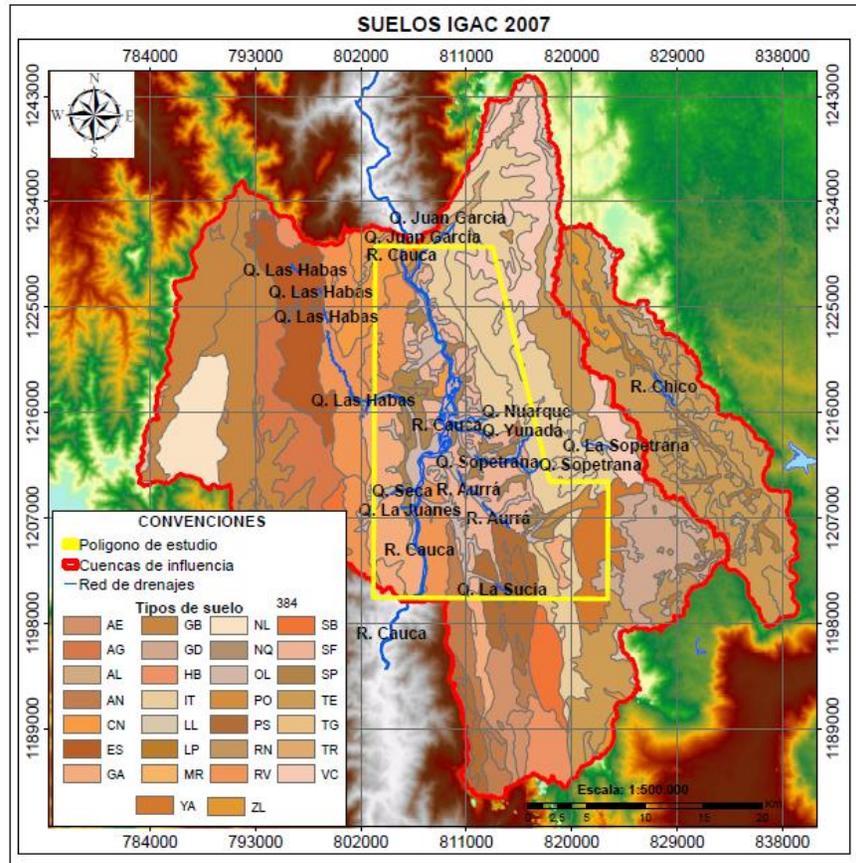


Figura 29. Mapa de asociaciones de suelos. Fuente: IGAC, 2007.

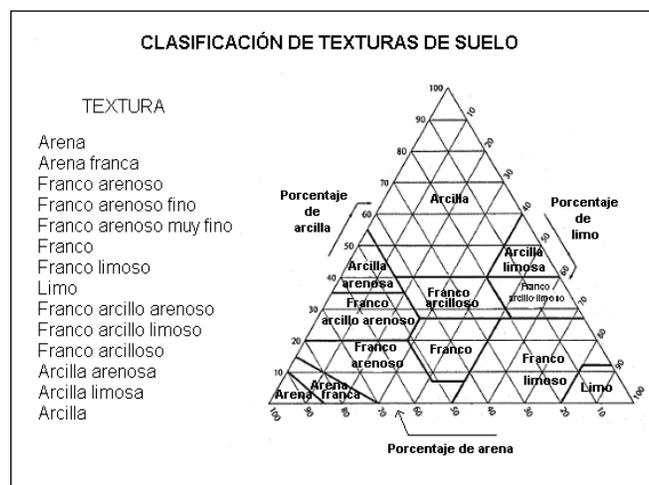


Figura 30. Triángulo de texturas de suelo. Fuente: Bradbury et al., 2000.

Tabla 11. Texturas presentes en la zona de estudio.

| Leyenda | Nombre | Textura | Leyenda | Nombre | Textura |
|---------|------------------------|---------|---------|--------------------------|---------|
| AE | Asociación Angelopolis | FAr | NQ | Asociación Niquía | Ar |
| AG | Asociación Andes | FA | OL | Asociación Olaya | FA |
| AL | Asociación Aldana | Ar | PO | Asociación Poblanco | Ar |
| AN | Asociación Amaga | FA | PS | Asociación Peñitas | Ar |
| CN | Asociación Concordia | FAr | RN | Asociación Rionegro | FA |
| ES | Asociación Escobillal | Far | RV | Asociación Raudal | FAr |
| GA | Asociación Gemelos | Ar | SB | Asociación Santa Barbara | Ar |
| GB | Asociación Guasabra | F | SF | Asociación Santafe | Ar |
| GD | Asociación Guadua | FArA | SP | Asociación Sopetrán | F |
| HB | Asociación Horizontes | FArA | TE | Asociación Tequendamita | FA |
| IT | Asociación Ituango | F | TG | Asociación Tuntuna | Ar |
| LL | Asociación Llano Largo | FA | TR | Complejo Taraza | FAr |
| LP | Complejo La Pulgarina | FA | VC | Consociación Ventanas | FA |
| MR | Misceláneos Rocosos | Ar | YA | Asociación Yarumal | FArA |
| NL | Asociación Nana | F | ZL | Asociación Zulaibar | FArA |

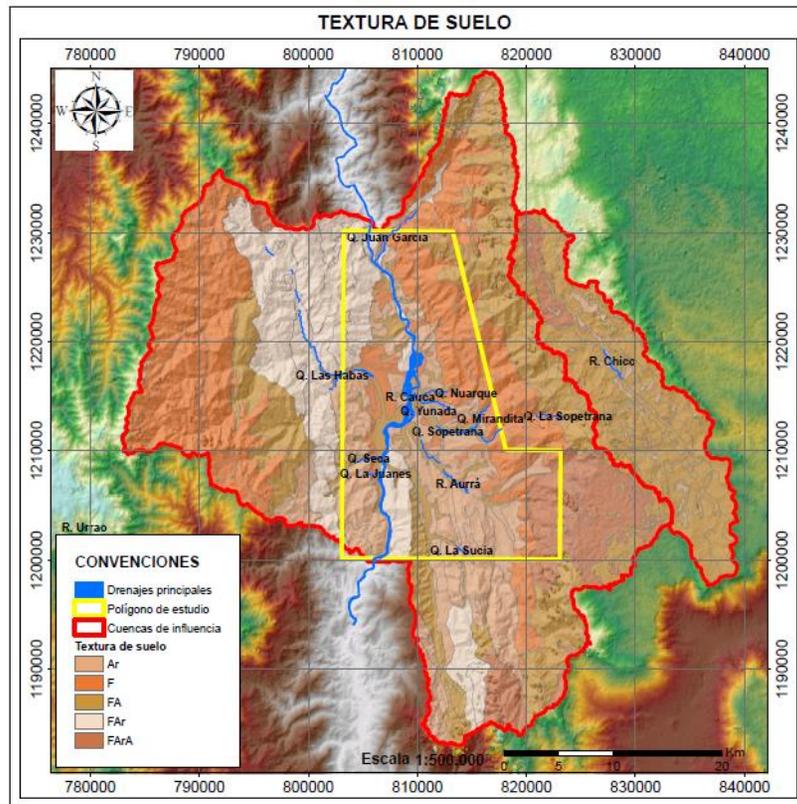


Figura 31. Mapa de texturas de suelo. Fuente: elaboración propia.

- Mapa de capacidad de campo

La capacidad de campo es el contenido de humedad del suelo dos o tres días después de humedecer el perfil de suelo con lluvia o por riego (IGAC, 2004). Para el cálculo de la capacidad de campo de cada unidad cartográfica se hizo un análisis a la distribución granulométrica de los mismos perfiles utilizados en la determinación de la textura, de acuerdo al nomograma mostrado en la Figura 32.

En la Tabla 12 se presenta la capacidad de campo en porcentaje, calculada para cada unidad cartográfica de suelo presente en la zona de estudio.

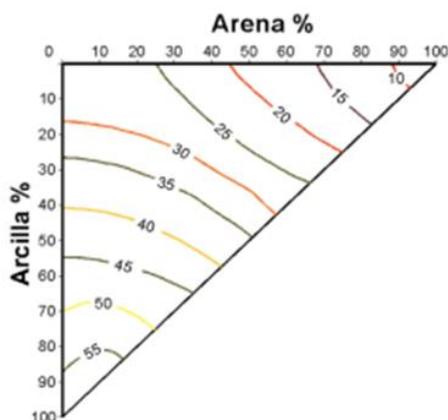


Figura 32. Nomograma para la estimación de la capacidad de campo. Fuente: Rawls, 1983.

Tabla 12. Capacidad de campo para cada unidad de suelo.

| Leyenda | Nombre | % arenas | % arcillas | Capacidad de Campo [%] |
|---------|------------------------|----------|------------|------------------------|
| AE | Asociación Angelópolis | 28,00 | 39,00 | 37 |
| AG | Asociación Andes | 33,00 | 35,00 | 34 |
| AL | Asociación Aldana | 20,00 | 46,00 | 40 |
| AN | Asociación Amaga | 36,00 | 30,00 | 37 |
| CN | Asociación Concordia | 42,00 | 34,00 | 38 |
| ES | Asociación Escobillal | 36,00 | 34,00 | 33 |
| GA | Asociación Gemelos | 21,95 | 54,15 | 37 |
| GB | Asociación Guasabra | 47,00 | 14,00 | 22 |
| GD | Asociación Guadua | 21,95 | 54,15 | 37 |
| HB | Asociación Horizontes | 56,00 | 20,00 | 23 |
| IT | Asociación Ituango | 35,95 | 24,43 | 30 |
| LL | Asociación Llano Largo | 64,00 | 14,00 | 19 |



**DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN
DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL
SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE
ANTIOQUEÑO E LA TERRITORIAL
HEVÉXICOS DE CORATIOQUIA**



| Leyenda | Nombre | % arenas | % arcillas | Capacidad de Campo [%] |
|----------------|--------------------------|-----------------|-------------------|-------------------------------|
| LP | Complejo La Pulgarina | 82,00 | 4,00 | 13 |
| MR | Misceláneos Rocosos | 0,00 | 0,00 | 0 |
| NL | Asociación Nana | 42,00 | 14,00 | 24 |
| NQ | Asociación Niquía | 32,00 | 46,00 | 38 |
| OL | Asociación Olaya | 56,15 | 16,60 | 23 |
| PO | Asociación Poblano | 18,15 | 44,62 | 30 |
| PS | Asociación Peñitas | 18,15 | 44,62 | 30 |
| RN | Asociación Rionegro | 67,00 | 7,00 | 17 |
| RV | Asociación Raudal | 39,62 | 32,44 | 27 |
| SB | Asociación Santa Bárbara | 16,00 | 54,00 | 30 |
| SF | Asociación Santafé | 22,5 | 44,5 | 36 |
| SP | Asociación Sopetrán | 37,54 | 19,54 | 24 |
| TE | Asociación Tequendamita | 52,00 | 12,00 | 21 |
| TG | Asociación Tuntuna | 17,66 | 42,53 | 34 |
| TR | Complejo Taraza | 30,14 | 27,99 | 28 |
| VC | Consociación Ventanas | 54,00 | 38,00 | 30 |
| YA | Asociación Yarumal | 49,09 | 23,80 | 25 |
| ZL | Asociación Zulaibar | 53,6 | 28,3 | 26 |

- Mapa de coberturas

La cobertura vegetal afecta las tasas de infiltración y determina el espesor de la zona donde ocurre la evapotranspiración. La cobertura vegetal y la textura del suelo se usan en el modelo para calcular la escorrentía superficial directa y asignar una capacidad máxima de almacenamiento de agua a cada celda. El mapa de cobertura y uso del suelo, mostrado en la Figura 33, estas coberturas se reclasificaron según las 29 categorías de la Clasificación de Coberturas de Anderson de Segundo Nivel, Anderson et al., 1976 en Bradbury et al., 2000.

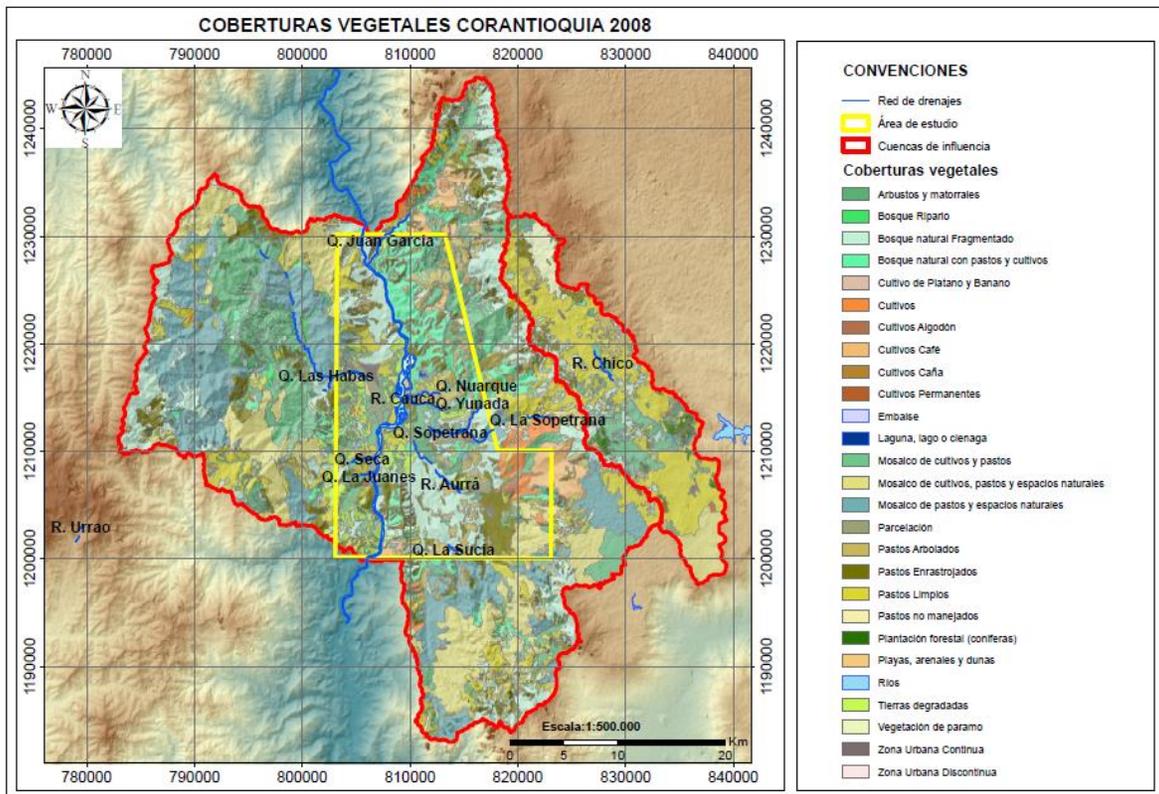


Figura 33. Mapa de coberturas. Fuente: Corantioquia, 2008.

En la Tabla 13 se presenta la reclasificación hecha al mapa de uso actual del suelo, donde se observa que dentro de la zona de estudio existen 14 coberturas distintas, en base a la clasificación de Bradbury et al., 2000.. En la Figura 34 se muestra la distribución de dichas coberturas en la zona.

Tabla 13. Reclasificación coberturas. Mapa de coberturas reclasificado.

| Corantioquia 2008 | | Bradbury et al., 2000. | |
|-------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------------|
| Categoría | Descripción | Categoría | Descripción Nivel II |
| 1 | Zona urbana continua | 11 | Residencial |
| 2 | Zona urbana discontinua | 16 | Mixed Urban or Built Up Land |
| 3 | Parcelación | 17 | Other Urban or Built Up Land |
| 4 | cultivo de algodón | 21 | Cropland and Pasture |
| 5 | cultivos permanentes | 21 | Cropland and Pasture |
| 6 | cultivo de caña | 21 | Cropland and Pasture |
| 7 | cultivo de banano y plátano | 21 | Cropland and Pasture |



**DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN
DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL
SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE
ANTIOQUEÑO E LA TERRITORIAL
HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA**



| Corantioquia 2008 | | Bradbury et al., 2000. | |
|-------------------|--|------------------------|--------------------------------|
| Categoría | Descripción | Categoría | Descripción Nivel II |
| 8 | cultivo de café | 21 | Cropland and Pasture |
| 9 | Pastos limpios | 22 | Orchards, Groves, Nurseries |
| 10 | Pastos Arbolados | 21 | Cropland and Pasture |
| 11 | Pastos enrastrados | 32 | Shrub and Brush Rangeland |
| 12 | Otros Cultivos | 24 | OtherAgriculturalLand |
| 13 | Mosaico de cultivos y pastos | 21 | Cropland and Pasture |
| 14 | Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales | 33 | Cropland and Pasture |
| 15 | Mosaico de pastos y espacios naturales | 33 | Cropland and Pasture |
| 16 | Bosque natural fragmentado | 43 | MixedForestLand |
| 17 | Bosque , pastos y cultivos | 43 | MixedForestLand |
| 18 | bosque ripario | 42 | EvergreenForestLand |
| 19 | Plantación forestal (coníferas) | 42 | EvergreenForestLand |
| 20 | Pastos no manejados | 21 | Cropland and Pasture |
| 21 | Arbustos y matorrales | 32 | Shrub and Brush Rangeland |
| 22 | *Vegetación de paramos | 42 | EvergreenForestLand |
| 23 | Playas, Arenales y dunas | 73 | Sandy Areas other then Beaches |
| 24 | Tierras degradadas | 77 | Mixed Barren Land |
| 25 | Ríos | 51 | Streams and Canals |
| 26 | Laguna, Lago o ciénaga | 52 | Lake |
| 27 | Embalses | 53 | Reservoirs |

*En la clasificación de coberturas de Bradbury et al., 2000. no existe ninguna categoría que contenga la vegetación de paramo; sin embargo el potencial de recarga de los sitios con dicha vegetación es muy bajo; por lo que se optó por clasificar esta cobertura en una categoría con raíces profundas que simulen un potencial de recarga bajo.

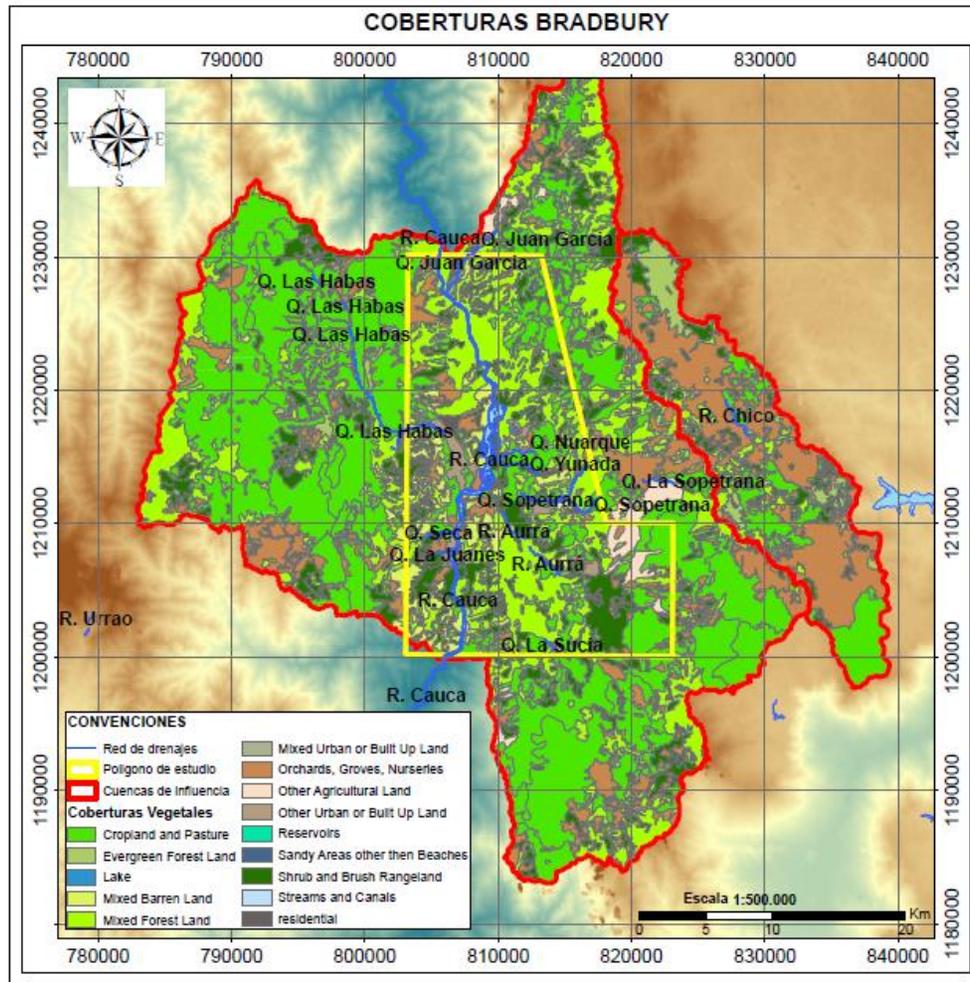


Figura 34. Mapa de coberturas reclasificado. Fuente: elaboración propia.

- Capacidad Máxima de Almacenamiento del Suelo, SMmax

Uno de los factores que influye directamente en la capacidad de almacenamiento de agua de un suelo es la profundidad que alcanzan las raíces de la vegetación, ya que determina la profundidad hasta la cual las plantas son capaces de retener agua. En este modelo se asume que el agua que se infiltra por debajo de la profundidad de raíces se convierte en recarga.

En la Tabla 14 se presenta la información de la profundidad de raíces, obtenida de Bradbury et al (2000). Es función de las diferentes combinaciones de textura del suelo y cobertura.

Tabla 14. Profundidad de las raíces [cm] para cada tipo de suelo y cobertura.

| Cobertura | Tipo de Textura | | | | |
|--------------------------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|
| | Ar | F | FArA | FAr | FA |
| Residential | 84,73 | 146,00 | 130,76 | 115,82 | 160,32 |
| Mixed Urban or Built Up Land | 49,38 | 87,48 | 77,11 | 67,97 | 99,06 |
| Other Urban or Built Up Land | 41,15 | 73,76 | 64,62 | 56,69 | 91,14 |
| Cropland and Pasture | 55,17 | 105,77 | 97,23 | 86,56 | 95,40 |
| Orchards, Groves, Nurseries | 67,67 | 118,57 | 114,30 | 101,50 | 101,50 |
| Shrub and Brush Rangeland | 84,73 | 146,00 | 130,76 | 115,82 | 160,32 |
| Other Agricultural Land | 67,67 | 118,57 | 114,30 | 101,50 | 101,50 |
| Mixed Forest Land | 118,87 | 203,00 | 182,88 | 162,46 | 236,83 |
| Evergreen Forest Land | 118,87 | 203,00 | 182,88 | 162,46 | 236,83 |
| Sandy Areas other than Beaches | 15,24 | 15,24 | 15,24 | 15,24 | 15,24 |
| Mixed Barren Land | 15,24 | 15,24 | 15,24 | 15,24 | 15,24 |
| Streams and Canals | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Lake | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Reservoirs | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

La capacidad máxima de almacenamiento para cada unidad de suelo es expresada como lámina de agua [mm], y es estimada como el producto de la capacidad de campo y la profundidad de raíces asociadas a cada tipo de suelo (para cada tipo de cobertura).

- Número de curva (CN)

El número de curva se determina según la textura del suelo y el uso potencial del mismo para una Humedad Antecedente Intermedia (AMC II), por lo cual se asignó a cada asociación uno de los cuatro grupos hidrológicos (A, B, C o D) dados por el SCS (Tabla 15).

Tabla 15. Selección del grupo hidrológico.

| Leyenda | Nombre | Grupo hidrológico | Leyenda | Nombre | Grupo hidrológico |
|---------|------------------------|-------------------|---------|--------------------------|-------------------|
| AE | Asociación Angelópolis | C | NQ | Asociación Niquía | D |
| AG | Asociación Andes | A | OL | Asociación Olaya | A |
| AL | Asociación Aldana | D | PO | Asociación Poblano | D |
| AN | Asociación Amaga | A | PS | Asociación Peñitas | D |
| CN | Asociación Concordia | C | RN | Asociación Rionegro | A |
| ES | Asociación Escobillal | C | RV | Asociación Raudal | C |
| GA | Asociación Gemelos | D | SB | Asociación Santa Bárbara | D |

| | | |
|---|---|---|
|  | DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO E LA TERRITORIAL HEVÉXICOS DE CORATIOQUIA |  |
|---|---|---|

| Leyenda | Nombre | Grupo hidrológico | Leyenda | Nombre | Grupo hidrológico |
|---------|------------------------|-------------------|---------|-------------------------|-------------------|
| GB | Asociación Guasabra | A | SF | Asociación Santafé | D |
| GD | Asociación Guadua | B | SP | Asociación Sopetrán | A |
| HB | Asociación Horizontes | B | TE | Asociación Tequendamita | A |
| IT | Asociación Ituango | A | TG | Asociación Tuntuna | D |
| LL | Asociación Llano Largo | A | TR | Complejo Taraza | C |
| LP | Complejo La Pulgarina | A | VC | Consociación Ventanas | A |
| MR | Misceláneos Rocosos | D | YA | Asociación Yarumal | B |
| NL | Asociación Nana | A | ZL | Asociación Zulaibar | B |

Con base en el grupo hidrológico y las diferentes coberturas se asignó un CN (para la condición de humedad antecedente AMC II) a cada conjunto. En la Tabla 16 se presentan los valores de CNII asociados a cada textura y tipo de cobertura de la zona de estudio.

Tabla 16. Número de curva asociado a cada par de textura de suelo y tipo de cobertura.

| Coberturas vegetales | Grupo hidrológico (AMCII) | | | |
|--------------------------------|---------------------------|-----|-----|-----|
| | A | B | C | D |
| Residential | 57 | 72 | 81 | 86 |
| Mixed Urban or Built Up Land | 81 | 88 | 91 | 93 |
| Other Urban or Built Up Land | 39 | 61 | 74 | 80 |
| Cropland and Pasture | 62 | 71 | 78 | 81 |
| Orchards, Groves, Nurseries | 39 | 53 | 67 | 71 |
| Shrub and Brush Rangeland | 39 | 61 | 74 | 80 |
| OtherAgriculturalLand | 59 | 74 | 82 | 86 |
| MixedForestLand | 25 | 55 | 70 | 77 |
| EvergreenForestLand | 25 | 55 | 70 | 77 |
| Sandy Areas other then Beaches | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Mixed Barren Land | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Streams and Canals | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Lake | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Reservoirs | 100 | 100 | 100 | 100 |

Los valores de CN para las condiciones de humedad antecedente seca (I) y húmeda (III) se obtuvieron según las siguientes ecuaciones de ajuste tomadas de Bradbury et al., 2000.

$$\begin{aligned}
 CN - I = & 1,4420658173 \quad 2462 \times 10^{-6} \times CN - II^4 - 2,5434041530 \quad 5462 \times 10^{-4} \times CN - II^3 + \\
 & 2,0701873940 \quad 5394 \times 10^{-2} \times CN - II^2 - 7,6787707822 \quad 852 \times 10^{-3} \times CN - II + 2,0967822273
 \end{aligned}
 \tag{13}$$



**DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN
DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL
SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE
ANTIOQUEÑO E LA TERRITORIAL
HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA**



$$CN - III = -6.20352282 661163 \times 10^{-7} \times CN - II^4 + 1.60650096 926368 \times 10^{-4} \times CN - II^3 - 2.03362629 006156 \times 10^{-2} \times CN - II^2 + 2.01054923 513527 \times 10^{-3} \times CN - II + 3.65427885 9 \quad (14)$$

- Evapotranspiración

Como dato de entrada al modelo se requiere la serie de evapotranspiración potencial media mensual para cada uno de los años a evaluar. Debido a la escasez de series de evaporación o en su defecto series de temperatura dentro del polígono de estudio; se calcula la evaporación potencial de la zona mediante la ecuación de Cenicafé.

$$ETP = 1700,17 \exp(-0,0002 h) \quad (15)$$

Donde, ETP es la evapotranspiración potencial (mm/año) y h es la elevación (m).

La evapotranspiración potencial se transforma a evapotranspiración real mediante la expresión de Budyko, presentada en la siguiente ecuación:

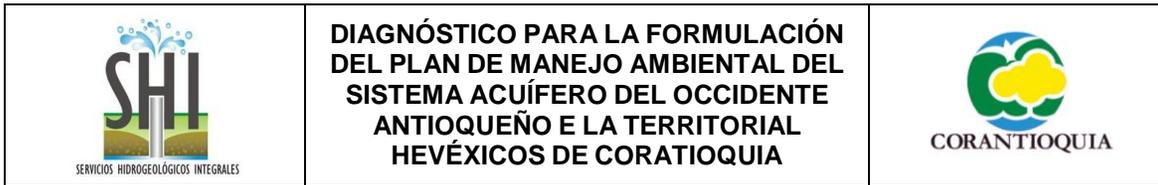
$$ETR = \left(\left(ETP \cdot P \cdot \tanh\left(\frac{P}{ETP}\right) \right) * \left(1 - \cosh\left(\frac{ETP}{P}\right) \right) + \left(\sinh\left(\frac{ETP}{P}\right) \right) \right)^{0,5} \quad (16)$$

Donde, ETR es la evapotranspiración real [mm/año], ETP es la evapotranspiración potencial (mm/año) y P es la precipitación media en la zona (mm/año).

Con los porcentajes de variación del ciclo anual de evaporación de la estación Hacienda Piunti se escala la evaporación real estimada por Budyko para cada una de las cuencas de tal forma que el ciclo de evaporación para cada periodo de estudio sea semejante al de dicha estación.

- Humedad del suelo

Cada vez que se realiza el balance en una celda entre la infiltración y la evapotranspiración, es necesario considerar la humedad del suelo en ese momento. Para esto debe partirse de un valor inicial de humedad del suelo y se consideró que en el mes de noviembre el suelo está completamente saturado debido a las lluvias de octubre, según el ciclo bimodal de lluvias de la zona. Por esta razón cada uno de los períodos de estudio elegidos se inicia en noviembre con un



valor de humedad del suelo igual a su capacidad máxima de almacenamiento. En los meses siguientes, la humedad del suelo se obtiene tras efectuar el balance hídrico, así: se calcula la diferencia a nivel mensual entre la infiltración y la evapotranspiración. Cuando esta diferencia es positiva significa que hay una entrada neta de agua al suelo que se suma a su humedad antecedente. Si el resultado de esta suma es mayor que la capacidad máxima de almacenamiento del suelo, entonces el excedente se convierte en recarga y el suelo queda saturado para iniciar los cálculos en el mes siguiente. Cuando la diferencia entre la infiltración y la evapotranspiración es negativa, significa que no se produce recarga y en cambio el suelo pierde humedad. La cantidad de humedad que pierde el suelo es, a lo sumo, igual a la diferencia negativa entre la infiltración y la evapotranspiración, pero está limitada por la disponibilidad de humedad.

3.8.2 Algoritmo utilizado (Vélez y Salazar, 2005)

Para correr el modelo programo un algoritmo en lenguaje Visual Basic que incorpora la información proveniente del software ArcMap mediante archivos en formato plano (tipo .asc). La información de entrada que requiere el programa para cada cuenca es la siguiente:

Mapas en formato ráster de valores de CN para las tres condiciones posibles de humedad antecedente. El programa selecciona internamente el valor de CN a utilizar en función de la temporada del año.

- Mapa de direcciones de flujo en formato ráster.
- Mapa de capacidad máxima de almacenamiento del suelo en formato ráster.
- Registros de precipitación diaria en formato .txt para el periodo de estudio.
- Registros de evapotranspiración potencial mensual en formato .txt para el periodo de estudio

El funcionamiento del programa, que se basa en el diagrama presentado en la Figura 25, puede describirse como sigue:

- Con los registros de precipitación diaria se generan mallas que contienen en cada celda el valor de la precipitación correspondiente a un día.

| | | |
|---|---|---|
|  <p>SERVICIOS HIDROGEOLÓGICOS INTEGRALES</p> | <p>DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO E LA TERRITORIAL HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA</p> |  <p>CORANTIOQUIA</p> |
|---|---|---|

- A partir de los datos de precipitación diaria y usando los valores de número de curva, se calcula en cada celda la escurrentía según las ecuaciones mostradas en la metodología. La diferencia entre la precipitación y la escurrentía generada se considera como infiltración.
- La escurrentía generada en cada celda es movida hacia otra celda o afuera del sistema según indique el mapa de direcciones de flujo. Este desplazamiento supone un proceso iterativo en el que la escurrentía avanza únicamente una celda en cada iteración. Con la escurrentía recibida por cada celda en una iteración, se repite el cálculo de la (10) para separar nuevamente una escurrentía y una infiltración. Las infiltraciones generadas en una misma celda se suman para obtener un valor total de infiltración en cada día. El proceso iterativo termina cuando toda la precipitación de un día ha salido de la cuenca en forma de escurrentía o se ha convertido en infiltración. Al terminar las iteraciones de un día se pasa al día siguiente y se repite el proceso hasta el final de año.
- Las infiltraciones totales diarias se agregan para obtener infiltraciones mensuales.
- Para el primer mes (agosto), se calcula la diferencia entre la infiltración y la evapotranspiración y se compara con la humedad del suelo como se ha indicado antes. La humedad del suelo al final del proceso es el valor que se utiliza en el mes siguiente. El resultado de este proceso es una malla con valores de recarga potencial mensual. El proceso se repite hasta completar los doce meses del año.
- Los valores de recarga potencial mensual se agregan para conformar una malla única con valores de recarga potencial anual.

3.8.3 Resultados

Se obtuvieron mapas de recarga potencial anual para cada uno de los tres períodos estudiados en cada una de las zonas de interés. En estos mapas es posible observar la variabilidad espacial de la recarga (Figura 35 a la Figura 37). De estos resultados se puede concluir que las zonas de mayor recarga potencial corresponden a los lugares altos de bajas pendientes, además de los sitios con coberturas vegetales de pastos y arbustos (los cuales tienen menor profundidad de raíces), mientras que las zonas de menor potencial se encuentran alrededor de las quebradas donde las pendientes son más pronunciadas y las coberturas vegetales son bosques (caracterizados por gran profundidad de raíces); se observa que la recarga para esta zona proviene principalmente de la parte alta de ambas laderas.

En la Tabla 17 se muestra el porcentaje de recarga media en las cuencas de estudio respecto a la precipitación, para cada período estudiado.

Tabla 17. Resultados de recarga para cada período simulado.

| Zona | Estación Usada | Condición | Precipitación [mm/año] | Recarga | Porcentaje de Recarga [%] |
|-----------|--------------------------------|------------|------------------------|---------|---------------------------|
| Este | 26230180 Llanos de San Juan | Año normal | 1655,0 | 63,7 | 3,8 |
| | | Año seco | 1148,0 | 56,2 | 4,9 |
| | | Año húmedo | 2070,6 | 74,7 | 3,6 |
| Oeste | 26225040 Piunti Hacienda | Año normal | 1350,4 | 96,5 | 7,1 |
| | | Año seco | 993,3 | 25,7 | 2,6 |
| | | Año húmedo | 1904,2 | 97,6 | 5,1 |
| Río Chico | 2701074 Belmira | Año normal | 1919,7 | 128,0 | 6,7 |
| | | Año seco | 1332,9 | 126,0 | 9,5 |
| | | Año húmedo | 2511,8 | 138,6 | 5,5 |
| Ribera | 26225030 Cotove Hacienda | Año normal | 1002,0 | 41,5 | 4,1 |
| | | Año seco | 754,9 | 2,0 | 0,3 |
| | | Año húmedo | 1585,4 | 46,0 | 2,9 |

Teniendo en cuenta la existencia de flujos regionales provenientes de la cuenca del río Chico (Rhenals, 2007), se plantea un escenario en el que la recarga total del polígono de estudio es el resultado de la integración espacial sobre el mapa de recarga más el 20 % de la recarga que se presenta en la ladera derecha de la cuenca del río Chico. En la Tabla 18 se presenta la recarga media para las tres condiciones evaluadas en la zona de estudio.

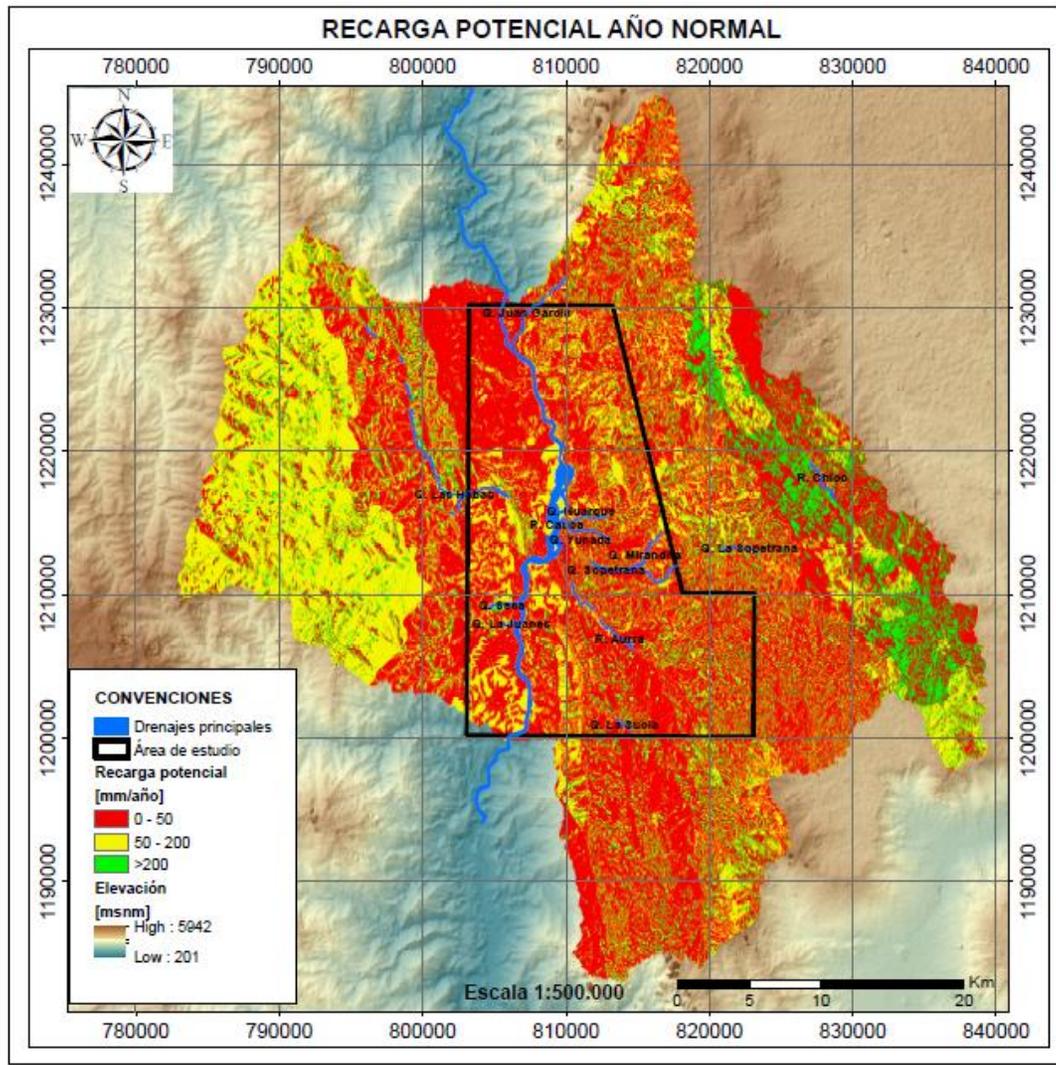


Figura 35. Variabilidad espacial de la recarga para condiciones normales. Fuente: elaboración propia.

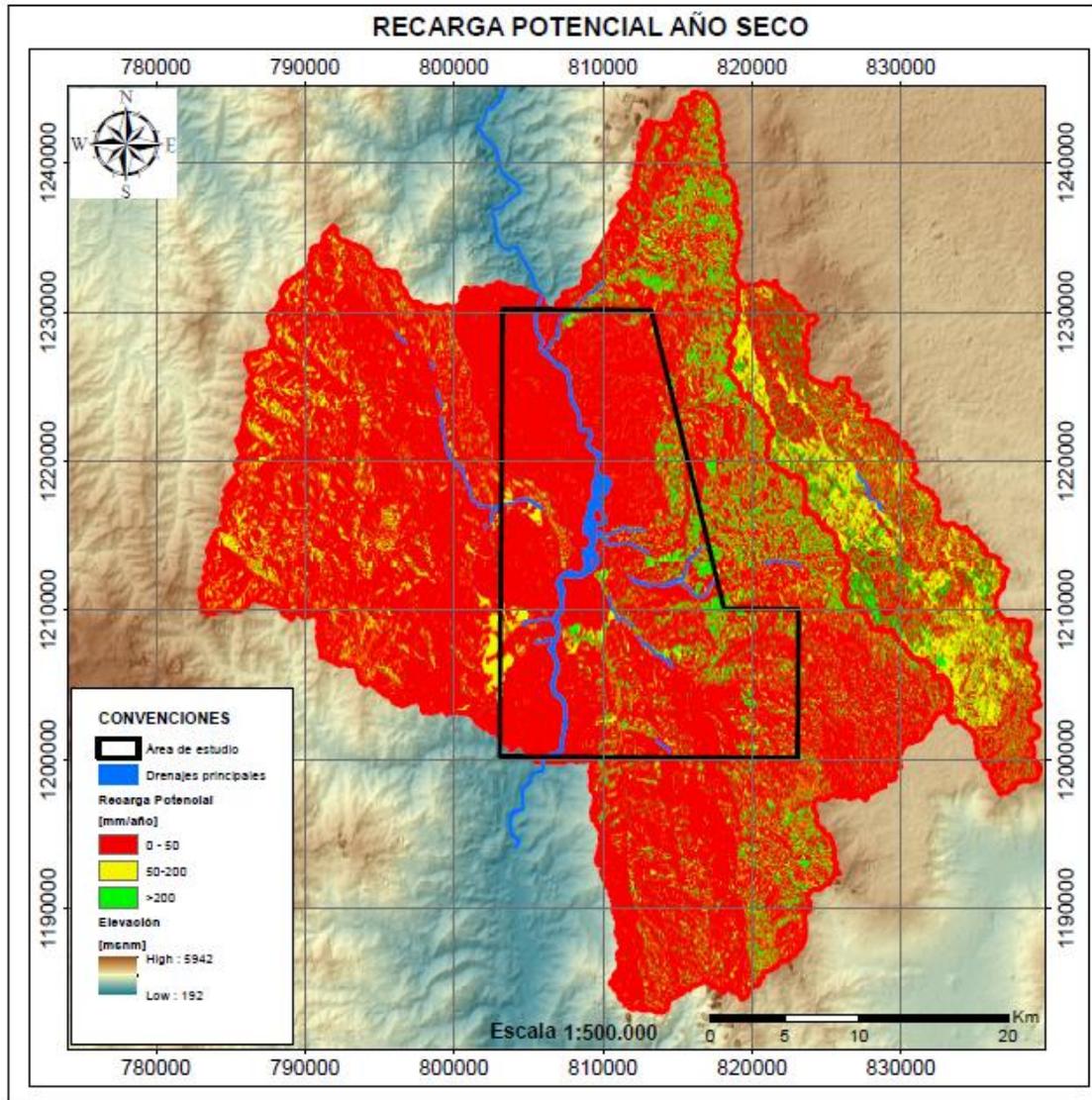


Figura 36. Variabilidad espacial de la recarga para condiciones secas. Fuente: elaboración propia.

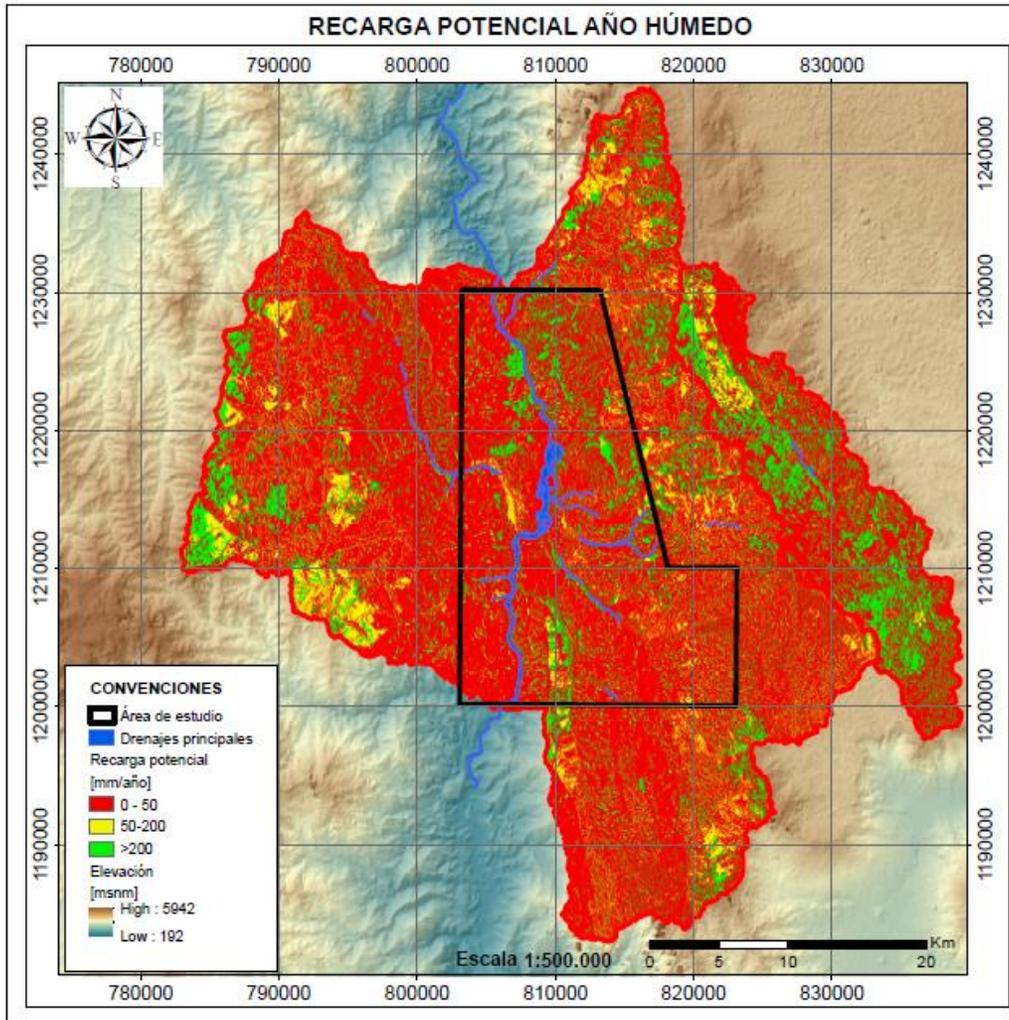


Figura 37. Variabilidad espacial de la recarga para condiciones húmedas. Fuente: elaboración propia.

Tabla 18. Resultados de recarga para el polígono de estudio.

| Condición | Precipitación [mm/año] | Recarga [mm/año] | Porcentaje de Recarga [%] |
|------------|------------------------|------------------|---------------------------|
| Año normal | 1276 | 81,48 | 6,4 |
| Año seco | | 55,78 | 4,4 |
| Año húmedo | | 89,88 | 7 |

El valor de la precipitación que aparece en la tabla (1276 mm/año) corresponde al resultado de la integración espacial del área de estudio sobre el mapa de precipitación media multianual.

4. INFORME HIDROGEOQUÍMICA, ISOTOPIA Y CALIDAD DE AGUAS

4.1 INTRODUCCIÓN

A continuación se presenta el inventario y análisis de la información química e isotópica existente. En lo que se refiere a información química, isotópica y de calidad de agua para la zona de estudio existen tres fuentes, la primera es la base de datos de puntos de agua subterránea de Corantioquia, la segunda en el trabajo de Ortiz y Restrepo, 2004 y la última en Rhenals, 2007.

Se realizó análisis de la información química, isotópica y de calidad de aguas por medio de herramientas como diagramas de Piper, Stiff y la línea meteórica mundial con el principal objetivo de generar hipótesis acerca del comportamiento de las aguas subterráneas que permitan alimentar el modelo hidrogeológico conceptual.

4.2 REVISIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA EN FÍSICO – QUÍMICA E ISOTOPIA

4.2.1 Base de datos Corantioquia

La base de datos de Corantioquia está compuesta por 27 puntos de agua subterránea con análisis físico – químicos, de estos puntos se tienen 57 análisis físico químicos (FQ), de los cuales 53 corresponden a aljibes y 4 a pozos.

Esta base de datos tiene la información que se muestra en la Tabla 19. Es importante mencionar que no todos los puntos tienen los valores completos, es decir, existen puntos en los cuales no hay un valor para determinado campo de la lista anteriormente mencionada.

Tabla 19. Información consignada en la base de datos de CORANTIOQUIA.

| | | |
|---------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Coordenadas geográficas | Nivel estático | Temperatura del agua |
| Temperatura ambiente | Potencial de hidrógeno (pH) | Conductividad eléctrica |
| Alcalinidad fenolftaleína | Alcalinidad total | Bicarbonatos |
| Carbonatos | Calcio | Cloruros |
| Coliformes totales | Color verdadero | DBO5 |
| DQO | Dureza total | Escherichiecoli |
| Fosfatos | Fosforo total | Hierro disuelto |

| | | |
|---------------------------|-----------------------------|-----------------|
| Magnesio | Nitratos | Nitritos |
| Nitrógeno amoniacal | Oxígeno disuelto | Potasio |
| Sílice | Sulfatos | Sodio |
| Sólidos disueltos totales | Sólidos suspendidos totales | Sólidos totales |
| Turbiedad | | |

Los puntos contenidos en la base de datos están distribuidos en los municipios de San Jerónimo, Santa Fe de Antioquia, Olaya, Liborina y Sopetrán. En la Figura 38 se puede observar la ubicación de estos puntos.

Los resultados de los análisis FQ que se encuentran en la base de datos de Corantioquia corresponde a campañas realizadas en junio del 2012, julio del 2013 y mayo del 2014.

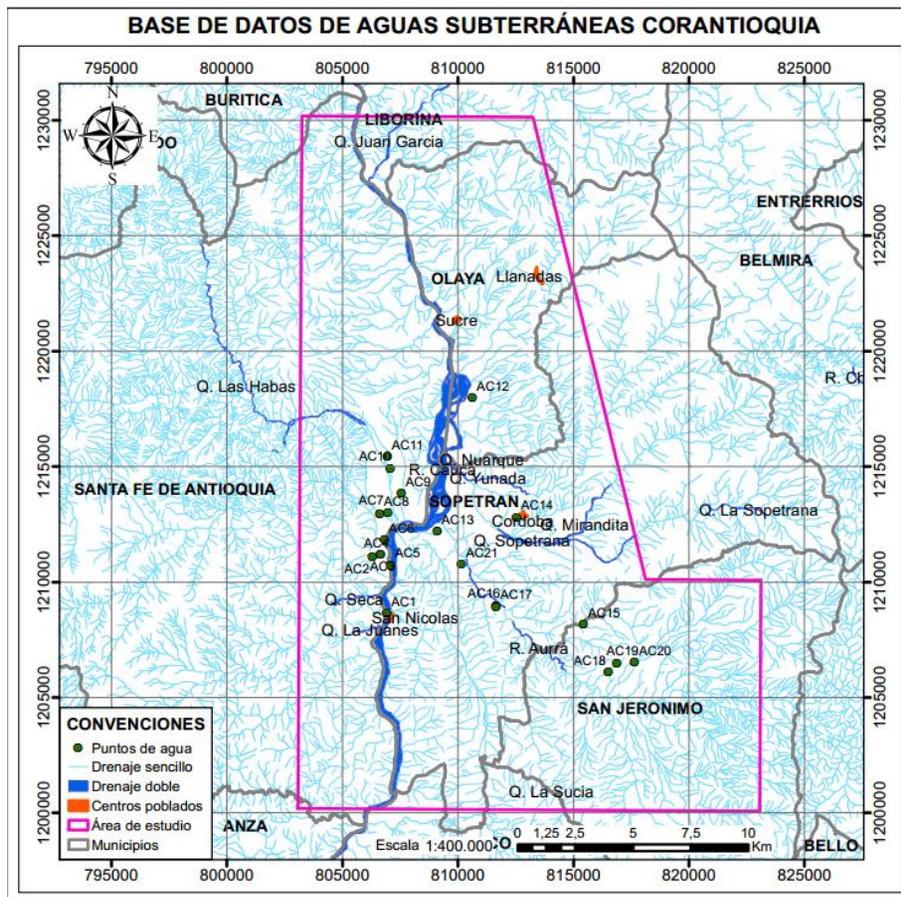


Figura 38. Puntos de agua subterránea de la base de datos de Corantioquia. Fuente: Corantioquia, 2014.

4.2.2 “Evaluación del potencial acuífero de los municipios de Santa Fe de Antioquia, Sopetrán, San Jerónimo, Olaya y Liborina”. Ortiz y Restrepo (2004)

En la tesis de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín elaborada por Ortiz y Restrepo en el año 2004 se llevó a cabo un inventario de puntos de agua subterránea, dicho inventario está compuesto por 56 puntos de agua, sin embargo, 13 puntos de estos ya están incluidos en la base de datos de Corantioquia, la información extraída de este trabajo aporta 43 puntos nuevos de agua subterránea, en la Figura 39 se observa la distribución geográfica de los puntos de agua subterránea inventariados en este estudio.

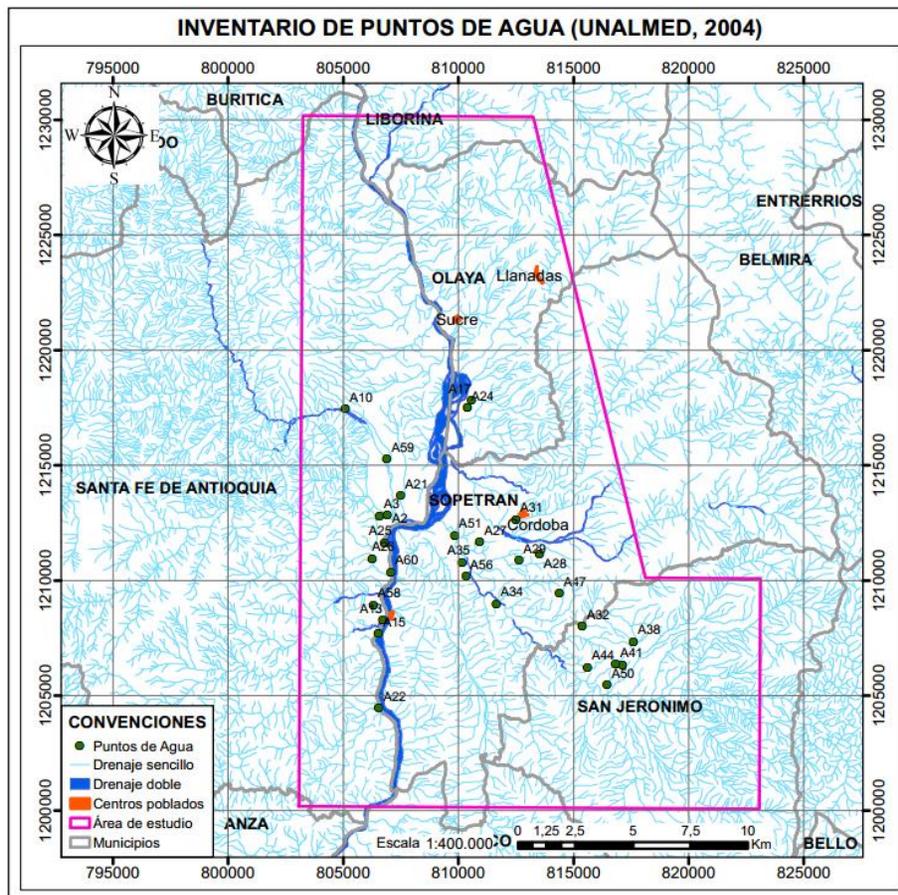


Figura 39. Inventario de aguas subterráneas (UNALMED, 2004). Fuente: “Evaluación del Potencial Acuífero de los Municipios de Santa Fe de Antioquia, Sopetrán, San Jerónimo, Olaya y Liborina”, Unalmed, 2004.

Adicional a esto, se realizó una caracterización de la calidad de las aguas subterráneas, con tal objetivo se estableció una red de monitoreo compuesta por 29 puntos de agua subterránea, la red de monitoreo se presenta en la Figura 40.

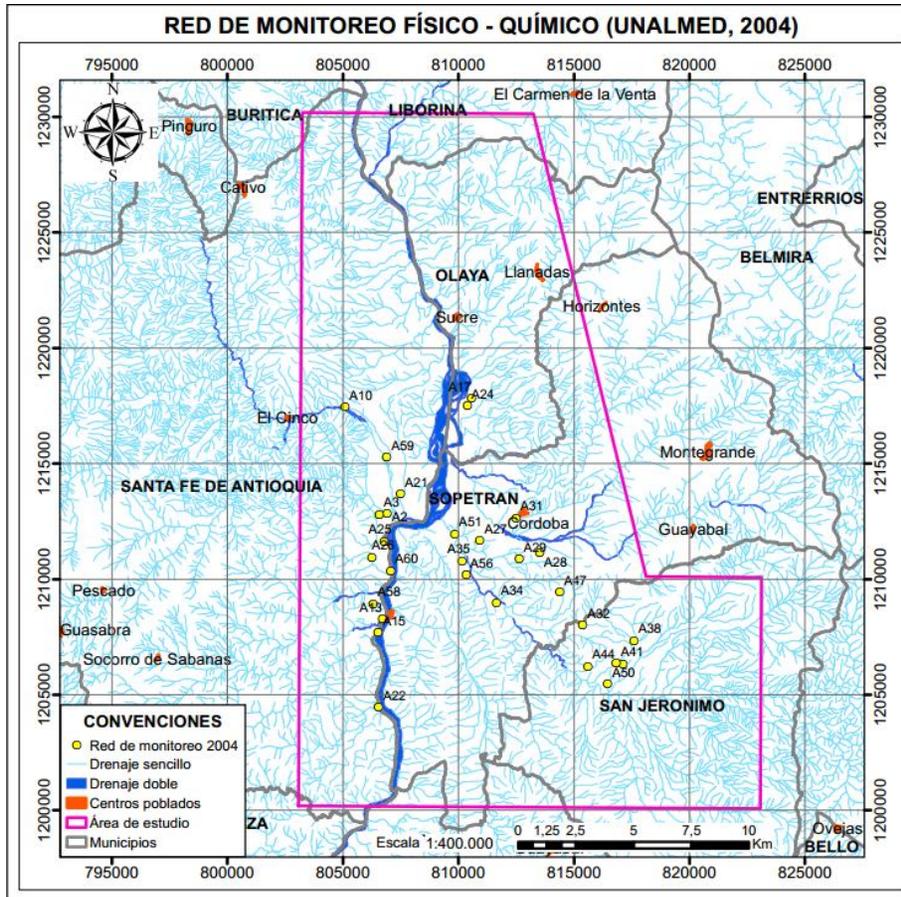


Figura 40. Red de monitoreo físico – químico (UNALMED, 2004). Fuente: Evaluación del Potencial Acuífero de los Municipios de Santa Fe de Antioquia, Sopetrán, San Jerónimo, Olaya y Liborina. Unalmed, 2004.

4.2.3 “Validación del modelo hidrogeológico del Occidente Antioqueño mediante técnicas isotópicas e hidroquímicas” por Rhenals (2007).

En la tesis de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín elaborada por Rhenals 2007, se estableció una red de monitoreo físico – química e isotópica, la cual está conformada por 31 puntos de agua subterránea, entre los cuales se encuentran puntos ya considerados en la base de datos de Corantioquia y en el inventario del estudio de la Universidad Nacional en el 2004, sin

embargo, aporta 2 puntos nuevos al inventario de aguas subterráneas. En la Figura 41 se puede ver la red de monitoreo establecida para este estudio.

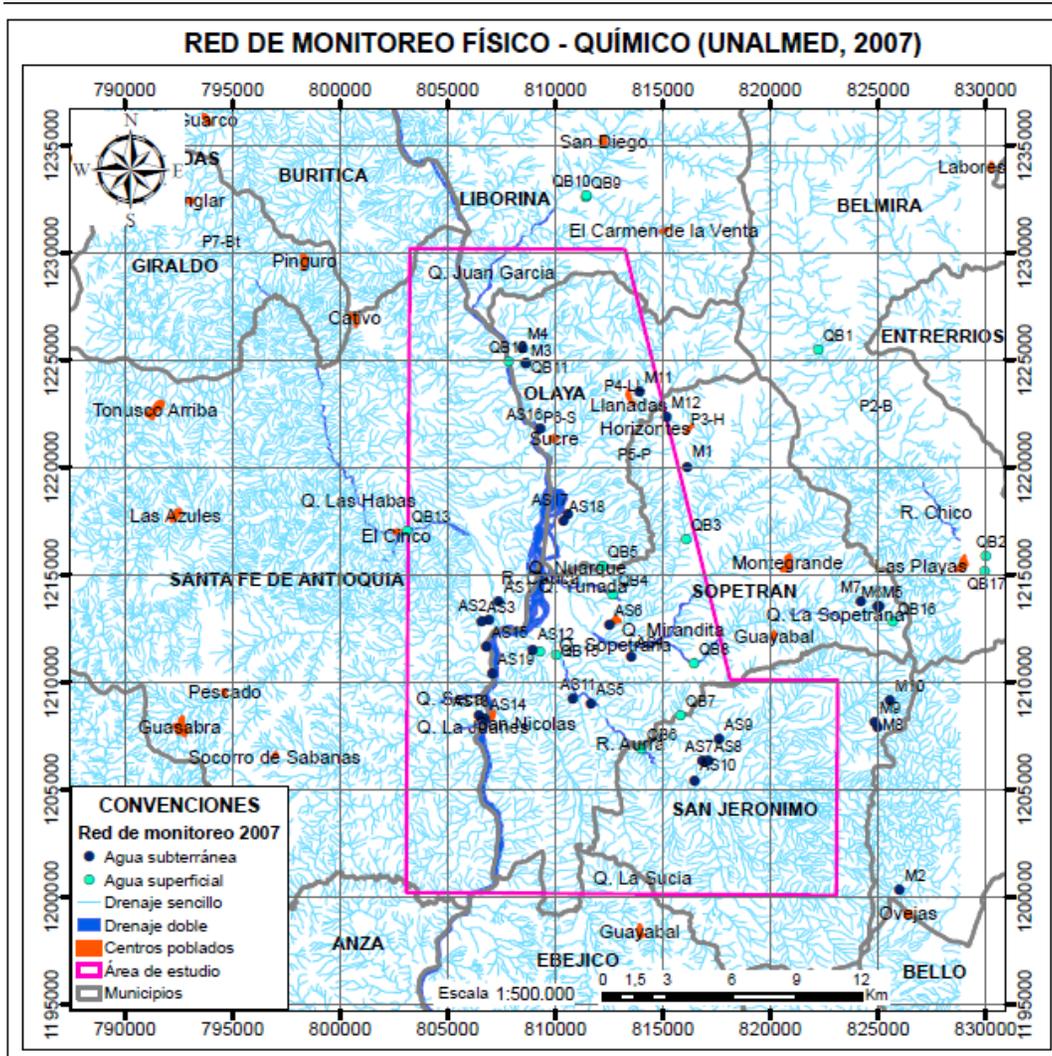


Figura 41. Red de monitoreo físico químico (UNALMED, 2007). Fuente: Validación del Modelo Hidrogeológico del Occidente Antioqueño Mediante Técnicas Isotópicas e Hidroquímica. Unalmed, 2007.

Adicional a esto, para este estudio se cuenta con información de deuterio y oxígeno 18 de 6 estaciones de agua lluvia cuya ubicación geográfica se observa en la Figura 42.

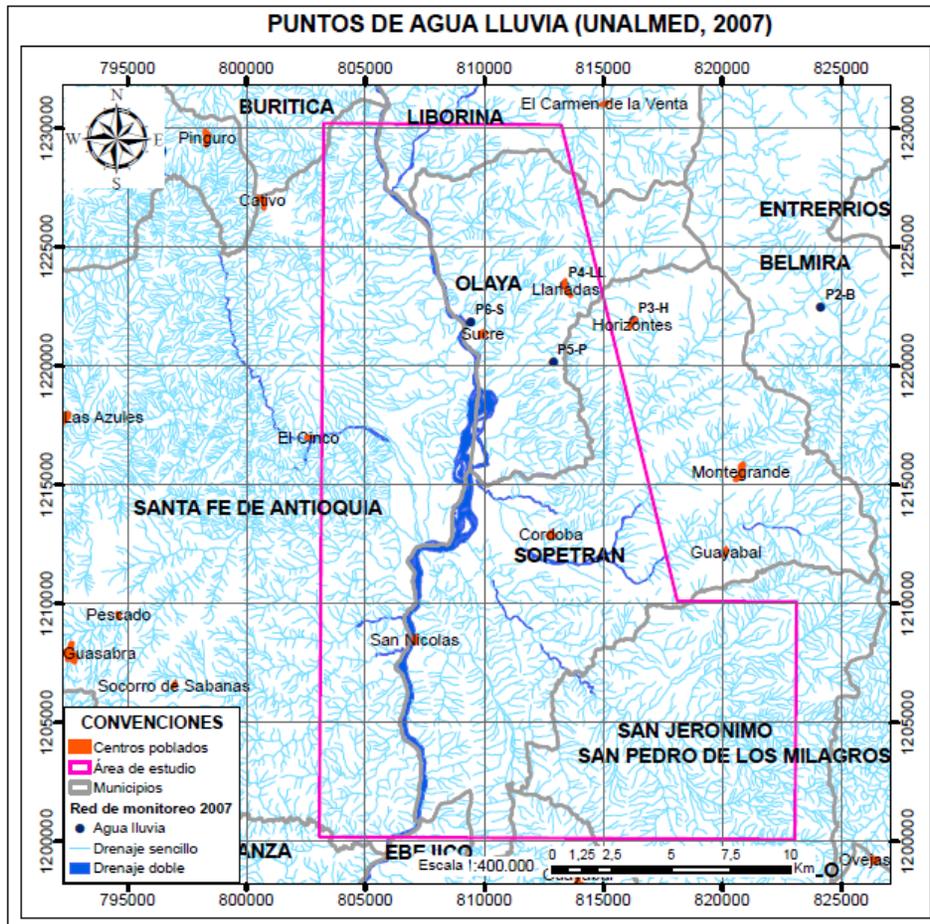


Figura 42. Red de monitoreo de aguas lluvias. Fuente: Validación del Modelo Hidrogeológico del Occidente Antioqueño Mediante Técnicas Isotópicas e Hidroquímicas. Unalmed. 2007.

4.2.4 Consolidado de Información recolectada

Posterior a la revisión y comparación de la información disponible, se cuenta con un inventario de puntos de agua subterránea compuesto por 73 puntos, los cuales se presentan en la Figura 43. Adicional a esto se cuenta con tres campañas de análisis físico - químicos de Corantioquia que corresponden a los años 2012, 2013 y 2014, una campaña de análisis físico – químico e isotópico correspondiente al año 2007 y una campaña de análisis físico – químico del año 2004.

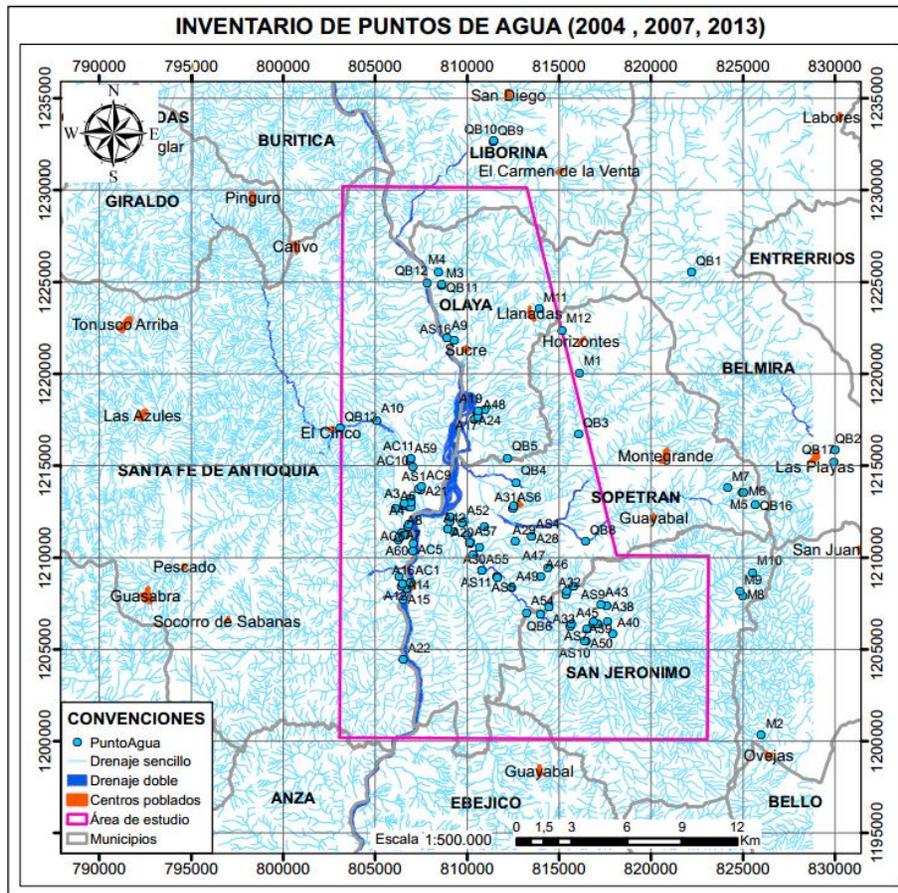


Figura 43. Inventario recopilado de puntos de agua subterránea. Fuente: Corantioquia, 2012, 2013, 2014.

| | | |
|---|---|---|
|  <p>SERVICIOS HIDROGEOLOGICOS INTEGRALES</p> | <p>DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO E LA TERRITORIAL HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA</p> |  <p>CORANTIOQUIA</p> |
|---|---|---|

4.3 ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO

A continuación se presenta el análisis de los datos hidrogeoquímicos existentes en la territorial Hevéxicos de CORANTIOQUIA.

El análisis que se realiza es de reportes de laboratorio de información secundaria, de monitoreos realizados en los años 2004 y 2007 en proyectos ejecutados por la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín (UNALMED – CORANTIOQUIA, 2004 y 2007) y entre el 2012 y 2014 de la red de monitoreo de CORANTIOQUIA.

La base de datos resumida se presenta en el anexo del capítulo 4 en el archivo denominado: Base_datos_Fisico_Químico_RHENALS_ORTIZ_CORANTIOQUIA.

Se realizaron análisis como balance iónico para evaluar la calidad de los resultados y diagramas de Piper, Stiff y Cheboratev con el principal objetivo de entender el comportamiento de las aguas subterráneas. El balance iónico se presenta en el anexo del capítulo 4 denominado: Balance_iónico_20_01_2015.

4.3.1 Inventario de información de análisis físico – químicos para puntos de agua subterránea

Luego de la revisión de información secundaria, se obtuvieron resultados fisicoquímicos de 39 puntos de agua subterránea, los cuales fueron tomados en los años 2004, 2007, 2012, 2013 y 2014. Todos los puntos de agua identificados se presentan en el anexo del capítulo 4 denominado: Inventario_de_puntos_de_agua

En la Figura 44 se ubican los puntos con información y en la Tabla 20 se listan los puntos con su ubicación (coordenadas, cotas, municipio y vereda), además el ID del estudio original y una codificación asignada por SHI S.A.S para este informe.

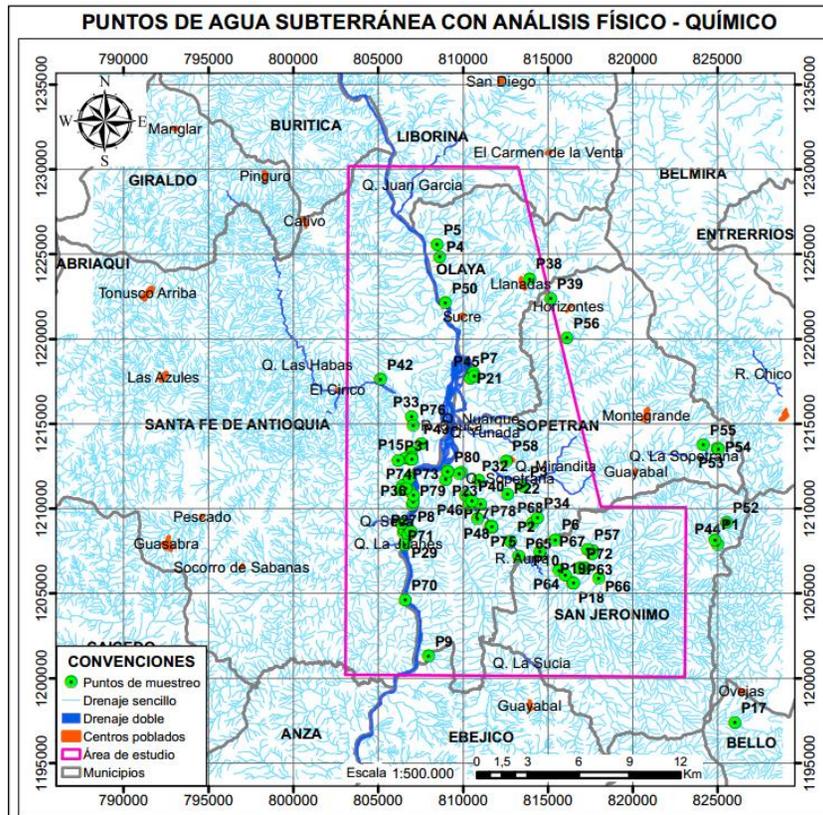


Figura 44. Puntos con resultados de análisis físico – químico. Fuente: Corantioquia, 2004, 2007, 2012, 2013 y 2014.

4.3.2 Calidad de los análisis físico – químicos

El balance iónico mide la diferencia entre el total de aniones y cationes expresados en mili equivalentes por litro [meq/l], determinados analíticamente. El error del balance iónico, se define según la ecuación (17), que se presenta a continuación, y hace parte de un requerimiento mínimo que debe hacerse dentro de la evaluación del análisis químico, para establecer la confiabilidad de los resultados.

$$Error(\%) = \frac{(\sum \text{cationes} - \sum \text{aniones})}{(\sum \text{cationes} + \sum \text{aniones})} * 100 \quad (17)$$



**DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN
DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL
SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE
ANTIOQUEÑO E LA TERRITORIAL
HEVÉXICOS DE CORATIOQUIA**



Tabla 20. Puntos de agua con información de análisis físico – químicos.

| FINCA | ID ESTUDIOS BASE | ID SHI | VEREDA | MUNICIPIO | OESTE | NORTE | COTA [msnm] | AÑOS DE MUESTREO |
|------------------|------------------|--------|--------------------|-----------------------|---------|-----------|-------------|----------------------------------|
| El Abrujo | 51 | P12 | Guayabal | Sopetrán | 809.887 | 1.212.129 | 524,0 | 2004 |
| Hostería Guaracú | 39 | P18 | Llano de Aguirre | San Jerónimo | 816.445 | 1.205.633 | 753,9 | 2004 - 2007 - 2012 - 2013 - 2014 |
| Itaituba | 13 | P20 | Hato Obregón | Santa Fe de Antioquia | 806.753 | 1.208.453 | 534,6 | 2004 - 2007 |
| Jodelina | 24 | P21 | La Florida | Olaya | 810.426 | 1.217.683 | 513,3 | 2004 - 2007 |
| La 19 | 29 | P22 | El Rodeo | Sopetrán | 812.630 | 1.210.864 | 588,6 | 2004 |
| La 42 | 56 | P23 | Parcelación la VID | Sopetrán | 810.327 | 1.210.177 | 526,5 | 2004 |
| La Ceiba | 25 | P26 | La Isla | Santa Fe de Antioquia | 806.832 | 1.211.819 | 505,3 | 2004 - 2007 - 2012 - 2013 - 2014 |
| La Cometa | 60 | P27 | Aeropuerto | Santa Fe de Antioquia | 807.015 | 1.210.218 | 456,0 | 2007 |
| La Estancia | 15 | P29 | Hato Obregón | Santa Fe de Antioquia | 806.582 | 1.207.853 | 528,2 | 2004 |
| Bella Luz | 28 | P3 | El Rodeo | Sopetrán | 813.570 | 1.211.333 | 625,4 | 2004 - 2007 |
| La India | 26 | P30 | La Isla | Santa Fe de Antioquia | 806.305 | 1.211.104 | 513,6 | 2004 - 2012 - 2013 - 2014 |
| La Pelada | 27 | P32 | El Rodeo | Sopetrán | 810.926 | 1.211.670 | 533,1 | 2004 |
| La Rochela | 59 | P33 | San Sebastián | Santa Fe de Antioquia | 806.957 | 1.215.440 | 557,3 | 2004 - 2013 - 2014 |
| La Uva | 47 | P34 | El Palmar | Sopetrán | 814.385 | 1.209.459 | 747,0 | 2004 |
| La Zanja | 3 | P35 | El Espinal | Santa Fe de Antioquia | 806.618 | 1.212.991 | 536,0 | 2004 - 2007 - 2013 - 2014 |
| Las Cometas | AS19 | P36 | Sin información | Santa Fe de Antioquia | 807.066 | 1.210.377 | --- | 2004 |
| Los Almendros | 57 | P40 | Guaimaral | Sopetrán | 810.529 | 1.210.454 | 501,0 | 2004 - 2013 - 2014 |
| Los Naranjos | 10 | P42 | San Rafael | Santa Fe de Antioquia | 805.140 | 1.217.632 | 606,1 | 2004 |



**DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN
DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL
SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE
ANTIOQUEÑO E LA TERRITORIAL
HEVÉXICOS DE CORATIOQUIA**



| FINCA | ID ESTUDIOS BASE | ID SHI | VEREDA | MUNICIPIO | OESTE | NORTE | COTA [msnm] | AÑOS DE MUESTREO |
|--------------------|------------------|--------|------------------|-----------------------|---------|-----------|-------------|----------------------------------|
| Mi Potrero | 21 | P43 | Paso Real | Santa Fe de Antioquia | 807.548 | 1.213.836 | 549,5 | 2004 - 2007 - 2013 |
| Villa Cecilia | 31 | P58 | Córdoba | Sopetrán | 812.544 | 1.212.820 | 529,6 | 2004 - 2007 - 2013 |
| Villa David | 2 | P59 | El Espinal | Santa Fe de Antioquia | 806.966 | 1.213.038 | 528,7 | 2004 - 2007 - 2012 - 2013 - 2014 |
| Casa Azul | 32 | P6 | Tafetanes | Sopetrán | 815.427 | 1.208.162 | 618,2 | 2004 - 2013 - 2014 |
| Villa Jael | 36 | P60 | El Hato | San Jerónimo | 817.175 | 1.206.503 | 855,7 | 2004 - 2007 - 2014 |
| Villa Laura | 34 | P62 | La Ahuyamal | Sopetrán | 811.647 | 1.208.986 | 547,8 | 2004 - 2007 - 2012 - 2013 - 2014 |
| Villa Luna | 41 | P63 | El Hato | San Jerónimo | 816.899 | 1.206.505 | 848,0 | 2004 - 2007 |
| Villa Marcela | 44 | P64 | Llano de Aguirre | San Jerónimo | 815.663 | 1.206.388 | 800,7 | 2004 |
| Villa San Lucas II | AS9 | P67 | Sin información | San Jerónimo | 817.605 | 1.207.348 | --- | 2004 - 2007 - 2013 - 2014 |
| Casa Blanca | 17 | P7 | La Florida | Olaya | 810.625 | 1217.992 | 520,8 | 2004 - 2007 - 2013 - 2014 |
| Finca El África | COR_5 | P72 | Sin información | San Jerónimo | 816.893 | 1.206.498 | 816,0 | 2012 - 2013 - 2014 |
| Finca La Isla | COR_9 | P73 | Sin información | Santa Fe de Antioquia | 806.648 | 1.211.206 | 480,0 | 2012 - 2013 - 2014 |
| Finca Prinlap | COR_13 | P74 | Sin información | Santa Fe de Antioquia | 806.640 | 1.211.202 | 498,0 | 2012 - 2013 - 2014 |
| Finca San Fernando | COR_15 | P75 | Sin información | Sopetrán | 811.647 | 1.208.931 | 514,0 | 2012 - 2013 - 2014 |
| Finca Villa Eliana | COR_18 | P76 | Sin información | Santa Fe de Antioquia | 807.068 | 1214.934 | 552,0 | 2012 - 2013 - 2014 |
| Manguruma | COR_24 | P77 | Sin información | Sopetrán | 811.699 | 1.208.893 | 526,0 | 2012 |
| Palmar del Rio | COR_25 | P78 | Sin información | Sopetrán | 811.694 | 1.208.965 | --- | 2012 |
| Parcelación Los | COR_26 | P79 | Sin | Santa Fe de Antioquia | 807.081 | 1.210.752 | 497,0 | 2013 - 2014 |



**DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN
DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL
SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE
ANTIOQUEÑO E LA TERRITORIAL
HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA**



| FINCA | ID ESTUDIOS BASE | ID SHI | VEREDA | MUNICIPIO | OESTE | NORTE | COTA [msnm] | AÑOS DE MUESTREO |
|--------------|------------------|--------|-----------------|-----------------------|-----------------|-----------------|-------------|--------------------|
| Halcones | | | información. | | | | | |
| Casamia | 16 | P8 | Hato Obregón | Santa Fe de Antioquia | 806.924 | 1.20.647 | 520,3 | 2012 - 2013 - 2014 |
| Procopal S.A | COR_27 | P80 | Sin información | Sopetrán | 809.100 | 1.212.193 | 484,0 | 2012 - 2013 - 2014 |
| Finca Haitua | COR_6 | P84 | Sin información | Santa Fe de Antioquia | Sin información | Sin información | --- | 2014 |

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 y Llamas, 1976), o de la sumatoria total de aniones (Crites y Tchobanoglous, 2000). En la Tabla 21 se presenta los valores para cada criterio respectivamente.

Tabla 21. Error aceptable en un balance iónico según la sumatoria de aniones.

| Σ aniones (meq/l) | Error aceptable (%) |
|--------------------------|---------------------|
| 0 – 3 | $\pm 0,2$ |
| 3 – 10 | ± 2 |
| 10 -800 | ± 5 |

Estos valores suelen ser muy conservadores, y por lo tanto, se acepta un valor máximo en el error del balance iónico de 10%, ya que dentro de la Guía Técnica Colombiana GTC 30 se establece que un balance iónico aceptable debe oscilar entre 90% y 110% (lo que se traduce en una desviación máxima de +/- 10%).

El balance se realizó utilizando los iones mayoritarios o más abundantes en el agua, que son bicarbonatos, cloruros, sulfatos, sodio, calcio, magnesio y potasio, puesto que las mayores concentraciones iónicas en el agua son las de estos elementos.

En la Figura 45 se pueden observar los resultados del balance iónico para las muestras correspondientes a la campaña del 2004, allí se evidencia que tres muestras (P40, P12 y P22) sobrepasan el 10% de desviación máxima del balance, por tal motivo estas tres muestras se descartan para el posterior análisis.

Para la campaña de muestreo realizada en el año 2007 se identifican dos muestras de agua cuyos balances iónicos sobrepasan el 10% de desviación, estas muestras corresponden a los puntos P43 y P63 como se puede observar en la Figura 46.

Finalmente los resultados de la campañas 2012, 2013 y 2014 se presentan en la Figura 47, Figura 48 y en la Figura 49, en estas se evidencia que:

- Todas las muestras correspondientes al año 2012 se encuentran por debajo del 10% de desviación del balance iónico
- Se descartan 6 muestras de aguas, P72, P35, P43, P74, P18 y P67 para el año 2013 por balances iónicos mayores al rango definido.

- 2 muestras están por encima del máximo permisible para la campaña del 2014, éstas son las de los puntos P18 y P79.

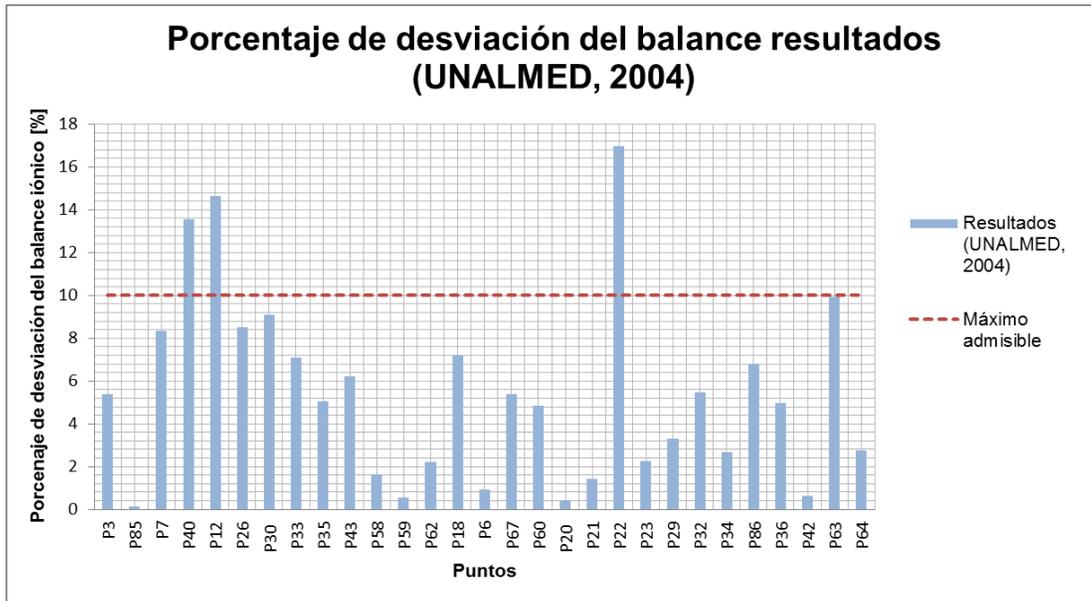


Figura 45. Porcentaje de desviación del balance para los resultados de la campaña del 2004. Fuente: elaboración propia.

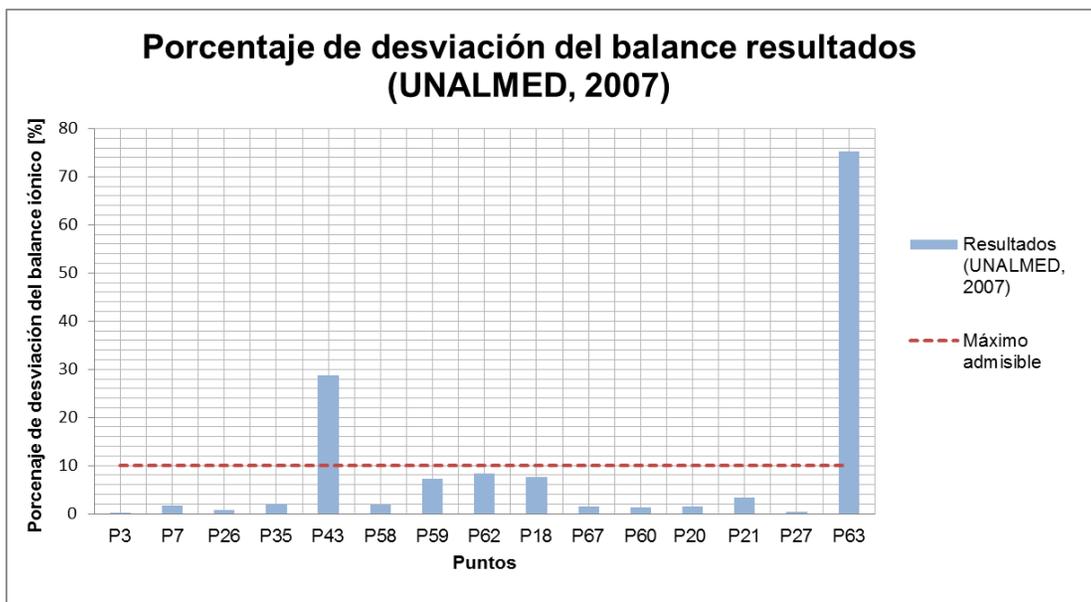


Figura 46. Desviación del balance para los resultados de la campaña del 2007. Fuente: elaboración propia.

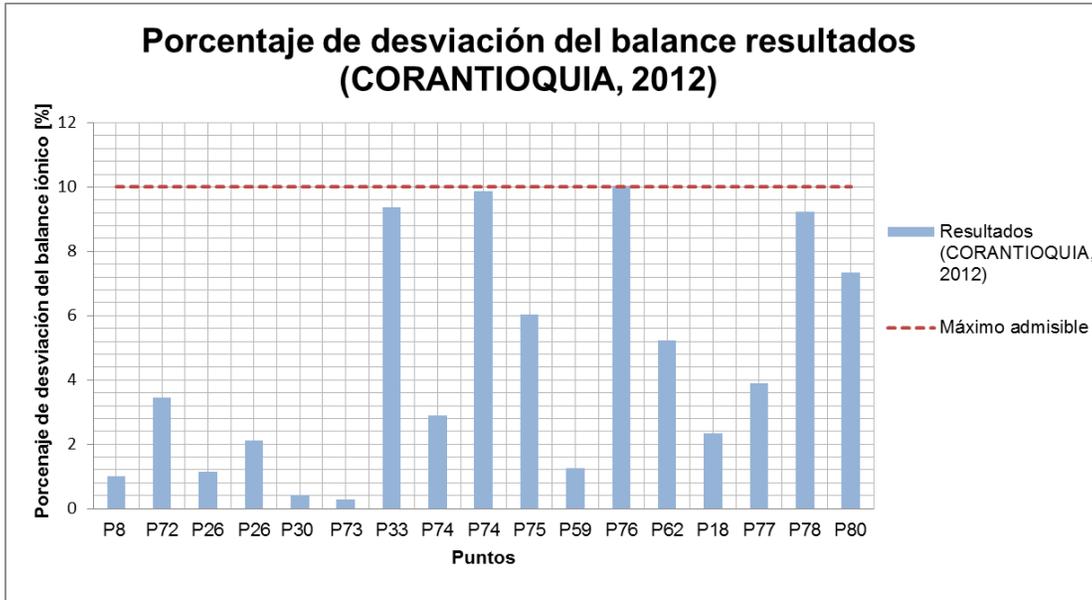


Figura 47. Desviación del balance iónico para los resultados de la campaña del 2012. Fuente: elaboración propia.

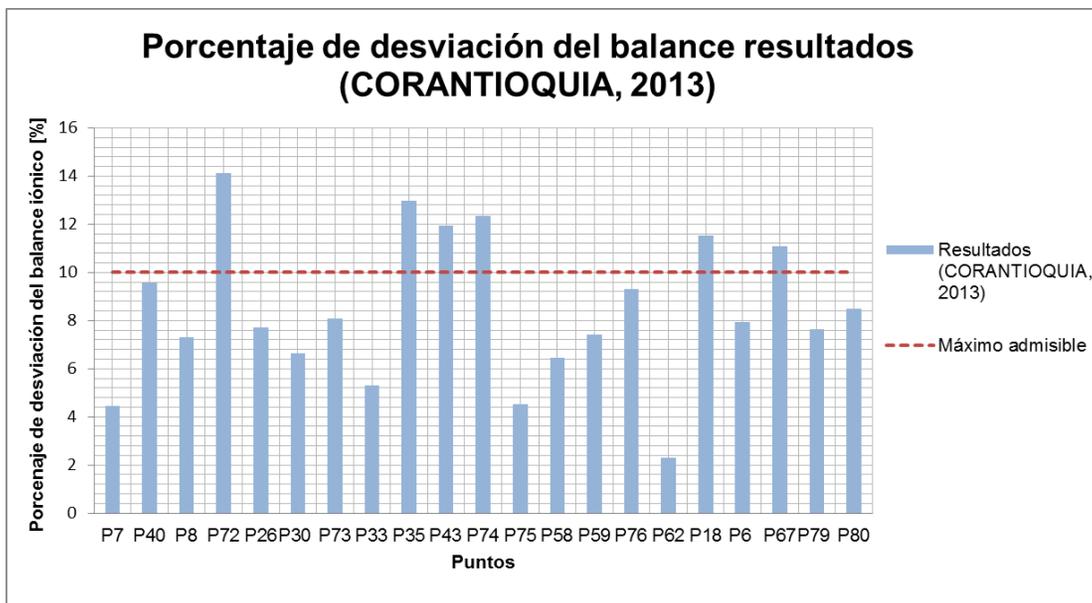


Figura 48. Desviación del balance iónico para los resultados de la campaña del 2013. Fuente: elaboración propia.

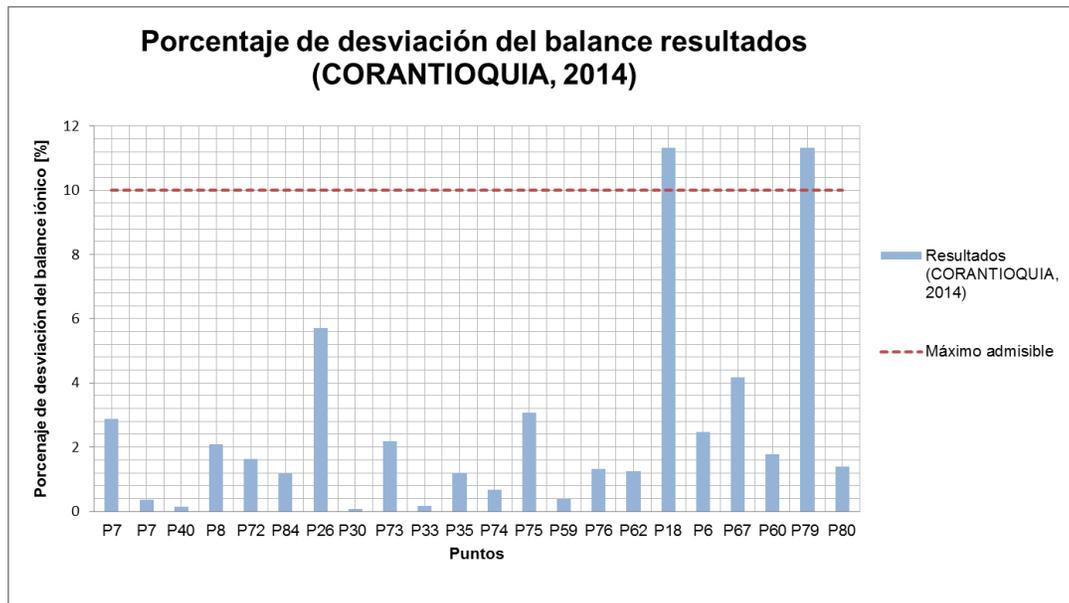


Figura 49.Desviación del balance iónico para los resultados de la campaña del 2014. Fuente: elaboración propia.

Los análisis mediante diagramas de Piper, Stiff y secuencia de Cheboratev, se hacen solo para los puntos que pasan el análisis de balance iónico, por lo que se descartaron 13 de 39 análisis.

4.3.3 Diagramas de Piper

El diagrama de Piper utiliza dos diagramas separados, para representar los aniones y los cationes, con un campo central romboidal donde se representan las clasificaciones del agua (los aniones y los cationes). Estos gráficos pueden representar muchos análisis sin dar origen a confusiones, las aguas geoquímicamente similares quedan agrupadas en áreas bien definidas, y por medio de este gráfico se puede dar una clasificación del agua (Freeze & Cherry , 1979). En la Figura 50 se muestran las diferentes zonas del diagrama de Piper.

El diagrama de Piper para todos los análisis con los que se cuenta para la zona de estudio se muestra en la Figura 51, allí se observa que las aguas en la zona son principalmente de tipo bicarbonatadas y unos pocos puntos clasifican como aguas sulfatadas. En cuanto al catión dominante la mayor cantidad de puntos presentan aguas de tipo cálcicas, sin embargo es mucho más variable el catión dominante.

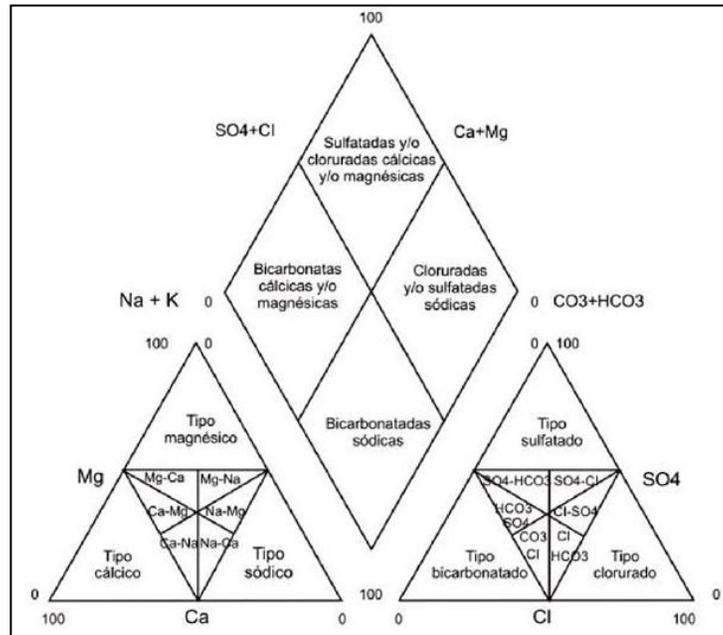


Figura 50. Clasificación de las aguas según el diagrama de Piper. Fuente: Fetter, 2001.

DIAGRAMA DE PIPER

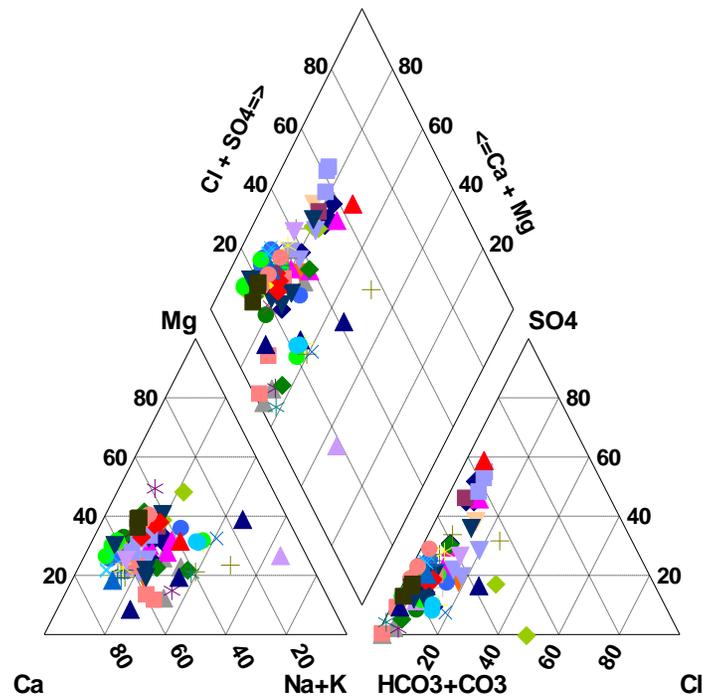
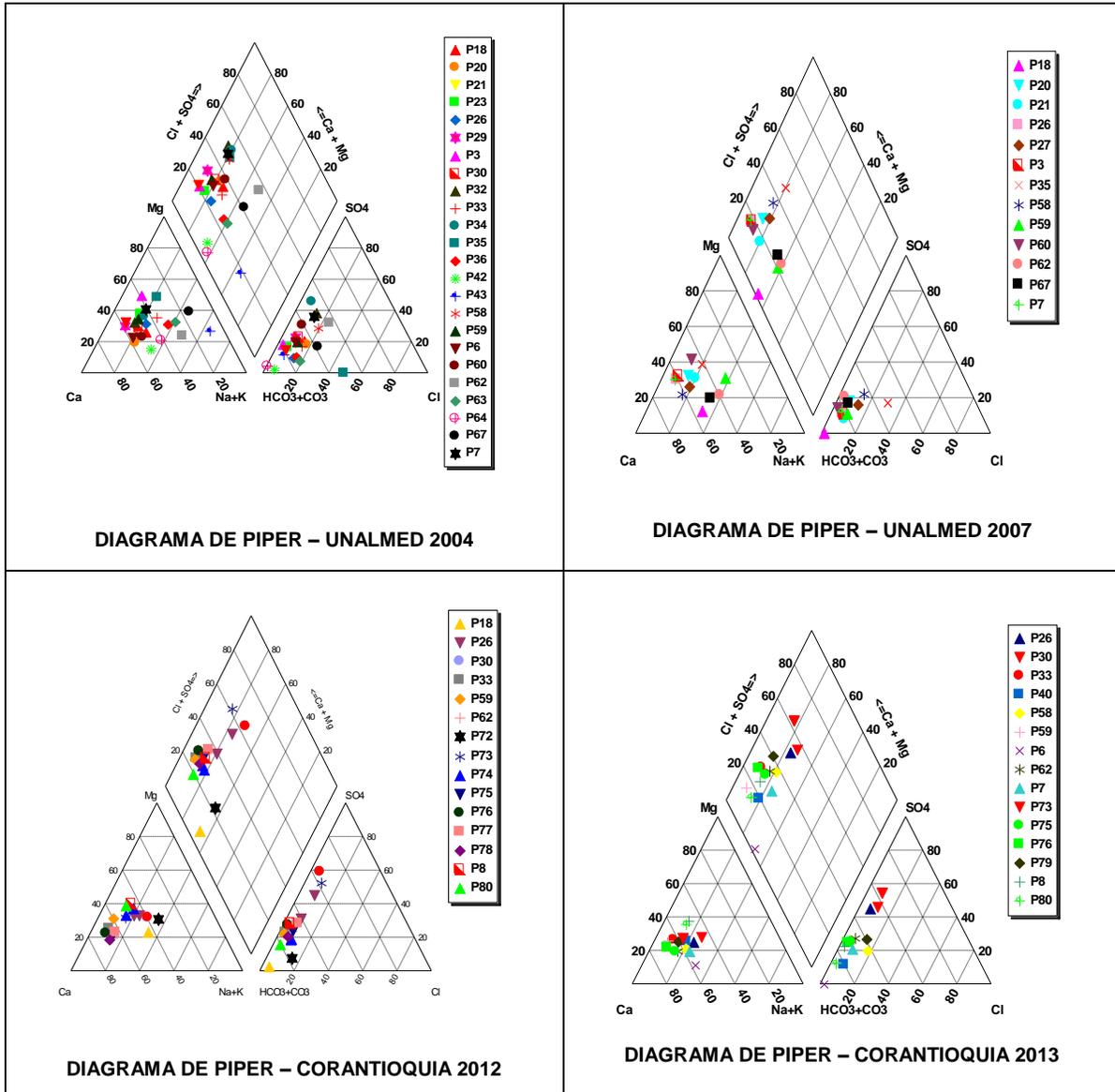


Figura 51. Diagrama de Piper. Fuente: elaboración propia.

Como se mencionó anteriormente, se cuentan con muestreos del 2004, 2007, 2012, 2013 y 2014, a continuación se presentan los diagramas de Piper para cada año de muestreo, en la Figura 52. Los diagramas de Piper para cada una de las campañas de muestreo presentan comportamientos similares, exceptuando aquel que corresponde a la campaña de muestreo del 2004, sin embargo es importante anotar que dicha campaña de muestreo tiene más puntos que el resto.



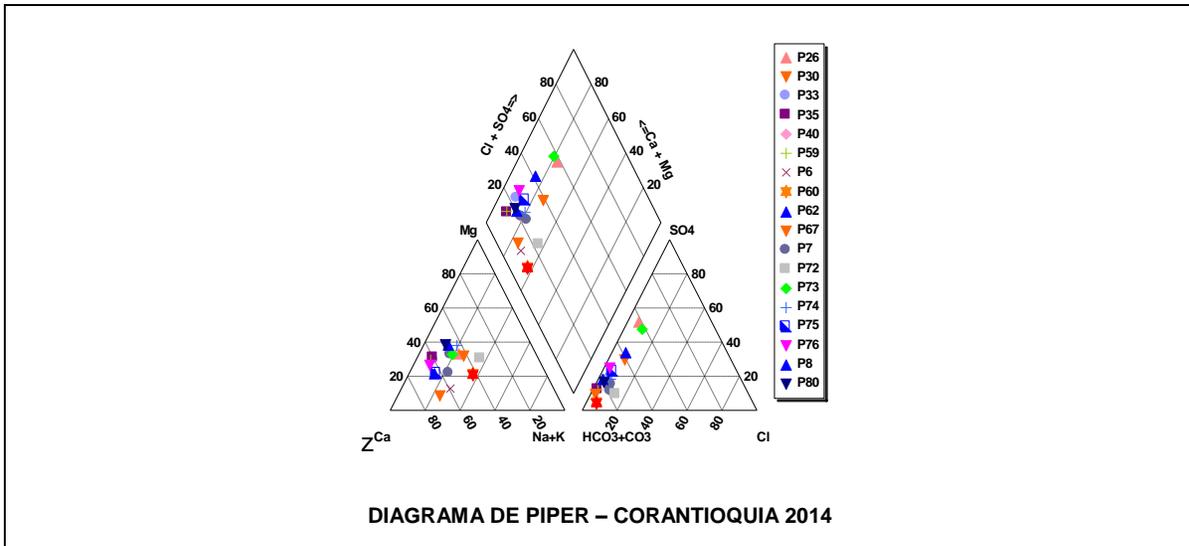


Figura 52. Diagramas de Piper para cada uno de los años de muestreo. Fuente: elaboración propia.

4.3.4 Diagramas de Stiff

Estos diagramas son polígonos que se forman uniendo vértices, dichos vértices corresponde a los valores de la concentración de los iones en mili equivalentes por litro. Existe un eje central, a la derecha se da la escala de medida de los aniones y a la izquierda la de los cationes. Aguas de orígenes distintos revelarán diferentes formas de polígonos, por ejemplo las aguas con pocos sólidos disueltos presentan diagramas de Stiff más achatados que las muestras cuyos sólidos disueltos son mayores (Fitts, 2002). En la Figura 53 se muestra un ejemplo de estos diagramas.

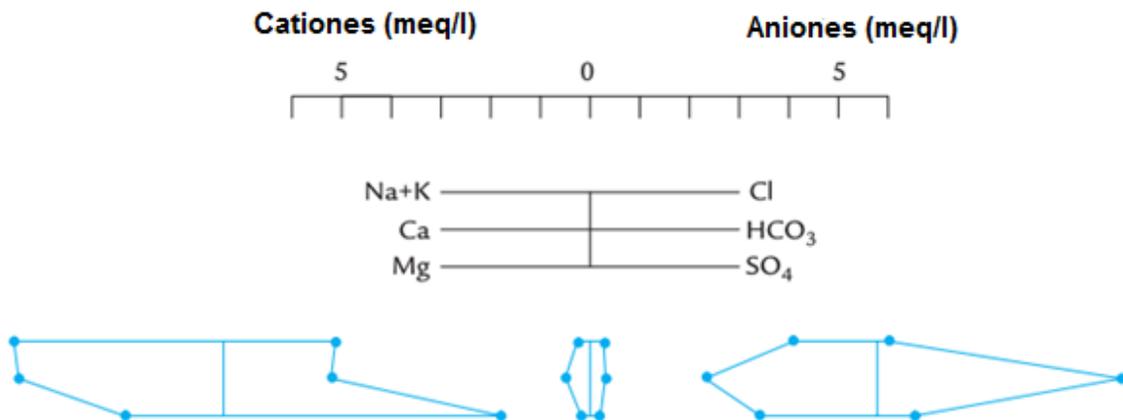


Figura 53. Diagramas de Stiff. Fuente: Fitts, 2002.

En la Figura 54 se presentan los diagramas de Stiff de los puntos de muestreo, allí se observa que en las partes bajas de la zona de estudio las aguas subterráneas se encuentran más mineralizadas que aquellas que se encuentran a cotas superiores, esto puede indicar que las líneas de flujo de las aguas subterráneas se dirigen hacia el río Cauca.

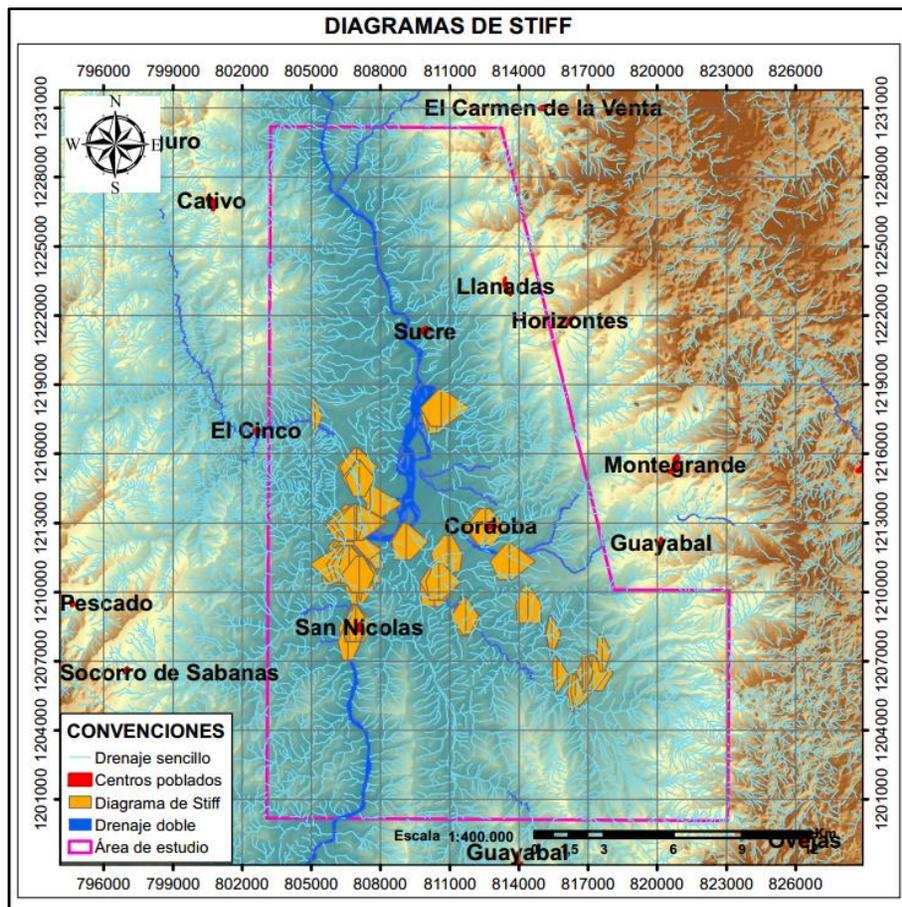
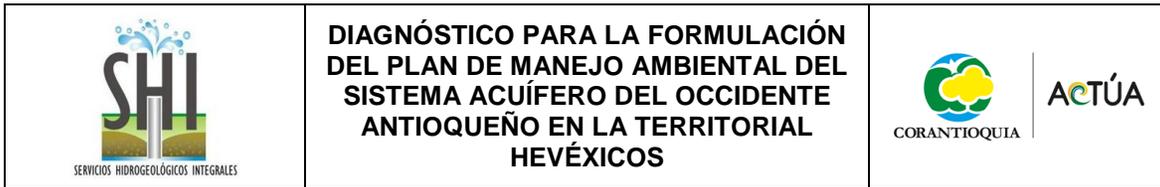


Figura 54. Diagramas de Stiff. Fuente: elaboración propia.

4.3.5 Secuencia de Cheboratev

Las aguas de circulación regional tienden a ir aumentando su mineralización hasta irse saturando de los diversos iones, en primera aproximación y entre los aniones, primero satura el ión bicarbonato, incluso desde la infiltración y más tarde el ión sulfato, el ión cloruro no llega a saturar



normalmente (Custodio & Llamas, 1976), esta es la teoría en la que se basa la secuencia de Cheboratev, Figura 55.

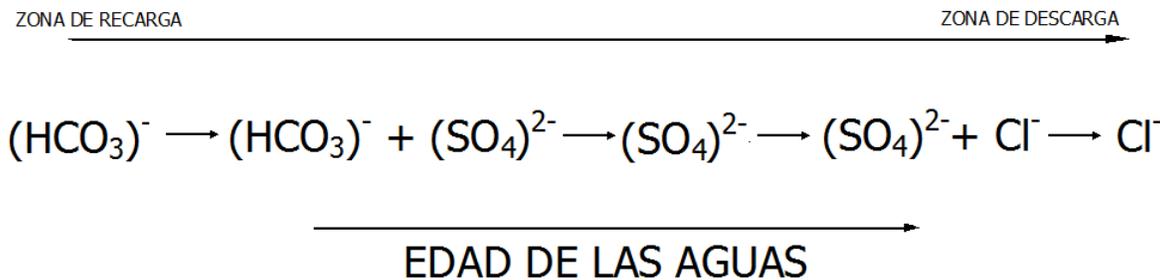
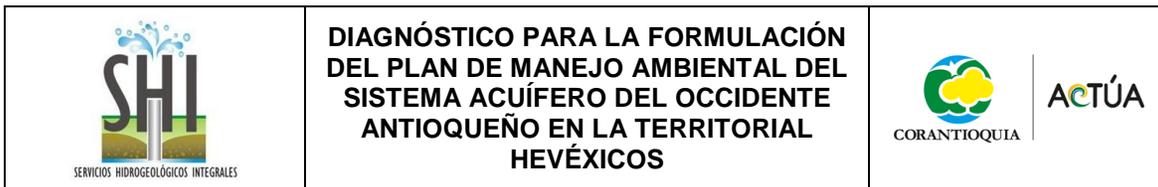


Figura 55. Secuencia de cheboratev. Fuente: Freeze & Cherry, 1979.

Los cambios en el ión dominante, previamente descritos, ocurren a medida que el agua se mueve de las zonas de flujo activo de aguas subterránea más superficiales hacia zonas intermedias donde el flujo es más lento y finalmente en zonas más profundas donde las aguas son más antiguas. La secuencia de Cheboratev está descrita en términos de las tres anteriormente mencionadas (Freeze & Cherry, 1979).

- Zona superficial: Caracterizada por un flujo activo del agua subterránea, donde el agua tiene como anión dominante el bicarbonato y presenta bajos sólidos disueltos (Custodio & Llamas, 1976).
- Zona de profundidad intermedia: En esta zona la circulación del agua subterránea es menos activa y los sólidos disueltos son mayores que en las zonas superficiales. El sulfato normalmente es el ión dominante (Freeze & Cherry, 1979).
- Zonas muy profundas: El flujo del agua subterránea es muy lento. Minerales con alta solubilidad están presentes en esta zona ya que el flujo de agua subterránea no es muy intenso, la principal característica de esta zona es altas concentraciones de cloruro y de sólidos disueltos (Freeze & Cherry, 1979).

Es importante resaltar que estas tres zonas no se pueden correlacionar con una distancia o tiempo de viaje específicos, pero si se puede decir que el tiempo y la distancia de viaje incrementan de la zona superficial hacia las zonas más profundas (Freeze & Cherry, 1979).



En este orden de ideas, y según el tipo de aguas identificadas en la zona estudio (bicarbonatadas con concentraciones importantes de sulfatos) los flujos de aguas subterráneas corresponden a flujos de profundidad intermedia en las zonas cercanas al río Cauca y flujos relacionados con una zona más superficial a cotas superiores.

4.4 ISÓTOPOS ESTABLES: DEUTERIO Y OXÍGENO 18

En la tesis de maestría de Rhenals (2008) elaborada en la Universidad Nacional de Colombia se realizaron análisis de deuterio y oxígeno 18 en agua lluvias, superficiales y subterráneas, a continuación se presenta un análisis de estos resultados.

4.4.1 Red de monitoreo de isótopos ambientales

La red de monitoreo isotópica del estudio de la Universidad Nacional de Colombia 2007 está compuesta por 55 puntos, de los cuales 7 son puntos de recolección de agua lluvias, 17 son aguas superficiales y 31 puntos corresponden a puntos de agua subterránea como se evidencia en la Tabla 22. En cada uno de estos puntos se midieron la concentración de oxígeno 18 y deuterio.

A continuación en la Figura 56 se presenta la red de monitoreo que fue descrita previamente.

Tabla 22. Puntos que conforman la red de monitoreo de isótopos ambientales.

| Tipo de puntos | | Cantidad |
|----------------------------|-------------|----------|
| Puntos de agua lluvia | | 7 |
| Puntos de agua subterránea | Aljibes | 19 |
| | Manantiales | 12 |
| Puntos de agua superficial | | 17 |
| Total | | 51 |

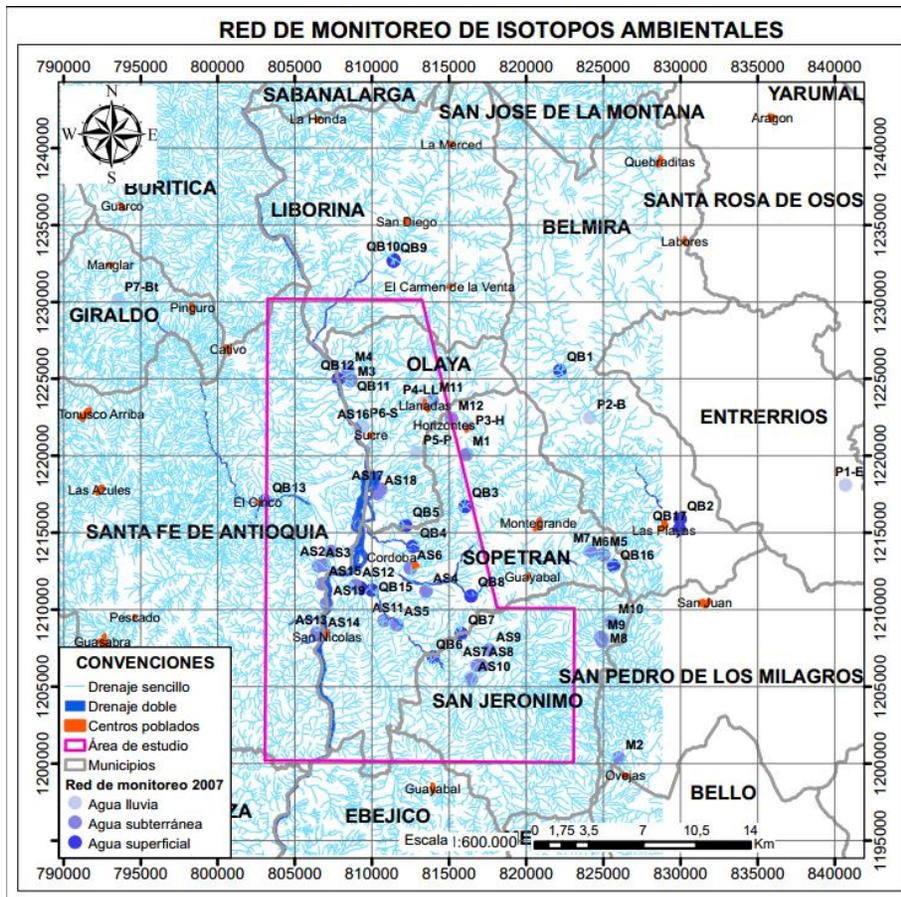


Figura 56. Red de monitoreo de isotopos ambientales. Fuente: Universidad Nacional de Colombia 2007.

4.4.2 Puntos de agua lluvia

Como se mencionó anteriormente se cuenta con información de concentraciones de isótopos estables deuterio y oxígeno 18, las cuales se pueden observar en la Tabla 23. Para cada una de las 7 estaciones de muestreo se tiene información de 11 campañas, las cuales tienen una periodicidad mensual, iniciando dicha serie de datos desde julio del 2005 hasta mayo del 2006.

En la Figura 42 se observa la ubicación geográfica de los puntos de recolección de agua lluvia.

Tabla 23. Resultados de los análisis de isótopos ambientales deuterio y oxígeno 18.

| Punto | δ | 2005 | | | | | | 2006 | | | | |
|------------|-----------------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| | | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Ene | Feb | Mar | Abr | May |
| Belmira | δO_{18} | -14,9 | -9,9 | -8,3 | -11,3 | -14,6 | -9,3 | -6,0 | -7,1 | -7,0 | -13,8 | -17,1 |
| | δD | -111,6 | -68,3 | -57,2 | -79,9 | -107,6 | -60,5 | -32,8 | -45,1 | -44,2 | -99,4 | -127,6 |
| Boqueron | δO_{18} | -13,6 | -11,0 | -8,7 | -12,4 | -13,5 | -9,2 | -6,7 | -7,6 | -6,2 | -14,7 | -12,3 |
| | δD | -97,3 | -75,1 | -54,4 | -87,2 | -97,4 | -59,9 | -38,3 | -48,9 | -37,0 | -106,0 | -86,7 |
| Entrerrios | δO_{18} | -13,1 | -8,8 | -7,8 | -12,1 | -15,9 | -8,9 | -6,1 | -5,5 | -6,6 | -15,6 | -15,0 |
| | δD | -97,0 | -60,0 | -51,1 | -85,5 | -117,1 | -62,2 | -34,5 | -32,6 | -42,7 | -113,7 | -111,6 |
| Horizontes | δO_{18} | -14,8 | -9,6 | -6,8 | -11,1 | -14,1 | -7,0 | -4,5 | -6,2 | -6,5 | -13,6 | -17,9 |
| | δD | -110,9 | -65,0 | -48,1 | -77,6 | -101,4 | -44,3 | -22,6 | -39,2 | -42,7 | -98,4 | -133,6 |
| Llanadas | δO_{18} | -13,0 | -9,2 | -6,4 | -11,2 | -13,7 | -7,9 | -3,4 | -5,4 | -5,3 | -13,9 | -17,7 |
| | δD | -96,0 | -63,8 | -47,5 | -78,7 | -100,6 | -55,6 | -16,1 | -34,6 | -34,3 | -102,0 | -133,6 |
| Piñones | δO_{18} | -12,3 | -9,9 | -5,6 | -11,0 | -12,4 | -7,2 | -2,6 | -4,2 | -4,8 | -13,7 | -17,0 |
| | δD | -90,6 | -71,8 | -41,8 | -77,5 | -91,9 | -46,2 | -13,2 | -27,8 | -31,3 | -101,8 | -128,7 |
| Sucre | δO_{18} | -12,5 | -8,4 | -7,2 | -10,4 | -11,6 | -6,9 | -4,8 | -3,3 | -3,2 | -13,1 | -16,5 |
| | δD | -93,0 | -61,2 | -53,1 | -72,8 | -87,5 | -54,1 | -31,4 | -21,5 | -18,0 | -96,0 | -124,9 |

4.4.2.1 Variación estacional de los isótopos ambientales en la precipitación

Tanto el oxígeno 18 como el deuterio del agua lluvia en la zona de estudio presentan un comportamiento muy similar, ya que ambos isótopos muestran un ciclo bimodal, con valores de desviación más negativos para los periodos más húmedos y valores menos negativos que coinciden con los periodos secos (Rhenals, 2007), esto se puede observar en la Figura 57 y en la Figura 58.

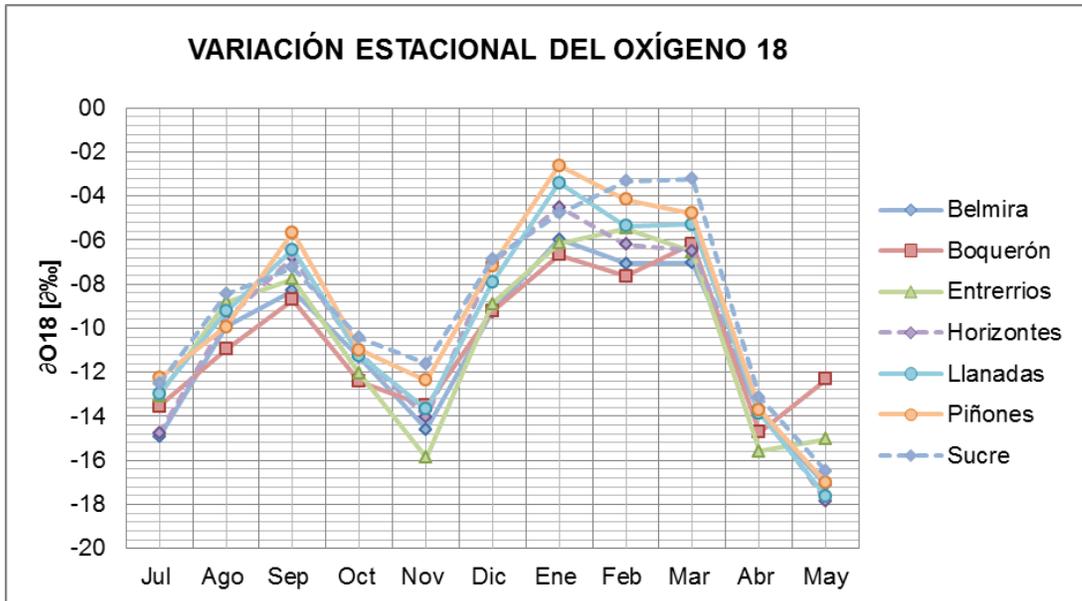


Figura 57. Variación temporal del oxígeno 18. Fuente: Rhenals, 2007.

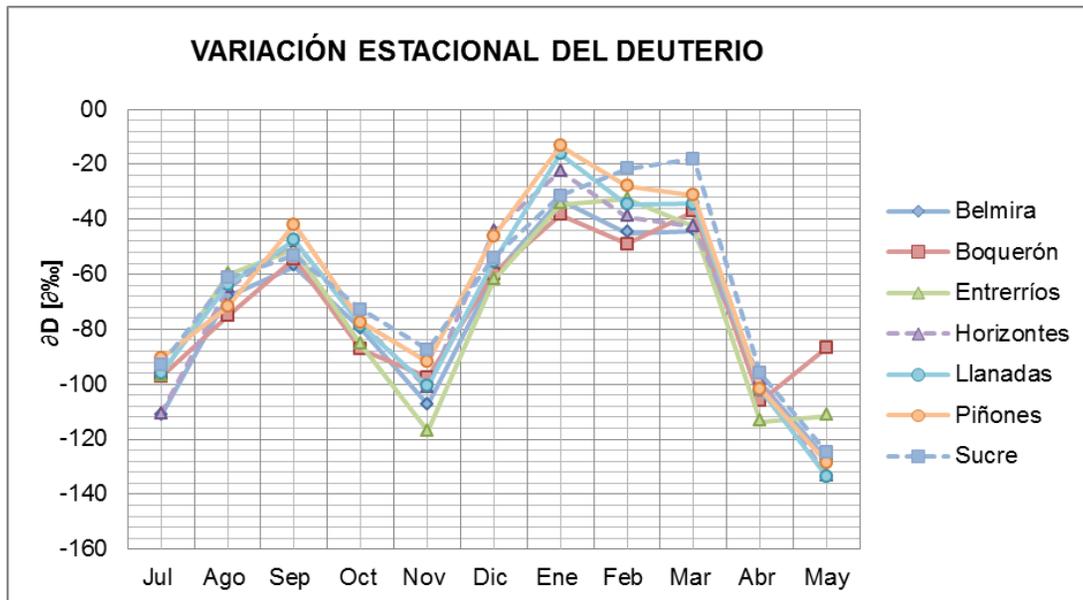


Figura 58. Variación temporal del deuterio. Fuente: Rhenals, 2007.

4.4.2.2 Línea meteórica local

Con los valores de isótopos ambientales del trabajo realizado por Rhenals (2007), se obtuvo la línea meteórica que se presenta en la Figura 59. La expresión de ésta se pueda observar en la ecuación (18), dicha línea meteórica es similar a la obtenida por Rodríguez (2004) para Colombia la cual se puede observar en la ecuación (19).

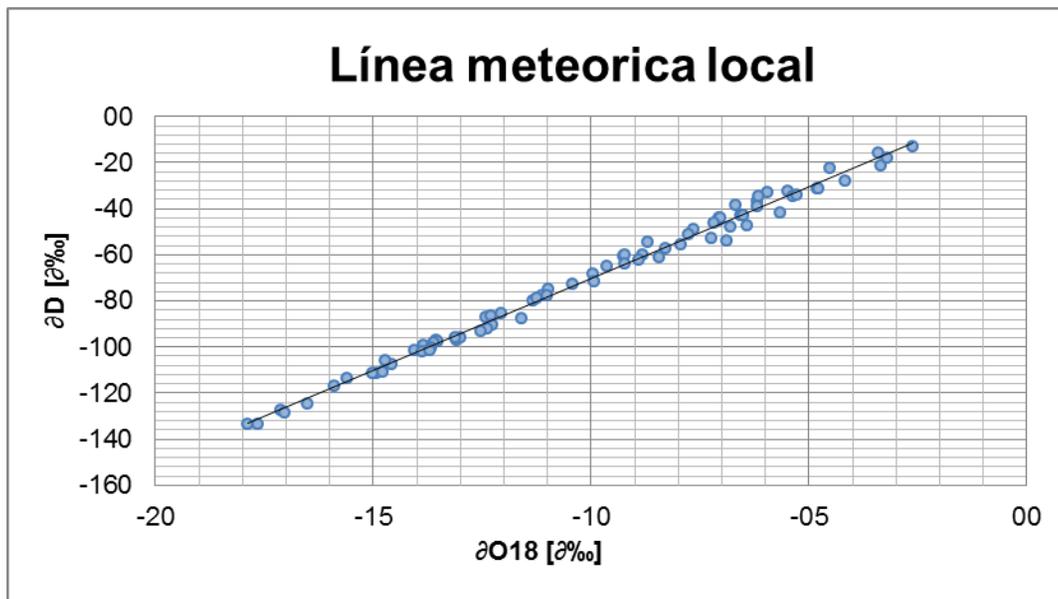


Figura 59. Línea meteórica local. Fuente: Rhenals, 2007.

$$\delta H^2 = 8\delta O^{18} + 9,6 \quad (18)$$

$$\delta H^2 = 7,99\delta O^{18} + 9,44 \quad (19)$$

En la Figura 60 se puede observar una vez más el efecto de estacionalidad, ya que la marca isotópica de la precipitación se desplaza por la línea meteórica de forma que para los meses más secos el agua lluvia está enriquecida en los isótopos deuterio y oxígeno 18 y para los meses lluviosos, debido al efecto de cantidad, el agua lluvia se encuentra empobrecida en estos isótopos.

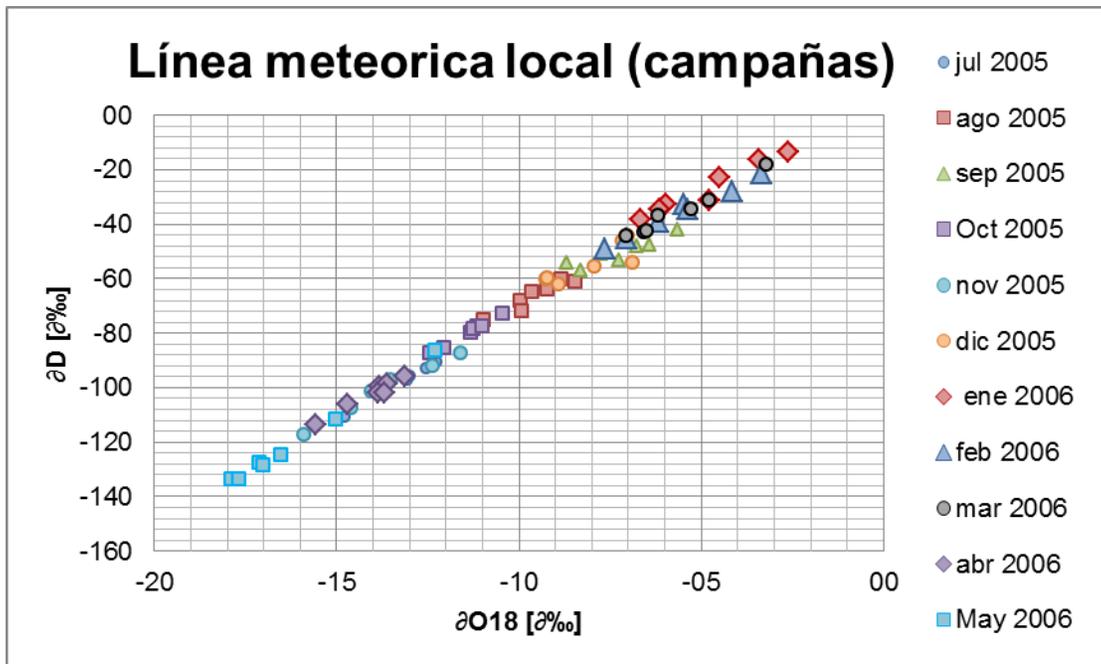


Figura 60. Puntos de agua lluvia por campaña. Fuente: Rhenals, 2007.

4.4.3 Puntos de agua subterránea

En el estudio realizado por Rhenals (2007) se muestrearon 31 puntos de agua subterránea, como se evidencia en la Tabla 22, con el objetivo de determinar la concentración de los isótopos ambientales deuterio y oxígeno 18. A continuación en la Tabla 24 se muestran los resultados de dichos análisis y en la Figura 61 se observa la ubicación geográfica de los puntos, finalmente se presenta la interpretación de estos resultados.

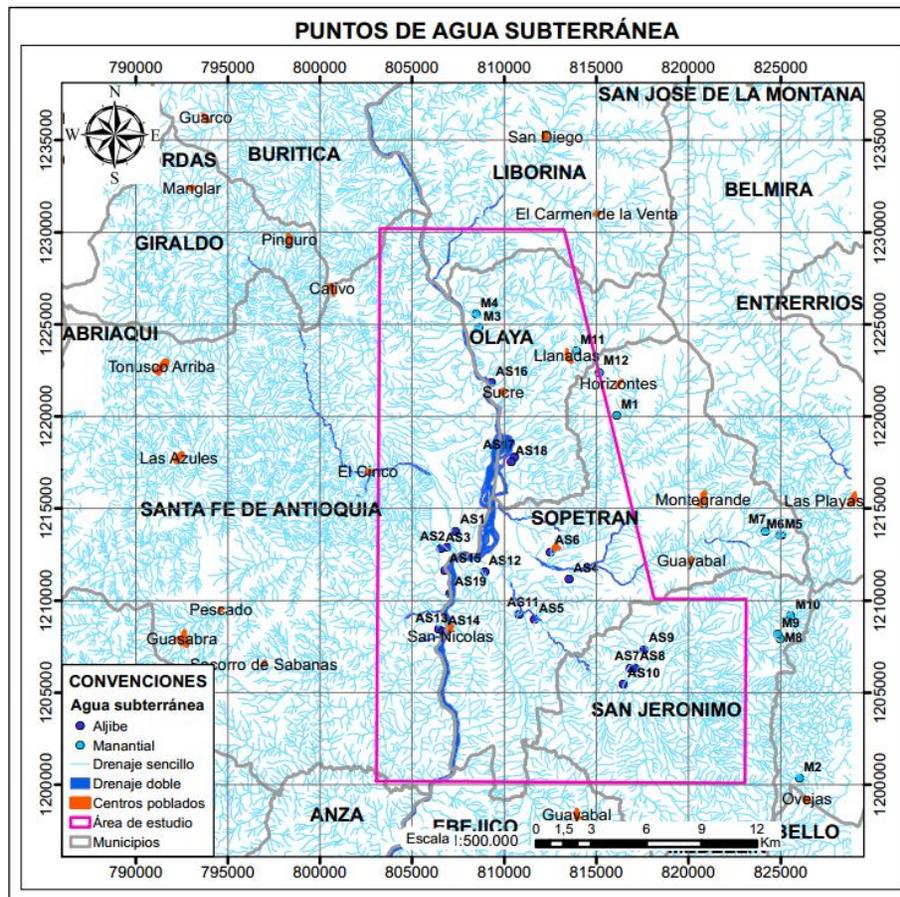


Figura 61. Puntos de agua subterránea. Fuente: Rhenals, 2007.

Tabla 24. Puntos de muestreo para determinación de la concentración de los isotopos ambientales deuterio y oxígeno 18.

| Código | Nombre | Tipo | Elevación | $\delta O18$ | δD | Norte | Este |
|--------|-------------|--------|-----------|--------------|------------|---------|-----------|
| AS1 | La Ceiba 89 | Aljibe | 476 | -10,6 | -76,5 | 807.365 | 1.213.761 |
| AS10 | Guaracu | Aljibe | 700,9 | -10,1 | -74,6 | 816.469 | 1.205.444 |
| AS11 | Rio Cedro | Aljibe | 478,6 | -10,2 | -73,8 | 810.802 | 1.209.259 |
| AS12 | San Judas | Aljibe | 465,2 | -7,53 | -61,635 | 808.938 | 1.211.544 |
| AS13 | Tucurinca | Aljibe | 458,3 | -10 | -73,7 | 806.443 | 1.208.454 |
| AS14 | Itaituba | Aljibe | 475 | -10,4 | -76 | 806.706 | 1.208.285 |
| AS15 | La Ceiba | Aljibe | 452,4 | -10,4 | -76,7 | 806.780 | 1.211.655 |
| AS16 | San Miguel | Aljibe | 436,2 | -10,1 | -76,3 | 809.297 | 1.221.828 |
| AS17 | Casa Blanca | Aljibe | 462,7 | -9,87 | -71,15 | 810.573 | 1.217.825 |
| AS18 | Jodelina | Aljibe | 463 | -7,48 | -61,83 | 810.377 | 1.217.520 |

| Código | Nombre | Tipo | Elevación | $\delta O18$ | δD | Norte | Este |
|--------|-------------------------|-----------|-----------|--------------|------------|---------|-----------|
| AS19 | La Cometa | Aljibe | 479 | -10,1 | -71,6 | 807.066 | 1.210.381 |
| AS2 | Villa David | Aljibe | 480,5 | -10,6 | -74,7 | 806.916 | 1.212.873 |
| AS3 | La Zanja | Aljibe | 478,4 | -10,4 | -74,5 | 806.566 | 1.212.824 |
| AS4 | Bella Luz | Aljibe | 590 | -9,3 | -66,6 | 813.516 | 1.211.169 |
| AS5 | Villa Laura | Aljibe | 509,8 | -10,1 | -72,4 | 811.646 | 1.208.985 |
| AS6 | Villa Cecilia | Aljibe | 534 | -9,5 | -68,1 | 812.493 | 1.212.654 |
| AS7 | Villa Luna | Aljibe | 788 | -9,9 | -72,3 | 816.840 | 1.206.352 |
| AS8 | Villa Jael | Aljibe | 816,3 | -10,3 | -74,1 | 817.123 | 1.206.339 |
| AS9 | Villa San Lucas II | Aljibe | 850 | -10,4 | -75,6 | 817.605 | 1.207.352 |
| M1 | Vía Horizontes-Sopetrán | Manantial | 1798 | -11,3 | -83,3 | 816.125 | 1.220.053 |
| M10 | Vereda El Chocho | Manantial | 2212 | -9,8 | -70,9 | 825.543 | 1.209.174 |
| M11 | Llanadas | Manantial | 1595 | -9,8 | -70,7 | 813.917 | 1.223.545 |
| M12 | Llanadas | Manantial | 1663 | -10,2 | -73,4 | 815.163 | 1.222.380 |
| M2 | Hda Malabar – Ovejas | Manantial | 2497 | -11,4 | -78,5 | 826.017 | 1.200.346 |
| M3 | Cabecera Olaya | Manantial | 517 | -12,9 | -95,1 | 808.635 | 1.224.844 |
| M4 | Cabecera Olaya | Manantial | 576 | -9,8 | -70,6 | 808.469 | 1.225.560 |
| M5 | Vereda Morrón | Manantial | 2491 | -11,2 | -78,4 | 824.976 | 1.213.558 |
| M6 | Vereda Morrón | Manantial | 2495 | -11 | -75,7 | 825.062 | 1.213.526 |
| M7 | Vereda Morrón | Manantial | 2205 | -12,6 | -88,9 | 824.181 | 1.213.774 |
| M8 | Nacimiento Q. El Tobal | Manantial | 2313 | -10,5 | -74,7 | 824.986 | 1.207.913 |
| M9 | Afluente Q. El Tobal | Manantial | 2218 | -10,1 | -72,8 | 824.843 | 1.208.159 |

4.4.3.1 Composición isotópica del agua subterránea y la línea meteórica

La composición isotópica de las aguas subterráneas muestreadas en el trabajo realizado por Rhenals (2007) se muestra en la Figura 62, al igual que la línea meteórica. Allí se observa que existen dos puntos que presentan evaporación, uno de los cuales según (Velez O. & Rhenals G., 2008) se recarga de agua procedente de una laguna cercana y el otro sufre evaporación durante la campaña de muestreo, es decir, la muestra se evaporó luego de recolectada.

Igualmente en la Figura 62 se puede notar que existen tres marcas isotópicas características del agua subterránea en la zona de estudio, lo que puede indicar tres tipos de flujos de agua subterránea y la existencia de varias zonas de recarga en la zona de estudio las cuales se

especificarán más adelante al realizar el análisis de variabilidad de los isótopos ambientales con la altura.

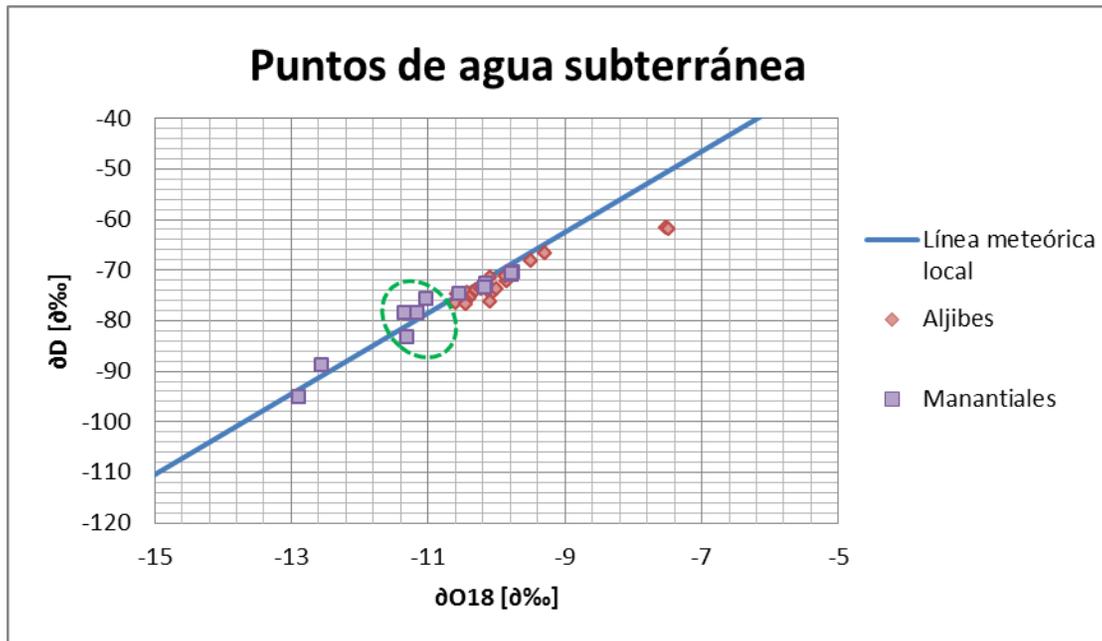


Figura 62. Composición isotópica de las aguas subterráneas. Fuente: Rhenals, 2007.

4.4.3.2 Variación altitudinal de los isótopos ambientales en la precipitación y en las aguas subterráneas

La variación altitudinal de los isótopos en la precipitación es muy útil para determinar una característica muy importante en el agua subterránea, las zonas de recarga. Al graficar la relación entre la altura y los contenidos isotópicos de la precipitación y el agua subterránea se identifican dos zonas de recarga de agua subterránea como se puede observar en la Figura 63 y en la Figura 64.

La zona de recarga 1 se ubica entre los 1800 msnm y los 2400 msnm en los municipios de San Jerónimo, Sopetrán, Olaya, Liborina y San Pedro de los Milagros y la zona de recarga 2 se ubica en una rango de cotas de los 1100 msnm a los 1400 msnm en los municipios de San Jerónimo, Sopetrán, Olaya, Liborina y Ebéjico, adicional a esto se puede identificar en estas figuras que las aguas de los manantiales están directamente relacionadas con las aguas lluvias, ya

que los puntos que corresponden a manantiales se encuentran ubicados muy cerca de la línea del agua lluvia.

Es importante aclarar que el comportamiento anteriormente descrito es válido para la margen derecha del río Cauca, ya que no se cuenta con información secundaria sobre la margen izquierda de este.

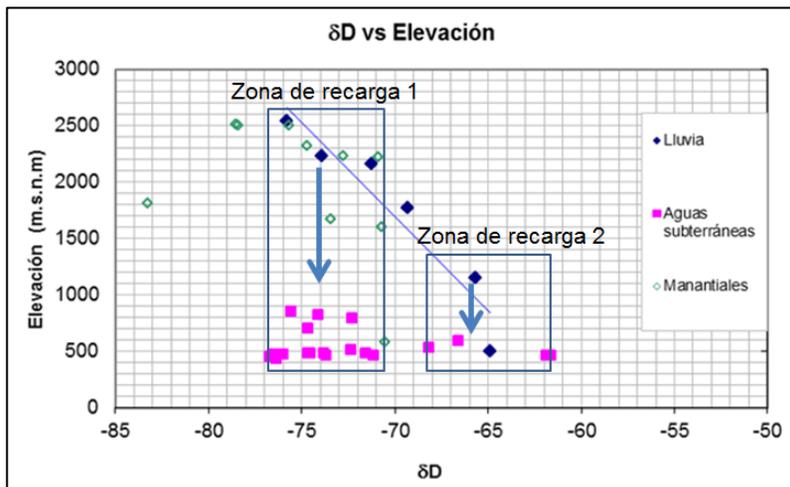


Figura 63. Deuterio vs altura. Fuente: Rhenals, 2007.

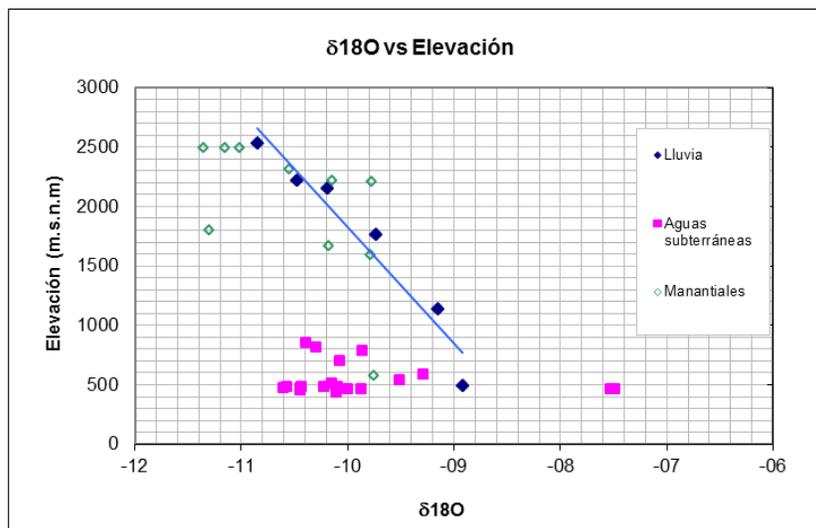


Figura 64. Oxígeno 18 vs altura. Fuente: Rhenals, 2007.

4.5 PROPUESTA DE RED DE MONITOREO

A partir de un análisis de la información secundaria disponible se propone adicionar a la red de monitoreo hasta ahora propuesta por CORANTIOQUIA tres puntos con el fin de tener puntos de muestreo en zona en las cuales no se cuenta con mucha información, ya que este vacío de información no permite el monitoreo completo en las zonas con potencial hidrogeológico, los criterios considerados para ampliar la red de monitoreo fueron: sitios con vacíos de información, facilidades de acceso, facilidades para la toma de muestra, con el fin de tener muestreos continuos, como ya se tiene para algunos puntos.

A continuación en la Tabla 25 se presentan las coordenadas de la red de monitoreo propuesta y en la Figura 65 se observa la ubicación geográfica de los puntos de la red de monitoreo propuesta por SHI S.A.S.

Tabla 25. Puntos de la red de monitoreo propuesta.

| Número | ID | X | Y | Municipio | Finca | Tipo |
|--------|------|---------|-----------|-----------------------|--------------------------|--------|
| 1 | AS4 | 813.516 | 1.211.169 | Santa Fe de Antioquia | Bella Luz | Aljibe |
| 2 | AS9 | 817.605 | 1.207.352 | San Jerónimo | Villa San Lucas | Aljibe |
| 3 | AS16 | 809.297 | 1.221.828 | Olaya | San Miguel | Aljibe |
| 4 | 532 | 815.429 | 1.208.163 | Sopetrán | Casa Azul | Aljibe |
| 5 | 530 | 810.154 | 1.210.783 | San Jerónimo | Club Los Almendros | Aljibe |
| 6 | 525 | 810.627 | 1.217.984 | Olaya | Finca Casa Blanca | Aljibe |
| 7 | 668 | 806.920 | 1.208.641 | Santa Fe de Antioquia | Finca Casa Mia | Aljibe |
| 8 | 660 | 816.893 | 1.206.498 | San Jerónimo | Finca El África | Aljibe |
| 9 | 674 | 806.829 | 1.211.812 | Santa Fe de Antioquia | Finca La Ceiba | Aljibe |
| 10 | 518 | 806.293 | 1.211.105 | Santa Fe de Antioquia | Finca La India | Aljibe |
| 11 | 673 | 806.648 | 1.211.206 | Santa Fe de Antioquia | Finca La Isla | Aljibe |
| 12 | 666 | 806.944 | 1.215.430 | Santa Fe de Antioquia | Finca La Rochela | Aljibe |
| 13 | 524 | 806.605 | 1.212.969 | Santa Fe de Antioquia | Finca La Zanja | Aljibe |
| 14 | 526 | 807.537 | 1.213.835 | Santa Fe de Antioquia | Finca Mi potero | Aljibe |
| 15 | 389 | 806.640 | 1.211.202 | Santa Fe de Antioquia | Finca Prinlap | Pozo |
| 16 | 663 | 811.647 | 1.208.931 | Sopetrán | Finca San Fernando | Aljibe |
| 17 | 667 | 807.068 | 1.214.934 | Santa Fe de Antioquia | Finca Villa Eliana | Aljibe |
| 18 | 657 | 816.516 | 1.205.600 | San Jerónimo | Guaracú | Aljibe |
| 19 | 393 | 811.694 | 1.208.965 | Sopetrán | Palmar del Rio | Aljibe |
| 20 | 521 | 807.081 | 1.210.752 | Santa Fe de Antioquia | Parcelación Los Halcones | Aljibe |

| | | | | | | |
|----|-----|---------|-----------|-----------------------|----------------|--------|
| 21 | 665 | 809.100 | 1.212.193 | Sopetrán | Procopal S,A | Aljibe |
| 22 | 531 | 812.540 | 1.212.813 | Sopetrán | Villa Cecilia | Aljibe |
| 23 | 676 | 806.961 | 1.213.027 | Santa Fe de Antioquia | Villa David | Aljibe |
| 24 | 533 | 811.660 | 1.208.984 | Sopetrán | Villa Laura | Aljibe |
| 25 | 537 | 817.646 | 1.206.512 | San Jerónimo | Villa San Luca | Aljibe |

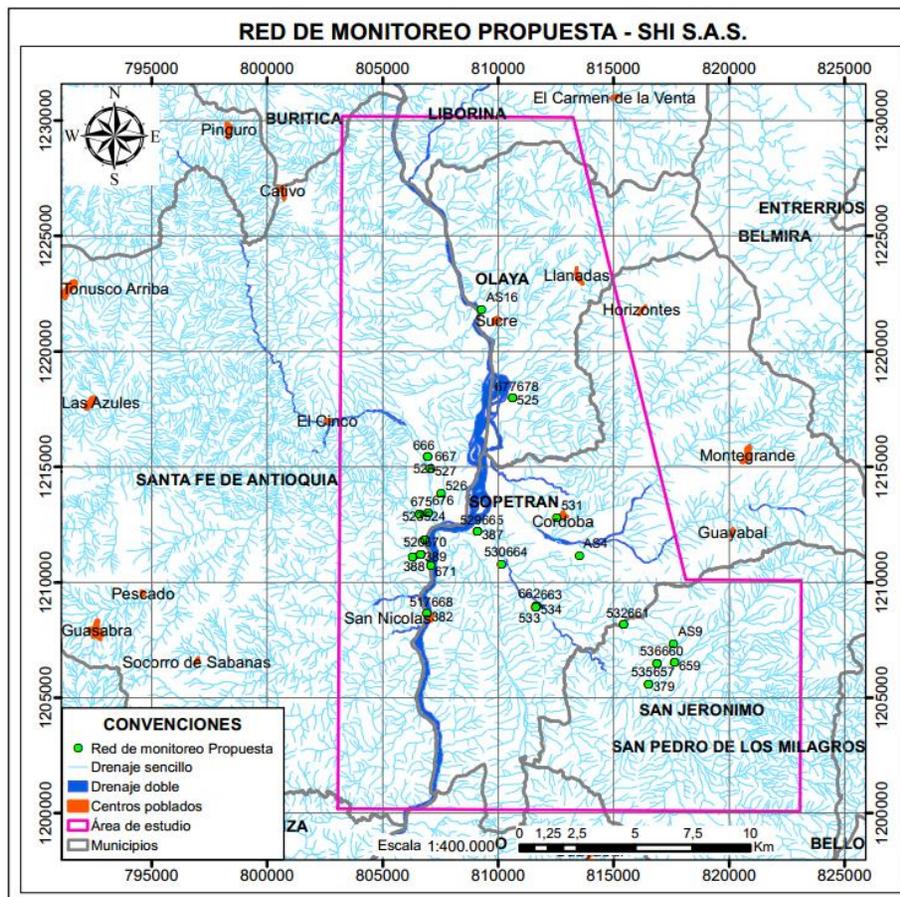


Figura 65. Red de monitoreo propuesta por SHI. Fuente: elaboración propia.

4.6 CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

El término calidad de agua es una expresión cuyo espectro de significado es muy amplio. Cada uno de los seres humanos están interesados en el agua desde diferentes puntos de vista, ya sea vital, comercial, industrial, recreativas, etc. Las características adecuadas del agua varían según el uso o actividad a la cual va a ser destinada.

| | | |
|---|---|---|
|  <p>SERVICIOS HIDROGEOLOGICOS INTEGRALES</p> | DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO EN LA TERRITORIAL HEVÉXICOS |  |
|---|---|---|

La resolución 2115 del 2007 establece características físicas y químicas del agua para consumo humano según sustancias que tienen reconocido efecto adverso sobre la salud humana, sustancias que tienen consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana y características microbiológicas y físicas.

A continuación se hace un análisis de calidad de las aguas subterráneas según la resolución 2115 del 2007 comparando el máximo permisible que establece dicha norma con los resultados de calidad de los puntos que se muestran en la Tabla 26.

Tabla 26. Puntos con información de calidad de aguas.

| FINCA | ID ESTUDIOS BASE | ID SHI | VEREDA | MUNICIPIO | AÑOS DE MUESTREO |
|------------------|------------------|--------|--------------------|-----------------------|----------------------------------|
| El Abrujo | 51 | P12 | Guayabal | Sopetrán | 2004 |
| Hostería Guaracú | 39 | P18 | Llano de Aguirre | San Jerónimo | 2004 - 2007 - 2012 - 2013 - 2014 |
| Itaituba | 13 | P20 | Hato Obregón | Santa Fe de Antioquia | 2004 - 2007 |
| Jodelina | 24 | P21 | La Florida | Olaya | 2004 - 2007 |
| La 19 | 29 | P22 | El Rodeo | Sopetrán | 2004 |
| La 42 | 56 | P23 | Parcelación la VID | Sopetrán | 2004 |
| La Ceiba | 25 | P26 | La Isla | Santa Fe de Antioquia | 2004 - 2007 - 2012 - 2013 - 2014 |
| La Cometa | 60 | P27 | Aeropuerto | Santa Fe de Antioquia | 2007 |
| La Estancia | 15 | P29 | Hato Obregón | Santa Fe de Antioquia | 2004 |
| Bella Luz | 28 | P3 | El Rodeo | Sopetrán | 2004 - 2007 |
| La India | 26 | P30 | La Isla | Santa Fe de Antioquia | 2004 - 2012 - 2013 - 2014 |
| La Pelada | 27 | P32 | El Rodeo | Sopetrán | 2004 |
| La Rochela | 59 | P33 | San Sebastián | Santa Fe de Antioquia | 2004 - 2013 - 2014 |
| La Uva | 47 | P34 | El Palmar | Sopetrán | 2004 |
| La Zanja | 3 | P35 | El Espinal | Santa Fe de Antioquia | 2004 - 2007 - 2013 - 2014 |
| Las Cometas | AS19 | P36 | Sin información | Santa Fe de Antioquia | 2004 |
| Los Almendros | 57 | P40 | Guaimaral | Sopetrán | 2004 - 2013 - 2014 |
| Los Naranjos | 10 | P42 | San Rafael | Santa Fe de Antioquia | 2004 |
| Mi Potrero | 21 | P43 | Paso Real | Santa Fe de Antioquia | 2004 - 2007 - 2013 |
| Villa Cecilia | 31 | P58 | Córdoba | Sopetrán | 2004 - 2007 - 2013 |



**DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN
DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL
SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE
ANTIOQUEÑO EN LA TERRITORIAL
HEVÉXICOS**



| FINCA | ID ESTUDIOS BASE | ID SHI | VEREDA | MUNICIPIO | AÑOS DE MUESTREO |
|--------------------------|---------------------|-----------|------------------|-----------------------|----------------------------------|
| Villa David | 2 | P59 | El Espinal | Santa Fe de Antioquia | 2004 - 2007 - 2012 - 2013 - 2014 |
| Casa Azul | 32 | P6 | TaFetanes | Sopetrán | 2004 - 2013 - 2014 |
| Villa Jael | 36 | P60 | El Hato | San Jerónimo | 2004 - 2007 - 2014 |
| Villa Laura | 34 | P62 | La Ahuyamal | Sopetrán | 2004 - 2007 - 2012 - 2013 - 2014 |
| Villa Luna | 41 | P63 | El Hato | San Jerónimo | 2004 - 2007 |
| Villa Marcela | 44 | P64 | Llano de Aguirre | San Jerónimo | 2004 |
| Villa San Lucas II | AS9 | P67 | Sin información | San Jerónimo | 2004 - 2007 - 2013 - 2014 |
| Casa Blanca | 17 | P7 | La Florida | Olaya | 2004 - 2007 - 2013 - 2014 |
| Finca El África | COR_5 | P72 | Sin información | San Jerónimo | 2012 - 2013 - 2014 |
| Finca La Isla | COR_9 | P73 | Sin información | Santa Fe de Antioquia | 2012 - 2013 - 2014 |
| Finca Prinlap | COR_13 | P74 | Sin información | Santa Fe de Antioquia | 2012 - 2013 - 2014 |
| Finca San Fernando | COR_15 | P75 | Sin información | Sopetrán | 2012 - 2013 - 2014 |
| Finca Villa Eliana | COR_18 | P76 | Sin información | Santa Fe de Antioquia | 2012 - 2013 - 2014 |
| Manguruma | COR_24 | P77 | Sin información | Sopetrán | 2012 |
| Palmar del Rio | COR_25 | P78 | Sin información | Sopetrán | 2012 |
| Parcelación Los Halcones | COR_26 | P79 | Sin información. | Santa Fe de Antioquia | 2013 - 2014 |
| Casamia | 16 | P8 | Hato Obregón | Santa Fe de Antioquia | 2012 - 2013 - 2014 |
| Procopal S.A | COR_27 | P80 | Sin información | Sopetrán | 2012 - 2013 - 2014 |
| Finca Haitua | COR_6 | P84 | Sin información | Santa Fe de Antioquia | 2014 |

4.6.1 Parámetros físicos

La resolución 2115 del 2007 establece que el agua para consumo no podrá sobrepasar los valores máximos aceptables para cada una de la características físicas que se señalan en la Tabla 27.

Tabla 27.Características físicas.

| Características físicas | Expresada como | Valor máximo aceptable |
|-------------------------|---|------------------------|
| Color aparente | Unidades de platino de cobalto (UPC) | 15 |

| | | |
|--------------|--|-----------|
| Olor y sabor | Aceptable ó no aceptable | Aceptable |
| Turbiedad | Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT) | 2 |

Es importante mencionar que no se cuenta con análisis de olor ni de color aparente en la información secundaria disponible, sin embargo existe información de color verdadero.

4.6.1.1 Color verdadero

El color en las aguas es causado por sólidos suspendidos, material coloidal y sustancias en solución. El color verdadero es aquel que es provocado por sustancias disueltas y coloidales. En la información secundaria disponible existen análisis de color verdadero para 29 puntos en el año 2004 y 22 puntos en el año 2014, a continuación en la Figura 68 se muestra los valores de color verdadero y el valor que establece la norma.

De esta gráfica se destaca que 10 puntos no cumplen con el valor máximo permisible para color verdadero para los valores del año 2004 y 6 puntos no cumplen con la norma de color en los muestreos realizados en el año 2014, los porcentajes se pueden observar en la Figura 66 y en la Figura 67.

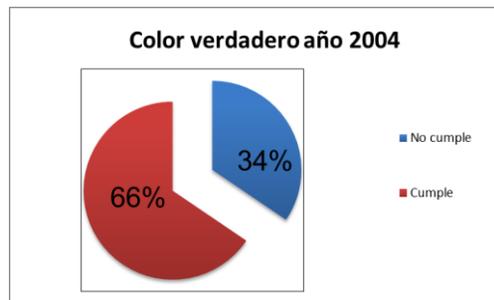


Figura 66. Color verdadero 2004. Fuente: elaboración propia.

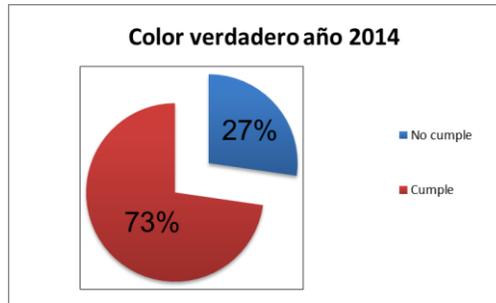


Figura 67. Color verdadero 2014. Fuente: elaboración propia.

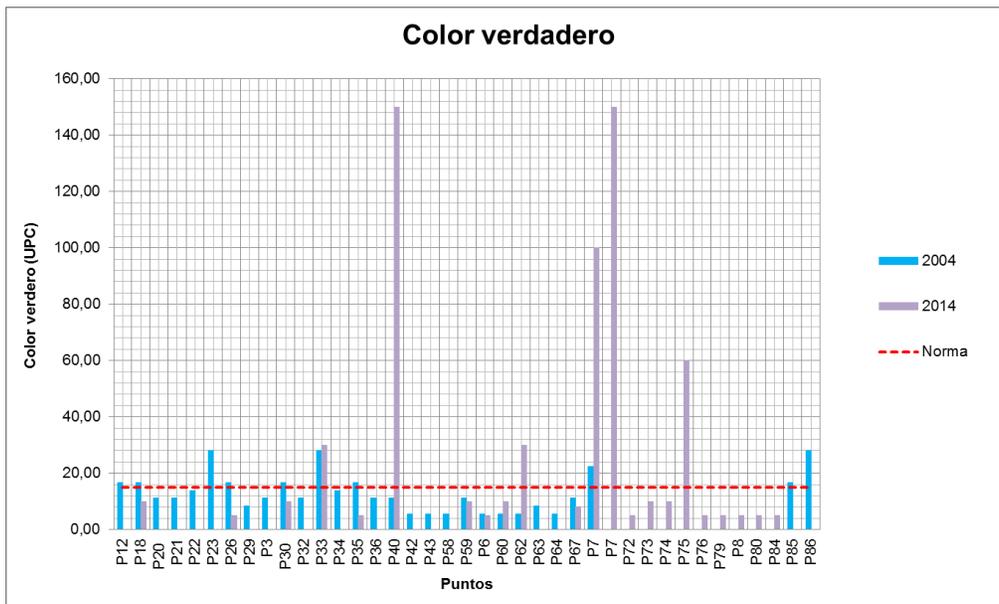


Figura 68. Color verdadero de los puntos de agua subterránea. Fuente: elaboración propia.

4.6.1.2 Turbiedad

La turbiedad es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Es importante mencionar que en el año 2007 no se tiene registro de turbiedad. En la Figura 69 se puede observar que las aguas de una gran proporción de estos puntos no cumplen con la resolución 2115 del 2007.

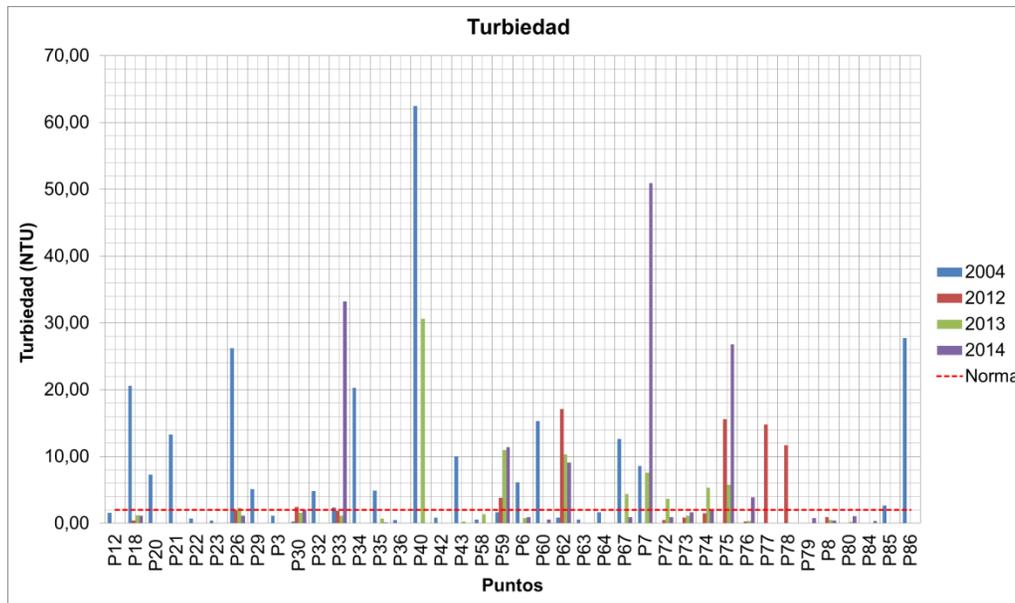


Figura 69. Turbiedad de los puntos de agua subterránea. Fuente: elaboración propia.

4.6.1.3 Conductividad eléctrica y pH

A continuación en la Figura 70 y en la Figura 71 se presenta la conductividad eléctrica y el pH respectivamente, allí se destaca que todos los puntos cumplen con la resolución 2115 del 2007, la cual establece que el pH debe estar entre 6.5 y 9 unidades de pH, por otro lado, gran proporción de los puntos cumplen con el límite de conductividad eléctrica establecido por la norma, es decir 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

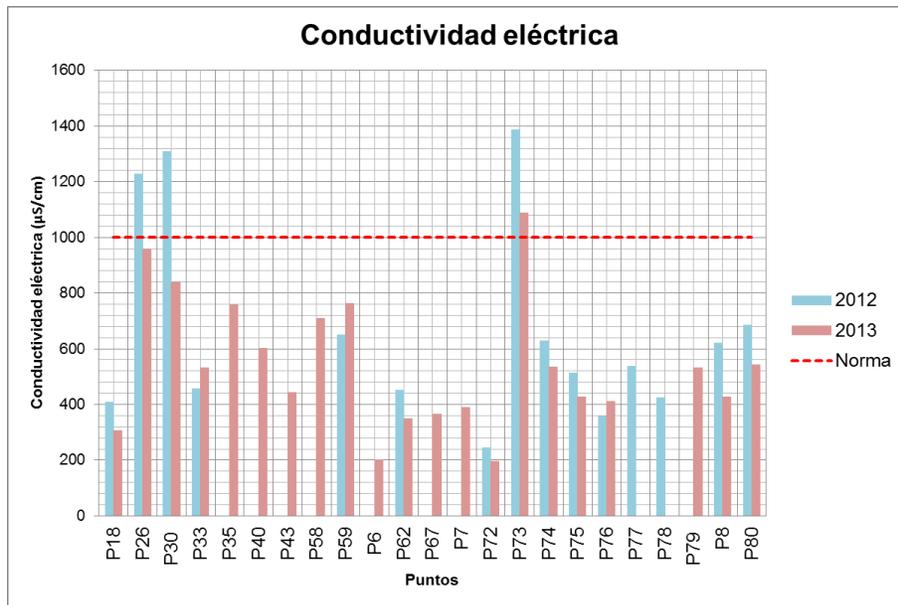


Figura 70. Conductividad eléctrica. Fuente: elaboración propia.

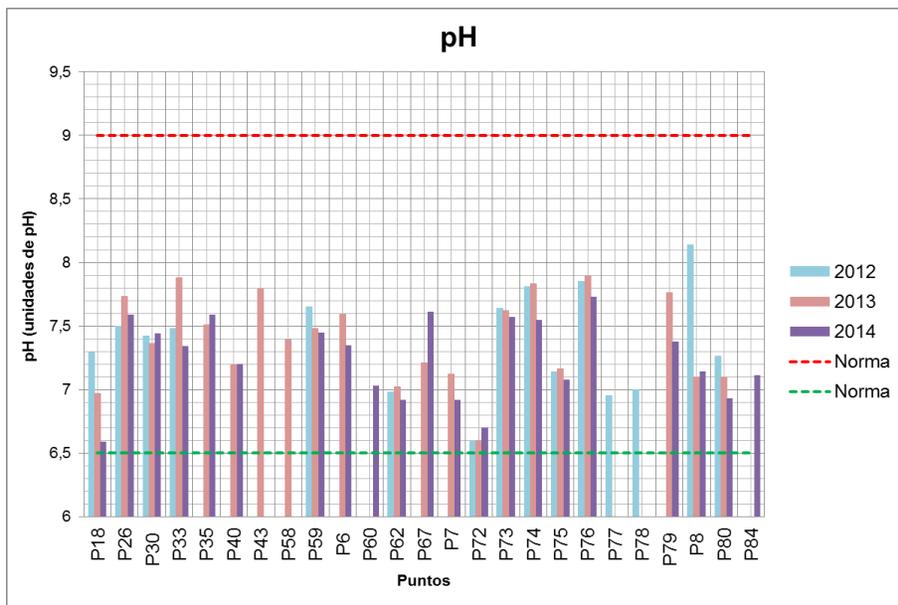


Figura 71. Potencial de hidrógeno. Fuente: elaboración propia.

4.6.2 Parámetros químicos

4.6.2.1 Carbono orgánico total, nitratos y nitritos

El carbono orgánico total, los nitratos y los nitritos están regulados por la resolución 2115 del 2007 como sustancias que tienen implicación sobre la salud humana, en la Figura 72, Figura 73 y en la Figura 74 se observa que las aguas subterráneas cumplen con dicha regulación. En la gráfica de los nitratos Figura 73 por la escala del eje Y no es posible observar el valor de la línea de la norma que es 10, sin embargo todos los valores de nitratos se encuentran por debajo de esta.

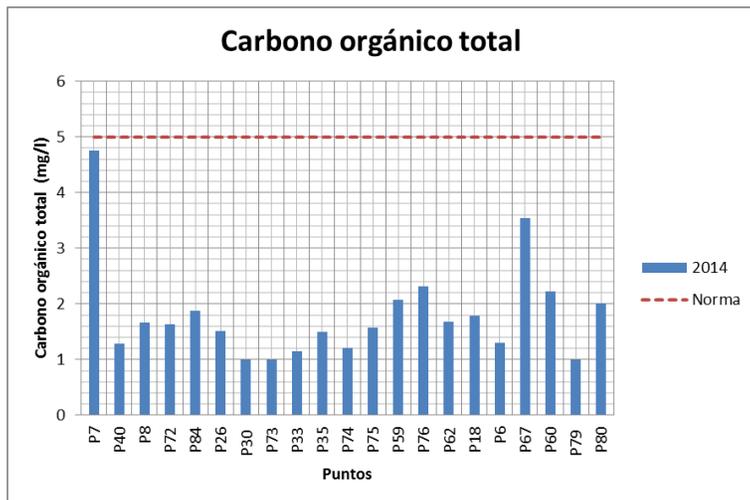


Figura 72. Carbono orgánico total. Fuente: elaboración propia.

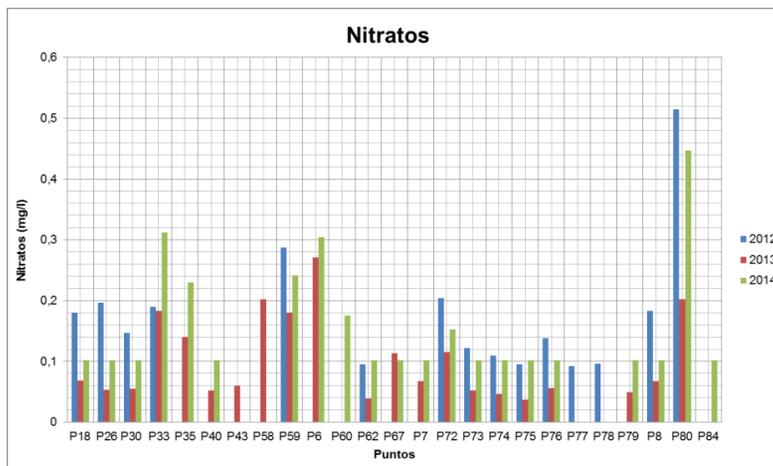


Figura 73. Nitratos. Fuente: elaboración propia.

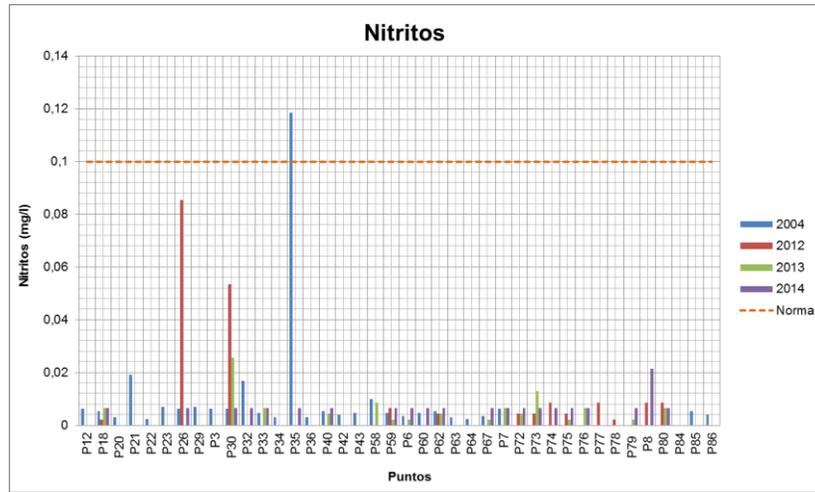


Figura 74. Nitritos. Fuente: elaboración propia.

4.6.2.2 Alcalinidad y dureza total

La alcalinidad y la dureza total son parámetros químicos que están regulados por la resolución 2115 del 2007 como características químicas que tienen consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana, a continuación en la Figura 75 se presenta los valores de alcalinidad, allí se puede observar que existen gran proporción de puntos que no cumplen con el valor límite de la resolución 2115, situación similar ocurre con la dureza total como se puede observar en la Figura 76.

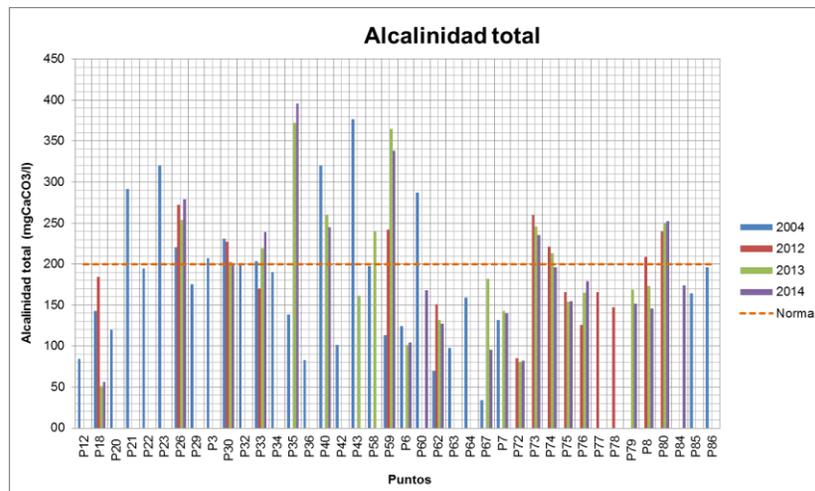


Figura 75. Alcalinidad total. Fuente: elaboración propia.

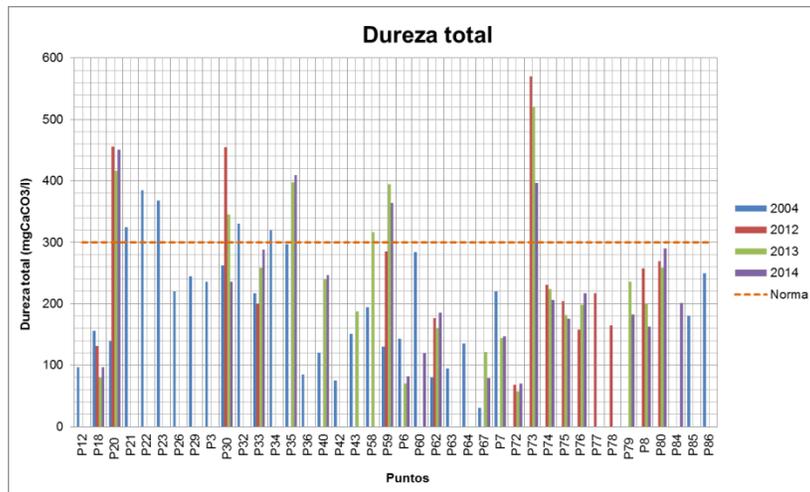


Figura 76. Dureza total. Fuente: elaboración propia.

4.6.2.3 Coliformes totales

La resolución 2115 del 2007 establece para coliformes totales que el valor límite debe ser de cero NMP/100ml, lo cual no se cumple para ninguno de los puntos en ninguno de los años de muestreo, esto se puede evidenciar en la Figura 77 y en la Figura 78.

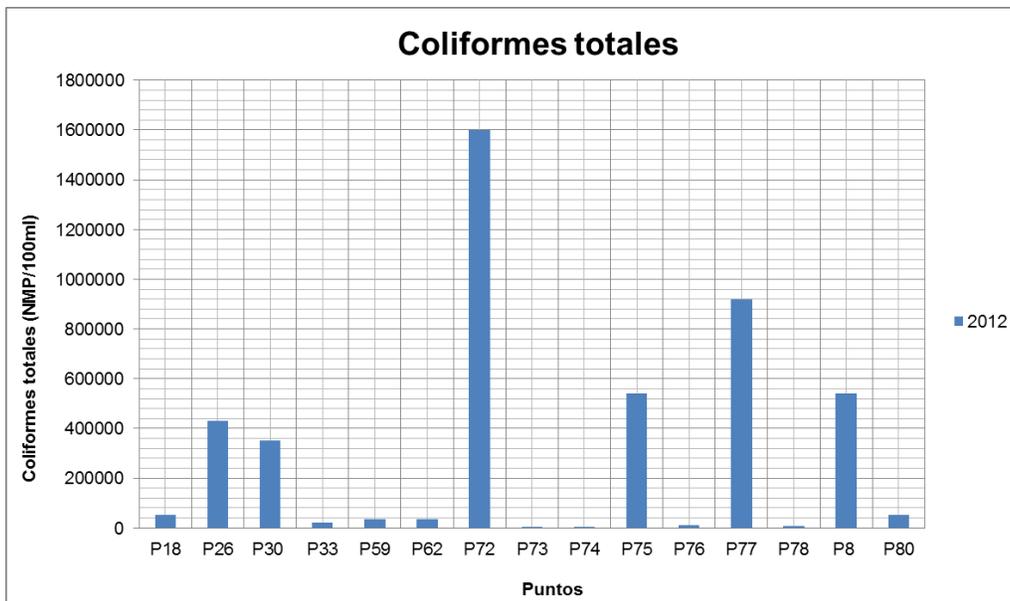


Figura 77. Coliformes totales. Fuente: elaboración propia.

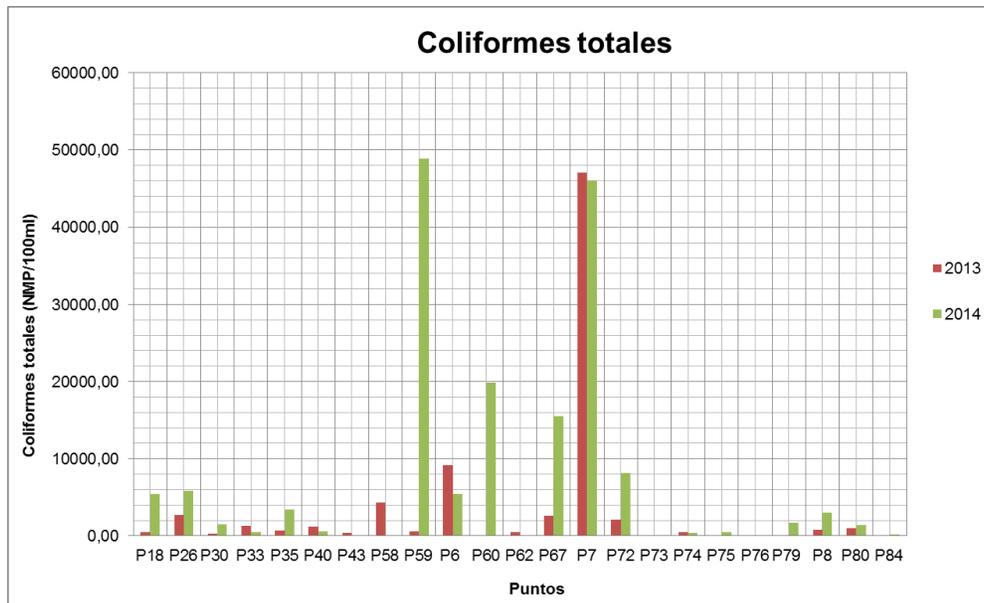


Figura 78. Coliformes totales. Fuente: elaboración propia.

4.6.3 Calidad de las aguas en la zona de estudio

Observando los análisis anteriormente presentados se puede concluir que la calidad de las aguas en la zona de estudio es aceptable, sin embargo para el consumo humano a dichas fuentes subterráneas se les debe realizar una desinfección de las aguas y un tratamiento con el fin de disminuir turbiedad, alcalinidad y dureza total.

Se identificaron fuentes de contaminación relacionadas con aljibes con los siguientes problemas:

- Presencia de grasa
- Presencia de residuos sólidos
- Presencia de animales muertos
- Vertimiento de estiércol e insecticidas
- Cercanía a pozo séptico
- Por descarga de aguas residuales

Los municipios donde se identificó esta problemática son: Sopetrán, San Jerónimo y Santa Fe de Antioquia. Los anteriores puntos se encuentran identificados y referenciados en el anexo del capítulo 9. Base_de_datos_puntos_agua.

5. GEOLOGÍA

5.1 GEOLOGÍA REGIONAL

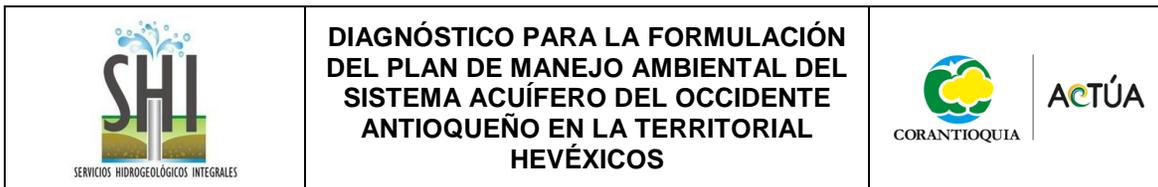
Desde el punto de vista geológico, la zona de estudio se encuentra regionalmente entre la margen occidental de la cordillera Central, la depresión intracordillerana Cauca - Patía, y la margen oriental de la cordillera Occidental.

La cordillera Central posee una gran variedad de unidades litológicas y estructurales entre las que se encuentran rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, está compuesta por un basamento polimetamórfico Pre-Mesozoico que incluye rocas oceánicas y continentales, intruído por varios plutones mesozoicos y cenozoicos. Además hay depósitos molásicos como el Terciario Carbonífero (Formación Amagá), como también volcanes activos asociados a la subducción de la placa de Nazca a lo largo de esta cordillera (Sur 5°N) (Taboada, 2000, tomado de Ortiz y Restrepo, 2004).

Por otro lado se encuentra la cordillera Occidental compuesta principalmente por rocas de origen oceánico acrecionadas a la margen oeste de Sur América durante el Mesozoico y Cenozoico Temprano (Mc Court et al., 1984; Pindell & Barret, 1990; Restrepo & Pace, 1992; Kellogg & Vega, 1995; tomado de Ortiz y Restrepo, 2004), posteriormente afectada por intrusiones terciarias, entre las que se encuentra el Batolito de Sabanalarga cubriendo un área aproximada de 560 km² (INGEOMINAS, 2001). La cordillera Occidental se encuentra adosada a la cordillera Central, a lo largo de la sutura representada por el sistema de fallas de Romeral. Las rocas de afinidad ofiolítica, representativas de corteza oceánica, y las rocas metamórficas de media alta presión, del Complejo Arquía se encuentran cabalgando sobre el basamento de la cordillera Central (Toussaint y Restrepo, 1988, tomado de Rhenals, 2007).

5.2 GEOLOGÍA LOCAL

La zona de estudio, se encuentra ubicada en la cuenca media del Cauca que se desarrolló en el Terciario como respuesta a un fenómeno descompresivo, acompañado de sedimentación fluvio – lacustre (Grosse, 1926, tomado de Ortiz y Restrepo, 2004); en esta zona afloran rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas, además de depósitos aluviales y de ladera recientes que se



pueden agrupar en tres grandes grupos litológicos: rocas cristalinas (ígneas y metamórficas), formaciones sedimentarias y depósitos cuaternarios.

Hacia los bordes más externos de la zona de estudio, se dan principalmente rocas cristalinas con algunos depósitos de vertiente, mientras que en la parte central donde se encuentran las áreas urbanas de Santa Fe, Sopetrán, San Jerónimo, Olaya, Liborina y Sucre, sobresalen otras litologías como lo son formaciones sedimentarias: Amagá, Tunal y Goyas, las cuales son rocas detríticas de origen continental y depósitos aluviales y coluviales de edad cuaternaria.

5.2.1 Rocas cristalinas

5.2.1.1 Diorita de Pueblito (Jdp)

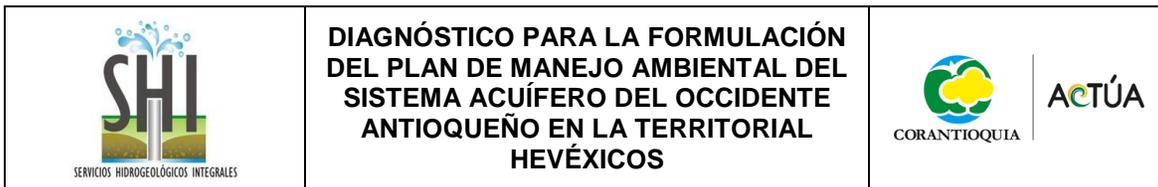
Es un cuerpo de forma tabular de 57 km de longitud en dirección N10°W a N-S, que se prolonga al sur del área entre la falla Quirimará y la quebrada Seca. La roca predominante en esta unidad es una diorita horbléndica con variaciones a gabro. La diorita es una roca de textura hipidiomórfica granular, ocasionalmente ofítica compuesta por plagioclasa fuertemente sausuritizada, dialaga, augita y hornblenda, tanto biotítica como cuarzo con accesorios ocasionales (INGEOMINAS, 1983, tomado de Ortiz y Restrepo, 2004). Restrepo y Toussaint (1978, tomado de Ortiz y Restrepo, 2004) dataron por K/Ar en 163 ± 10 m.a. En la zona de estudio dicha unidad se encuentra ubicada en el sector sur en lo que corresponde al municipio de Sopetrán.

5.2.1.2 Formación Quebradagrande (Kivq)

Compuesto litológicamente por espilitas, diabasas, basaltos, rocas piroclásticas, aglomerados y delgadas intercalaciones de grauvacas finas, limolitas, pizarras margosas bituminosas y liditas. En la zona de estudio aflora el miembro volcánico de ésta formación, ubicado al SW del municipio de San Jerónimo. El cuerpo que aflora en la zona oriental se encuentra limitado al este por la falla de Romeral, y el cuerpo que aflora en la parte sur de la zona de estudio está limitado al este y al oeste por las fallas Aurrá y Piedecuesta respectivamente (INGEOMINAS, 1983, tomado de Ortiz y Restrepo, 2004).

5.2.1.3 Complejo Polimetamórfico de la Cordillera Central

Comprende rocas tales como filitas, esquistos cuarzo - sericíticos, anfibolitas, gneises anfibólicos, migmatitas, gneises micáceos, cuarzo - feldespáticos y esquistos verdes (Restrepo et al., 1987,



tomado de Ortiz y Restrepo, 2004). En la zona de estudio afloran diferentes cuerpos agrupados dentro del Complejo Polimetamórfico de la cordillera Central, los cuales se describen a continuación:

- Rocas de muy bajo grado de metamorfismo (Pbsd)

Estas rocas conservan la textura clástica del sedimento original, aflora en cuerpos alargados, en lo que corresponde al flanco oriental del río Cauca en área rural de municipio de Olaya.

- Esquistos Cuarzosericíticos y Alumínicos (Pes)

Son rocas producto de metamorfismo regional de grado bajo a medio, de color negro debido al contenido de grafito, tienen un alto contenido de cuarzo y se hacen más claros al aumentar el contenido de cuarzo y moscovita. Comúnmente se observa gradación de los esquistos y filitas cuarzo - sericíticas a esquistos verdes actinolíticos (INGEOMINAS, 1983, tomado de Ortiz y Restrepo, 2004).

Está caracterizado por presentarse como cuerpos alargados limitados al oeste por la falla Romeral y ubicado en la zona de estudio en el flanco oriental en lo que corresponde al área rural de los municipios de San Jerónimo y Sopetrán.

- Esquistos Verdes Actinolíticos (Pev)

Son producto del metamorfismo regional de grado bajo a medio, están compuestos por albita, epidota, clorita y actinolita. Se presentan como franjas alargadas con dirección norte - sur, ubicándose en el sur de la zona de estudio en lo que corresponde al municipio de Sopetrán y Ebéjico, entre el río Cauca y la quebrada Seca y limitado por las fallas Cauca y Quirimará. También están ubicados en la parte nororiental de la zona de estudio en lo que corresponde a los municipios de Sopetrán, Olaya y Liborina.

- Anfibolitas (Pea)

Afloran como cuerpos de forma alargada y de tamaño variable orientados N30°W, siguiendo el tren de estructuras regional. Las anfibolitas tienen comúnmente estructura néisica con textura granoblástica más visible en los cuerpos mayores y esquistosa con textura nematoblástica en los lentes más delgados; están compuestas esencialmente por hornblenda y plagioclasa. (INGEOMINAS, 1983, tomado de Ortiz y Restrepo, 2004).

- Anfibolitas de Sucre (Pzas)

Las anfibolitas y neises anfibólicos presentes en la zona son cuerpos alargados a ambos lados del río Cauca, los cuales se encuentran limitados o cortados en su mayoría por la falla Cauca. Entre los principales cuerpos de anfibolita presentes en la zona se encuentran: el primero cerca del municipio de Olaya en la margen oriental del río Cauca el cual tiene aproximadamente 8 km de longitud en sentido N-S, el cuerpo que se encuentra en cercanías del Puente de Occidente, el cual tiene aproximadamente 5 km de longitud por 2 km de ancho, y por último un cuerpo delgado y alargado que llega hasta el municipio de Liborina.

5.2.1.4 Batolito Antioqueño (Ksta)

Este cuerpo varía de tonalita a granodiorita, de grano medio a grueso, epidiomórficas equigranulares de color moteado, compuestas principalmente por cuarzo, feldespato, biotita y minerales accesorios y tiene un área total de 7.221 km². El batolito antioqueño presenta cuerpos relacionados a él, entre ellos están: la Cúpula de La Unión, el Batolito de Ovejas y el Stock de Belmira.

5.2.1.5 Granito Neísico de Palmitas (Pgnp)

Cuerpo alargado, en dirección N10°W, con buenos afloramientos en la carretera Medellín – San Jerónimo y en las quebradas que lo cruza. Presenta textura augen gruesa, marcada por porfidoblastos de ortoclasa amarillos y cuarzos gris-azulosos alargados, rodeados de “nidos” o concentraciones de biotita; otros minerales son plagioclasa y moscovita. La estructura neísica fue desarrollada por metamorfismo dinámico, a partir de una roca de composición cuarzo feldespática. Es intruido por el Batolito Antioqueño y se tiene una edad preliminar de 420 ± 80 m.a. por Rb/Sr, lo que lo ubica entre el Devónico y el Cámbrico (INGEOMINAS, 1983, tomado de Ortiz y Restrepo, 2004).

5.2.1.6 Diorita de Heliconia (Kdhb-Kdha)

Compuesto por dioritas augíticas a cuarzodiorítacas, intrusivos, que utilizaron para su emplazamiento trazas del sistema de fallas Cauca-Romeral. Afloran al norte del municipio de Sopetrán en la quebrada La Yuna, estos pequeños cuerpos se encuentran intruyendo la denominada Anfibolita de Sucre en la margen oriental del río Cauca (INGEOMINAS, 1983, tomado de Ortiz y Restrepo, 2004).

5.2.1.7 Batolito de Sabanalarga (Kdhs-Kdhsc-Khs)

Roca ígnea intrusiva, su composición predominante es de diorita hornbléndica con variaciones a tonalita. Se presenta como un cuerpo alargado, ubicado un 95% en la margen oeste del río Cauca, intruye el borde este de la Formación Barroso y los esquistos verdes de la margen oriental del río Cauca. Este cuerpo está orientado N-S en el sector septentrional del occidente colombiano, entre las cordilleras Oriental y Occidental. El área cubierta por este batolito y sus cuerpos satélites y facies correlativas es de unos 560 km² (González et al., 1978 en INGEOMINAS, 1983, tomado de Ortiz y Restrepo, 2004).

5.2.1.8 Rocas Ultramáficas de Sucre (Jus)

Están ubicadas cerca al corregimiento de Sucre, se caracteriza por la intensa serpentización de los minerales ferromagnesianos originales, originando rocas de color negro verdoso, con lustre sedoso y costras superficiales de picrolita (Restrepo y Touissaint, 1976, tomado de Ortiz y Restrepo, 2004).

5.2.2 Rocas sedimentarias

5.2.2.1 Formación Amagá (Toi, Tom, Tos)

Rocas sedimentarias de origen continental de origen fluvio - lacustre y se encuentran a lo largo del río Cauca desde Liborina hasta la parte norte de Santa Fe de Antioquia.

Miembro Inferior (Toi): conglomerados, areniscas conglomeráticas, areniscas cremas y grises, arcillolitas arenosas, arcillolitas pizarrosas grises a gris verdosas del Oligoceno Temprano.

Miembro Medio (Tom): arcillas pizarrosas grises, areniscas claras y grises localmente conglomeráticas, mantos de carbón hasta dos metros de espesor. Edad: Oligoceno Medio.

Miembro Superior (Tos): areniscas bien cementadas de color crema, arcillas pizarrosas gris verdosas y de color ocre, localmente bancos delgados de conglomerado y de carbón. Edad: Oligoceno Tardío a Mioceno Temprano.

5.2.2.2 Formación Combia Miembro Sedimentario (Tsc)

Se presenta como conglomerados polimícticos mal cementados (que no afloran en la zona) y areniscas tobáceas, del Mioceno Tardío al Plioceno.

5.2.2.3 Secuencia El Tunal (Tt)

Definida por Parra (1997, tomado de Ortiz y Restrepo, 2004), ubicada hacia el norte de Santa Fe de Antioquia. Consta de una alternancia de conglomerados gruesos a muy gruesos clasto-soportados, generalmente carente de limos y arcillas, el cual descansa discordantemente sobre el Batolito de Sabanalarga y basaltoides verdes. Suprayacida gradacionalmente por la Secuencia Goyás, con la cual forma en conjunto una depositación de tipo molásico.

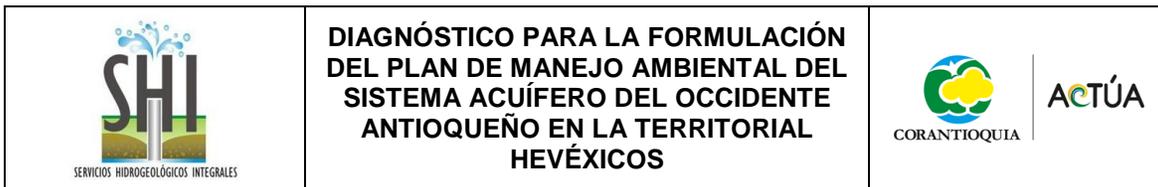
5.2.2.4 Secuencia Goyás (Tg)

Definida por Parra (1997, tomado de Ortiz y Restrepo, 2004), ubicada hacia el norte de Santa Fe de Antioquia. Está compuesta por areniscas limosas inmaduras, limolitas arcillosas y conglomerados (con espesores menores de 10 cm). Reposa en discordancia angular sobre la Formación Amagá y es suprayacida discordantemente por la Secuencia El Llano.

5.2.3 Depósitos superficiales

Dentro del área de estudio se encuentran algunos depósitos entre Santa Fe de Antioquia y San Jerónimo, están formados por arcillas, gravas de selección mala a regular, con estructuras de depositación fluvial y con geformas tipo terraza. Estos depósitos son relativamente resistentes a la erosión y forman salientes topográficas planas en su cima y de paredes casi verticales (Page, W.D., 1986, tomado de Ortiz y Restrepo, 2004).

Estos depósitos han sido clasificados en tres eventos asociados a represamiento del río Cauca como ocurrió con el deslizamiento del Guásimo cerca de Sabanalarga. Estas terrazas son conocidas con los nombres de Obregón, San Nicolás y Olaya. Los depósitos están compuestos principalmente por limos estratificados, arena fina y grava gruesa. Sus edades se han estimado en 3100, 1500 y 800 años, siendo más antiguas las de mayor altura (Page, W. D., 1986, tomado de Ortiz y Restrepo, 2004).



También se reportan, al W de Santa Fe de Antioquia terrazas escalonadas constituidas por capas alternas de arenas y gravas mal consolidadas. Estas terrazas se asocian a un viejo abanico altamente disectado (Page, W. D., 1986, tomado de Ortiz y Restrepo, 2004), al cual se le asigna por estudios en paleomagnetismo, una edad cercana a los 500.000 años siendo originado por el río Tonusco y cubierto en su parte baja por terrazas de los depósitos lacustres y fluviales más recientes (Ortiz y Restrepo, 2004).

5.3 TECTÓNICA Y GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Estructuralmente la zona está afectada por tres grandes sistemas de fallas orientados N20°W, estos son: sistema de fallas de río Chico, sistema de fallas Cauca-Romeral y sistema de fallas al oeste del río Cauca. Cada uno es un conjunto de lineamientos, sobre escurrimientos (fallamiento inverso de ángulo bajo con pliegue de arrastre) y fallas normales e inversas, de magnitud considerable tanto en sentido N-S como vertical.

El sistema de fallas de río Chico está localizado en el extremo oriental de la zona de estudio, es un conjunto de fallas con dirección N40W a N-S, con límites al norte de la zona de estudio por la falla Espíritu Santo (Hall, et al; 1972, tomado de Ortiz y Restrepo, 2004). Su expresión más occidental es la falla El Carmen, que pasa muy cerca del centro poblado de la vereda Horizontes del municipio de Sopetrán, también hacen parte de este sistema la falla Morrón, cuya traza se observa cerca al nacimiento de la quebrada La Sopetrana y la falla del río Chico. Tomado de (Rhenals, 2007, tomado de Ortiz y Restrepo, 2004).

El sistema de fallas Cauca – Romeral en la zona de estudio está limitado al este por la falla de San Jerónimo y al oeste por la falla de Cauca-Oeste. Se caracteriza por la concentración de focos de actividad sísmica, el alineamiento de deslizamientos, las cárcavas y las bifurcaciones de las quebradas; además pone en contacto unidades geológicas de muy diversas edades (Tomado de Ortiz y Restrepo, 2004).

En cuanto al sistema de fallas al oeste del Cauca, es el sistema más occidental del área y se encuentra fuera de la zona de estudio, sin embargo se encuentra afectando unidades relativamente jóvenes en la vertiente oriental de la cordillera Occidental (Álvarez y González, 1978, tomado de Ortiz y Restrepo, 2004). Se caracteriza por alineamientos norte-sur, zonas de fuerte cizalladura, control de drenaje con márgenes inestables y abundantes trazas cortas de fallas con buzamientos fuertes al este principalmente (Tomado de Ortiz y Restrepo, 2004).

| | | |
|---|---|---|
|  <p>SERVICIOS HIDROGEOLOGICOS INTEGRALES</p> | <p>DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO EN LA TERRITORIAL HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA</p> |  <p>CORANTIOQUIA ACTÚA</p> |
|---|---|---|

6. GEOMORFOLOGÍA

6.1 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

La zona de estudio corresponde regionalmente, a una unidad de cañones, estas geoformas están ubicadas al interior de un bloque tectónico levantado, limitado por el cañón del río Cauca y el valle del río Magdalena al occidente y oriente respectivamente.

El cañón del río Cauca, pertenece al grupo de cañones muy ramificados, caracterizados por gran acción erosiva y un relieve montañoso típico, conformado por cuchillas alargadas y agudas, vertientes largas y empinadas y cañones profundos, estrechos e interconectados (Arias, 1995, tomado de Ortiz y Restrepo, 2004).

A la altura de Santa Fe de Antioquia tiene un fondo amplio y hacia el sur en los alrededores de Fredonia, Venecia y Valparaíso se observa la influencia de la actividad volcánica representada por geoformas como los farallones de La Pintada, los cerros Tusa y Bravo, entre otros (Arias, 1995, en Ortiz y Restrepo, 2004).

6.2 GEOMORFOLOGÍA LOCAL

La definición y descripción de las siguientes unidades geomorfológicas han sido tomadas del trabajo de Ortiz y Restrepo, 2004. En la Figura 80 se observa la distribución espacial de estas unidades.

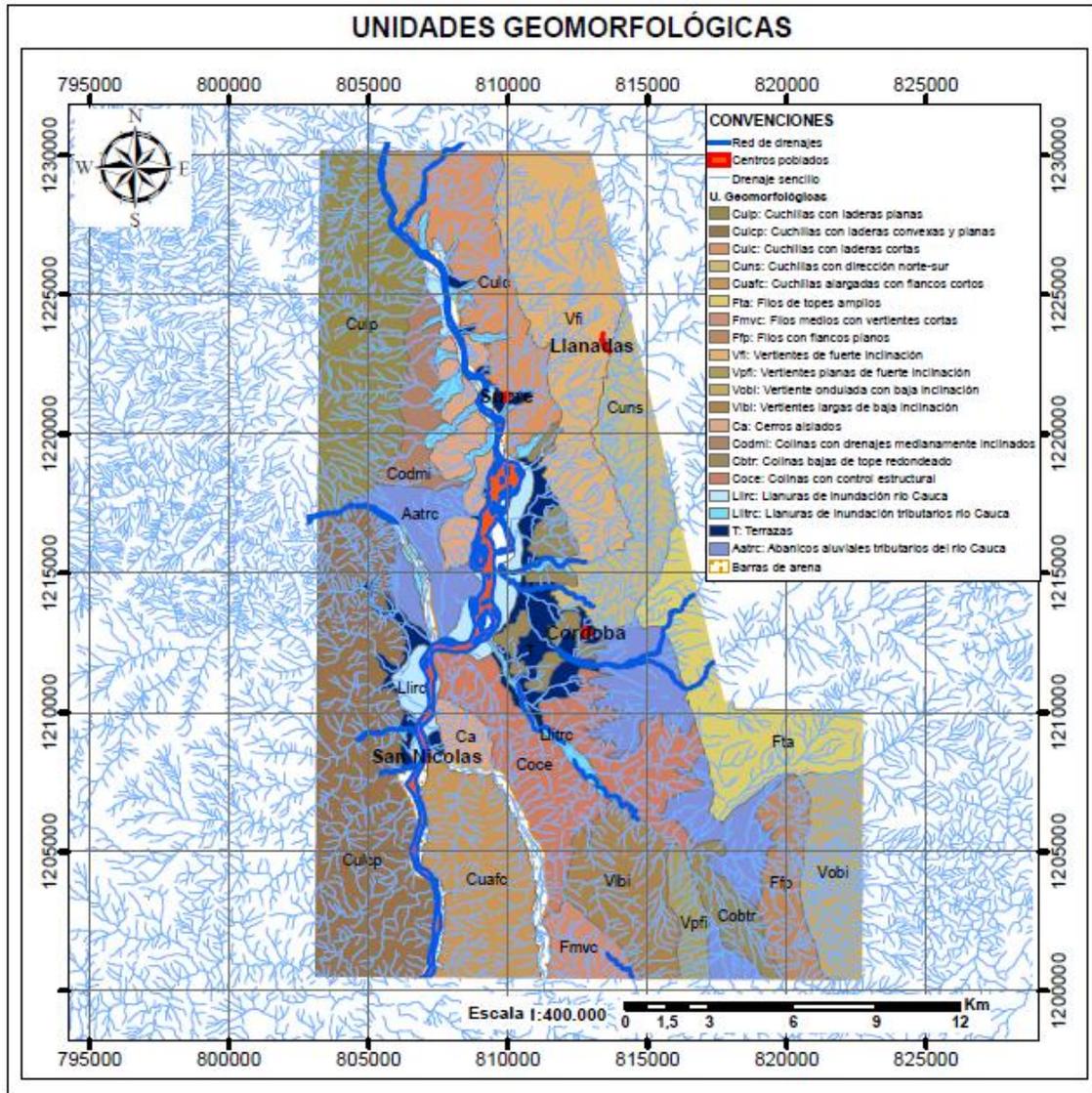
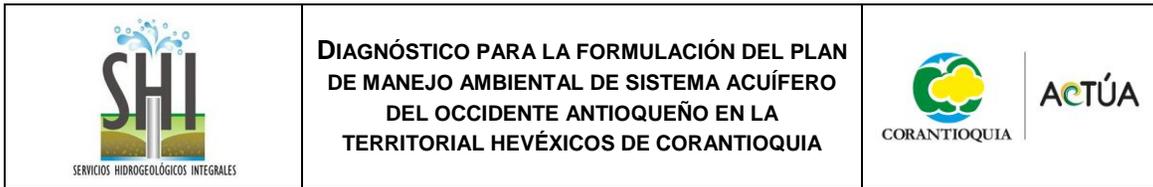


Figura 80. Unidades geomorfológicas para la zona de estudio. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo.2004.

6.2.1 Cuchillas

6.2.1.1 Cuchillas con laderas planas (Culp)

Se encuentra ubicada en la parte noroccidental de la zona de estudio (área rural de Santa Fe de Antioquia y Buriticá). Ocupa el 8.5% del área de estudio. Se caracteriza por presentar filos con topos angulosos en algunas partes, en algunos sectores con topos amplios de forma plana. En



general los filos presentan dirección norte-sur. Las laderas presentan pendientes entre 35 y 40°, con longitudes entre 300 y 600 m. La altura máxima es de 1350 msnm y la mínima es de 605 msnm, mientras que las alturas relativas con respecto al río Cauca son aproximadamente de 900 m. Esta unidad presenta drenajes paralelos a subdendríticos, con incisiones en las laderas en forma de “V” cerrada.

6.2.1.2 Cuchillas con laderas convexas y planas (Culcp)

Ubicada en el flanco suroccidental de la zona de estudio (área rural de los municipios de Santa Fe de Antioquia y Anzá) y representa el 12.4% del área de estudio. Tiene alturas absolutas entre 500 y 1000 msnm y alturas relativas con respecto al río Cauca de hasta 500 m. Se caracteriza por presentar topes amplios y medianamente redondeados. Laderas planas a convexas con pendientes entre 30 y 50°, con longitudes entre 700 y 1200 m. La red de drenaje es subparalela a subdendrítica con valles en forma de “V” cerrada.

6.2.1.3 Cuchillas con laderas cortas (Culc)

Esta unidad se caracteriza por cuchillas con topes angostos (subpuntiagudas) y laderas con drenajes dendríticos y paralelos, con cauces en forma de “V” abierta. Estas vertientes presentan flancos planos a convexas de 30 a 45° de inclinación y con longitudes que varían de 300 a 700 m, con superficies irregulares, con presencia de deslizamientos y desgarres medianos. La altura de esta unidad varía entre 500 y 1200 msnm y alturas relativas de 700 m con respecto al río Cauca. Esta zona comprende aproximadamente el 5% del total de la zona de estudio.

6.2.1.4 Cuchillas con dirección norte-sur (Cuns)

Franja alargada ubicada al este de la zona de estudio (Sopetrán y San Jerónimo). Se caracteriza por sistemas de cuchillas con topes puntiagudos y estrechos, de formas alargadas con orientación N-S, en donde se desarrollan drenajes subparalelos a subdendríticos, fuertemente incisados, con forma de “V” cerrada a medianamente abierta. Presenta pendientes planas con valores entre 20 y 35° de inclinación, 1.4 a 2 km de longitud y representa el 5.4% de la zona de estudio. Las formas de las laderas van desde cóncavas hasta planas en algunos casos. Las alturas máximas de esta unidad están entre 1200 y 2200 msnm y alturas relativas con respecto al río Cauca de hasta 1700 m.

| | | |
|---|---|---|
|  | <p>DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO EN LA TERRITORIAL HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA</p> |  |
|---|---|---|

6.2.1.5 Cuchillas alargadas con flancos cortos (Cuafc)

Esta unidad se encuentra ubicada al sur y al norte de la zona de estudio. Al sur entre el río Cauca y la quebrada Seca (área rural de Sopetrán y Ebéjico), al norte entre el río Cauca y la quebrada Juan García (área rural del municipio de Liborina). Corresponde al 7% de la zona de estudio.

Se caracteriza por cuchillas alargadas con dirección norte-sur, topes agudos. El sector sur de esta unidad presenta alturas absolutas entre 500 y 2000 msnm, mientras la parte norte presenta alturas entre 450 y 850 msnm., con alturas relativas entre 1500 m al sur y 500 m al norte. El drenaje en esta zona es paralelo a subparalelo con valles en “V” cerrada.

6.2.2 Filos

6.2.2.1 Filos de topes amplios (Fta)

Ubicada en el flanco este de la zona de estudio (zona rural de los municipios de Olaya, Sopetrán y San Jerónimo). Representa el 6.5% de la zona de estudio y se caracterizan por desarrollar topes anchos, subredondeados con flancos planos de 30 a 40° de inclinación y 1.3 a 1.6 km de longitud (IDEA – CORANTIOQUIA, 2001 en Ortiz y Restrepo, 2004). Presenta alturas entre las cotas 800 y 1200 msnm y la incisión sobre los flancos de los filos conforma valles de sección transversal con forma de “V” abierta.

6.2.2.2 Filos medios con vertientes cortas (Fmvc)

Esta unidad se encuentra ubicada en el área de estudio entre la quebrada Seca y la quebrada Sucia en área rural del municipio de Ebéjico y ocupa el 2% del área de estudio. Ubicada entre las cotas 700 y 1050 msnm y está constituida por un sistema de filos con varias direcciones caracterizados por desarrollar topes anchos y redondeados y flancos planos a convexos de 30 a 40° de inclinación y 200 a 300 m de longitud. La incisión sobre los flancos de estos filos es de 30 a 50 m, conformando valles de sección transversal en forma de “V” abierta.

6.2.2.3 Filos con flancos planos (Ffp)

Se localizan en el sector suroriental de la zona de estudio en el municipio de San Jerónimo desde la vereda Matasano al sur, hasta la quebrada Grande al norte. Representa el 3% del área de estudio. Ubicados entre las cotas 900 y 1800 msnm, estos filos se caracterizan por desarrollar

| | | |
|---|---|---|
|  <p>SERVICIOS HIDROGEOLÓGICOS INTEGRALES</p> | <p>DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO EN LA TERRITORIAL HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA</p> |  <p>CORANTIOQUIA ACTÚA</p> |
|---|---|---|

topes moderadamente amplios, subredondeados con flancos planos de 35 a 45° de inclinación y 1 a 1.4 km de longitud. La incisión sobre los flancos de los filos es de 20 a 40 m. conformando valles de sección transversal en forma de “V” abierta.

6.2.3 Vertientes

6.2.3.1 Vertientes de fuerte inclinación (Vfi)

Faja alargada ubicada desde la cañada El Guamal, a 4 km al norte del casco urbano del municipio de Sopetrán, hasta el alto la Cruz a 4 km al norte del caserío La Merced del municipio de Liborina. Esta unidad ocupa el 9.5% del total de la zona. Ubicada entre las cotas 1000 y 2200 msnm, se caracteriza porque presenta una forma general plana a convexa con inclinación entre 40 y 45° y longitud que varía de 1.5 a 2.5 km. La incisión principal sobre esta vertiente es de 150 a 300 m, generando un sistema de filos con topes moderadamente estrechos y subredondeados. En las demás zonas de la vertiente la incisión oscila entre 40 y 60 m.

6.2.3.2 Vertientes largas de baja inclinación (Vlbi)

Esta unidad está localizada en la parte sur de la zona de estudio entre la quebrada Seca y el río Aurrá, incluyendo la Cuchilla Loma Hermosa en el área rural del municipio de San Jerónimo y corresponde al 4% del área total de la zona de estudio. Estas geoformas presentan alturas absolutas en el área de estudio entre 600 y 1400 msnm y está conformada por una divisoria de aguas y una vertiente de forma plana a ondulada de 3 a 4 km de longitud y una inclinación de 10 a 30°. La incisión sobre esta unidad varía entre 20 y 30 m con valles en forma de “V”.

6.2.3.3 Vertientes planas de fuerte inclinación (Vpfi)

Esta unidad corresponde al 1.2% de la zona de estudio y está ubicada en la parte sureste de ésta, desde la vereda Llano de San Juan del municipio de San Jerónimo hasta el río Aurrá. Ubicada entre las cotas 700 a 1400 msnm y conformada por una vertiente de forma plana de 1 a 1.2 km de longitud y una inclinación de 30 a 45°. La incisión sobre esta unidad varía entre 20 y 30 m conformando valles en forma de “V” abierta.

| | | |
|---|---|---|
|  <p>SERVICIOS HIDROGEOLOGICOS INTEGRALES</p> | <p>DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO EN LA TERRITORIAL HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA</p> |  <p>CORANTIOQUIA ACTÚA</p> |
|---|---|---|

6.2.3.4 Vertiente ondulada con baja inclinación (Vobi)

Se encuentra ubicada en el sector suroriental de la zona de estudio, desde la quebrada la Sopera, al norte hasta la vereda Matasano del municipio de San Jerónimo. Ocupa el 4% de la zona de estudio.

Esta unidad se ubica entre los 1200 y 2200 msnm y se caracteriza por presentar en algunos sectores una forma general ondulada con una inclinación general de 15 a 25° y longitud de 1.5 a 2 km. Otros sectores de la unidad presentan incisión fuerte, generando sistemas de filos con topes estrechos y flancos planos de 25 a 35° de inclinación. La incisión sobre los flancos de estos filos que se generan varía entre 20 y 40 m., conformando valles con forma de “V” cerrada.

6.2.4 Cerros aislados (Ca)

Esta unidad representa el 2.8% de la zona de estudio y se encuentra ubicada al este de Santa Fe de Antioquia y se presenta como cerros aislados bordeando el río Cauca y se caracterizan por topes planos y en algunos casos puntiagudas debido a movimientos en masa. La forma general del drenaje es subdendrítrico y las pendientes son regulares con laderas cóncavas. Se observan pendientes entre 30 y 40° siendo menores en la parte baja de las laderas por acumulaciones de depósitos de vertiente. Se observan alturas máximas entre 500 y 700 msnm y mínimas entre 450 y 500 msnm, con alturas relativas con respecto al Cauca entre 100 y 250 m. Las laderas presentan longitudes entre 100 y 150 m con drenajes en forma de “V” cerrada.

6.2.5 Colinas

6.2.5.1 Colinas con drenajes medianamente inclinados (Codmi)

Ocupa al 2% del área de estudio, ubicándose al norte del municipio de Santa Fe de Antioquia, en el flanco oeste de la zona de estudio. Se caracteriza por relieve colinado inclinado en sentido W-E hacia el Cauca; estas colinas presentan bases y topes amplios. Esta unidad presenta alturas entre 500 y 800 msnm y alturas relativas con respecto al Cauca de hasta 400 m. Sus laderas son planas en algunos casos pasando a cóncavas y convexas, con suelos pedregosos. Presenta valles en forma de “V” abierta y red de drenaje paralela a subparalela.

| | | |
|---|---|---|
|  <p>SERVICIOS HIDROGEOLOGICOS INTEGRALES</p> | <p>DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO EN LA TERRITORIAL HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA</p> |  <p>CORANTIOQUIA ACTÚA</p> |
|---|---|---|

6.2.5.2 Colinas bajas de tope redondeado (Cobtr)

Las zonas que representan esta unidad se encuentran ubicadas en el flanco este del río Cauca, en cercanías a este, en el sector suroccidental del casco urbano del municipio de San Jerónimo, en lo que corresponde a la parte oeste del área rural del municipio de Sopetrán y al sector noroeste del área rural del municipio de Olaya. Representa el 30% de la zona de estudio.

Se caracteriza por ocho áreas, separadas entre sí por valles amplios y terrazas, conformando sistemas de colinas redondeadas a suavemente agudas, con base amplia y alturas entre 500 y 600 msnm y alturas relativas con respecto al río Cauca entre 80 y 120 m. Presenta pendientes entre 20 a 30°, con laderas planas e irregulares por procesos de reptación, con longitudes entre 100 a 250 m. Se observan drenajes subparalelos a subdendríticos con valles en “U” abierta.

6.2.5.3 Colinas con control estructural (Coce)

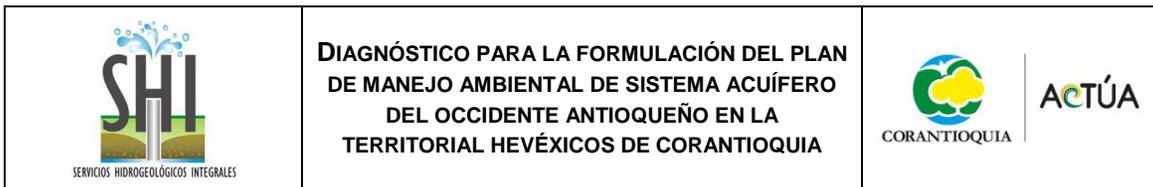
Esta zona ocupa el 7% del área de estudio, está representada por dos franjas paralelas al río Aurrá, aproximadamente con dirección N20W. La primera franja está limitada por el río Aurrá y por la quebrada Seca y en zona rural del municipio de Sopetrán. La segunda franja está limitada al suroccidente por el río Aurrá y al nororiente por el abanico aluvial de la quebrada la Sopetrana.

Se caracteriza por sistemas de colinas con topes orientados y alturas entre 500 y 600 msnm y alturas relativas que van de 50 a 150 m con respecto al río Cauca. Se observan topes principalmente agudos y en algunos casos subredondeados, con laderas planas de inclinación entre 30 y 40° y longitudes entre 100 y 150 m. Se observan drenajes paralelos a subparalelos, conformando valles rectilíneos con sección transversal en forma de “V” cerrada.

6.2.6 Aluviales

6.2.6.1 Llanuras de inundación asociadas al río Cauca (Llirc)

Esta unidad corresponde litológicamente a depósitos cuaternarios, conformados por llanuras de inundación activas, compuestas por limos, arenas y gravas. Morfológicamente está representada por franjas planas a suavemente inclinados (menor de 0.5° en cercanías a Santa Fe de Antioquia), discontinuas y ubicadas en las márgenes del río Cauca. Esta unidad presenta longitudes variables que van desde los 500 m hasta los 4000 m en el flanco oriental en lo que corresponde al municipio de Olaya y Sopetrán. Ocupa el 2.5% de toda la zona y con alturas de aproximadas de 1 m con



respecto al río Cauca. La superficie de éstas es regular y en algunas partes se encuentran ondulaciones producto de los orillares. Las mejores expresiones de esta unidad se encuentran desde la quebrada Juanes del municipio de Santa Fe de Antioquia hasta la quebrada Seca del municipio de Olaya donde el valle se abre permitiendo la depositación de mayor área de sedimentos y donde esta unidad tiene su mayor expresión longitudinal, en esta zona el valle toma forma de “U” abierta en comparación con la zona norte y sur donde se encañona con forma de “V” abierta y es posible observar barras centrales, laterales y alargadas cuyas longitudes fluctúan entre los 50 y 100 m.

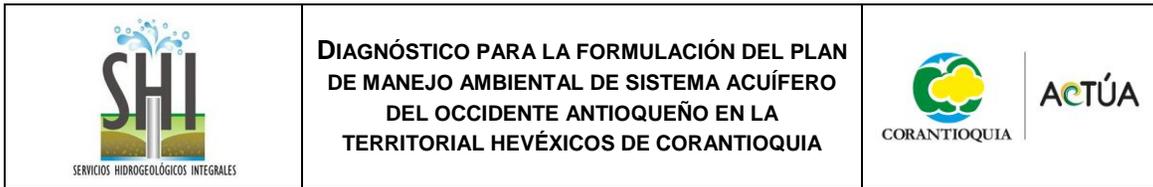
6.2.6.2 Llanuras de inundación asociadas a tributarios del río Cauca (Llitrc)

Se encuentra asociada principalmente a los ríos Aurrá y Tonusco y a las quebradas Seca, La Sopetrana, La Chorquina, La Colchona, Barbuda y Juan García donde en términos generales se pueden describir como superficies planas a suavemente inclinadas, con 1° de inclinación aproximadamente. Esta unidad geomorfológica representa el 2% de toda la zona. Para el río Tonusco las longitudes varían entre 100 y 1850 m aproximadamente (Salazar y Sánchez, 2003 en Ortiz y Restrepo, 2004).

6.2.6.3 Terrazas (T)

Esta unidad geomorfológica se encuentra asociada a las diferentes corrientes de la zona, tanto del río Cauca como a sus diferentes tributarios, entre ellos los ríos Aurrá y Tonusco y las quebradas Seca, La Sopetrana, Chorquina, La Colchona, Barbuda y Juan García. Se caracteriza por presentar superficies planas y regulares con pendientes suaves. Se pueden observar varios niveles de terrazas evidenciando diferentes eventos depositacionales. Esta unidad ocupa el 3.6% de toda la zona.

En cercanías al casco urbano de Santa Fe de Antioquia, se pueden diferenciar remanentes de 5 niveles de terraza localizadas en la margen izquierda del río Cauca, entre la quebrada Juanes y la desembocadura del río Tonusco. Estas terrazas están compuestas por secuencias normales (gravas–arenas-limos-arcilla). Todas estas geoformas preservan las mismas características, donde la forma de la pendiente es recta y en general sin irregularidades en su superficie, la inclinación es menor de 1°. Además se pueden observar asociadas a dichas terrazas, los diferentes frentes erosivos que presentan inclinaciones de aproximadamente 90° y de longitudes variables, pero no mayores de 7 m (Salazar y Sánchez, 2003 en Ortiz y Restrepo, 2004).



También se encuentran en la zona superficies asociadas a depósitos recientes de tributarios del río Cauca, donde cabe resaltar dos tributarios importantes: la quebrada Juanes y la quebrada La Seca. En ambas se observa el mismo proceso. Las dos presentan terrazas bajas no mayores de 1 m, con superficies planas, regulares y con pendientes de 1° de inclinación asociadas a sus propios depósitos fluviales mientras que se encuentran encañonadas, luego discurren sobre las terrazas depositadas por el río Cauca las cuales ha ido incisando (Salazar y Sánchez, 2003 en Ortiz y Restrepo, 2004).

6.2.6.4 Abanicos aluviales asociados a los tributarios del río Cauca (Aatrc)

Formados por los diferentes tributarios del río Cauca en la zona de estudio, siendo los más representativos los asociados al río Tonusco, a la quebrada La Sopenrana, el abanico aluvial sobre el que se encuentra el casco urbano del municipio de San Jerónimo formado por varias corrientes, y abanicos más pequeños asociados a corrientes menores; como lo son el abanico de la quebrada Seca en el municipio de Olaya, el de la quebrada la Colchona, la Barbuda y La Juan García. En términos generales se caracteriza por superficies planas con la forma característica de abanico aluvial. Tienen una inclinación promedio de 1° aproximadamente y ocupan el 7.6% de la zona de estudio.

6.3 ZONAS POTENCIALES DE RECARGA

Las zonas potenciales de recarga se definen a partir de las unidades geomorfológicas considerando principalmente las pendientes asociadas a cada una de ellas.

Se realiza un análisis del mapa de pendientes, la distribución espacial y características de las unidades geomorfológicas, enfocado a delimitar zonas potenciales de recarga por precipitación.

La metodología consiste en relacionar las unidades geomorfológicas con relieves suaves y pendientes bajas a zonas que favorecen la infiltración del agua; mientras que las unidades con pendientes altas y relieves más abruptos se asocian a áreas con mayor escorrentía superficial hacia los drenajes y cuerpos de agua, teniendo una contribución menor a la recarga.

En la Figura 81 se puede ver la distribución de las pendientes en la zona de estudio.

En la Tabla 28 se muestran para cada unidad geomorfológica los rangos principales de pendientes y el potencial de recarga asignado. El mapa de las zonas potenciales de recarga a partir de la geomorfología se puede observar en la Figura 82.

Como es de esperarse, debido a las bajas pendientes y relieves más suavizados, las unidades geomorfológicas con mayor potencial de recarga son los depósitos aluviales (llanuras de inundación, terrazas y abanicos) y las colinas. Los cerros aislados presentan potencial medio a bajo, ya que sus pendientes varían de moderadas a altas.

Las unidades geomorfológicas de filos, vertientes y cuchillas son de relieve más abrupto y predominan las pendientes altas, por lo que su potencial de recarga es menor.

Las vertientes de baja inclinación son de potencial medio a bajo, mientras que las de fuerte inclinación se asocian a bajo potencial de recarga al igual que los filos, aunque estos también presentan potencial medio a bajo, dado por la presencia de pendientes moderadas, como en el caso de los filos con topes amplios. Finalmente, las cuchillas presentan potencial de recarga medio-bajo y bajo.

Tabla 28. Potencial de recarga para cada unidad geomorfológica.

| Geoforma mayor | Unidad geomorfológica | Nomenclatura | Rango de pendientes predominante (°) | Potencial de recarga | |
|---------------------------------|--|--------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--|
| Aluviales | Llanuras de inundación asociadas al río Cauca | Llirc | 0-10 | Potencial de recarga alto | |
| | Llanuras de inundación asociadas a tributarios del río Cauca | Llitr | 0-10 | Potencial de recarga alto | |
| | Terrazas | T | 0-10 | Potencial de recarga alto | |
| | Abanicos aluviales asociados a los tributarios del río Cauca | Aatrc | 0-10 | Potencial de recarga alto | |
| Colinas | Colinas con drenajes medianamente inclinados | Codmi | 0-10 | Potencial de recarga medio a alto | |
| | Colinas bajas de tope redondeado | Cobtr | 0-10 | Potencial de recarga alto | |
| | | | 0-10, 10-20, 20-30 | Potencial de recarga medio a alto | |
| Colinas con control estructural | Coce | 0-10, 10-20, 20-30 | Potencial de recarga medio a alto | | |

| Geoforma mayor | Unidad geomorfológica | Nomenclatura | Rango de pendientes predominante (°) | Potencial de recarga | |
|-----------------|---|--------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--|
| Cerros aislados | Cerros aislados | Ca | 10-20, 0-10 | Potencial de recarga medio | |
| | Cerros aislados | Ca | 20-30, >30, 10-20 | Potencial de recarga bajo a medio | |
| | Cerros aislados | Ca | 20-30, >30 | Potencial de recarga bajo | |
| Vertientes | Vertiente ondulada con baja inclinación | Vobi | >30, 20-30, 10-20 | Potencial de recarga bajo a medio | |
| | Vertientes largas de baja inclinación | VIbi | 10-20, 20-30 | Potencial de recarga bajo a medio | |
| | Vertientes de fuerte inclinación | Vfi | >30, 20-30 | Potencial de recarga bajo | |
| | Vertientes planas de fuerte inclinación | Vpfi | >30, 20-30 | Potencial de recarga bajo | |
| Filos | Filos de topes amplios | Fta | 20-30, 10-20 | Potencial de recarga bajo a medio | |
| | Filos medios con vertientes cortas | Fmvc | 20-30, >30, 10-20 | Potencial de recarga bajo a medio | |
| | Filos con flancos planos | Ffp | >30, 20-30 | Potencial de recarga bajo | |
| Cuchillas | Cuchillas con laderas cortas | Culc | 20-30, >30, 10-20 | Potencial de recarga bajo a medio | |
| | Cuchillas con dirección norte-sur | Cuns | 20-30, >30, 10-20 | Potencial de recarga bajo a medio | |
| | Cuchillas con laderas convexas y planas | Culcp | 20-30, >30, 10-20 | Potencial de recarga bajo a medio | |
| | Cuchillas con laderas planas | Culp | 20-30, >30 | Potencial de recarga bajo | |
| | Cuchillas alargadas con flancos cortos | Cuafc | 20-30, >30 | Potencial de recarga bajo | |

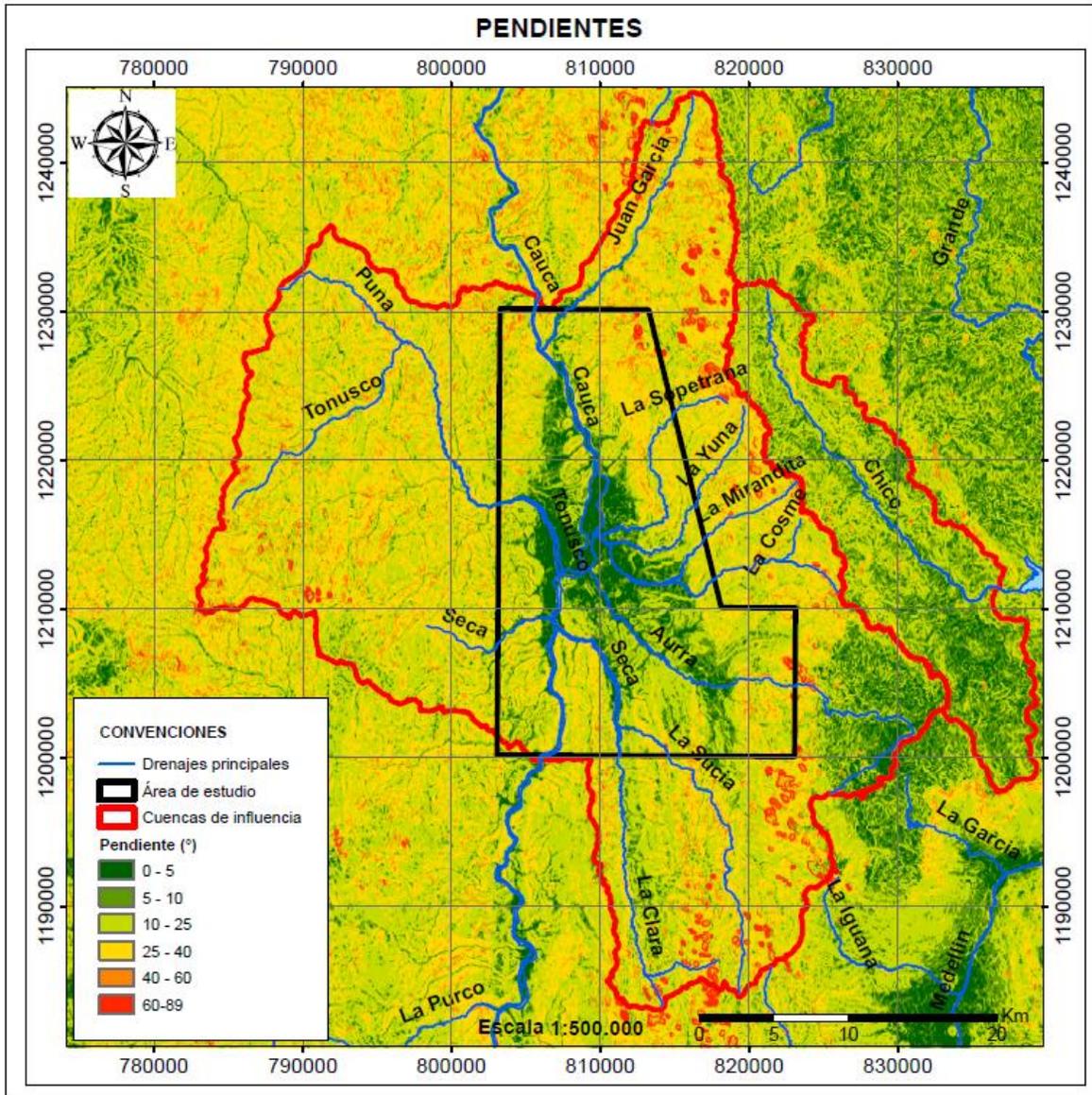


Figura 81. Mapa de pendientes para la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.

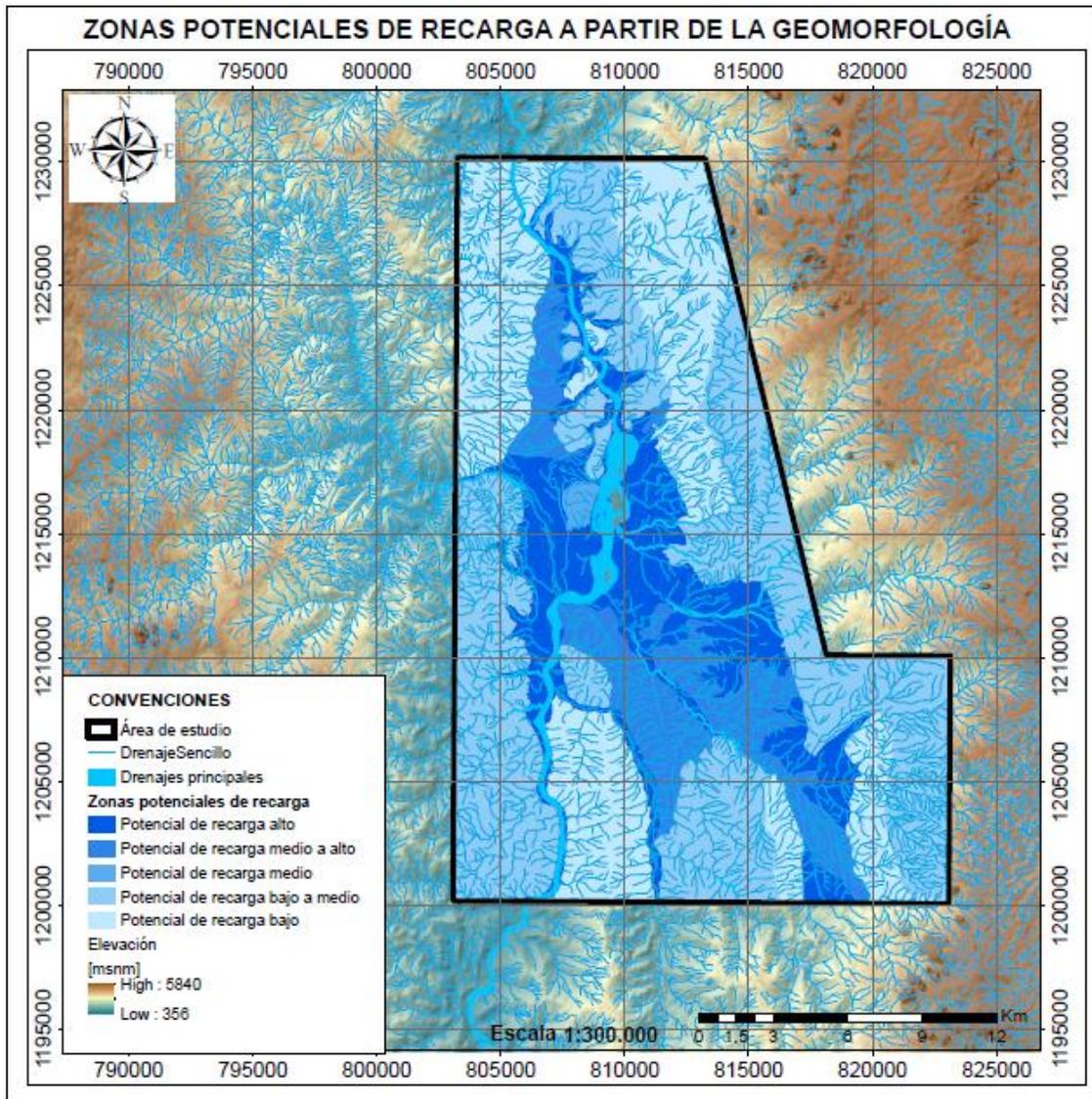


Figura 82. Zonas potenciales de recarga por geomorfología para la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.

7. PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

La prospección geofísica se ejecuta con frecuencia con el fin de obtener información del subsuelo, ya que permite identificar características como estructuras geológicas (fallas, pliegues, estratificación), yacimientos, acuíferos o profundidad del basamento.

En hidrogeología el método geofísico más utilizado es de la resistividad eléctrica (geoeléctrica), que apoyado y combinado con información adicional como unidades geológicas superficiales, columnas estratigráficas de pozos, niveles freáticos o características geomorfológicas, sirve como insumo en la elaboración de modelos hidrogeológicos.

En el estudio realizado por Ortiz y Restrepo (2004) se realizó la prospección geoeléctrica para la zona de estudio, con la ejecución de 96 sondeos eléctricos verticales (SEV), que procesados y analizados, permiten obtener los mapas de isorresistividades para el área de interés. En este capítulo se presentarán los resultados obtenidos en el estudio mencionado.

7.1 MÉTODO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA EMPLEADO

El método de resistividad eléctrica consiste fundamentalmente en estudiar las variaciones de la resistividad eléctrica (ρ) en el subsuelo, que es la propiedad que poseen los diferentes materiales, de oponerse al flujo de corriente eléctrica (inverso a conductividad), en presencia de un campo eléctrico. 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.

El método está basado en la aplicación de la ley de Ohm. En los arreglos, se emplean 4 electrodos (dos de corriente: A y B, dos de potencial: M y N), un medidor de potencial, un medidor de corriente y una fuente de corriente. Los electrodos A y B generan equipotenciales que miden los electrodos M y N.

Para hacer sondeos eléctricos verticales (SEV) se pueden utilizar dos arreglos según la disposición de los electrodos. El arreglo Schlumberger (Figura 83), en el cual se deja fija la distancia MN entre los electrodos de potencia y se varía, incrementando sucesivamente la distancia AB entre los electrodos de corriente y el arreglo Wenner (Figura 84), que varía la distancia MN y AB para cada

medida. Ambos arreglos son rectilíneos alineados con un centro O y se realizan en terrenos planos.

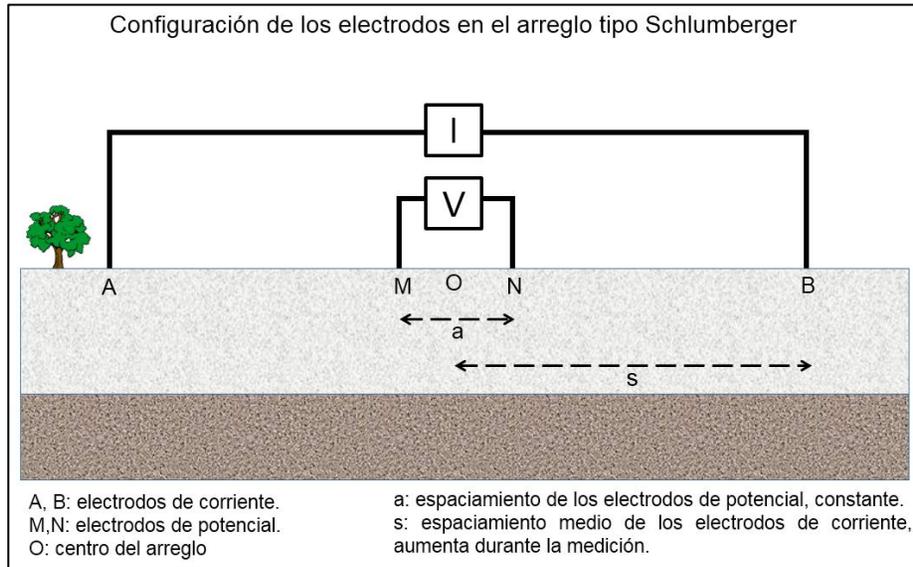


Figura 83.Arreglo tipo Schlumberger. Fuente: Elaboración propia.

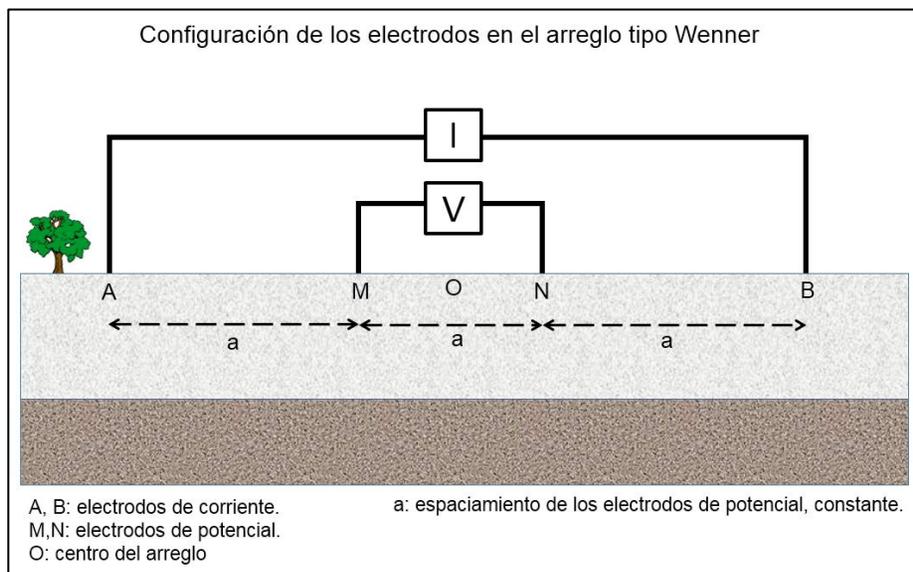


Figura 84.Arreglo tipo Wenner. Fuente: Elaboración propia.

En los SEV ejecutados por Ortiz y Restrepo (2004) se utilizó el arreglo Schlumberger.

7.2 RESISTIVIDAD EN LAS ROCAS

La conductividad eléctrica (propiedad de conducir corriente eléctrica) es la inversa de la resistividad. La conductividad en las rocas puede ser metálica (eléctrica) o electrolítica (iónica). La conductividad metálica se caracteriza por el transporte de electrones en la misma matriz de la roca (esquistos grafitosos). La conductividad electrolítica se debe al desplazamiento de los iones contenidos en el agua contenida en la roca y es el tipo de conductividad que presentan la mayoría de rocas (Ortiz y Restrepo, 2004). La Tabla 29 muestra las resistividades generales asociadas a cada material.

La resistividad de las rocas saturadas que tienen conductividad electrolítica es función decreciente de: (1) la porosidad total, (2) la conductividad del agua contenida en ellas, que es mayor, cuando aumenta la cantidad de sales disueltas y la temperatura, (3) la distribución y forma de poros y fisuras (Ortiz y Restrepo, 2004).

Tabla 29. Resistividad de las aguas y rocas (Astier, 1982 en Ortiz y Restrepo, 2004).

| Material | Resistividad (ohm - m) |
|----------------------------------|------------------------|
| Agua de mar | 0.2 |
| Agua de acuíferos aluviales | 10-30 |
| Agua de fuentes | 50-100 |
| Arenas y gravas secas | 1000-10000 |
| Arenas y gravas con agua dulce | 50-500 |
| Arenas y gravas con agua salada | 0.5-5 |
| Arcillas | 2-20 |
| Margas | 20-100 |
| Calizas | 300-10000 |
| Areniscas arcillosas | 50-300 |
| Areniscas cuarcitas | 300-10000 |
| Cineritas, tobas volcánicas | 20-100 |
| Lavas | 300-10000 |
| Esquistos grafitosos | 0.5-5 |
| Esquistos arcillosos o alterados | 100-300 |
| Esquistos sanos | 300-3000 |
| Gneis, granito alterados | 100-1000 |
| Gneis, granito sano | 1000-10000 |

En rocas estratificadas la resistividad varía con la dirección de la corriente, es decir, los valores mínimo y máximo corresponden respectivamente cuando la corriente viaja paralela y perpendicularmente a la estratificación. Estas variaciones pueden ser de algunas unidades (Astier, 1982 en Ortiz y Restrepo, 2004).

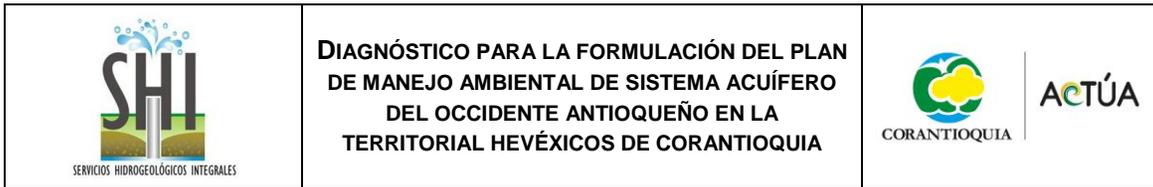
7.3 SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES (SEV)

En el estudio realizado por Ortiz y Restrepo (2004) se hicieron un total de 96 SEV, de los cuales 15 son calibraciones para obtener los rangos de resistividad de las unidades geológicas presentes. Los sondeos se concentraron en los depósitos cuaternarios, que son las zonas con mayor potencial desde el punto de vista de aguas subterráneas.

A partir de los sondeos de calibración se obtuvo que los valores de resistividad de la roca metamórfica (esquistos y anfibolitas) son parecidos a los que presenta la Formación Amagá (sedimentaria) y, los valores de resistividad del Batolito de Sabanalarga son similares a los mostrados en las secuencias de gravas arenosas de los depósitos cuaternarios en las terrazas aluviales (Ortiz y Restrepo, 2004). En la Tabla 30 se muestran los rangos de resistividades para las diferentes rocas presentes en el área de trabajo.

Tabla 30. Rangos de resistividad eléctrica para las rocas de la zona de estudio medidas en campo. Tomado de Ortiz y Restrepo (2004).

| Tipo de Material | | Resistividad (ohm – m) | |
|------------------------|---|---|--------|
| Rocas sedimentarias | Secuencia El Tunal | 20-40 | |
| | Formación Amagá | Areniscas medias | 20-50 |
| | | Areniscas conglomeráticas y conglomerados | 60-120 |
| Rocas metamórficas | Anfibolita fresca | 100-130 | |
| | Anfibolita meteorizada | 30-80 | |
| | Esquistos meteorizados | 20-30 | |
| Rocas ígneas | Batolito de Sabanalarga meteorizado | 15-25 | |
| | Batolito de Sabanalarga fresco | 190-270 | |
| Depósitos cuaternarios | Intercalaciones de arenas finas, limos y arcillas | 10-15 | |
| | Arenas con menor contenido de grava | 50-200 | |
| | Arenas con mayor contenido de grava | 150-1000 | |



Las rocas metamórficas e ígneas, presentan bajos valores de resistividad eléctrica, que podrían explicarse por las siguientes hipótesis (Ortiz y Restrepo, 2004):

- Posterior a la evaporación del agua precipitada en climas semiáridos, se produce la depositación, disolución y transporte de sales en el agua de infiltración, la cual, se va acumulando entre las fisuras de las rocas, dejando la matriz rocosa más conductora, y por consiguiente, menos resistiva.
- Las rocas metamórficas, las cuales están afectadas por tectónica, se encuentran diaclasadas y meteorizadas, lo que favorece el fenómeno mencionado anteriormente.
- El agua acumulada en los materiales cuaternarios, puede estar meteorizando la roca sedimentaria terciaria que se encuentra debajo, lo cual puede dificultar la percepción de un contraste en los valores de resistividad en la transición de ambas formaciones.

A partir de los SEV de calibración realizados en las terrazas del abanico del río Tonusco y datos de los niveles freáticos, se redefinen los rangos de los valores de resistividad de los depósitos cuaternarios, para clasificarlos en secos y saturados (Tabla 31). Ubicados en las terrazas del río Cauca; en inmediaciones del sector de La Florida (Sopetrán) y en la zona denominada La Isla (aeropuerto Santa Fe de Antioquia) que muestran las mismas secuencias (Ortiz y Restrepo, 2004).

Tabla 31. Rangos de resistividad para los depósitos cuaternarios. Tomado de Ortiz y Restrepo (2004).

| Tipo de material cuaternario | Resistividad (ohm - m) | |
|---|------------------------|-----------|
| | Secas | Saturadas |
| Intercalaciones de arenas finas, limos y arcillas | 5-80 | 0 - 50 |
| Arenas con menor contenido de grava | 80 - 200 | 50 - 150 |
| Arenas con mayor contenido de grava | 200 -1000 | 150 - 500 |

La Tabla 32 muestra el número de SEV de calibración para cada unidad y la Tabla 33, el número de sondeos por sector o cuenca.

Tabla 32. Número de SEV de calibración para cada unidad geológica. Tomado de Ortiz y Restrepo (2004).

| Unidad geológica | N° de SEV |
|-------------------------|-----------|
| Formación Amagá | 3 |
| Batolito de Sabanalarga | 2 |
| Rocas metamórficas | 3 |
| Depósitos Tonusco | 1 |
| Secuencia El Tunal | 1 |

| | | |
|---|--|---|
|  <p>SERVICIOS HIDROGEOLOGICOS INTEGRALES</p> | DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO EN LA TERRITORIAL HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA |  |
|---|--|---|

| Unidad geológica | N° de SEV |
|--------------------------------------|-----------|
| Depósitos del río Cauca | 2 |
| Contacto Depósito - Roca metamórfica | 2 |
| Depósitos río Aurrá | 1 |

Tabla 33. Número de SEV por sector o cuenca en la zona de estudio. Tomado de Ortiz y Restrepo (2004).

| Sector o cuenca | N° de SEV |
|------------------|-----------|
| Tonusco | 16 |
| La Florida | 6 |
| La Isla | 7 |
| Aurrá | 10 |
| San Jerónimo | 14 |
| Sopetrán | 14 |
| El Tunal | 5 |
| Sondeos Aislados | 9 |

En la Figura 85 puede observarse la distribución geográfica de los sondeos en la zona de estudio y la Tabla 34 muestra las características de cada SEV (tomado de Ortiz y Restrepo, 2004).

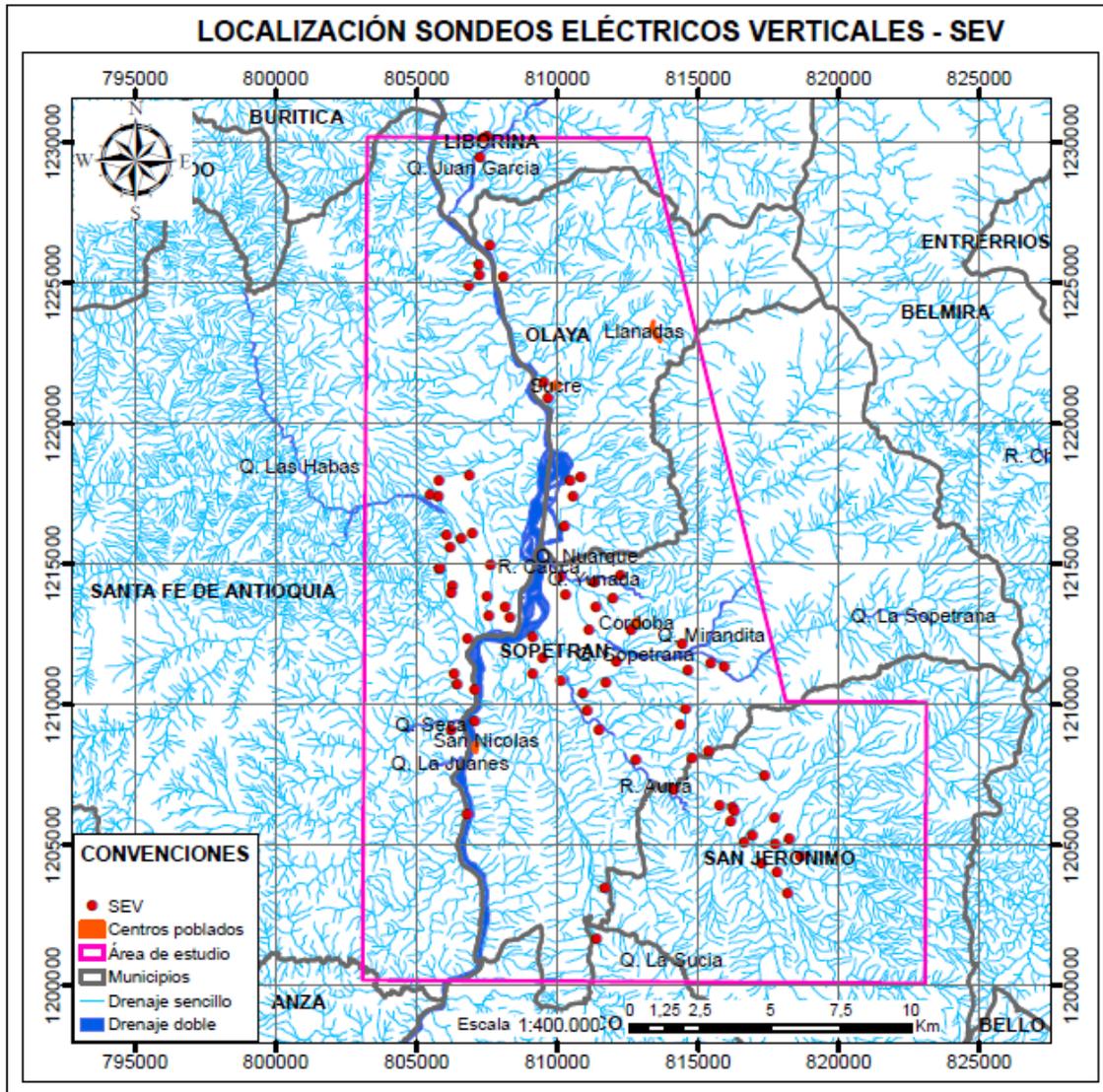


Figura 85. Localización de los sondeos eléctricos verticales (SEV) en la zona de estudio. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo, 2004.

Tabla 34. Características de los SEV ejecutados en el estudio de Ortiz y Restrepo (2004).

| ID SEV | SEV N° | Coordenada X | Coordenada Y | Cota (m) | Longitud (m) | Rumbo |
|--------|--------|--------------|--------------|----------|--------------|-------|
| 1 | 12 | 807487 | 1230202 | 640 | 160 | N30E |
| 2 | 13 | 807364 | 1230195 | 647 | 55 | N25W |
| 3 | 14 | 807250 | 1229486 | 600 | 40 | EW |
| 4 | 15 | 807603 | 1226329 | 450 | 150 | N5E |
| 5 | 20 | 807202 | 1225684 | 450 | 85 | N10W |



**DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN
DE MANEJO AMBIENTAL DE SISTEMA ACUÍFERO
DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO EN LA
TERRITORIAL HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA**



ACTÚA

| ID SEV | SEV N° | Coordenada X | Coordenada Y | Cota (m) | Longitud (m) | Rumbo |
|--------|--------|--------------|--------------|----------|--------------|-------|
| 6 | 21 | 807221 | 1225265 | 460 | 80 | EW |
| 7 | 16 | 808087 | 1225212 | 475 | 70 | N45E |
| 8 | 22 | 806849 | 1224923 | 490 | 105 | N50E |
| 9 | 18 | 809517 | 1221472 | 475 | 150 | |
| 10 | 19 | 809669 | 1220922 | 477 | 155 | S50W |
| 11 | 25 | 806878 | 1218154 | 580 | 130 | N85W |
| 12 | 28 | 810820 | 1218105 | 462 | 210 | N60E |
| 13 | 27 | 810450 | 1217976 | 460 | 110 | NS |
| 14 | 24 | 805787 | 1217974 | 620 | 85 | N55W |
| 15 | 23 | 805481 | 1217490 | 560 | 80 | N75E |
| 16 | 33 | 810560 | 1217395 | 463 | 250 | N45E |
| 17 | 91 | 805785 | 1217390 | 550 | 130 | N20W |
| 18 | 86 | 810244 | 1216373 | 460 | 135 | N15E |
| 19 | 37 | 806979 | 1216095 | 510 | 75 | N30W |
| 20 | 94 | 806066 | 1216031 | 535 | 75 | NS |
| 21 | 1 | 806569 | 1215924 | 515 | 140 | N50W |
| 22 | 7 | 806178 | 1215575 | 520 | 180 | N15W |
| 23 | 88 | 807632 | 1214977 | 510 | 70 | N50E |
| 24 | 8 | 805807 | 1214870 | 535 | 190 | N20W |
| 25 | 78 | 805807 | 1214870 | 536 | 105 | N50W |
| 26 | 79 | 812240 | 1214572 | 455 | 27 | N60E |
| 27 | 96 | 810097 | 1214536 | 461 | 100 | N80W |
| 28 | 34 | 811317 | 1214379 | 485 | 170 | N80W |
| 29 | 45 | 806266 | 1214207 | 490 | 120 | N55E |
| 30 | 2 | 806212 | 1213946 | 484 | 160 | N70E |
| 31 | 38 | 810281 | 1213885 | 450 | 120 | N15E |
| 32 | 31 | 807483 | 1213872 | 480 | 185 | N15E |
| 33 | 46 | 811977 | 1213772 | 485 | 55 | |
| 34 | 10 | 808153 | 1213485 | 475 | 110 | N8E |
| 35 | 95 | 811365 | 1213437 | 485 | 150 | N30W |
| 36 | 11 | 807550 | 1213193 | 472 | 130 | N10W |
| 37 | 9 | 808325 | 1213067 | 452 | 110 | N20E |
| 38 | 47 | 812617 | 1212687 | 539 | 90 | N50E |
| 39 | 44 | 811113 | 1212627 | 493 | 120 | N50W |
| 40 | 92 | 809118 | 1212400 | 450 | 85 | N10W |
| 41 | 35 | 806809 | 1212333 | 450 | 135 | N25E |



**DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN
DE MANEJO AMBIENTAL DE SISTEMA ACUÍFERO
DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO EN LA
TERRITORIAL HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA**



ACTÚA

| ID SEV | SEV N° | Coordenada X | Coordenada Y | Cota (m) | Longitud (m) | Rumbo |
|--------|--------|--------------|--------------|----------|--------------|-------|
| 42 | 39 | 814436 | 1212133 | 640 | 80 | N50E |
| 43 | 30 | 809463 | 1211651 | 474 | 165 | |
| 44 | 40 | 812097 | 1211553 | 522 | 200 | N70E |
| 45 | 83 | 815469 | 1211456 | 710 | 100 | N30W |
| 46 | 82 | 815934 | 1211352 | 739 | 95 | N60W |
| 47 | 41 | 814626 | 1211195 | 659 | 70 | N55W |
| 48 | 60 | 809122 | 1211122 | 475 | 210 | N30W |
| 49 | 36 | 806338 | 1211102 | 459 | 160 | N15E |
| 50 | 52 | 810129 | 1210833 | 460 | 65 | N20E |
| 51 | 42 | 811722 | 1210772 | 510 | 50 | N80W |
| 52 | 5 | 806440 | 1210754 | 455 | 85 | WE |
| 53 | 4 | 807065 | 1210550 | 455 | 15 | N10E |
| 54 | 43 | 810915 | 1210425 | 480 | 190 | |
| 55 | 81 | 814559 | 1209827 | 725 | 90 | N40E |
| 56 | 51 | 811067 | 1209746 | 484 | 160 | N50W |
| 57 | 55 | 807064 | 1209401 | 450 | 150 | N20E |
| 58 | 80 | 814372 | 1209315 | 720 | 74 | N75W |
| 59 | 50 | 811477 | 1209119 | 485 | 145 | N45W |
| 60 | 6 | 806219 | 1209104 | 501 | 100 | NS |
| 61 | 48 | 815372 | 1208325 | 577 | 110 | N35E |
| 62 | 49 | 814781 | 1208081 | 570 | 85 | N80E |
| 63 | 87 | 812796 | 1208006 | 503 | 175 | N50E |
| 64 | 71 | 817371 | 1207447 | 841 | 115 | EW |
| 65 | 76 | 814135 | 1206997 | 529 | 65 | N15E |
| 66 | 75 | 815765 | 1206385 | 753 | 45 | N20E |
| 67 | 70 | 816231 | 1206328 | 750 | 100 | N60E |
| 68 | 72 | 816291 | 1206222 | 740 | 60 | N50E |
| 69 | 32 | 806789 | 1206071 | 462 | 150 | N10W |
| 70 | 68 | 817710 | 1205999 | 800 | 100 | N60W |
| 71 | 69 | 816152 | 1205830 | 723 | 75 | N50E |
| 72 | 73 | 816933 | 1205339 | 710 | 45 | N70W |
| 73 | 67 | 818246 | 1205245 | 755 | 130 | EW |
| 74 | 59 | 816636 | 1205075 | 677 | 70 | N80E |
| 75 | 74 | 817750 | 1205012 | 706 | 85 | N70W |
| 76 | 65 | 818645 | 1204587 | 761 | 100 | N15W |
| 77 | 56 | 817259 | 1204372 | 725 | 76 | N5W |

| ID SEV | SEV N° | Coordenada X | Coordenada Y | Cota (m) | Longitud (m) | Rumbo |
|--------|--------|--------------|--------------|----------|--------------|-------|
| 78 | 66 | 817817 | 1204003 | 770 | 70 | N35W |
| 79 | 54 | 811680 | 1203455 | 650 | 180 | N5E |
| 80 | 57 | 818196 | 1203292 | 830 | 165 | N5W |
| 81 | 53 | 811407 | 1201654 | 608 | 290 | N16W |

7.3.1 Interpretación de los SEV

La interpretación de un SEV tiene como fin correlacionar las resistividades aparentes obtenidas con los tipos de roca. En la Figura 86 se muestra la correlación de los datos obtenidos en el SEV 75 con una columna estratigráfica según los valores de resistividad. La curva de resistividades aparentes se genera graficando en una hoja Log-Log los valores de resistividad en las ordenadas y las distancias AB/2 en las abscisas.

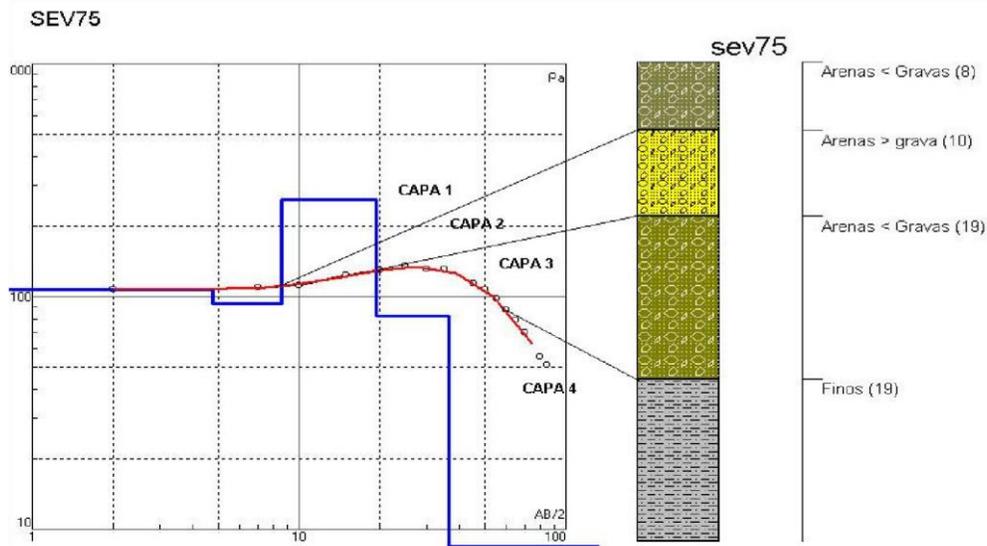


Figura 86. Gráfica de columnas geoelectricas con base en las curvas. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo, 2004.

El análisis consiste en determinar las capas de roca con sus espesores a partir de las variaciones de las resistividades aparentes. Estas variaciones definen los tramos de la curva que son ascendentes o descendentes, con cambios de concavidad, según la disposición de los estratos, ya

que pueden pasar de mayores a menores resistividades o viceversa (Figura 87). Si es necesario se depuran puntos que están por fuera de la tendencia que muestra la curva (Ortiz y Restrepo, 2004).

En el estudio realizado por Ortiz y Restrepo (2004) los SEV se interpretaron utilizando el software IPI2WIN (de dominio público, desarrollado en la Universidad Estatal de Rusia).

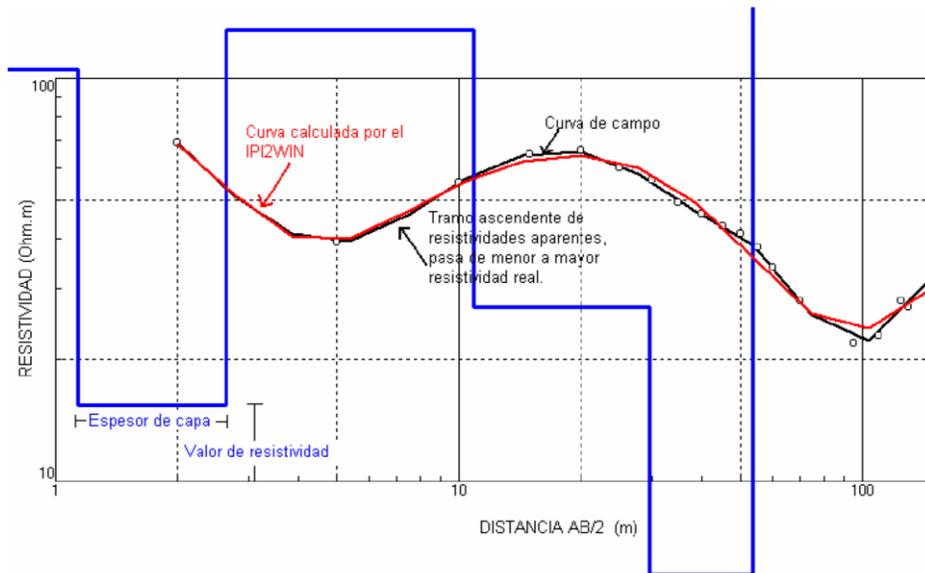


Figura 87. Curva correspondiente al SEV 17 en el sector del Tonusco, cercanías al casco urbano de Santa Fe de Antioquia. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo, 2004.

Con el IPI2WIN se pueden hacer correlaciones entre sondeos (interpretados) para tratar de visualizar por medio de transectos, la variación y continuidad espacial de los estratos. Estas son de gran utilidad para la realización del modelo hidrogeológico. Uno de tales transectos se muestra en la Figura 88 (Ortiz y Restrepo, 2004).

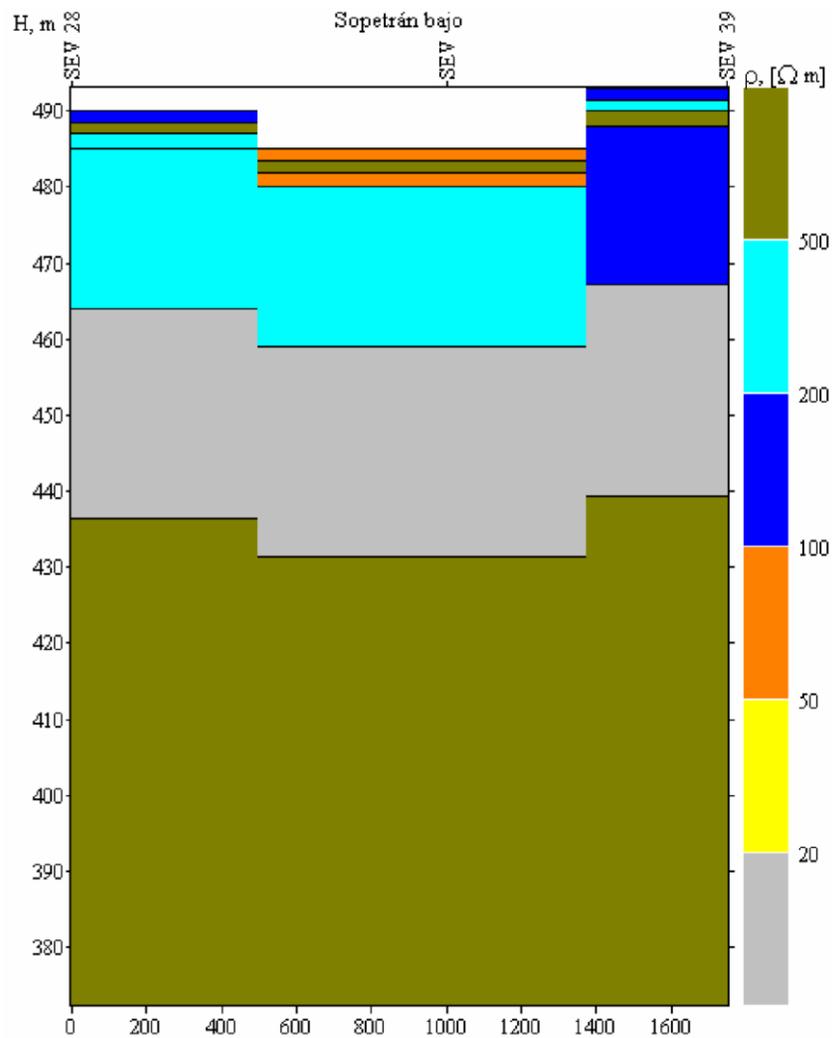
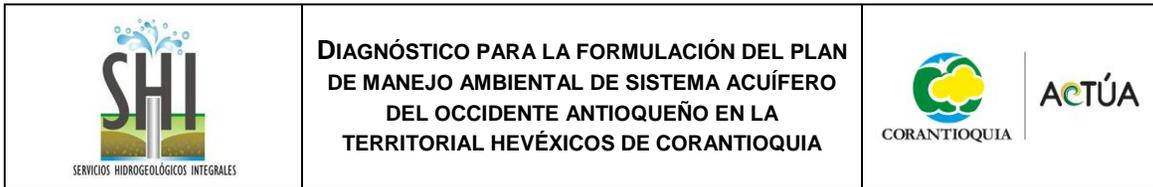


Figura 88. Transecto de la zona de Sopetrán bajo, correlación entre los SEV 28, 35 y 39. Al lado derecho se hace referencia a la gama de colores para cada rango de resistividad, y al lado izquierdo, se muestra la altura sobre el nivel del mar de los techos y fondos de las capas. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo, 2004.

En el análisis de los sondeos se pueden presentar lecturas anómalas de resistividad debido a las variaciones laterales o inclinación de estratos, ya que según la teoría del método de la resistividad eléctrica, los estratos deben ser continuos y horizontales. También se pueden atribuir a efectos artificiales como canales de agua, tuberías enterradas metálicas, cimentaciones, etc. Estos valores anómalos requieren un conocimiento claro de la geología: buzamientos de estratos, presencia de



fallas, y el reconocimiento de otros efectos artificiales que influyan en el SEV y que se reflejan en la forma de la curva de resistividades (Ortiz y Restrepo, 2004).

7.3.2 Mapas de isorresistividad

Los mapas de isorresistividades presentan una idea general de cómo se comportan las resistividades a diferentes profundidades, ofreciendo información importante al momento de relacionar estas resistividades con los rangos definidos para cada tipo de material. Son una herramienta importante al momento de hacer la prospección de aguas subterráneas, si se hace una correcta asociación entre las profundidades, las resistividades y el tipo de material que pueda asociarse a determinada resistividad (Ortiz y Restrepo, 2004).

Ortiz y Restrepo (2004) plantearon 5 mapas de isorresistividad a diferentes profundidades (10 m, 20 m, 30 m, 50 m, 70 m) en las zonas correspondientes a depósitos superficiales, ya que contaban con la mayor cantidad de SEV y son las zonas de mayor interés hidrogeológico. Cada mapa tiene tres rangos de resistividad que corresponden a los definitivos para los depósitos cuaternarios: 0-80 ohm-m para arenas finas con intercalaciones de limos y arcillas; 80-200 ohm-m para arenas con menor contenido de grava y 200-1000 ohm-m para arenas con mayor contenido de grava.

7.3.2.1 Mapa de isorresistividad para 10 m de profundidad

En la Figura 89 se muestra el mapa de resistividades a 10 m de profundidad, donde es posible determinar las zonas con potencial acuífero teniendo en cuenta las resistividades asociadas a materiales saturados. Se observa que a esta profundidad es claro el predominio de los 2 tipos de grava definidos (arenas con menor contenido de grava y arenas con mayor contenido de grava), a excepción de algunas zonas en cercanías a San Jerónimo y cerca de la desembocadura del río Aurrá en el Cauca donde las resistividades se presentan en el rango de 0-80 ohm-m (Ortiz y Restrepo, 2004).

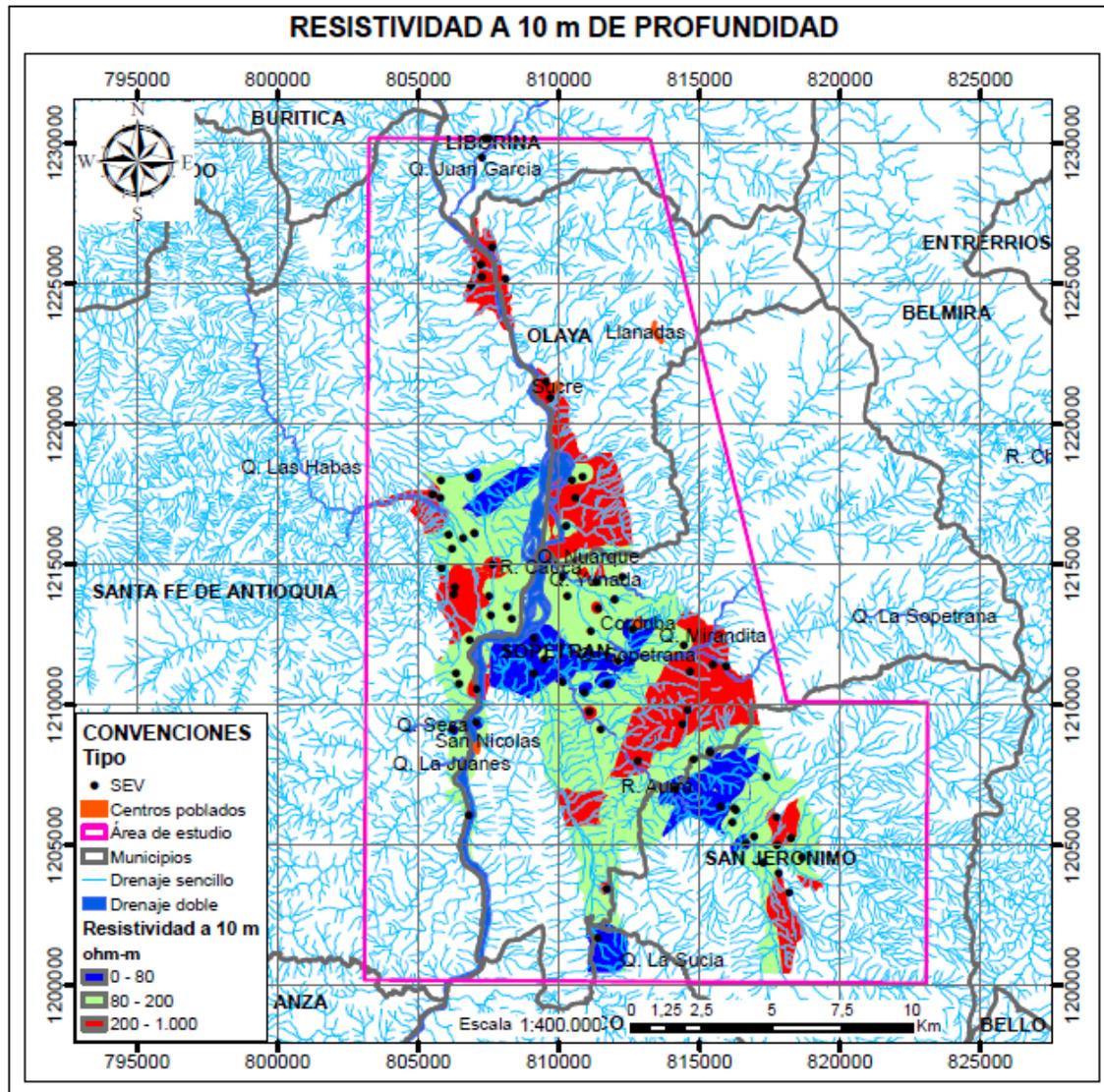
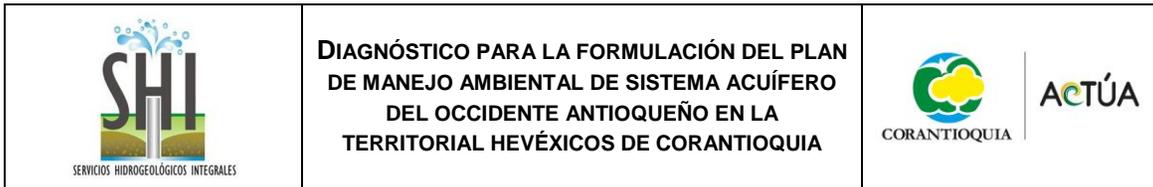


Figura 89. Mapa de isoresistividad para 10 m de profundidad. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo, 2004.

7.3.2.2 Mapa de isoresistividad para 20 m de profundidad

A 20 m de profundidad las resistividades tienen un descenso significativo, sobre todo en el sector del río Aurrá y en cercanías a los municipios de Sopetrán y San Jerónimo. Por otra parte, en el sector Tonusco hubo un descenso menos notable en los valores, predominando las resistividades que varían de 80-200 ohm-m, con algunos sectores con resistividades menores a 80 ohm-m, principalmente en cercanías al río Cauca donde granulométricamente hay una disminución de



7.3.2.3 Mapa de isorresistividad para 30 m de profundidad

La Figura 91 muestra los datos de resistividades a 30 m de profundidad, donde las zonas con valores bajos empiezan a predominar por lo general en el sector de Sopetrán y el río Aurrá, por otra parte el sector del Río Tonusco todavía presenta un predominio de materiales arenosos gruesos según las resistividades presentes (Ortiz y Restrepo, 2004).

Se debe tener en cuenta para la interpretación de estos mapas los rangos de los materiales saturados, que en el caso de los mapas de isorresistividad los rangos no son los mismos, es decir, a 30 m de profundidad el sector de Sopetrán y el río Aurrá presentan las resistividades más bajas, lo que puede indicar presencias de materiales finos y a la vez materiales de granulometría mayor pero saturados (Ortiz y Restrepo, 2004).

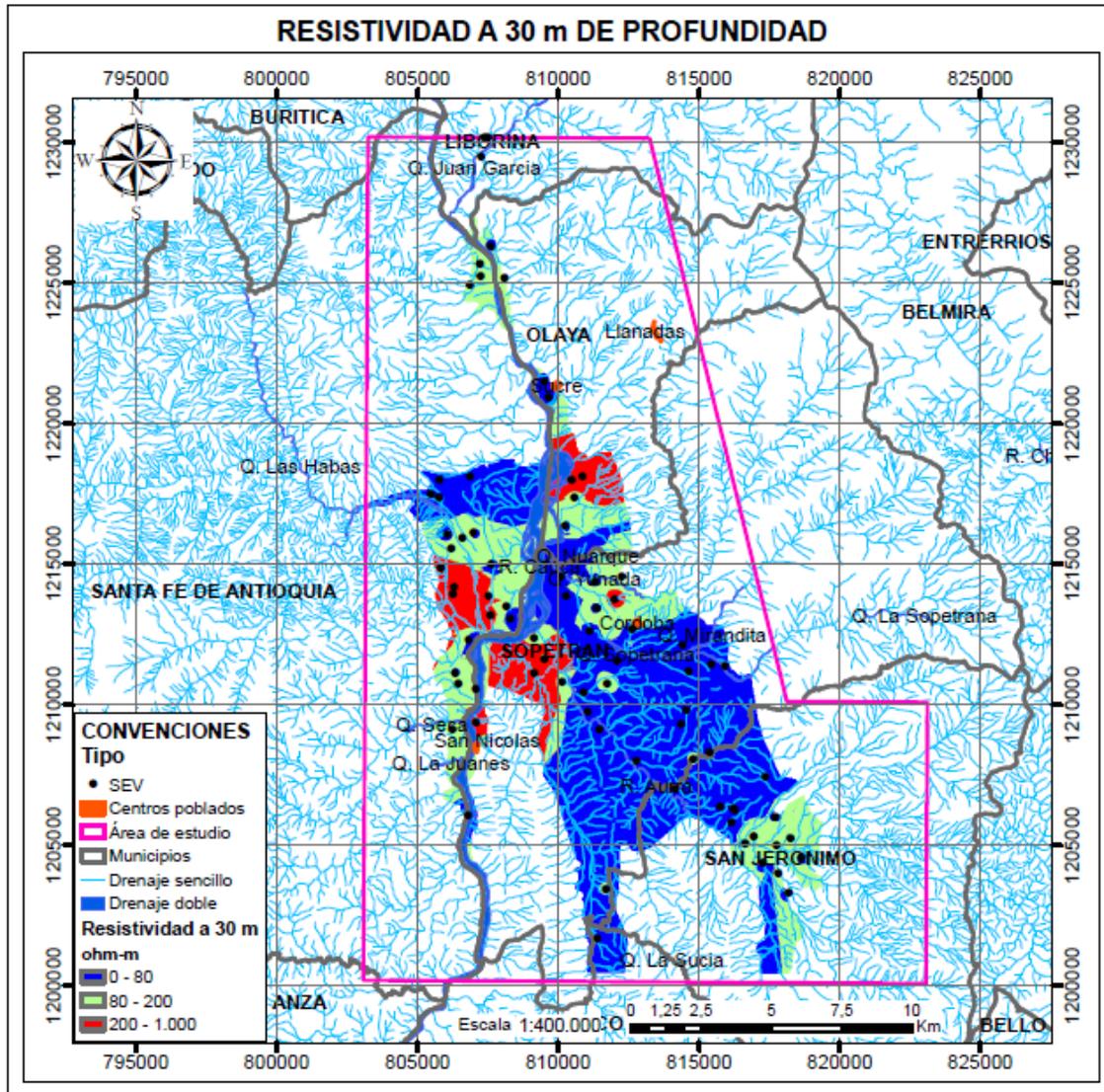


Figura 91. Mapa de isoresistividad para 30 m de profundidad. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo, 2004.

7.3.2.4 Mapa de isoresistividad para 50 m de profundidad

A medida que aumenta la profundidad se presentan resistividades más bajas, lo cual es un buen indicador de los niveles de agua presentes y de las zonas saturadas. A 50 m de profundidad (Figura 92) casi la totalidad de la zona se encuentra con resistividades menores a los 80 ohm-m a excepción del sector en cercanías a La Isla donde algunos afluentes alimentan los depósitos del río

Cauca en esa zona, e igualmente por los lados de la desembocadura del río Aurrá en el Cauca (Ortiz y Restrepo, 2004).

Cerca de los cascos urbanos de Sopetrán y San Jerónimo, se presentan 2 pequeños parches con resistividades cercanas a los 200 ohm-m, que no descartan la presencia de agua debido a rangos de resistividades de materiales saturados entre 150 y 500 ohm-m (Ortiz y Restrepo, 2004).

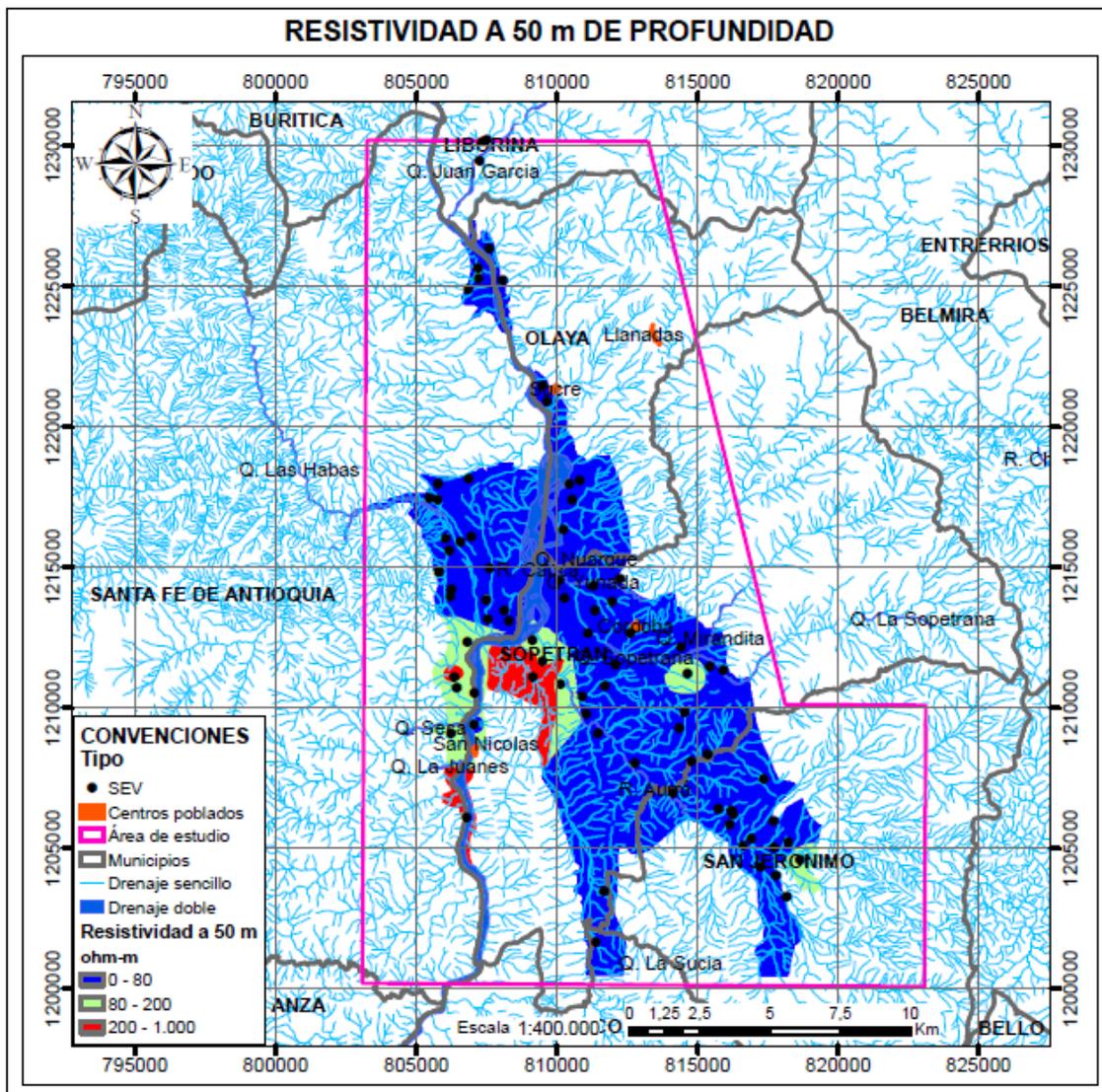
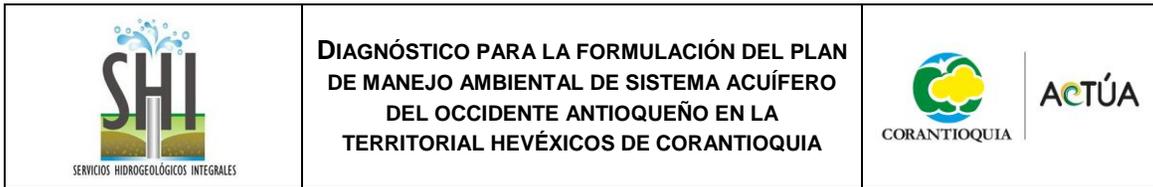


Figura 92. Mapa de isoresistividad para 50 m de profundidad. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo, 2004.



7.3.2.5 Mapa de isorresistividad para 70 m de profundidad

En la Figura 93 muestra los valores de resistividad a 70 m de profundidad, se observa que con excepción de tres pequeños sectores (Tunal, cerca al casco urbano de Sopetrán y cerca de la desembocadura del río Tonusco en el Cauca), la zona presenta las resistividades menores de 80 ohm-m, lo cual es un buen indicio de posible presencia de agua y además corrobora que a esta profundidad no se encuentran todavía resistividades de roca dura que estuvieran actuando como basamento de esos depósitos, teniendo en cuenta las diferentes teorías planteadas por las cuales no se obtuvieron esos contrastes (Ortiz y Restrepo, 2004).

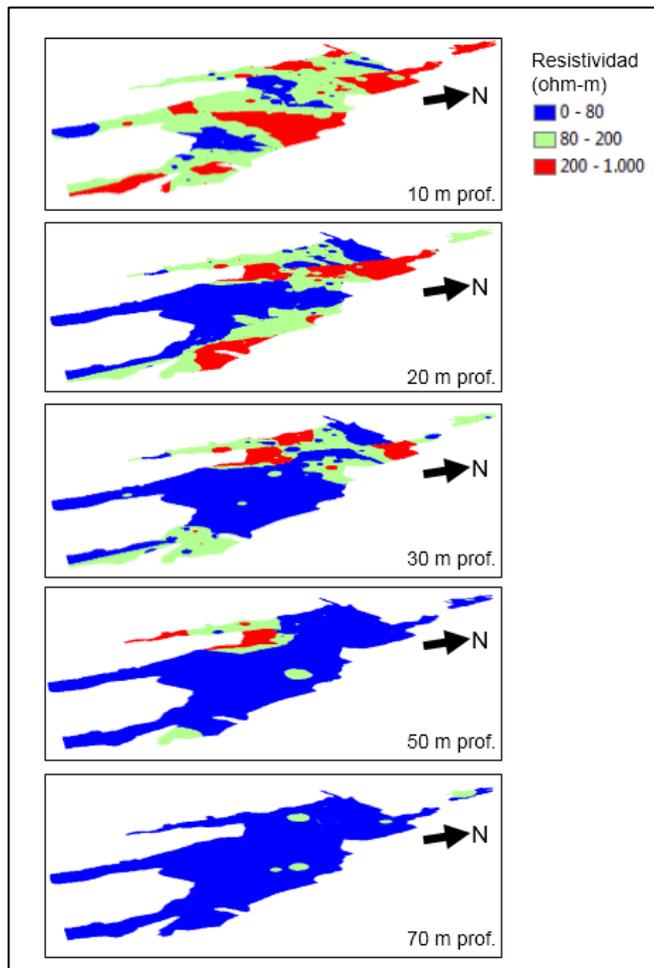


Figura 94. Variación de la resistividad en profundidad. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo, 2004.

El sector del río Tonusco tiene alta variabilidad tanto vertical como lateral en su composición, debido a la dinámica de río trenzado. Esto dificulta la prospección geofísica por la falta de estratos horizontales continuos (Ortiz y Restrepo, 2004).

8. POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO

En Ortiz y Restrepo (2004) se presenta una descripción del potencial acuífero de la zona de estudio, concluido después de analizar información geológica, geofísica, hidráulica, hidrológica y de calidad de aguas subterráneas, que permitió la construcción de un modelo hidrológico y geológico conceptual con el objetivo de definir las unidades hidroestratigráficas. Los resultados obtenidos en esta investigación, se presentan en este capítulo.

8.1 ISOPIEZAS

En el trabajo realizado por Ortiz y Restrepo en 2004 se elaboró el mapa de isopiezas para la zona de estudio con base en datos tomados en campo (nivel de 51 aljibes) y tomando en cuenta las siguientes condiciones: las líneas de flujo (ríos y corrientes) deben ser siempre ortogonales a las líneas equipotenciales (isopiezas); una línea de flujo no puede ser interceptada más de una vez por la misma línea equipotencial, ya que las corrientes avanzan siempre desde los sitios de mayor potencial hacia los de menor (o sea en la dirección decreciente de los valores de las isopiezas) y deben ser paralelas a líneas de nivel constante que tengan conexión hidráulica con el acuífero.

En las campañas de campo ejecutadas para este estudio (febrero, marzo y abril de 2015) se tomaron los niveles de 244 aljibes y a partir de estos datos se ajustó el mapa de isopiezas elaborado por Ortiz y Restrepo (2004), obteniendo el mapa mostrado en la Figura 95. No se observaron cambios significativos respecto al mapa del 2004.

De la figura se observa que el agua fluye desde las cuencas que componen el área de estudio hacia el río Cauca, ya que en la margen izquierda del río la dirección predominante del flujo es de oeste a este y en la margen derecha, es de este a oeste. También puede verse que las isopiezas son prácticamente paralelas al río Cauca, lo que muestra patrones de flujo local. Se observa también, que una menor separación de las isopiezas indica una menor conductividad hidráulica, esto se presenta en las zonas más altas que corresponden a materiales más competentes y por lo tanto menos permeables, así mismo, en las llanuras aluviales aparecen más separadas las isopiezas indicando una mayor permeabilidad (Ortiz y Restrepo, 2004).

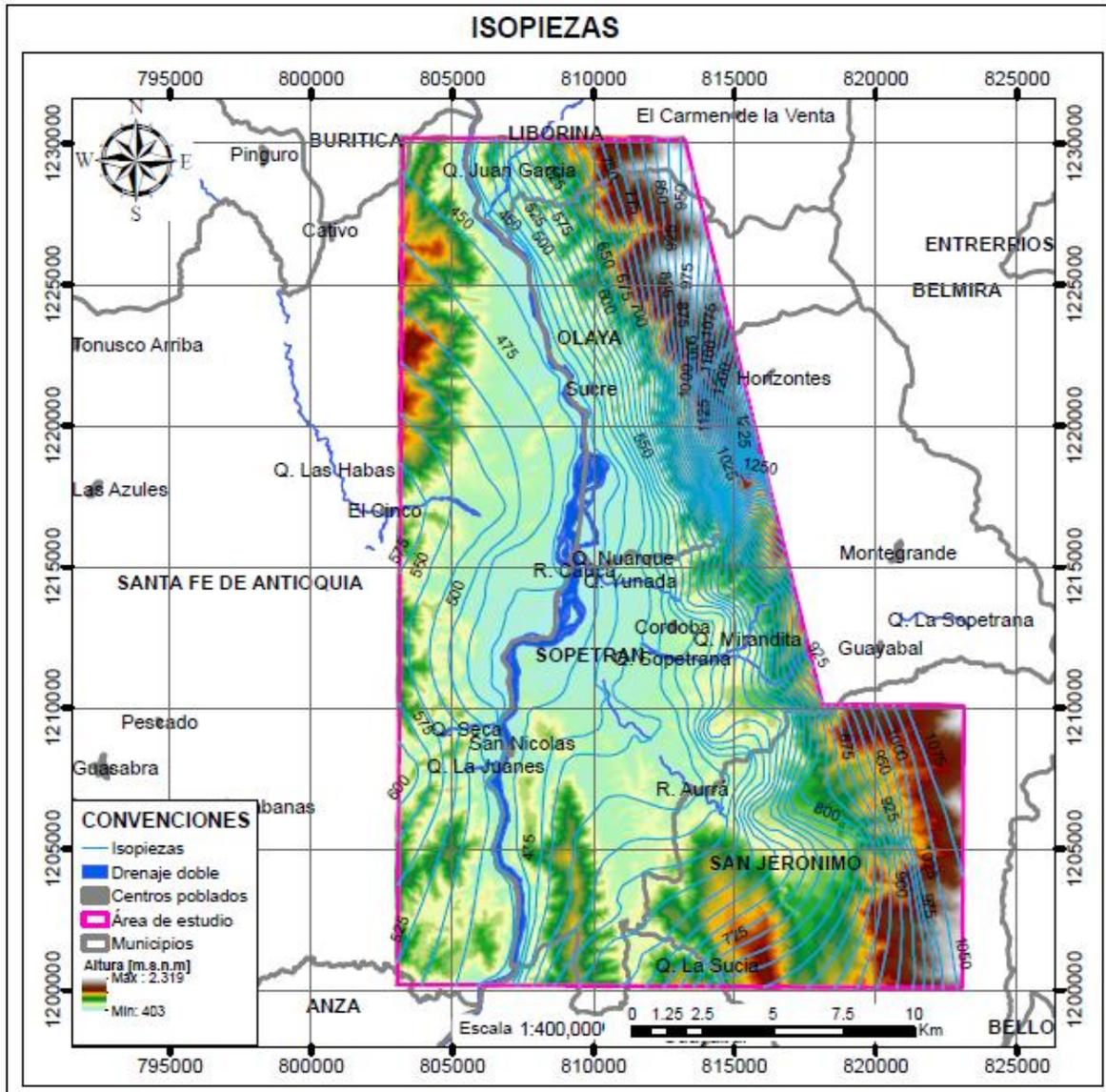
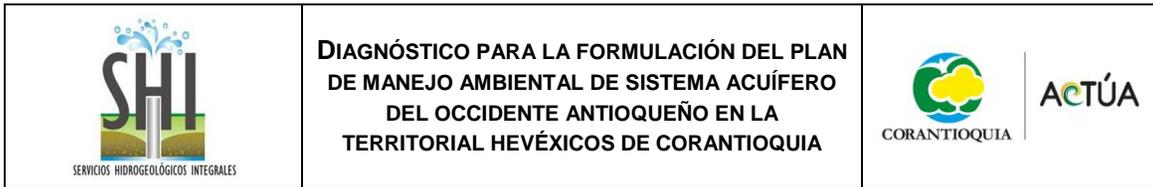


Figura 95. Mapa de isopiez para la zona de estudio. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo, 2004, a partir de los datos tomados en 2015.



8.2 ZONAS CON POTENCIAL ACUÍFERO ALTO

Se presentan dos tipos principales de acuíferos en la zona; los asociados a los materiales aportados por las corrientes principales (quebradas Juan García, La Sopetrana, Tahamí, ríos Aurrá, Tonusco y Cauca) y los acuíferos asociados a los materiales de depósitos de vertiente como es el caso del sector San Jerónimo. Geomorfológicamente corresponden a terrazas del río Cauca y abanicos aluviales de tributarios del mismo, los más aptos para la acumulación de agua (Ortiz y Restrepo, 2004).

Todos los acuíferos se presentan como libres (no hay capas impermeables que formen acuíferos confinados), litológicamente están compuestos por material arenoso con contenido variable de grava y en algunos casos arenas finas y limos poco compactados e igualmente permeables. El espesor de los acuíferos se dedujo por medio de los cortes geológicos, debido a la falta de contrastes de resistividades en materiales impermeables, los espesores se pueden observar en los bloques diagramas (Ortiz y Restrepo, 2004). La Figura 96 muestra la distribución geográfica de estos acuíferos.

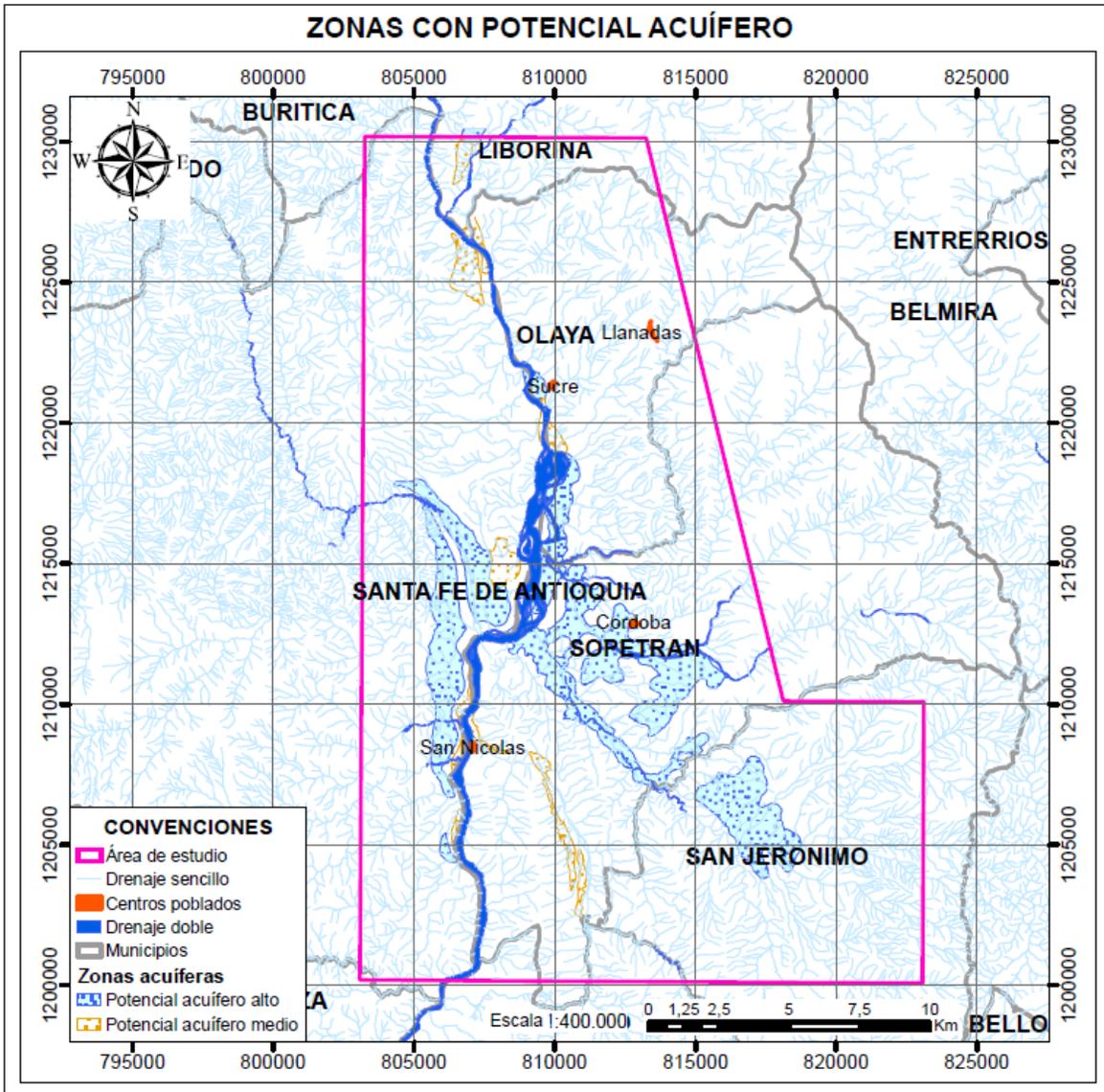


Figura 96. Acuíferos libres en la zona de estudio. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo, 2004.

8.2.1 Acuíferos asociados a depósitos aluviales del río Cauca

El acuífero más importante de este tipo se presenta en el sector La Florida (2.769 km de área superficial) y en pequeñas terrazas al sur de la zona. En el sector La Florida el nivel piezométrico promedio es de 25 m. Tiene espesores variables entre 30 y 40 m, en el sur de la zona existe otro pequeño acuífero aledaño al río Cauca, en cercanías al sector de Cañaveral, en una terraza de 10 a 12 m de altura respecto al río, niveles piezométricos variables de 8 a 10 m y con espesores de

acuífero entre 15 y 20 m. El agua de estos acuíferos es de tipo bicarbonatada y tipo magnésica, sus temperaturas varían entre 27.5 y 28°C, mientras que los valores de pH oscilan entre 7.15 y 7.35 (Ortiz y Restrepo, 2004). La Figura 97 muestra la litología y los espesores de acuífero del sector La Florida.

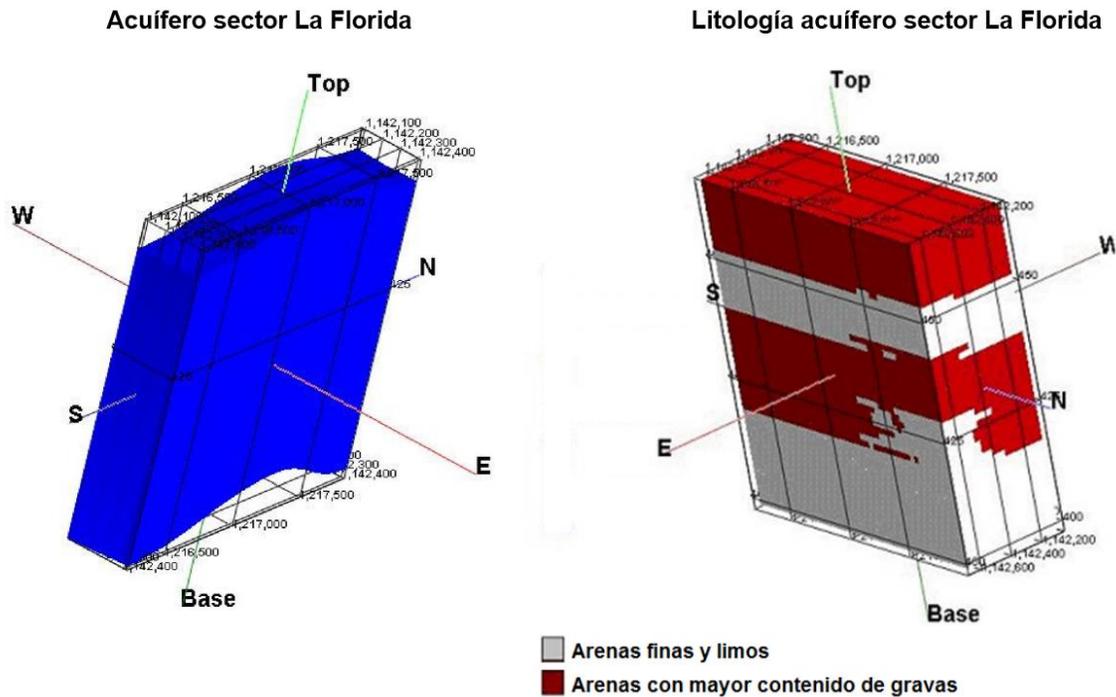


Figura 97. Acuífero sector La Florida. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo, 2004.

8.2.2 Acuíferos asociados a materiales de tributarios del río Cauca

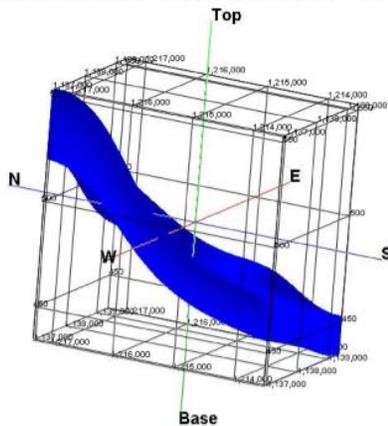
8.2.2.1 Río Tonusco

El acuífero aledaño a ambas márgenes del Tonusco es uno de los de mayor extensión de la zona con área superficial de 12.517 km y niveles piezométricos muy variables a ambas márgenes del río; en la margen derecha el nivel piezométrico se halla constante a 25 m. Tiene espesor variable entre 25 y 55 m, en la margen izquierda del río Tonusco los niveles piezométricos varían desde 8 m en cercanías a Santa Fe de Antioquia hasta 45 m en la parte más alejada del abanico, donde el espesor del depósito es mayor y el espesor de acuífero, deducido de los cortes es 50 m. El agua de este acuífero tiene iones predominantes de bicarbonato y de magnesio, las temperaturas varían

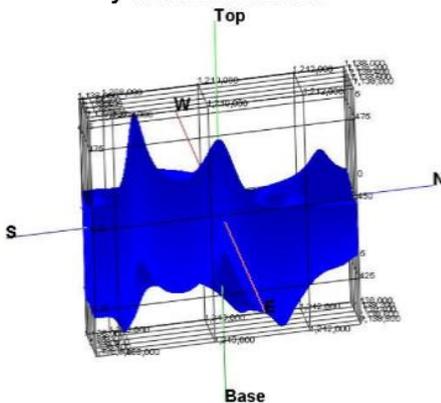
de 26.6 a 32°C y los valores de pH oscilan entre 7.07 y 7.8 (Ortiz y Restrepo, 2004). La Figura 98 muestra la litología y los espesores del acuífero de este sector.

El depósito aluvial del sector de La Isla, se considera extensión del acuífero del Tonusco (Ortiz y Restrepo, 2004).

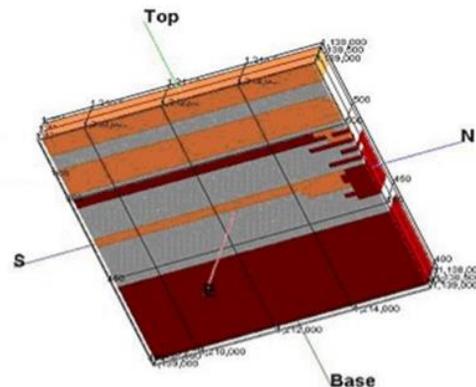
Acuífero margen izquierda del río Tonusco



Acuífero margen izquierda del río Tonusco y del sector La Isla



Litología acuífero sector Tonusco



- Arenas finas y limos
- Arenas con menor contenido de gravas
- Arenas con mayor contenido de gravas

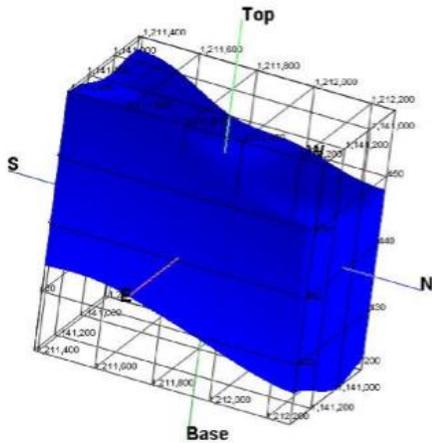
Figura 98.Acuífero sector Tonusco. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo, 2004

8.2.2.2 Río Aurrá

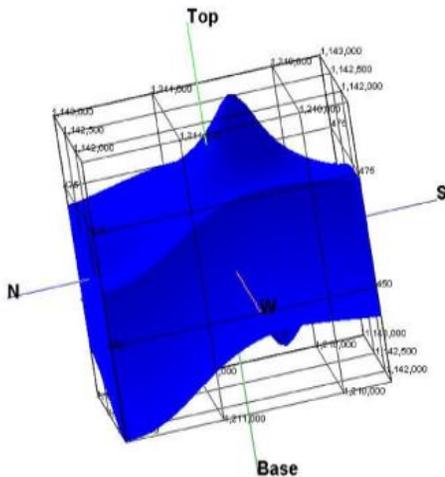
En las terrazas y llanuras de inundación a ambas márgenes del río existen franjas de materiales que contienen agua con profundidades que varían entre los 4 y 13 m respecto a la superficie, espesores de acuífero entre 35 y 50 m, con un área superficial 4.27 km. La Figura 99 presenta la litología y los espesores de los acuíferos modelados en este sector. Químicamente las aguas de

esta zona se presentan como de tipo bicarbonatada y de tipo magnésica, los valores de pH se encuentran entre 6.5 y 7.12, mientras que los valores de temperatura oscilan entre 27.4 y 29.3°C (Ortiz y Restrepo, 2004).

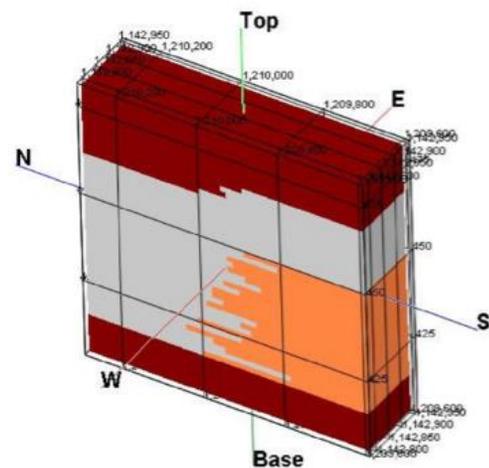
Acuífero margen izquierda río Aura



Acuífero margen derecha río Aura



Litología acuífero río Aura



- Arenas finas y limos
- Arenas con menor contenido de gravas
- Arenas con mayor contenido de gravas

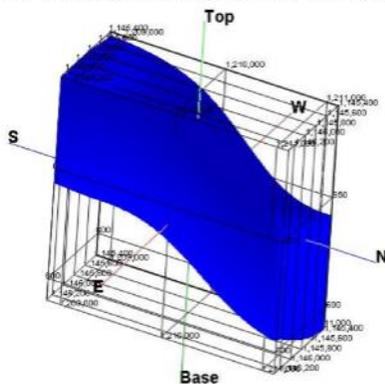
Figura 99.Acuífero río Aurrá. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo, 2004

8.2.2.3 Quebrada La Sopetrana

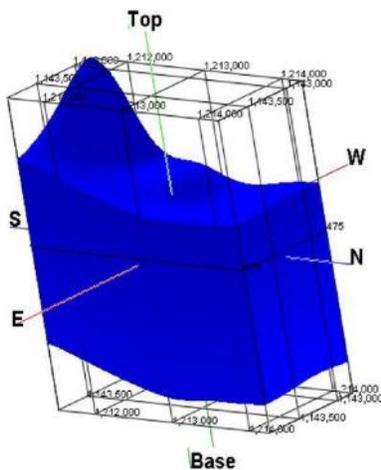
En el abanico de esta quebrada se plantean varios acuíferos separados por colinas de la Formación Amagá que actúan como barreras impermeables. Dentro de los acuíferos se encuentra

el casco urbano del municipio de Sopetrán, que se extiende hasta la desembocadura de La Sopetrana en el río Cauca. Presenta niveles piezométricos que varían desde los 7 m en la parte proximal del abanico hasta 20 m en la parte distal del mismo. La Figura 100 presenta los diagramas litológicos y de espesores de los acuíferos. Según los análisis químicos las muestras de agua que se presentan son de tipo bicarbonatada y de tipo magnésica, los valores de pH varían de 6.42 a 7.07, mientras que la temperatura oscila entre 26.7 y 29.5°C (Ortiz y Restrepo, 2004).

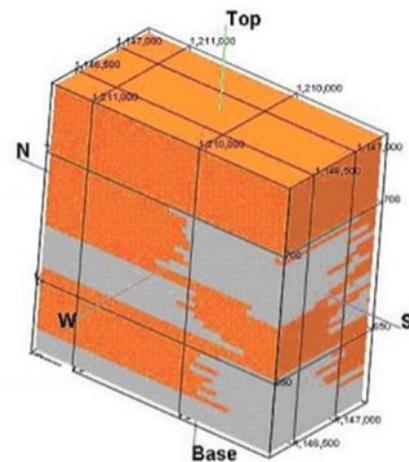
Acuífero parte alta del abanico de La Sopetrana



Acuífero cerca de desembocadura de La Sopetrana en el río Cauca



Litología acuífero de La Sopetrana



- Arenas finas y limos
- Arenas con menor contenido de gravas

Figura 100.Acuífero de La Sopetrana. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo, 2004

8.2.2.4 Quebrada Juan García

En los depósitos de esta quebrada se presenta un acuífero pequeño, en cercanías al casco urbano del municipio de Liborina. Los niveles piezométricos se encuentran a 10 m y los espesores de

acuífero varían de 30 a 45 m. La Figura 101 muestra los diagramas de bloque del sector (Ortiz y Restrepo, 2004).

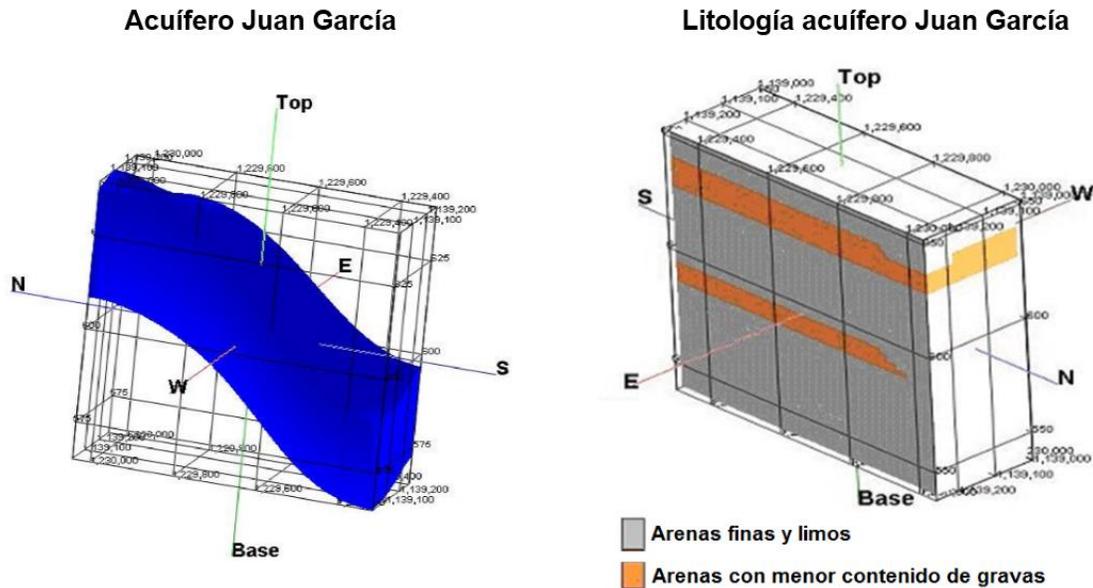


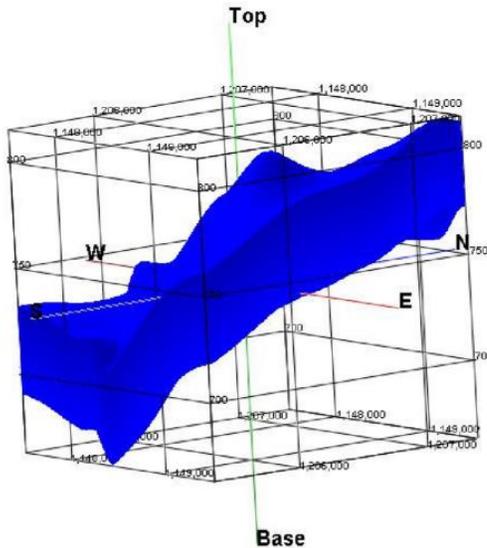
Figura 101. Acuífero Juan García. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo, 2004

8.2.3 Acuíferos asociados a depósitos de vertiente

Además de los depósitos aluviales, en la zona de estudio se presentan depósitos de vertiente con alto potencial acuífero, compuestos principalmente por fragmentos angulosos a subredondeados derivados de las partes altas y que están soportados por una matriz limo-arenosa (Figura 102). Existe solo un acuífero importante que abarca el casco urbano del municipio de San Jerónimo y las poblaciones de El Tesoro, El Llano de Aguirre, La Granja, El Hato y Leticia, con un área de 6.974 km (Ortiz y Restrepo, 2004).

Los niveles piezométricos de este acuífero son variables, desde los 2 m en la parte oriental hasta los 25 m en el occidente, cerca al contacto entre el depósito y la Formación Amagá que aflora en este sector. Los espesores pueden variar de 30 a 60 m (Figura 102). De las muestra tomadas por Ortiz y Restrepo (2004) se obtuvo que 2 de las muestras son de tipo magnésica y 3 sin tipo iónico dominante, para los aniones todas fueron clasificadas como de tipo bicarbonatada, pH entre 7.5 y 8.5, mientras que la temperatura varía entre 28.4 y 29.3°C (Ortiz y Restrepo, 2004).

Acuífero San Jerónimo



Litología acuífero San Jerónimo

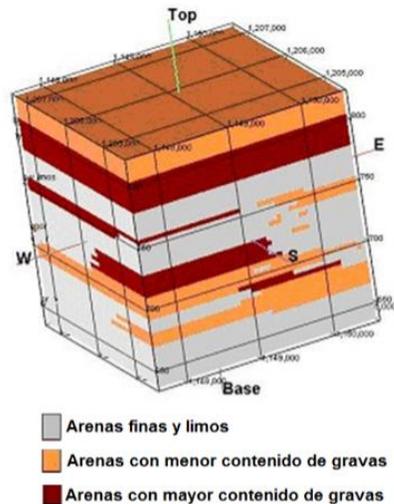


Figura 102. Acuífero San Jerónimo. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo, 2004

8.3 ZONAS CON POTENCIAL ACUÍFERO MEDIO

En Ortiz y Restrepo (2004) se consideraron como zonas de potencial acuífero medio las zonas geológicamente aptas y de características similares a las zonas definidas como acuíferos libres, pero de las cuales no se tiene la certeza total de contener agua.

Estas zonas se concentran principalmente en las llanuras de inundación y pequeñas terrazas de la quebrada Juan García, río Cauca en cercanías del municipio de Olaya, abanico aluvial del corregimiento de Sucre (Ortiz y Restrepo, 2004). La Figura 103 muestra la ubicación de estas zonas.

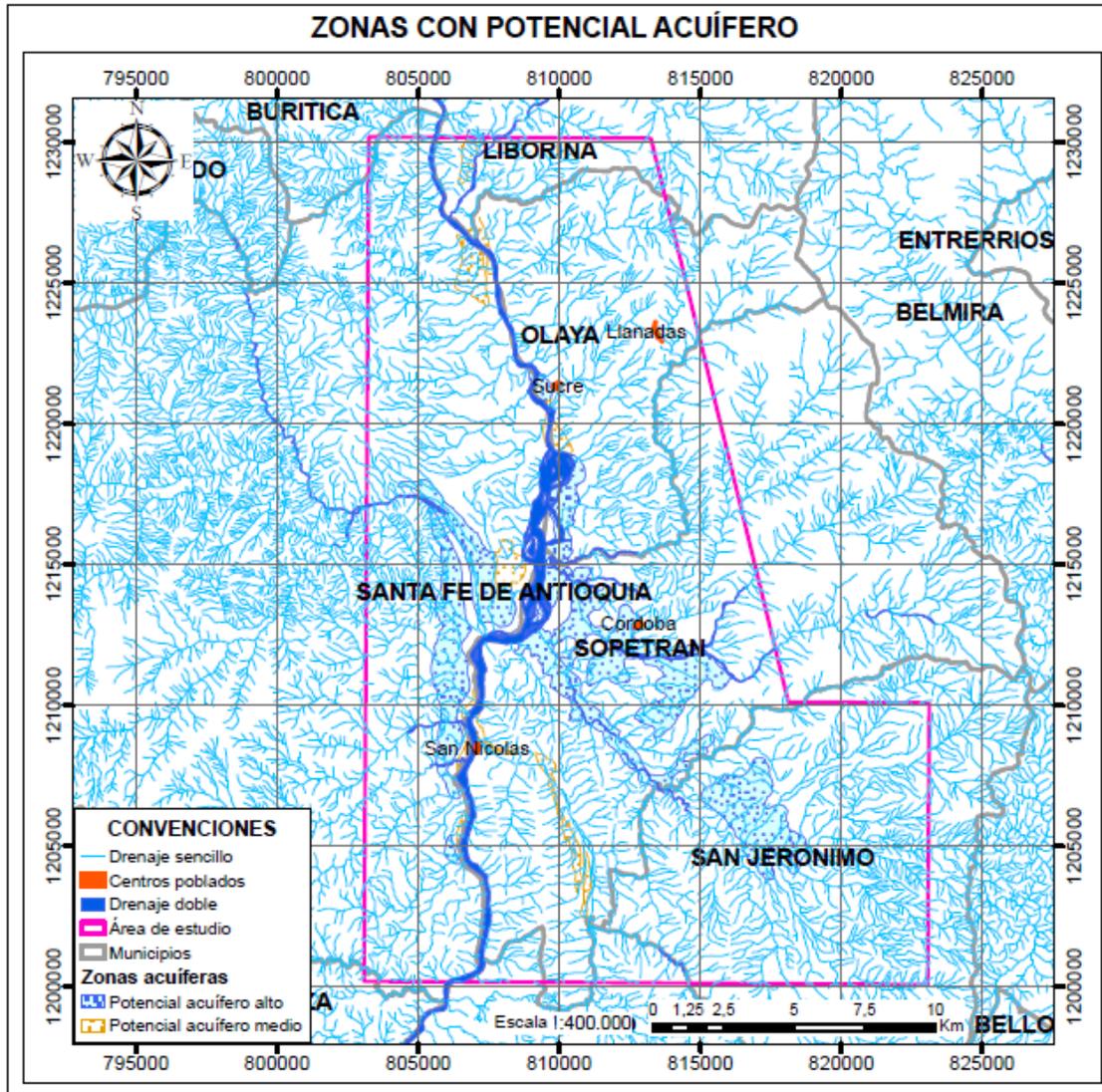


Figura 103. Zonas de potencial acuífero alto y medio. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo, 2004

8.4 ZONAS DE POTENCIAL BAJO

Dentro de estas zonas se encuentran todas las secuencias terciarias, rocas metamórficas e ígneas. Estas últimas afloran al oriente y occidente de la zona de estudio respectivamente. La geología regional plantea la zona de estudio como un valle intracordillerano entre las cordilleras Central y Occidental. Por lo anterior los materiales aptos para la explotación y acumulación de agua se

concentran en la parte central del valle la cual es más apta topográficamente y recibe los materiales aportados por las dos cordilleras (Ortiz y Restrepo, 2004).

Dentro de las zonas con potencial bajo, también se encuentran los cerros aislados de rocas metamórficas e ígneas que afloran a orillas del río Cauca y las diferentes colinas de la Formación Amagá que afloran abundantemente en diferentes sectores de la zona de estudio (Ortiz y Restrepo, 2004).

8.5 PROPIEDADES HIDRÁULICAS

En el estudio realizado por Ortiz y Restrepo (2004) se ejecutaron 16 pruebas de bombeo y recuperación, después de analizar y procesar los datos, se obtuvieron los resultados de la Tabla 35. En general, los valores de conductividad hidráulica encontrados en los acuíferos de la zona están comprendidos en un rango de 0.70 a 40 m/día (Ortiz y Restrepo, 2004).

Se debe tener en cuenta que las permeabilidades fueron halladas usando el espesor total del acuífero y no la longitud de los tramos donde efectivamente existiese rejilla, debido a que no se tuvo información del diseño del pozo, esto significa que las permeabilidades reales deben ser mayores. Además el tiempo de registros no es el suficiente para un análisis de este tipo, esto se debió principalmente a que las bombas eran automáticas y no era posible seguir almacenando el agua en un momento dado (Ortiz y Restrepo, 2004).

Tabla 35. Propiedades hidráulicas para 16 pozos de la zona de estudio, a partir de pruebas de bombeo ejecutadas por Ortiz y Restrepo (2004).

| Sitio | | Información sobre los pozos | | | Propiedades hidráulicas | | |
|-------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| Finca | Municipio | Caudal (l/s) | Radio del pozo (m) | Espesor del acuífero (m) | Transmisividad (m ² /día) | Coefficiente de almacenamiento | Conductividad (m/día) |
| Villa David | Santa Fe de Antioquia | 1,16 | 0,53 | 35 | 829,8 | 0,0222 | 23,71 |
| La Zanja | Santa Fe de Antioquia | 1,39 | 0,5 | 35 | 829,8 | 0,0266 | 23,71 |
| San Miguel | Olaya - Sucre | 1,11 | 0,45 | 8 | 81,64 | 0,0212 | 10,21 |
| Tucurinca | Santa Fe de Antioquia | 1,25 | 0,48 | 10 | 251,18 | 0,0239 | 25,12 |
| Casa Blanca | Olaya | 3,33 | 0,6 | 30 | 86,11 | 0,0636 | 2,87 |

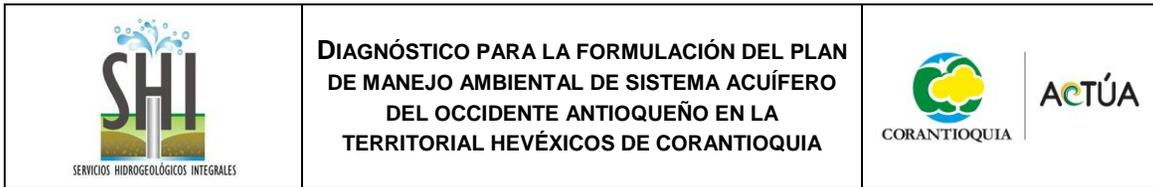
| Sitio | | Información sobre los pozos | | | Propiedades hidráulicas | | |
|------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| Finca | Municipio | Caudal (l/s) | Radio del pozo (m) | Espesor del acuífero (m) | Transmisividad (m ² /día) | Coefficiente de almacenamiento | Conductividad (m/día) |
| Mi Potrero | Santa Fe de Antioquia | 1,2 | 0,47 | 45 | 147,33 | 0,0229 | 3,27 |
| La Ceiba | Santa Fe de Antioquia | 0,33 | 0,45 | 20 | 985,57 | 0,0063 | 49,28 |
| La Pelada | Sopetrán | 2,5 | 0,5 | 10 | 26,68 | 0,0478 | 2,67 |
| Casa Azul | Sopetrán | 0,67 | 0,49 | 10 | 397,9 | 0,0128 | 39,79 |
| Villa Laura | Sopetrán | 1,71 | 0,49 | 15 | 414,69 | 0,0327 | 27,65 |
| Villa Jael | San Jerónimo | 1,8 | 0,45 | 30 | 22,3 | 0,0344 | 0,74 |
| Villa Marta | San Jerónimo | 0,61 | 0,45 | 15 | 43,64 | 0,0117 | 2,91 |
| San Judas | Santa Fe de Antioquia | 0,27 | 0,45 | 15 | 80,3 | 0,0052 | 5,35 |
| Hostería Guaracú | San Jerónimo | 1 | 0,55 | 50 | 37,08 | 0,0191 | 0,74 |
| Río Cedro | Sopetrán | 1,19 | 0,45 | 10 | 54,51 | 0,0227 | 5,45 |

Puede observarse que las conductividades están sectorizadas según su magnitud, se tiene que para Santa Fe de Antioquia este parámetro varía entre 20 y 40 m/día para los pozos ubicados en la vereda El Espinal (arenas finas a medias) y entre 2 y 10 m/día para los ubicados en la vereda El Paso (arenas finas). En Sopetrán se presentan intervalos entre 2 - 10 m/día y 20 - 40 m/día, para las partes altas y bajas de las terrazas del río Aurrá, respectivamente. En San Jerónimo se presentan conductividades entre 0.70 y 5 m/día (limos y arenas finas) y en el sector de Olaya la variación es entre 2 y 10 m/día (Ortiz y Restrepo, 2004).

8.6 VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN

Otro dato importante para caracterizar las zonas acuíferas, es la vulnerabilidad a la contaminación. Este parámetro es utilizado para representar las características intrínsecas que determinan la susceptibilidad de un acuífero a ser adversamente afectado por una carga contaminante (Foster, 1991 en Ortiz y Restrepo, 2004).

El riesgo a la contaminación resulta de dos factores: la carga contaminante y la vulnerabilidad natural a la contaminación. La carga contaminante se puede controlar pero la vulnerabilidad no. La



contaminación del agua subterránea puede ocurrir por accidente o por negligencia. La mayoría de los incidentes de contaminación se dan por sustancias dejadas en la superficie de los acuíferos, ya sea que se almacenen en ella o que caigan accidentalmente. Hay cuatro maneras para que la contaminación llegue a los acuíferos: infiltración, recarga, migración directa o intercambio entre acuíferos (Barcelona et al., 1988 en Ortiz y Restrepo, 2004).

Los principales factores que inciden en la vulnerabilidad del acuífero son: el tipo de suelos de la zona vadosa o no saturada, el tipo de acuífero, la recarga, la profundidad de los niveles freáticos, la topografía y la conductividad del acuífero. La determinación de la vulnerabilidad de un acuífero sirve como base para implementar políticas de protección de las aguas subterráneas y para un manejo óptimo del recurso (Ortiz y Restrepo, 2004).

En el estudio de 2004 se emplearon dos técnicas para determinar la vulnerabilidad de los acuíferos en la zona de estudio. Como no se encontraron cambios significativos en los parámetros empleados para el cálculo de la vulnerabilidad obtenidos en 2004 y en 2015, se presentan a continuación los resultados alcanzados por Ortiz y Restrepo (2004).

8.6.1 Método DRASTIC

La palabra DRASTIC es un acrónimo que hace referencia a los factores que utiliza, asignando valores relativos a la vulnerabilidad de un acuífero a la contaminación (Aller et al, 1987 en Ortiz y Restrepo, 2004):

- Profundidad del nivel freático, Dr (Depth to Ground Water)
- Recarga (Recharge rate), Rr
- Medio acuífero (Aquifer media), Ar
- Tipo de suelo (Soil media), Sr
- Topografía (Topography), Tr
- Impacto de la zona vadosa (Impact on vadose zone), Ir
- Conductividad hidráulica (Conductivity), Cr

Cada uno de estos parámetros tiene un valor base en un sistema de clasificación desarrollado por el autor. Estos factores se multiplican por un factor de peso y luego se suman, para calcular el índice DRASTIC, así:

| | | |
|---|---|---|
|  <p>SERVICIOS HIDROGEOLOGICOS INTEGRALES</p> | <p>DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO EN LA TERRITORIAL HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA</p> |  <p>CORANTIOQUIA ACTÚA</p> |
|---|---|---|

Índice DRASTIC = $(D_r \times D_w) + (R_r \times R_w) + (A_r \times A_w) + (S_r \times S_w) + (T_r \times T_w) + (I_r \times I_w) + (C_r \times C_w)$

Los subíndices r y w se refieren a rangos y factores de peso respectivamente. El método DRASTIC se basa en 4 hipótesis principales: el área evaluada es mayor de 0.4 km²; el contaminante se introduce por la superficie del terreno; fluye hacia las aguas subterráneas por medio de la precipitación y tiene la movilidad del agua. Las limitaciones asociadas radican en que no considera el impacto de la actividad humana, ni los efectos de parámetros como fallas o fracturas, tampoco tiene en cuenta la intensidad de la precipitación y la duración de las tormentas, diferencias en la movilidad de los contaminantes, dilución, etc. A pesar de estas limitaciones, considera la mayoría de los factores que controlan la vulnerabilidad de un acuífero a la contaminación y es una buena herramienta para predecirla (Ortiz y Restrepo, 2004).

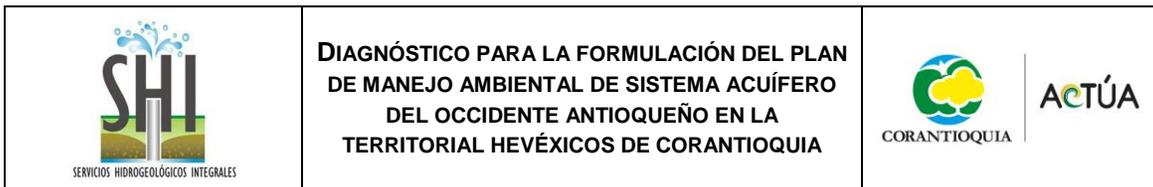
Para la construcción de los mapas de cada parámetro, el autor propone unos pesos (Tabla 36) y factores de ponderación (0). En una zona determinada, mientras mayor sea el índice DRASTIC, mayor es la vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea.

Tabla 36. Valoración de cada uno de los parámetros empleados en la metodología DRASTIC (Aller et al, 1987 en Ortiz y Restrepo, 2004).

| Profundidad del nivel freático, Dr | | | Recarga, Rr | | |
|--|-----------------|---------------------|--|-----------------|---------------------|
| D (Profundidad, m) | Rango Dr | | R (Recarga, mm) | Rango Rr | |
| 0 - 1.5 | 10 | | 0 - 50 | 1 | |
| 1.5 - 4.6 | 9 | | 50 - 103 | 3 | |
| 4.6 - 9.1 | 7 | | 103 - 178 | 6 | |
| 9.1 - 15.2 | 5 | | 178 - 254 | 8 | |
| 15.2 - 22.9 | 3 | | >254 | 9 | |
| 22.9 - 30.5 | 2 | | Tipo de suelo, Sr | | |
| > 30.5 | 1 | | S (Tipo de suelo) | Rango Sr | |
| Medio acuífero, Ar | | | Delgado o ausente | 10 | |
| A (Litología del acuífero) | Rango Ar | Rango típico | Grava | 10 | |
| Lutita masiva | 1-3 | 2 | Arena | 9 | |
| roca metamórfica / ígnea | 2-5 | 3 | Turba | 8 | |
| Roca metamórfica / ígnea meteorizada | 3-5 | 4 | Agregados de arcilla | 7 | |
| Arenas y gravas de origen glacial | 4-6 | 5 | Franco Arenoso | 6 | |
| Secuencias de arenisca, caliza y lutitas | 5-9 | 6 | Franco | 5 | |
| Arenisca masiva | 4-9 | 6 | Franco Limoso | 4 | |
| Limolita Masiva | 4-9 | 6 | Franco Arcilloso | 3 | |
| Arena o grava | 4-9 | 8 | Estiércol-cieno | 2 | |
| Basaltos | 2-10 | 9 | Arcilla no compactada | 1 | |
| Caliza cárstica | 9-10 | 10 | Impacto de la zona vadosa, Ir | | |
| Topografía, Tr | | | I (Tipo de Acuífero) | Rango Ir | Rango típico |
| T (Pendiente,%) | Rango Tr | | Capa confinada | 1 | 1 |
| 0 - 2 | 10 | | Sedimentos arcillosos | 2-6 | 3 |
| 2 - 6 | 9 | | Shale | 2-5 | 3 |
| 6 - 12 | 5 | | Calizas | 2-7 | 6 |
| 12 - 18 | 3 | | Areniscas | 4-8 | 6 |
| >18 | 1 | | Secuencias de areniscas, limolitas y shale | 4-8 | 6 |
| Conductividad hidráulica, Cr | | | Arenas y gravas con fracciones importantes de arcillas | 4-8 | 6 |
| C (Conductividad hidráulica, m/día) | Rango Cr | | Rocas ígneas y metamórficas | 2-8 | 8 |
| 0.04 - 4.08 | 1 | | Arenas y gravas | 6-9 | 9 |
| 4.08 - 12.22 | 2 | | Basalto | 2-10 | 10 |
| 12.22 - 28.55 | 3 | | Calizas cársticas | 8-10 | |
| 28.55 - 40.75 | 6 | | | | |
| 40.75 - 81.49 | 8 | | | | |
| >81.49 | 10 | | | | |

Tabla 37. Factores de ponderación para cada parámetro (Aller et al, 1987 en Ortiz y Restrepo, 2004).

| Factores de ponderación | | | | | | | |
|-------------------------|----|----|----|----|----|----|----|
| Tipo de contaminante | Dw | Rw | Aw | Sw | Tw | Iw | Cw |
| Pesticida | 5 | 4 | 3 | 5 | 3 | 4 | 2 |
| No pesticida | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 5 | 3 |



En Ortiz y Restrepo (2004), los mapas de cada parámetro se elaboraron así:

Mapa de profundidad del nivel freático (Dr): La profundidad del nivel freático se obtuvo de restar al modelo de elevación del terreno, el modelo de elevación obtenido a partir de las isopiezas. Este mapa resultado se reclasificó para obtener los valores de Dr. Hay que tener en cuenta que la profundidad del nivel freático es variable en el tiempo y por tanto el parámetro Dr no puede considerarse constante.

Mapa de recarga (Rr): Se utilizó el mapa de recarga obtenido para un año normal. Se reclasificó el mapa de acuerdo a los rangos propuestos para obtener los valores del parámetro Rr para toda el área de estudio.

Mapa de medio acuífero (Ar): Con base en el modelo geológico se consideró que el medio acuífero en toda la zona de estudio está constituido por arenas y gravas. Por lo tanto, se asumió un valor uniforme del parámetro Ar para toda el área de estudio igual a 8 según la Tabla 36.

Mapa de tipos de suelo (Sr): Se usó el mismo mapa de texturas de suelo utilizado para estimar la recarga, asignándole a cada tipo de suelo uno de los valores de Sr especificados en la Tabla 36.

Mapa de pendientes (Tr): El mapa de pendientes se halló a partir del modelo de elevación digital y se reclasificó según los valores de la Tabla 36.

Mapa de impacto de la zona vadosa (Ir): De los tipos de acuífero referidos en la Tabla 36, se asumió que toda el área de estudio estaba representada por arenas y gravas, y por ende se utilizó un valor de Ir igual a 9 para toda la zona.

Mapa de conductividad hidráulica (Cr): De acuerdo con los resultados obtenidos de las pruebas de bombeo, los valores de conductividad hidráulica en la zona de estudio se reclasificaron según la Tabla 36, para así obtener los valores de Cr.

Ejecutando un álgebra de mapas en el software ArcGIS, se halló el mapa de vulnerabilidad que se presenta en la Figura 104. A cada uno de los mapas reclasificados se asignó el factor de ponderación para contaminante tipo pesticida debido a que es el caso más crítico.

Un área importante de la zona de estudio, desde el punto de vista de potencial acuífero, presenta un valor alto a extremo de la vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea. El resto de la zona presenta vulnerabilidad moderada. La zona más vulnerable corresponde en general a llanuras

aluviales, esto se debe en gran parte a que la poca profundidad del nivel freático combinada con la alta permeabilidad del suelo y la zona vadosa, favorecen el ingreso de contaminantes a los acuíferos superficiales ubicados en estas zonas (Ortiz y Restrepo, 2004).

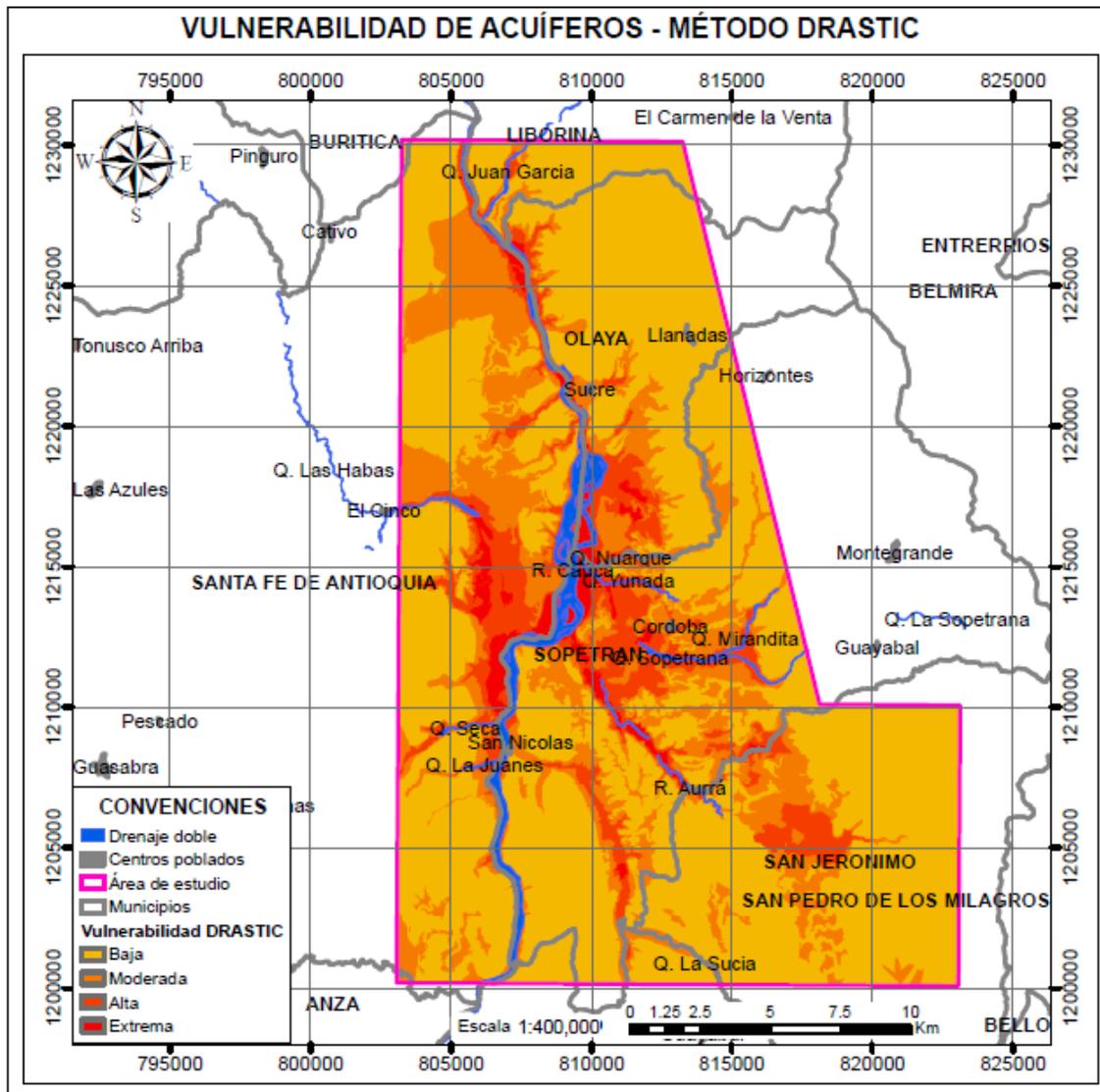
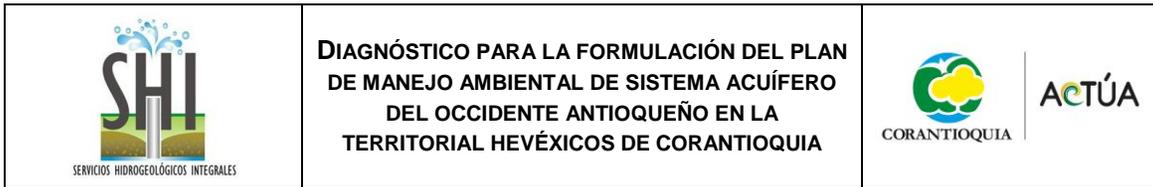


Figura 104. Mapa de vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea en el área de estudio por el método DRASTIC. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo, 2004



8.6.2 Método GOD

Este método empírico determina la vulnerabilidad intrínseca por lo que no toma en cuenta el tipo de contaminante, es simple y requiere de pocos parámetros (Ortiz y Restrepo, 2004).

Este método establece la vulnerabilidad del acuífero como una función de la inaccesibilidad de la zona saturada, desde el punto de vista hidráulico, a la penetración de contaminantes y la capacidad de atenuación de los estratos de la zona no saturada como resultado de su retención física y la reacción química con los contaminantes (Foster e Hirata, 1991 en Ortiz y Restrepo, 2004). Estos factores poseen relaciones complejas que dependen de gran cantidad de variables imposibles de cuantificar, para solventar este inconveniente la metodología utiliza la clasificación de tres fases discretas que son (Ortiz y Restrepo, 2004):

- G (Groundwater occurrence): índice por condición de confinamiento del acuífero u ocurrencia del agua subterránea (tipo de acuífero).
- O (Overall aquifer class): índice del substrato litológico en términos de grado de consolidación y características litológicas (litología de la zona no saturada).
- D (Depth): índice por profundidad del nivel del agua o techo del acuífero confinado (profundidad del agua subterránea).

La vulnerabilidad se calcula como el producto de estos parámetros, índice de vulnerabilidad = $G \cdot O \cdot D$.

Cada uno de los factores posee valores entre cero y uno, entre mayor es el valor, más desfavorable es la condición, la clasificación se hace a partir de la Figura 105. Este método solo asigna un peso indirecto a las variables a través de sus valores.

Algunos otros factores reconocidos como modificadores de la vulnerabilidad son tomados en cuenta por el método dentro de la carga contaminante. Entre estos se puede citar la infiltración efectiva y el tipo de suelo. El método solo toma en cuenta la posible atenuación antes de alcanzar la zona saturada, sin tomar en cuenta la dilución y dispersión en el acuífero (Ortiz y Restrepo, 2004).

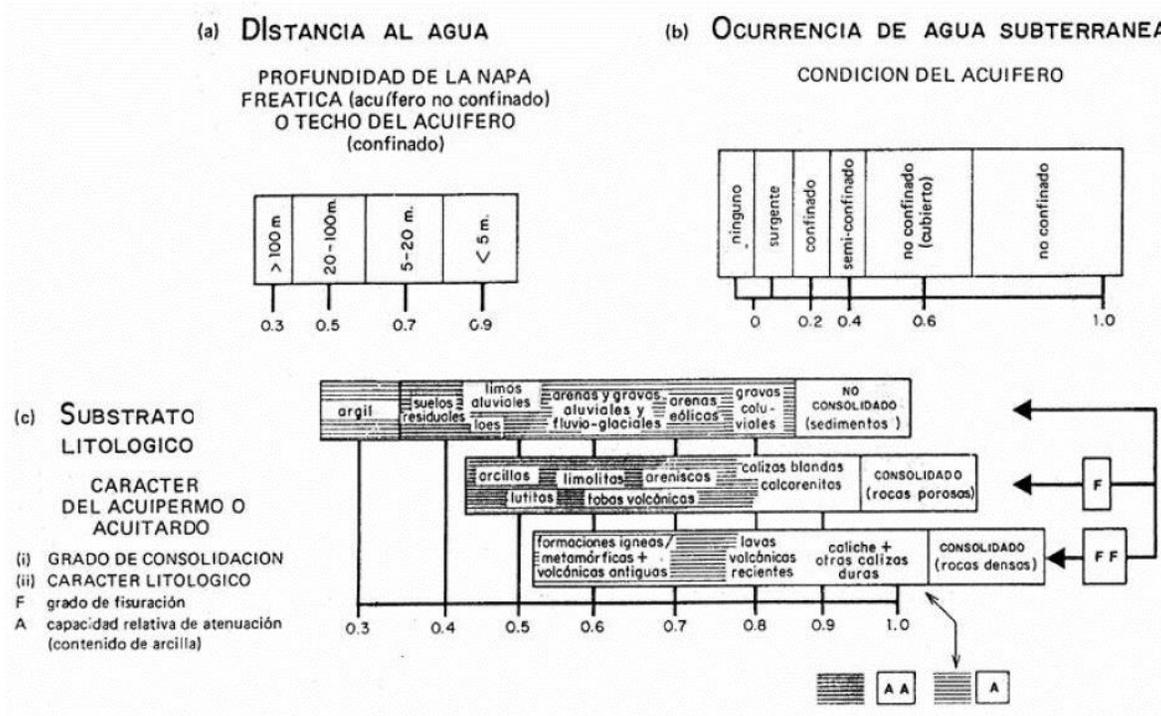


Figura 105. Caracterización de la vulnerabilidad GOD. Fuente: Foster e Hirata, 1991.

Se considera vulnerabilidad muy baja si el valor es menor a 0.1, baja si el valor está entre 0.1 y 0.3, moderada si está entre 0.3 y 0.5, alta si está entre 0.5 y 0.7 y extrema si es mayor a 0.7. Para hallar el índice GOD, Ortiz y Restrepo (2004) elaboraron los siguientes mapas:

Mapa de profundidad del nivel freático (D): La profundidad del nivel freático se obtuvo de restar al modelo de elevación del terreno, el modelo de elevación obtenido a partir de las isopiezas.

Mapa de índice de confinamiento (G): Debido a que todos los acuíferos definidos en la zona son libres se toma un valor constante de 0.6.

Mapa de substrato litológico (O): Con base en el modelo geológico se consideró que para el acuífero de San Jerónimo se toma un valor 0.8 (gravas coluviales) y para el resto de la zona 0.6 (arenas y gravas aluviales y fluvio torrenciales).

El resultado gráfico obtenido se presenta en la Figura 106. En cuanto a la distribución espacial, los resultados son coherentes con los obtenidos por el método DRASTIC, pero en este no se presentan valores de vulnerabilidad alta, la mayor parte del área de estudio se clasifica como

vulnerabilidad muy baja, mientras que las llanuras aluviales presentan vulnerabilidad baja y moderada. Hay que tener en cuenta que este método solo usa tres parámetros que son generalmente constantes en zonas del área de estudio (Ortiz y Restrepo, 2004).

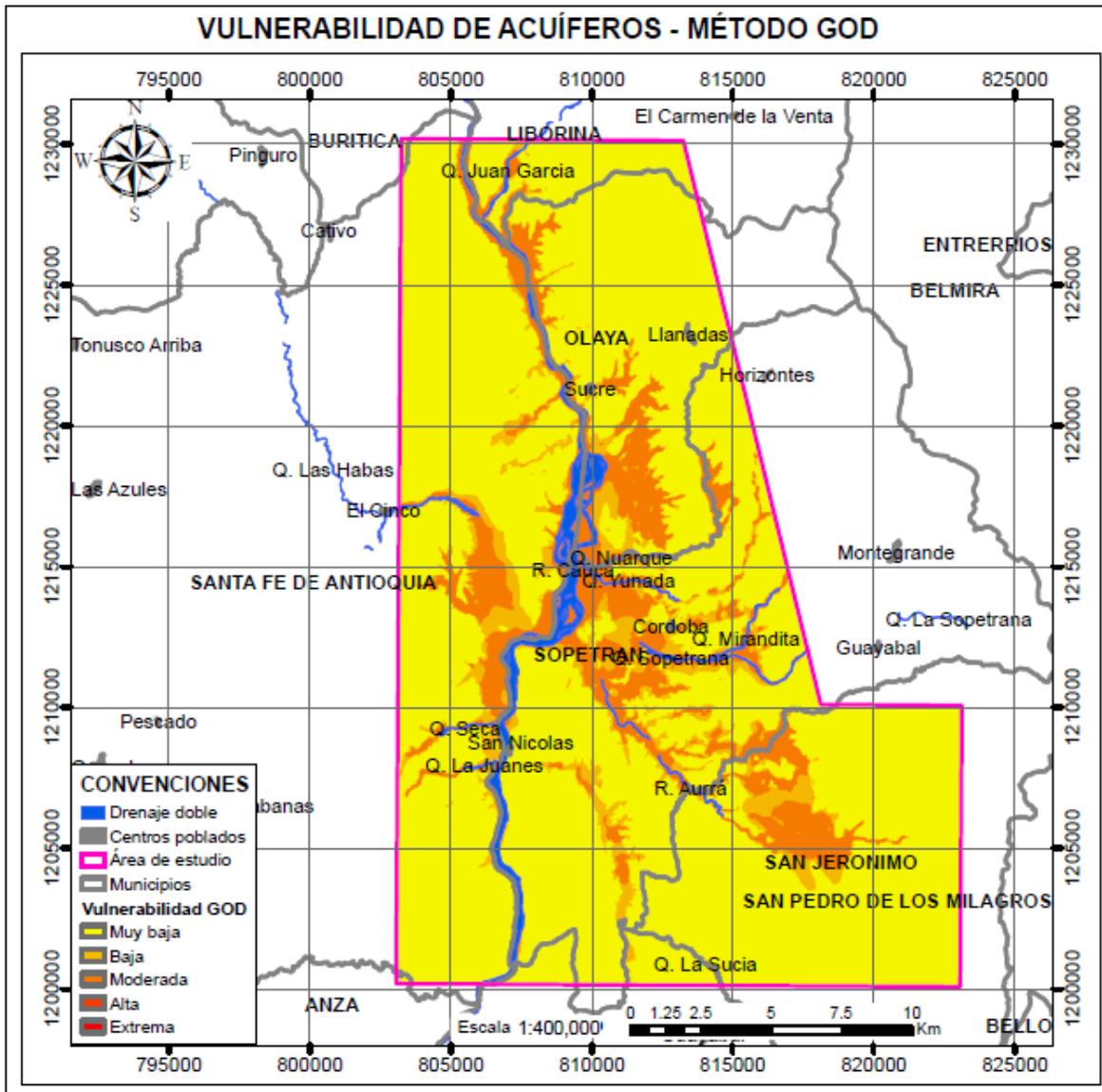
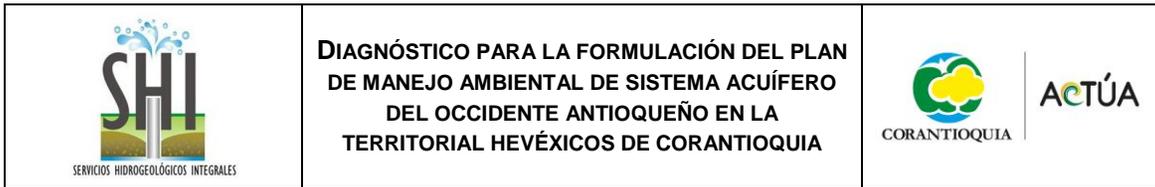


Figura 106. Mapa de vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea en el área de estudio por el método GOD. Fuente: modificado de Ortiz y Restrepo, 2004



Comparando ambos resultados (DRASTIC y GOD), se puede concluir que hay zonas que requieren especial cuidado y se ubican en las zonas aledañas a las zonas acuíferas definidas, en especial en los acuíferos del Tonusco, Sopetrán y San Jerónimo (Ortiz y Restrepo, 2004).

9. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

9.1 INTRODUCCIÓN

El diagnóstico para la formulación del plan de manejo ambiental del sistema acuífero del Occidente Antioqueño se desarrolló en los municipios de Liborina, Olaya, Santa Fe de Antioquia, Sopetrán, y San Jerónimo; previo al inicio del trabajo de campo se contó con información del inventario de puntos de agua subterránea obtenido en los trabajos realizados por la Corporación en los años 2004 y 2007, además se realizó un trabajo de socialización con la comunidad para que se enteraran del objeto del estudio, con el propósito de que brindaran información acerca de los puntos que conocían y también de ser posible un acompañamiento en los recorridos.

De esta manera se inicia la actualización del inventario a partir del jueves 5 de febrero de 2015 hasta el viernes 10 de abril en los municipios que componen el área de estudio; se contó con el acompañamiento de la líder de la comunidad afrodescendiente.

En general se presentó clima seco durante el tiempo que duró el trabajo de campo, excepto los días 18 y 19 de marzo, al igual que el 7 y 8 de abril de 2015, días en los que se presentaron fuertes lluvias desde la madrugada hasta casi el medio día.

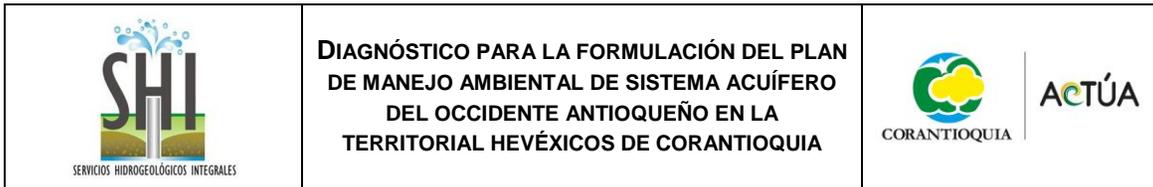
Se debe aclarar que cuando se refiere a puntos de agua subterránea en este caso son pozos o aljibes. Solo se encontró un nacimiento de agua en la zona de estudio.

9.2 METODOLOGÍA

Para la actualización del inventario se contó con un equipo multiparamétrico marca HACH®, el cual está conformado por el computador o interfaz del equipo y cuatro sondas: conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, pH y potencial redox; en cada uno de los puntos se midieron estos parámetros.

Adicional a lo anterior se contó con un equipo GPS para la georreferenciación de los puntos, una sonda de nivel, cámara fotográfica, cinta métrica, jarra y cinta reflectiva para marcar los puntos de agua visitados.

En cada punto de agua se realizó la medición in situ de los parámetros de campo pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, salinidad, temperatura, pH, potencial redox y



oxígeno disuelto, dichas medidas se realizaron con el equipo multiparamétrico; además de medir el nivel al que se encontraba el agua en cada uno de los aljibes, esto utilizando la sonda de nivel. También se obtuvo, la mayoría de las veces, información del método de extracción del agua: si era manual o mecánico por medio de una motobomba y algunas de sus características.

Cada uno de los puntos de agua inventariados cuenta con un registro fotográfico en el que se muestra el aljibe, sus condiciones externas e internas, medición de parámetros y la motobomba utilizada para la extracción del agua.

9.3 TRABAJO EN CAMPO

En el desarrollo de trabajo de campo se realizaron recorridos en los cinco municipios que componen el área de estudio, visitando en primera instancia los puntos que hacen parte del inventario del 2004 (ver Figura 107), posteriormente se realizaron recorridos en aquellas veredas donde la comunidad brindó información acerca de la existencia de aljibes o pozos, de igual manera que se realizó un barrido de la zona esperando encontrar más de estos puntos, en la Tabla 38 se presenta el listado de las veredas por municipio que fueron visitadas.

Tabla 38. Veredas visitadas durante el trabajo de campo en cada municipio.

| Municipio | Vereda/Sector |
|-----------------------|---------------------------|
| Liborina | Llano Grande |
| Olaya | La Florida |
| | Quebrada Seca |
| | Sucre |
| Santa Fe de Antioquia | Pangordito |
| | El Bajío |
| | El Espinal |
| | El Paso |
| | Kilómetro 2 |
| | La Noque |
| | La USA |
| | Las Estancias |
| | Obregón |
| | Parcelación Las Magnolias |
| | Parcelación Manantiales |
| Sopetrán | El Rodeo |
| | Guaymaral |



**DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN
DE MANEJO AMBIENTAL DE SISTEMA ACUÍFERO
DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO EN LA
TERRITORIAL HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA**



ACTÚA

| Municipio | Vereda/Sector |
|------------------|----------------------|
| | La Ahuyamal |
| | Tafetanes Alto |
| | Tafetanes Medio |
| | Tafetanes Bajo |
| | Llano de Montaña |
| | Córdoba |
| | Sector La Guamala |
| | La Mirandita |
| San Nicolás | |
| San Jerónimo | Llano de Aguirre |

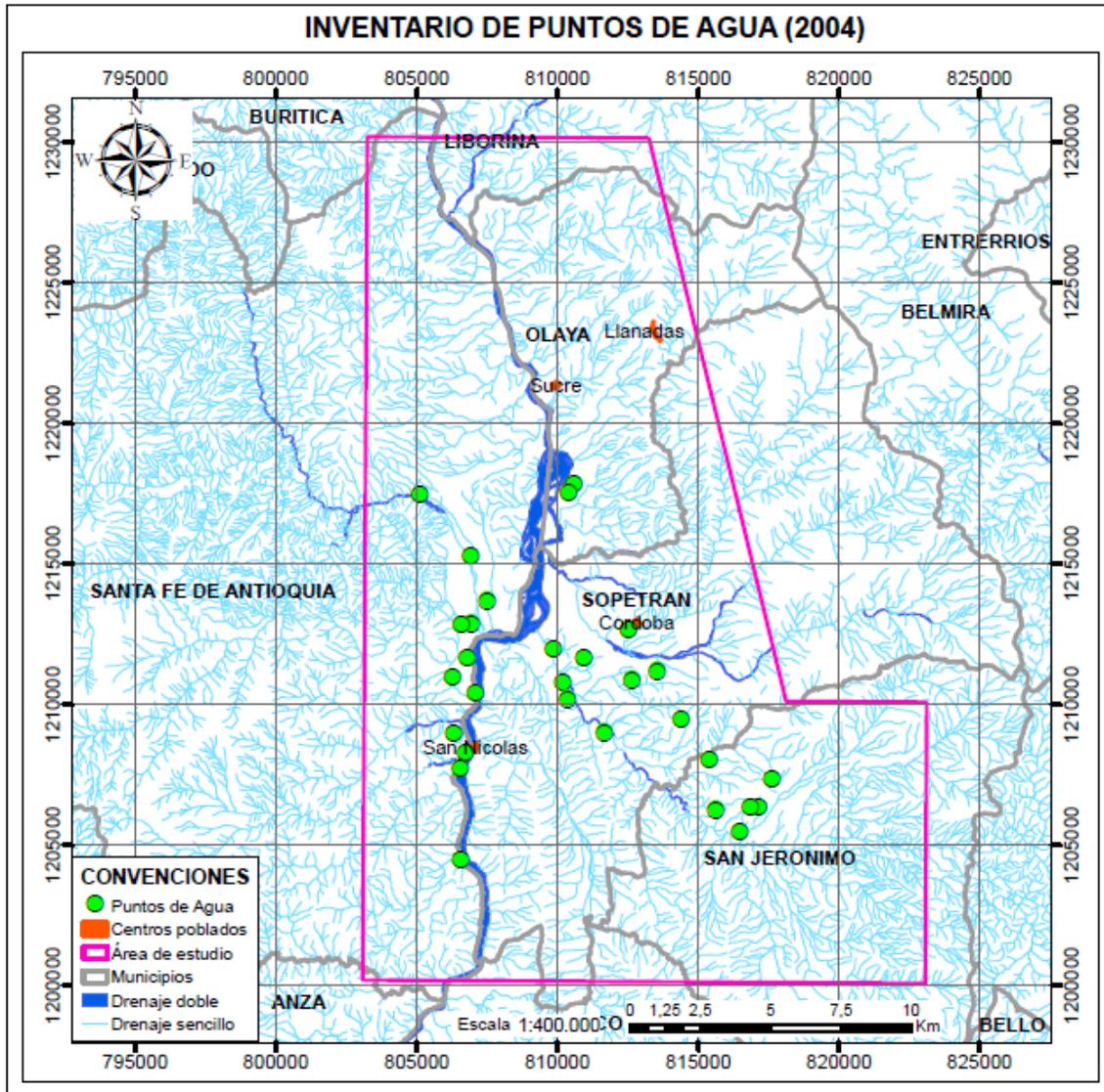


Figura 107. Distribución espacial de los puntos de agua inventariados en el año 2004. Fuente: Ortiz y Restrepo, 2004.

En la Figura 108 se presenta el mapa general con todos los puntos de agua subterránea inventariados y a continuación en la Tabla 39 está el consolidado de dichos puntos por municipio.

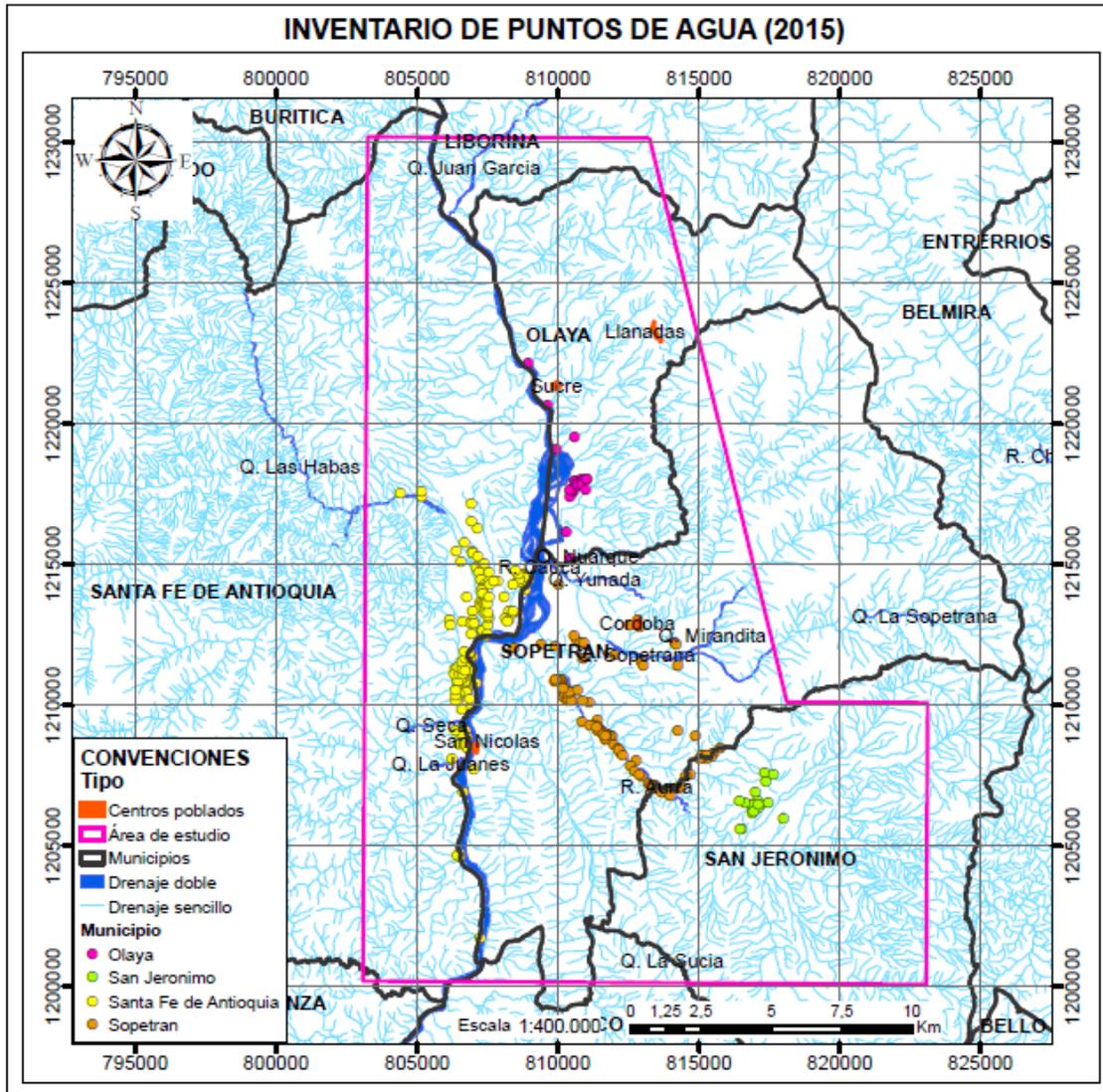


Figura 108. Distribución espacial de los puntos de agua subterránea inventariados. Fuente: elaboración propia.

Es importante destacar que desde el último inventario de puntos de agua subterránea realizado en la zona, ha habido un importante incremento de estos: en 2004 se registró la existencia de 60 aljibes y al finalizar este trabajo de campo se tuvo un registro total de 311 aljibes, 2 pozos y 1 nacimiento de agua; lo cual indica que sobre la zona se ejerce una presión importante por el recurso hídrico subterráneo; además, al buscar información secundaria en la oficina territorial de la corporación, solo se encontraron tres trámites de concesión de aguas subterráneas, dos de los

cuales se iniciaron a finales del año 2014 y se encuentran en proceso y el otro si cuenta con el otorgamiento de la concesión.

Tabla 39. Consolidado por municipio de los puntos de agua subterránea inventariados.

| Municipio | Pozos | Aljibes | Nacimientos | Total puntos por municipio |
|-----------------------|----------|------------|-------------|----------------------------|
| Liborina | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Olaya | 0 | 25 | 0 | 25 |
| Santa Fe de Antioquia | 1 | 144 | 0 | 145 |
| Sopetrán | 1 | 122 | 1 | 124 |
| San Jerónimo | 0 | 20 | 0 | 20 |
| Total | 2 | 311 | 1 | |
| Total puntos | | | | 314 |

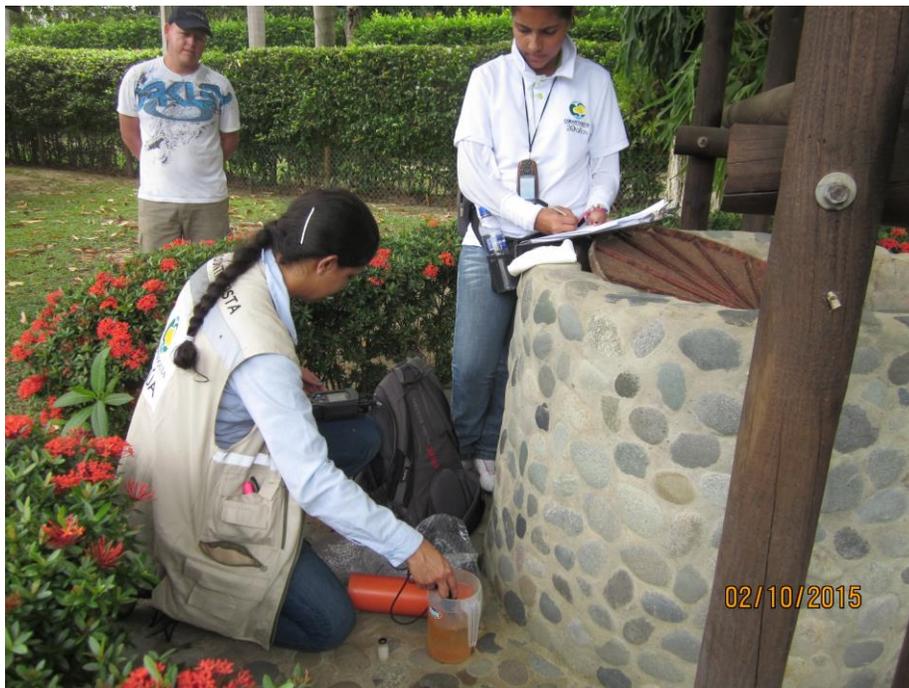


Foto 1. Identificación del personal en campo con camiseta y chaleco.



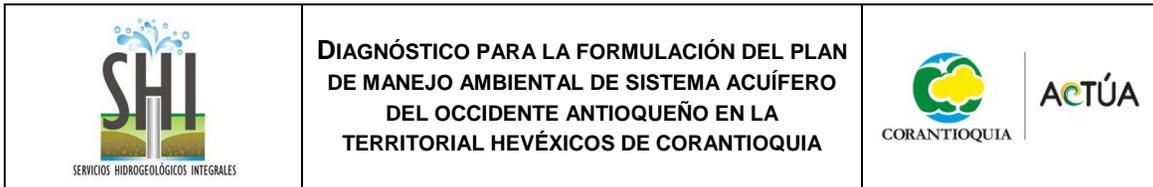
Foto 2. Identificación del personal en campo con chaleco y pava.

Para el ingreso a los predios siempre contó con la autorización de los administradores o dueños de los predios donde se encontraban los aljibes, posterior a la entrega de las cartas remitidas a ellos o autorización vía telefónica dejando algún número de contacto de Corantioquia para verificar el objeto de la visita.

Se presentaron algunos casos, en los cuales no fue posible hablar con el propietario o encargado y se dejó el oficio informativo. En repetidas ocasiones se realizaron visitas a los mismos predios para lograr obtener el permiso.

De todas las fincas y parcelaciones visitadas en el municipio de Santa Fe de Antioquia no se permitió el ingreso a las fincas La Consentida ubicada en la Parcelación El Hato de Obregón y la finca El Silencio ubicada en el sector de Pangordito.

En el municipio de Sopetrán no se permitió el ingreso a dos fincas en la vereda Tafetanes parte alta en la parcelación Casa Azul.



9.4 ANÁLISIS DE PARÁMETROS

En el anexo del capítulo 9 se presentan los puntos de agua inventariados por municipios con sus respectivas coordenadas y parámetros de campo; el registro fotográfico se encuentra en el anexo denominado Fotos_puntos_agua.

Hubo ocasiones en que no fue posible obtener una muestra de agua con el fin de realizar la medición de parámetros físico-químicos, por lo que se registraron sin información; y aquellos puntos que se encontraron secos se registraron como no aplica (N/A), por su condición (no tenían agua). La base de datos completa se encuentra en el anexo del capítulo 9 denominado: Base_datos_puntos_agua y los formatos de campo escaneados en el anexo del capítulo 9 denominado: Funnias_escaneados.

9.4.1 Parámetros de campo

En cada uno de los puntos se realizó la medida in situ de potencial de hidrogeno (pH), conductividad eléctrica (C.E), sólidos disueltos (SDT), salinidad, oxígeno disuelto (OD), potencial redox (ORP) y temperatura (T), a continuación se presenta un análisis de los resultados obtenidos.

9.4.1.1 Temperatura

En la Figura 109 se presentan los valores de temperatura de los puntos de agua inventariados, y en la que se puede observar que el valor de temperatura oscila entre 25°C y 30°C, con un promedio de 28,2°C en la mayoría de los puntos, solo algunos se salen de este rango y se debe a las altas temperaturas que se registraron esos días.

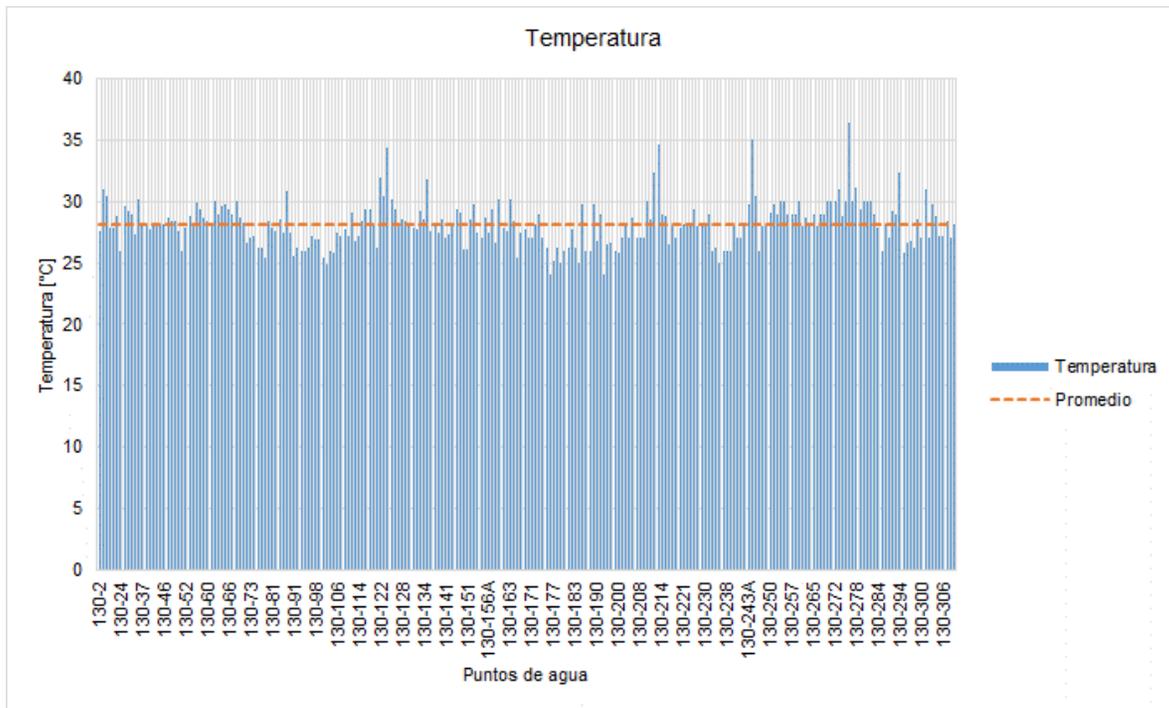


Figura 109. Valores de temperatura registrados en los puntos de agua. Fuente: elaboración propia.

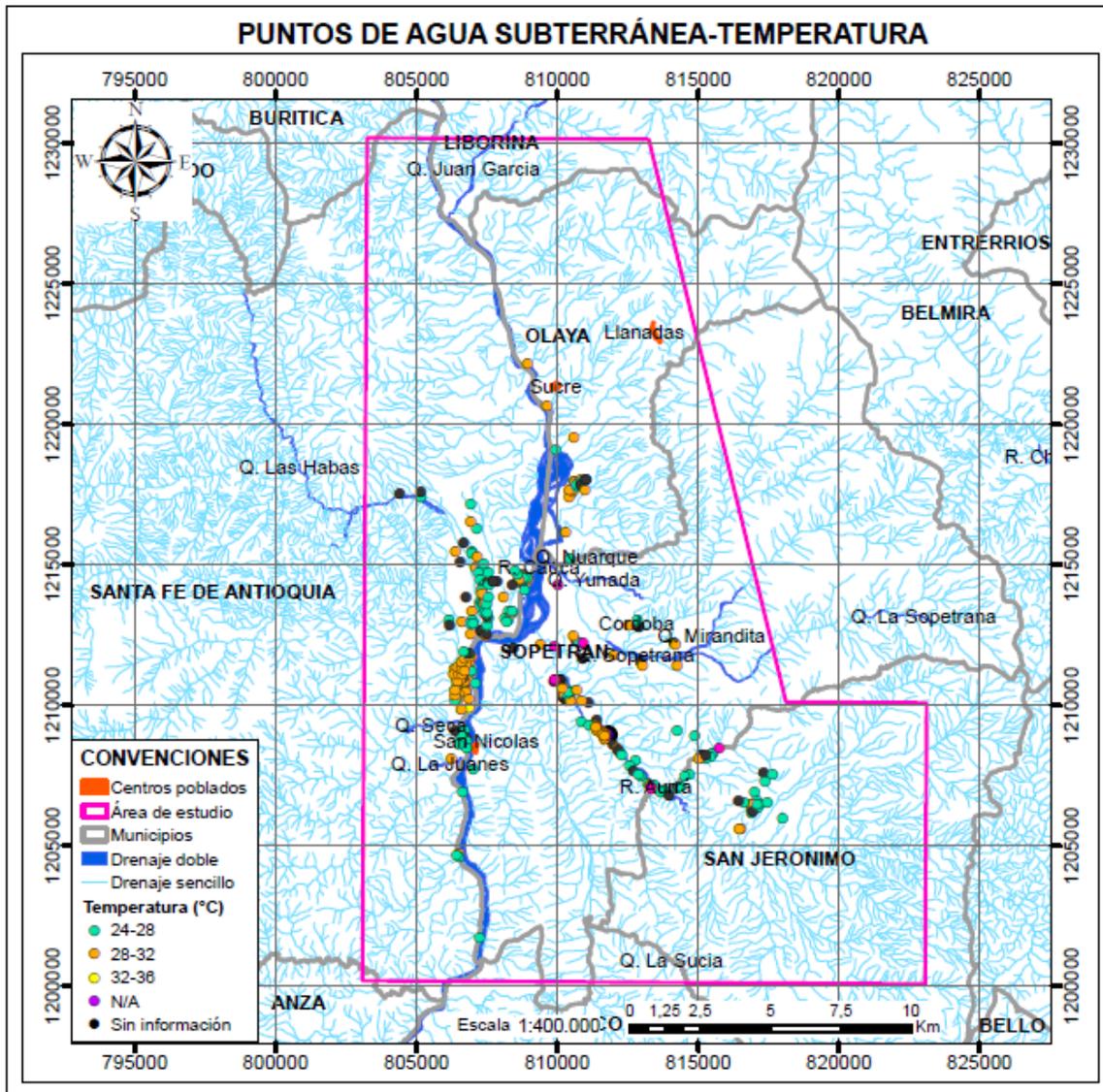


Figura 110. Distribución espacial de los valores de temperatura registrados. Fuente: elaboración propia.

En la Figura 110 se presenta la distribución espacial de los valores de temperatura registrados en los puntos de agua inventariados. Esta variación tiene que ver con la temperatura de los días en que fueron visitados los aljibes, es así como aquellos días correspondientes al inicio del trabajo de campo, la temperatura ambiente en la zona de estudio estuvo entre los 32°C y 35°C, es por esto que aquellos puntos inventariados en el municipio de Sopetrán sobre el río Aurrá y las veredas Guaymaral y Córdoba son los que registran temperaturas entre los 28°C y 32°C; mientras que los

puntos asentados en las veredas La Noque, La Usa y El Espinal en el municipio de Santa Fe de Antioquia y la vereda Llano de Aguirre en el municipio de San Jerónimo se registraron temperaturas más bajas que estaban entre los 24°C y 28°C. Las temperaturas más altas, que oscilan entre 32°C y 36°C corresponden a que la visita a dichos puntos se realizó hacia el final de la tarde, entre 3:00 pm y 5:00 pm, (temperatura ambiente entre 36°C y 40°C).

9.4.1.2 Potencial de hidrógeno (pH)

El pH de las aguas de los puntos de agua visitados varía entre 6 y 9 unidades de pH con un promedio de 7,2 unidades de pH, la Figura 111 muestra los valores de pH registrados.

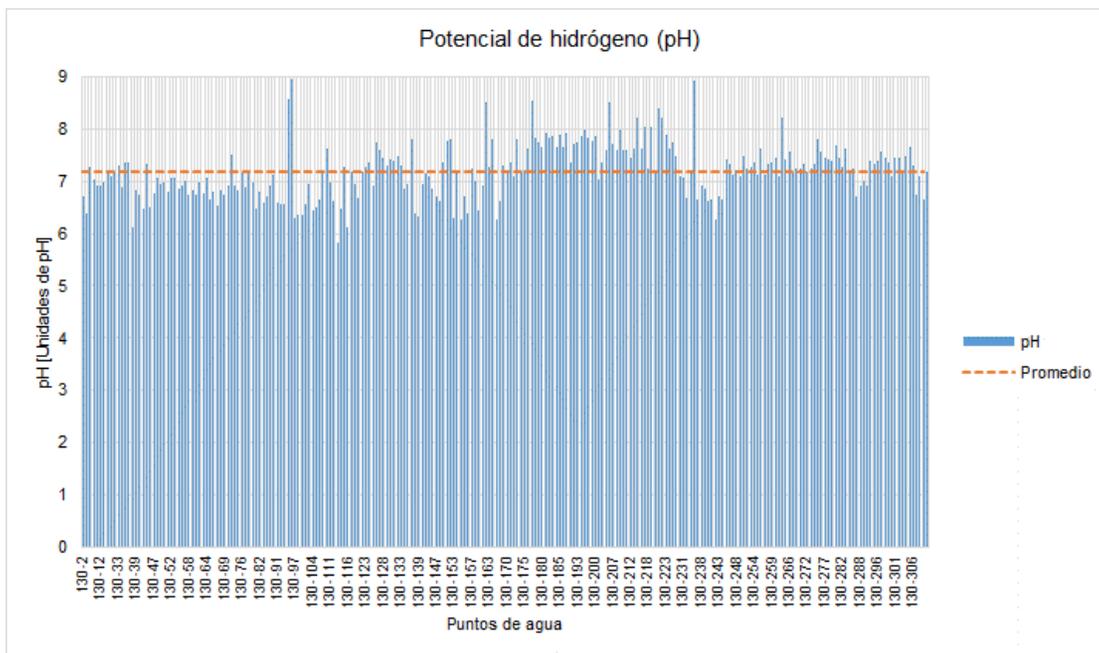


Figura 111.Valores de pH registrados en los puntos de agua inventariados. . Fuente: elaboración propia.

Durante las visitas a cada punto se evidenció a través de su aspecto (color) que el agua de la mayoría de estos tenía algún contenido de hierro (ver Foto 3), especialmente en aquellos puntos que están en los alrededores del Río Aurrá.



Foto 3. Muestra de agua con contenido de hierro.

En la Figura 112 se presenta la distribución espacial de los valores de pH registrados.

De acuerdo con el decreto 1594 de 1984 el agua para consumo humano y doméstico requiere únicamente tratamiento convencional para potenciales de hidrógeno entre 5 y 9 unidades de pH. Los puntos de agua inventariados registran valores de pH en esos rangos (5 a 9 unidades de pH).

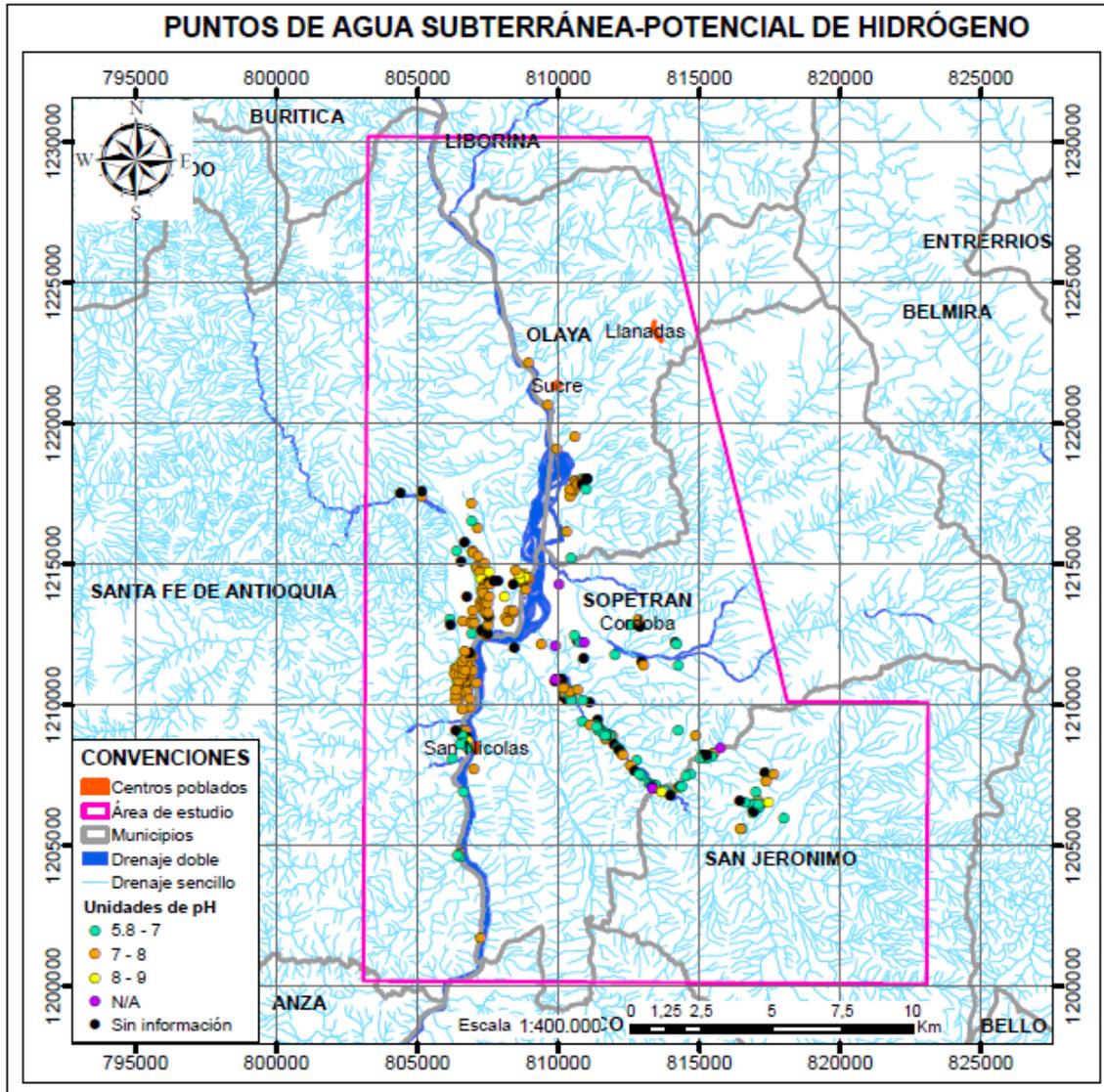


Figura 112. Distribución espacial de los valores de pH registrados. Fuente: elaboración propia.

9.4.1.3 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica se interpreta como la capacidad que tiene una muestra para conducir cargas eléctricas, se da por especies cargadas eléctricamente, es decir por los iones que se encuentran disueltos en el agua, por lo tanto a mayor conductividad eléctrica mayor es la concentración de iones y de sólidos disueltos (Doménico, 1998).

En la Figura 114 se presenta la distribución de los valores de conductividad eléctrica registrados en los puntos de agua inventariados respecto a la altura sobre el nivel del mar de los mismos; en esta se observa que aquellos puntos con alturas entre los 800 y 900 msnm registran los valores de conductividad más bajos en relación al resto (oscilan entre 100 y 200 $\mu\text{S/cm}$).

El agua de los aljibes tiene el mismo origen y por ende la conductividad eléctrica por sí sola no refleja ninguna tendencia; el acuífero está relacionado con las fuentes hídricas cercanas y por tanto conserva las mismas características de estas; de esta forma se evidencia que los puntos de agua inventariados, en su mayoría, se encuentran localizados cerca de las principales fuentes hídricas de la zona de estudio: Río Cauca, Río Aurrá, Quebrada Sopetrana, Río Tonusco y Río Gualí. Este hecho da una idea de la variación de la conductividad eléctrica en estos puntos, por ejemplo aquellos que se encuentran más cerca al Río Cauca registran valores de conductividad eléctrica entre 500 y 1100 $\mu\text{S/cm}$; por su parte los demás puntos registran una variación a partir de los 100 $\mu\text{S/cm}$ a los 500 $\mu\text{S/cm}$, (ver Figura 114).

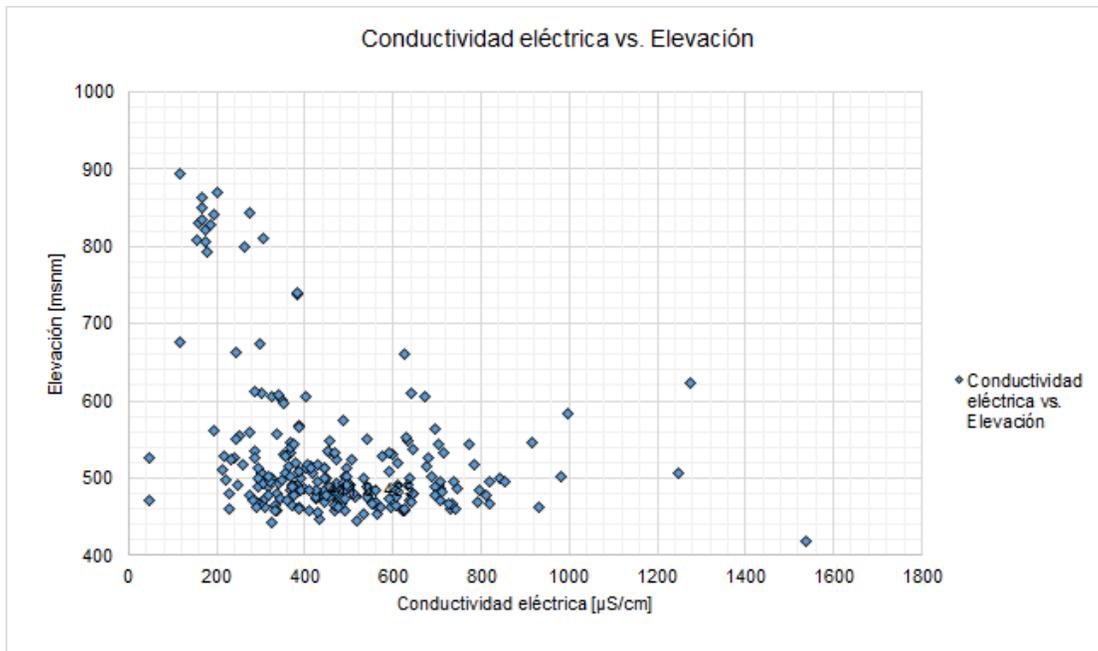


Figura 113.Relación de la conductividad eléctrica con la elevación. . Fuente: elaboración propia.

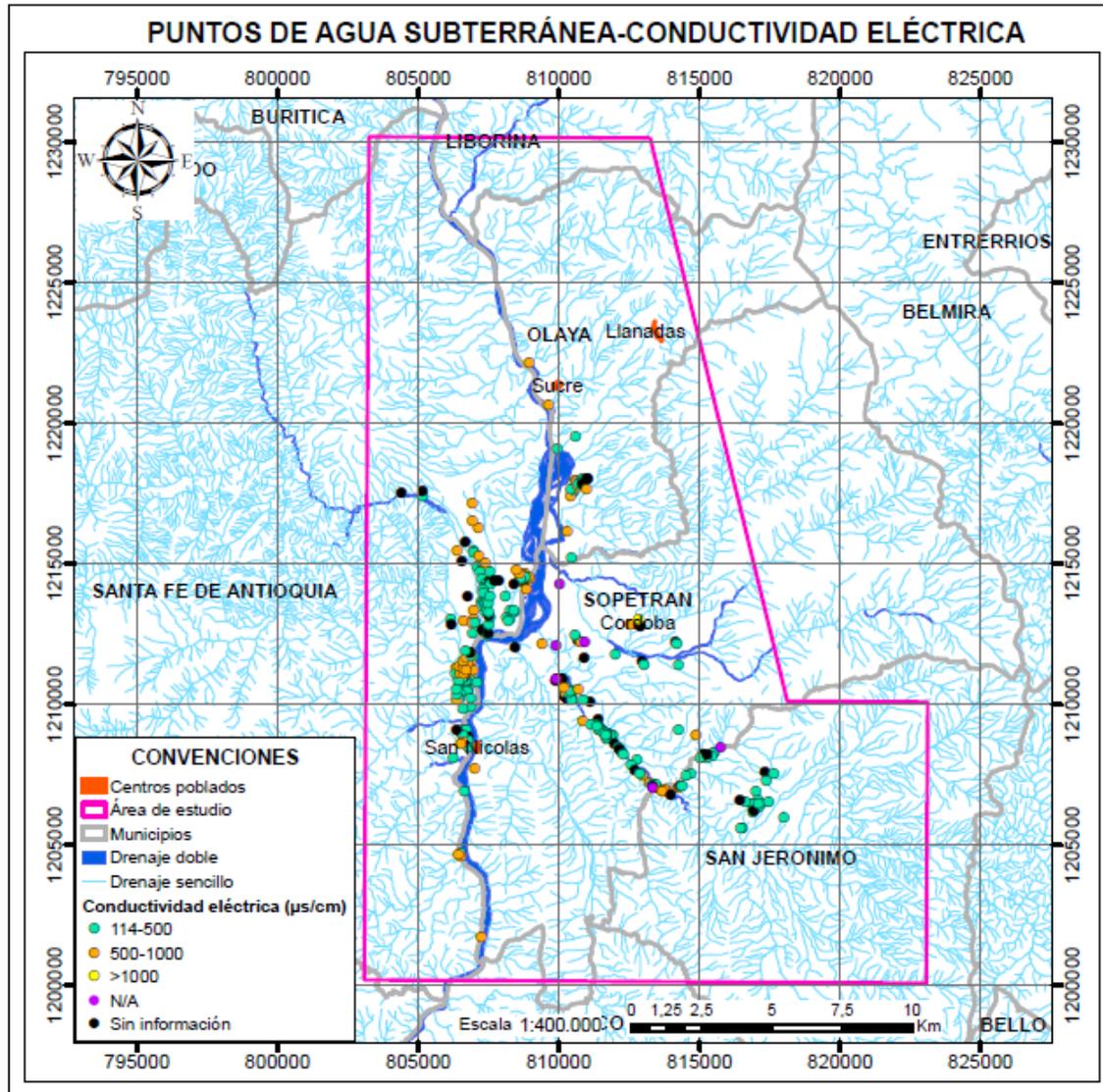


Figura 114. Distribución espacial de la conductividad eléctrica de los puntos de agua inventariados. Fuente: elaboración propia.

La mayoría de los puntos se encuentran en alturas que oscilan entre los 450 y 550 msnm, en estos la conductividad eléctrica varía desde los 200 a los 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$; algunos de los cuales al tener en cuenta su ubicación (ver Figura 114) se evidencia como estos se encuentran más cerca de las principales fuentes hídricas de la zona de estudio: Río Cauca, Río Aurrá, Quebrada Sopetrana, Río Tonusco y Río Gualí, y registran los menores valores de conductividad eléctrica (entre 100 y 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Aquellas concentraciones de puntos en las que se registran valores de conductividad eléctrica entre 500 y 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pueden ser por posible sobre-explotación obligando a una rápida recuperación de los aljibes, situación que se evidencia en algunos sectores de las veredas Tafetanes bajo, El Rodeo y Córdoba del municipio de Sopetrán y la parcelación La Florida en el municipio de Olaya.

En la Figura 115 y Figura 116 se presentan los mapas de salinidad y sólidos disueltos totales que también dan cuenta de la cantidad de iones que se encuentran disueltos en el agua.

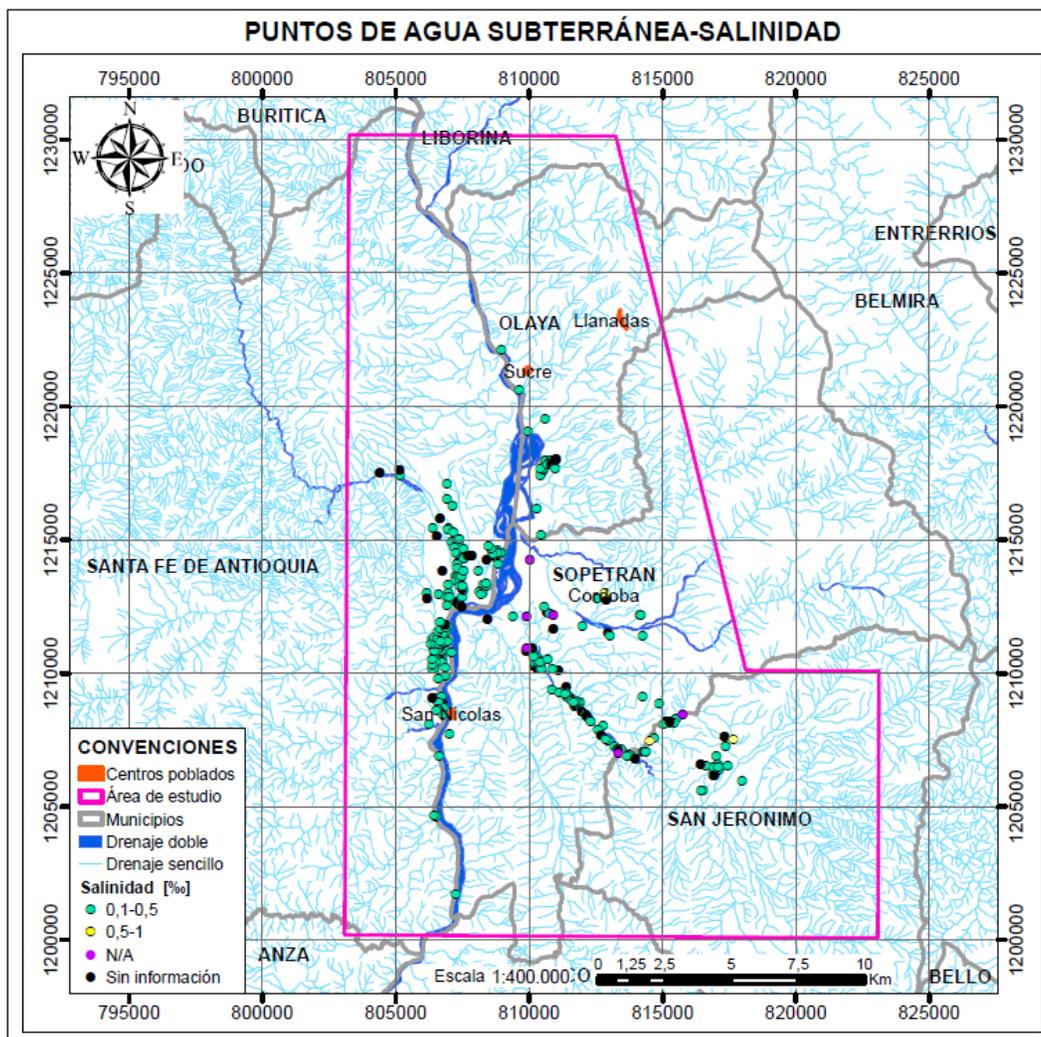


Figura 115. Distribución espacial de la salinidad de los puntos de agua inventariados. Fuente: elaboración propia.

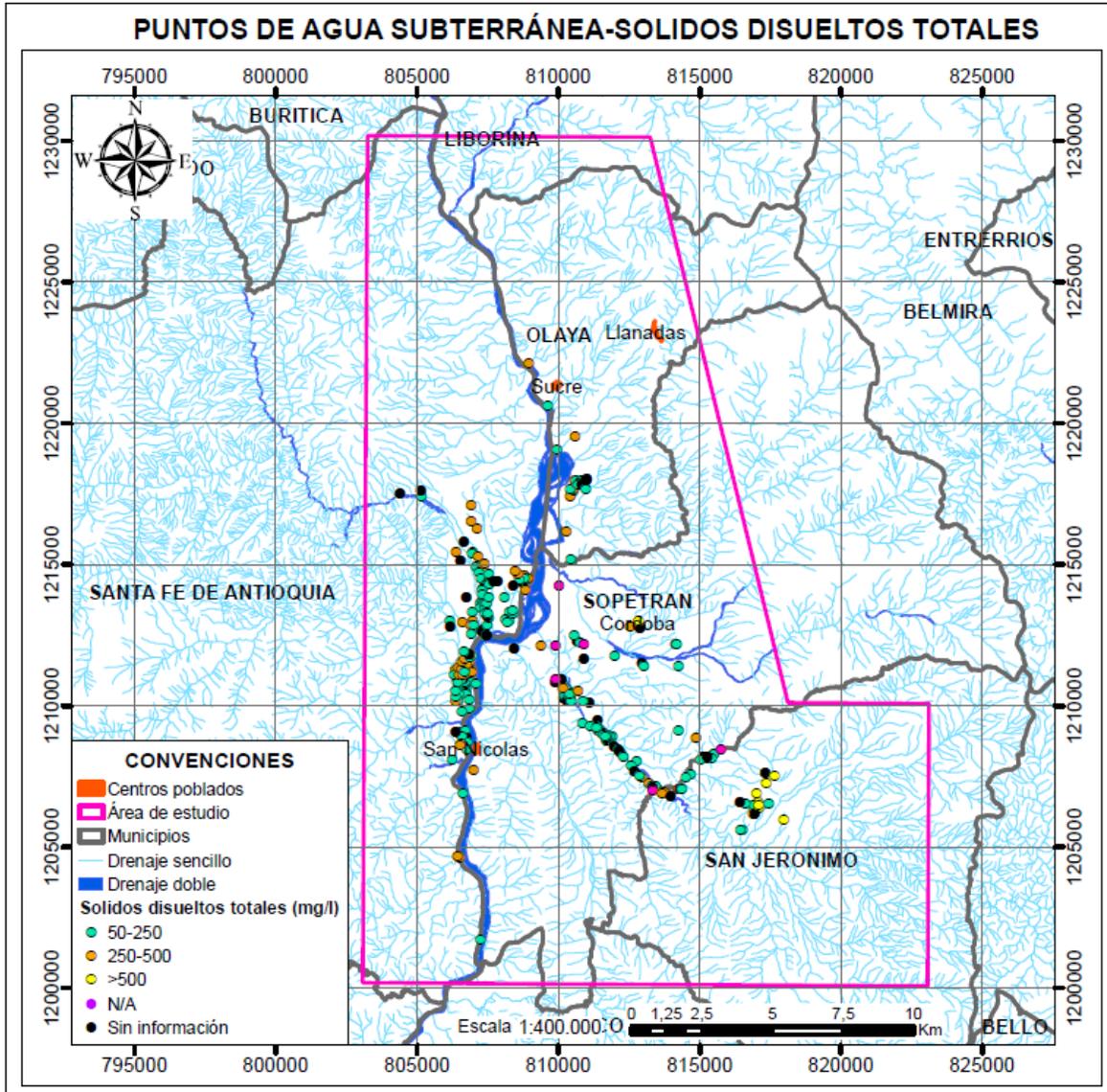


Figura 116. Distribución espacial de los sólidos disueltos totales de los puntos de agua inventariados. Fuente: elaboración propia.

| | | |
|---|---|---|
|  <p>SERVICIOS HIDROGEOLOGICOS INTEGRALES</p> | <p>DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO EN LA TERRITORIAL HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA</p> |  <p>CORANTIOQUIA ACTÚA</p> |
|---|---|---|

9.4.1.4 Potencial de óxido reducción (Redox)

El ORP o potencial de óxido reducción es una propiedad termodinámica que indica el tipo de reacciones que se pueden dar desde el punto de vista del equilibrio entre los componentes del agua. En las zonas de recarga, el agua suele tener potenciales de óxido reducción “altos”, dada la presencia del oxígeno disuelto proveniente del agua lluvia, la cual estuvo en contacto con el oxígeno atmosférico, sin embargo a medida que el agua hace su recorrido hacia las zonas de descarga este potencial de óxido reducción disminuye, ya que el oxígeno disuelto es consumido en la distintas reacciones de oxidación que se dan durante el viaje del agua hacia la zona de descarga. A pesar de lo anteriormente descrito es una generalización basada en datos de campo tomados de muchos estudios, que sirve como una base para sacar hipótesis que luego con resultados de análisis físico – químicos se pueden reforzar o refutar (Freeze, 1979).

En la Figura 117 se presenta la variación del potencial de óxido reducción (ORP) del agua en cada punto; en esta se destaca que los valores más bajos de ORP se encuentran en la parte baja de Santa Fe de Antioquia

De acuerdo a la distribución espacial de los valores de ORP que se presenta en la Figura 117 se puede decir la recarga del acuífero se da en el mismo punto, ya que no hay una variación importante de este parámetro a lo largo de la zona de estudio.

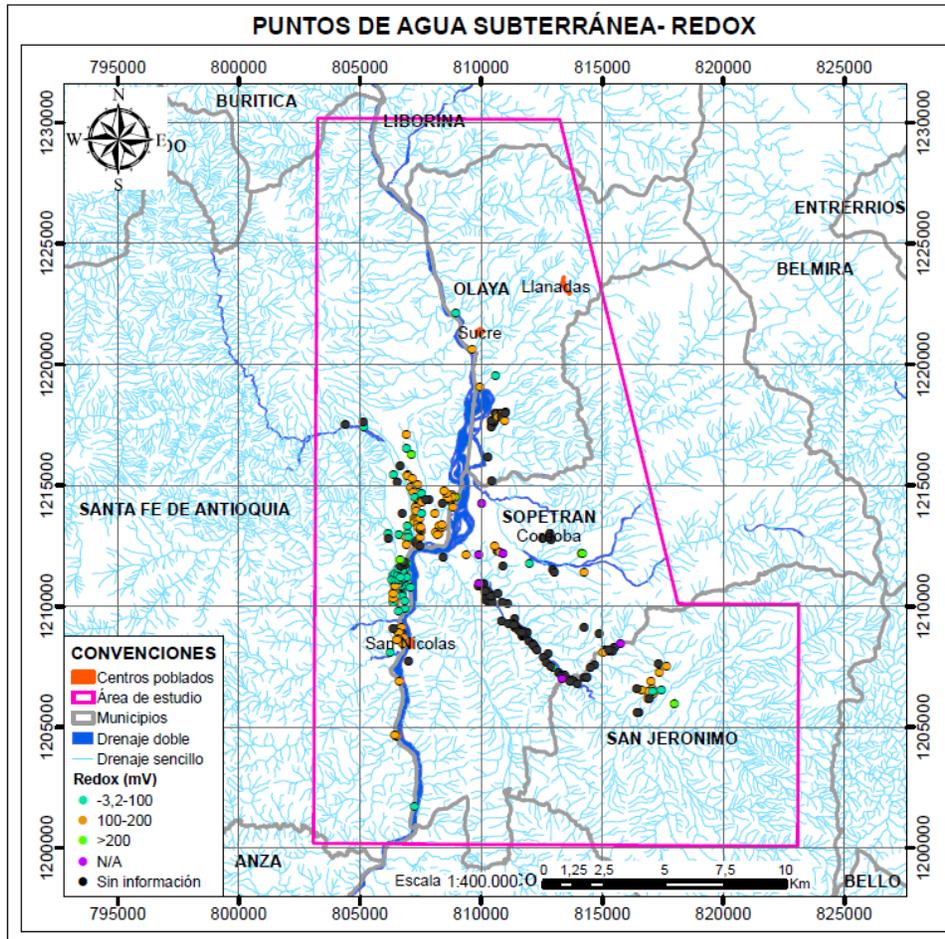


Figura 117. Distribución espacial del potencial de óxido reducción de los puntos de agua inventariados.
Fuente: elaboración propia.

9.4.1.5 Oxígeno disuelto

La atmósfera además de NO_2 , SO_2 , y CO_2 contiene gases como el N_2 y el O_2 . El agua lluvia por lo general se satura en estos gases, el gas más importante de éstos es el oxígeno, ya que le confiere capacidad oxidante al agua lluvia, lo que implica alteraciones en sus componentes químicos en el suelo o cuando el agua esté en contacto con rocas después de su infiltración (Freeze & Cherry, 1979). A medida que el agua avanza en el medio subterráneo pierde capacidad oxidante, porque consume el oxígeno disuelto. La concentración de oxígeno disuelto puede dar información de la procedencia del agua, es decir si son aguas que se infiltraron hace poco, la concentración de

oxígeno disuelto debe ser alta; por el contrario, si tienen bajas concentraciones de oxígeno, se infiere que las aguas tienen cierto tránsito en el medio subterráneo.

Valores de oxígeno disuelto significativamente bajas, sugieren que ha tenido un mayor tiempo de residencia en el medio subterráneo, suficiente para poder consumir gran parte del oxígeno disuelto inicialmente. En la parte baja de Santa Fe de Antioquia, cerca al río Cauca se presenta una concentración de puntos con valores bajos de oxígeno disuelto, como se presenta en la Figura 118.

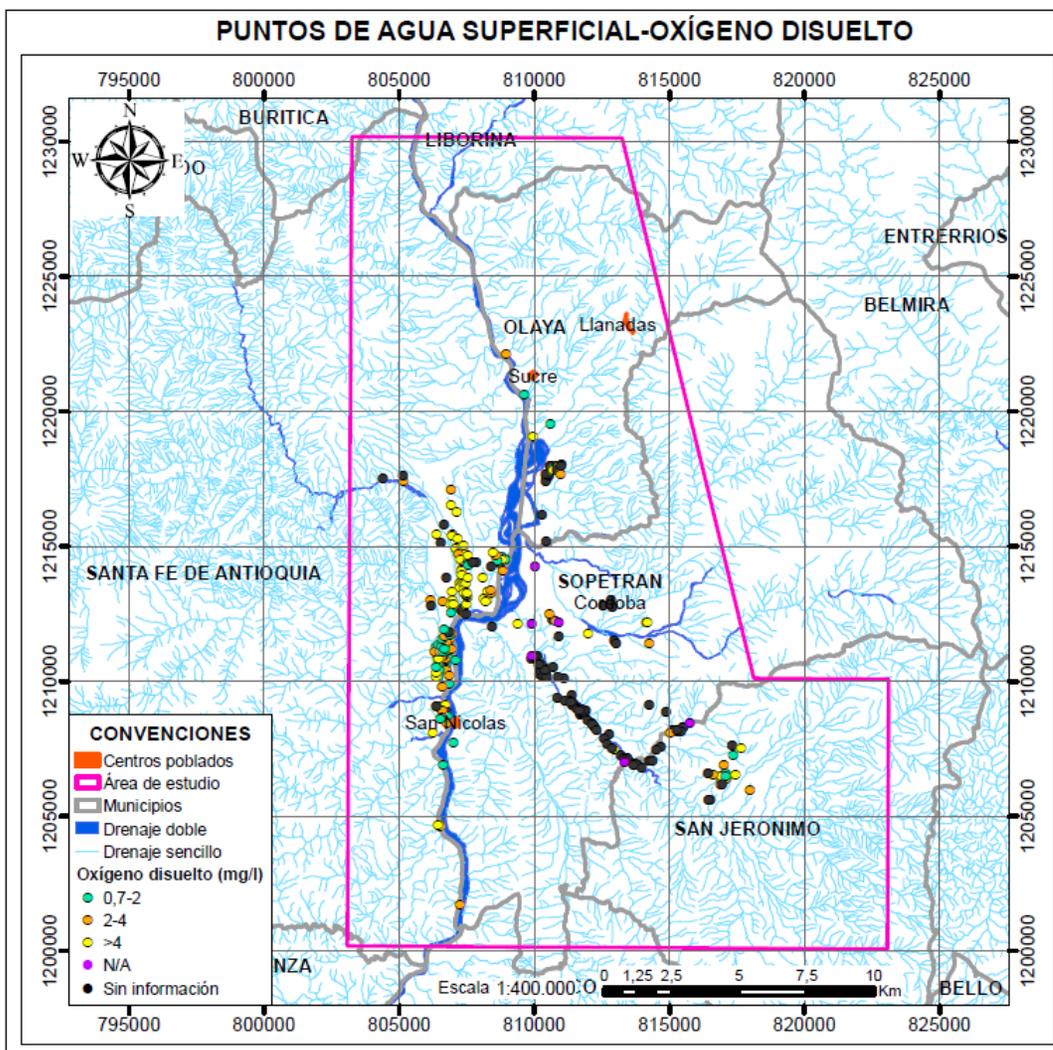


Figura 118. Distribución espacial del oxígeno disuelto de los puntos de agua inventariados. Fuente: elaboración propia.

9.4.1.6 Niveles

En la Figura 119 se presenta la distribución espacial de los niveles medidos durante la campaña de campo. Los niveles más profundos (10-41 m) se registran en Olaya (vereda La Florida), San Jerónimo (veredas Río verde y Llano de Aguirre) y Santa Fe de Antioquia en el sector El Paso. Los menores niveles (0 -2 m) se presentan en Sopetrán en las veredas: El Rodeo, Guaymaral, Tafetanes bajo, El Espinal y en Santa Fe de Antioquia en la vereda Espinal.

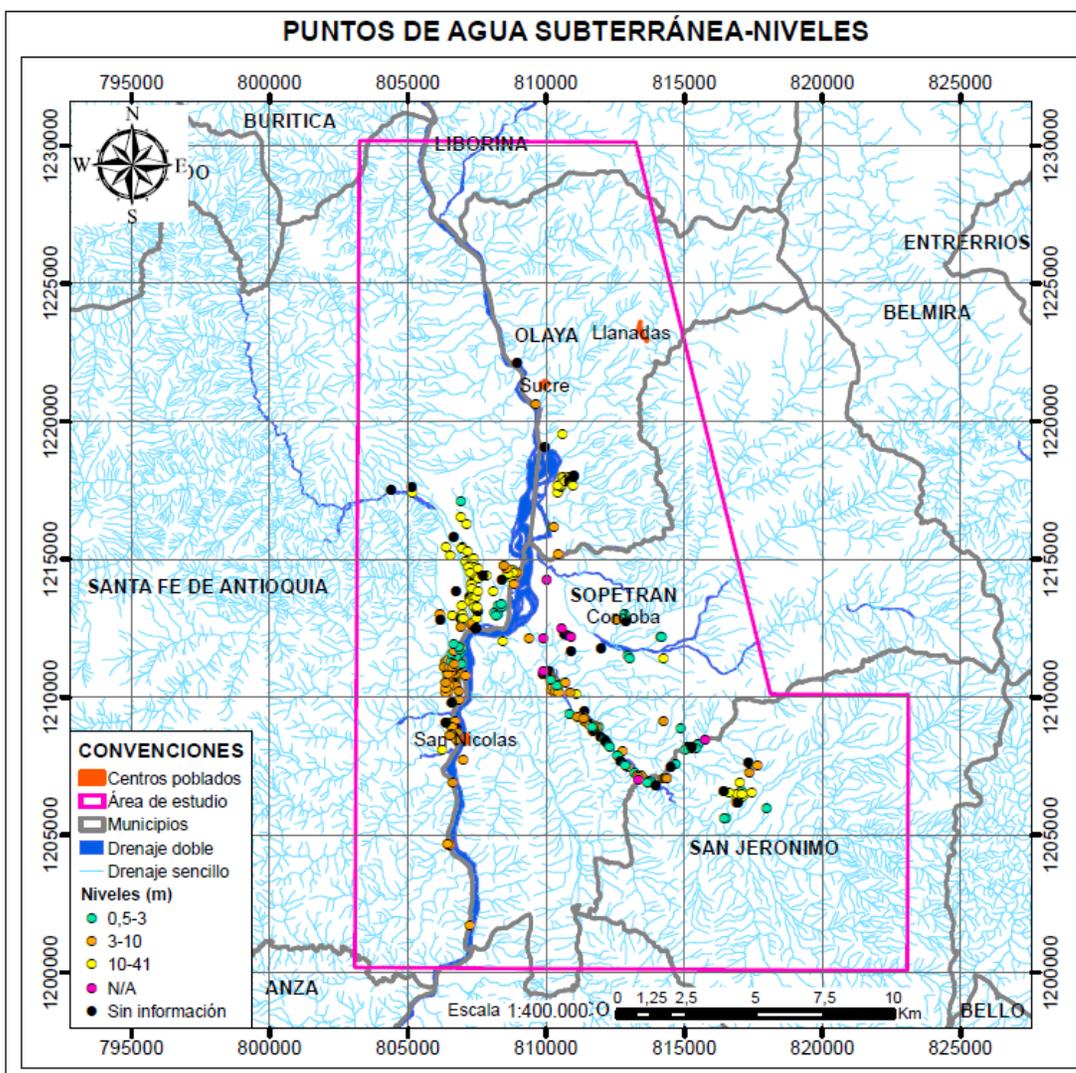


Figura 119. Distribución espacial de los niveles de los puntos de agua inventariados. Fuente: elaboración propia.

9.5 USOS Y USUARIOS

De acuerdo a lo observado en campo los principales usuarios del recurso hídrico subterráneo son los turistas, ya que los pozos y aljibes se encuentran en fincas de recreo, parcelaciones y hoteles principalmente, mientras que las personas del propio municipio se abastecen con agua proveniente de las acequias, acueducto veredal y/o el acueducto municipal.

En la Figura 118 se presenta la distribución de uso del recurso hídrico subterráneo de este grupo de usuarios, allí se observa que el grupo que más usa el agua de los aljibes son las fincas con un 92%, seguido por los hoteles con un 4%; el 3% está representado por aquellas actividades industriales tales como la explotación de material de playa en la que se destacan 3 empresas: Agregados El Tonusco S.A y La Bloquera ubicada en el sector El Paso en el municipio de Santa Fe de Antioquia y la empresa Arenas y Triturados Santa Fe localizada en la vía entre Sopetrán y Santa Fe de Antioquia. El usuario “otro” se refiere al parque acuático Kanaloa y al aljibe de La Maqueda en Santa Fe de Antioquia, el cual no tiene un uso específico.

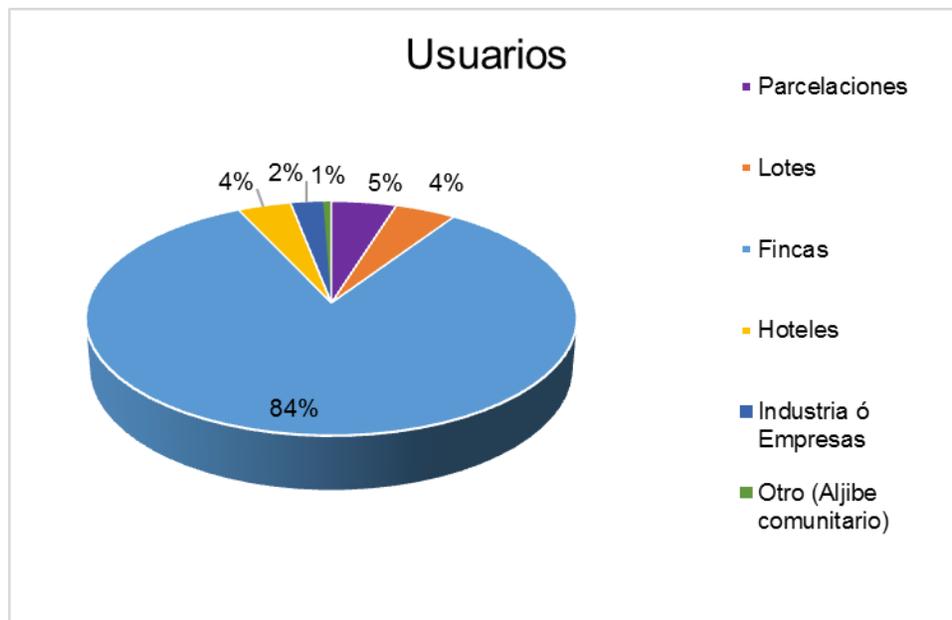


Figura 120. Grupos de usuarios del recurso hídrico subterráneo. Fuente: elaboración propia.

En la Figura 121 se presenta la distribución espacial de estos grupos de usuarios en la zona de estudio.

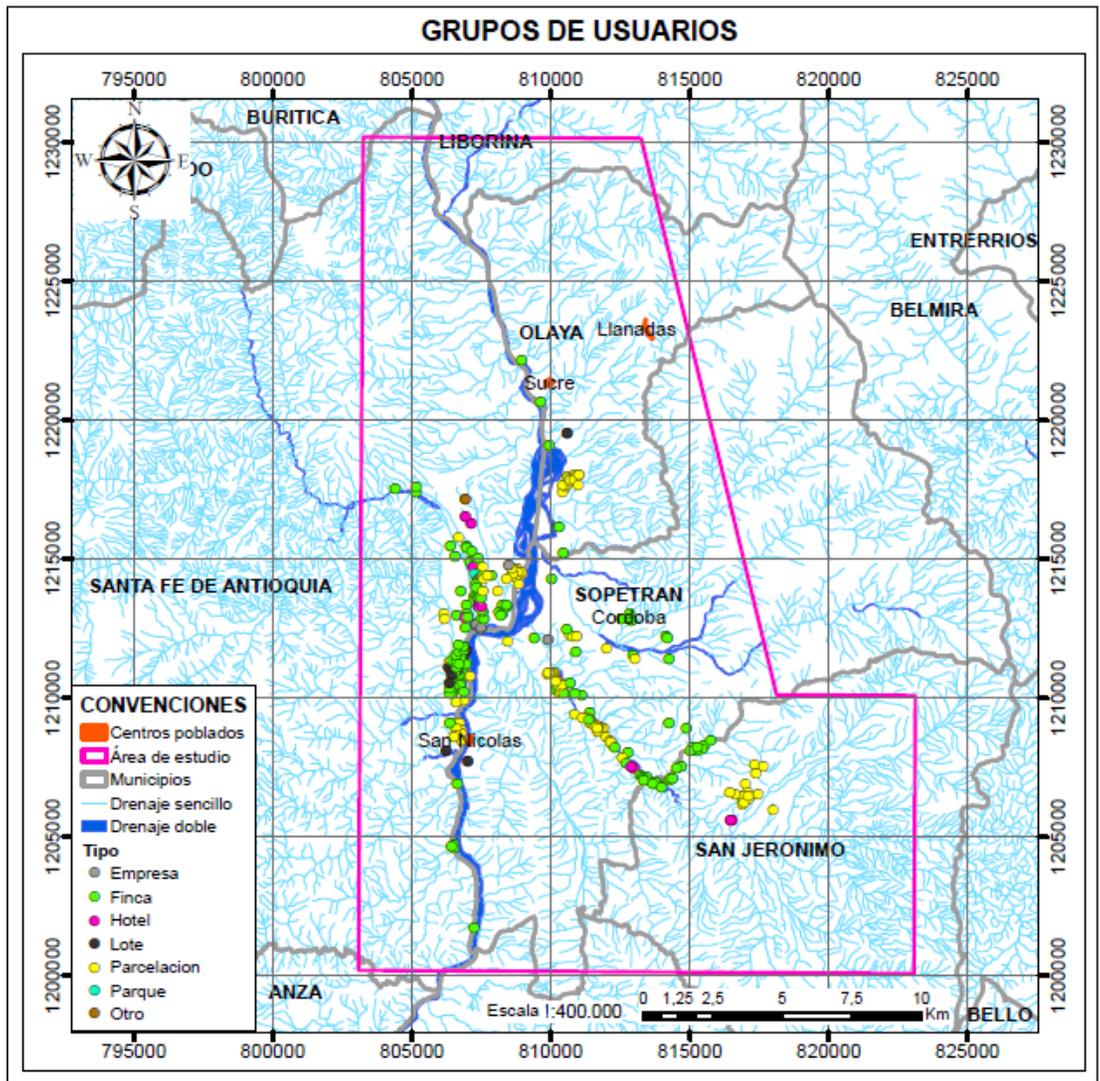


Figura 121. Distribución espacial de los grupos de usuarios. Fuente: elaboración propia.

La distribución de los grupos de usuarios por municipio con su respectiva participación se presenta en la Figura 122.

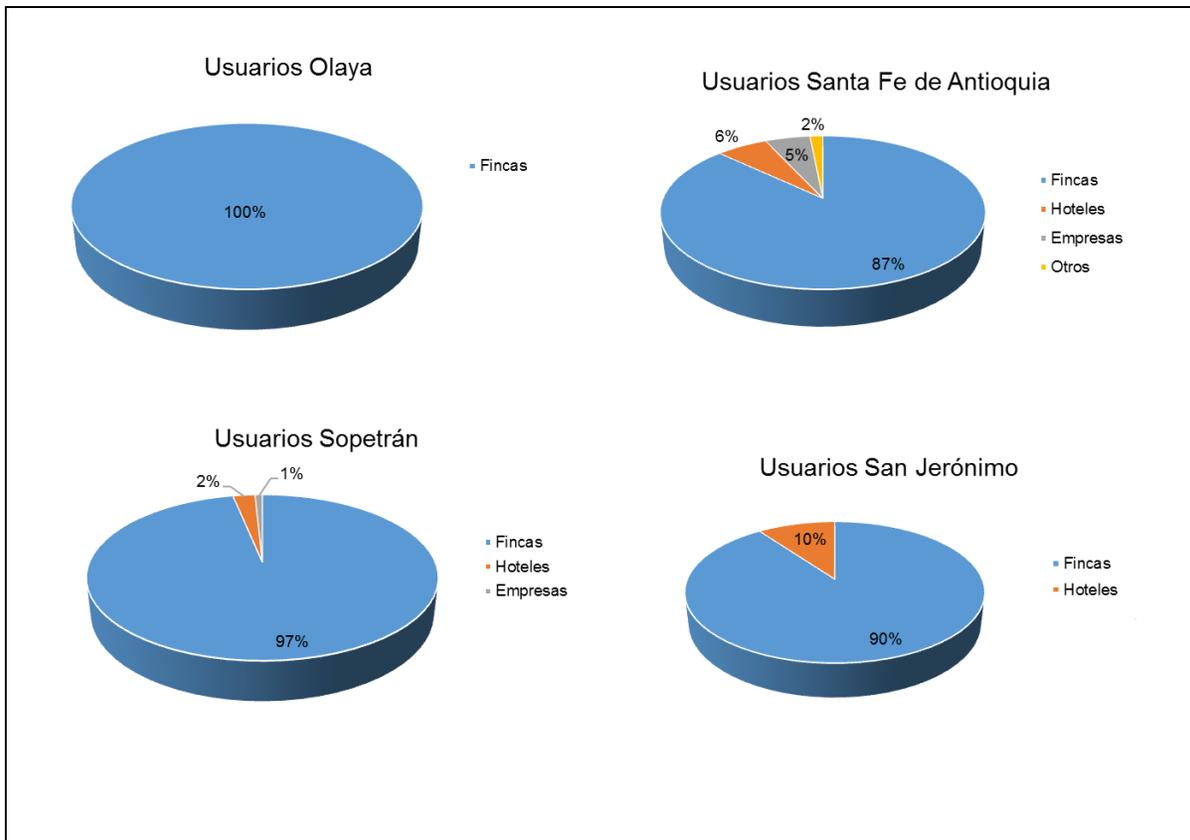


Figura 122.Distribución de usuarios por municipio. Fuente: elaboración propia.

9.5.1 Fuentes de abastecimiento

En la región de occidente en la que se realiza este proyecto, específicamente en los municipios de Liborina, Olaya, Santa Fe de Antioquia, Sopetrán y San Jerónimo, la principal fuente de abastecimiento de agua es el agua superficial suministrada por la empresa Aguas de Occidente filial de EPM, seguido de las acequias que son canales antiguos construidos por algunos pobladores y son derivaciones de las principales fuentes hídricas de estos municipios, por ejemplo en Sopetrán está el Río Aurrá y la quebrada La Sopetrana, en el municipio de Santa Fe de Antioquia aprovechan los Ríos Gualí y Tonusco; por otro lado el municipio de San Jerónimo aprovecha sus acueductos veredales provenientes de captaciones de Quebrada Grande; por su parte el municipio de Olaya no cuenta con ninguno de los dos sistemas y se abastece con el recurso hídrico subterráneo y el acueducto municipal (Aguas de Occidente).

9.5.2 Estado de los aljibes

De los 311 aljibes y 2 pozos inventariados se encontró que solo 7 de ellos están secos. Del mismo total de puntos, 272 son utilizados y 41 se encuentran actualmente sin ningún uso, (ver Figura 123).

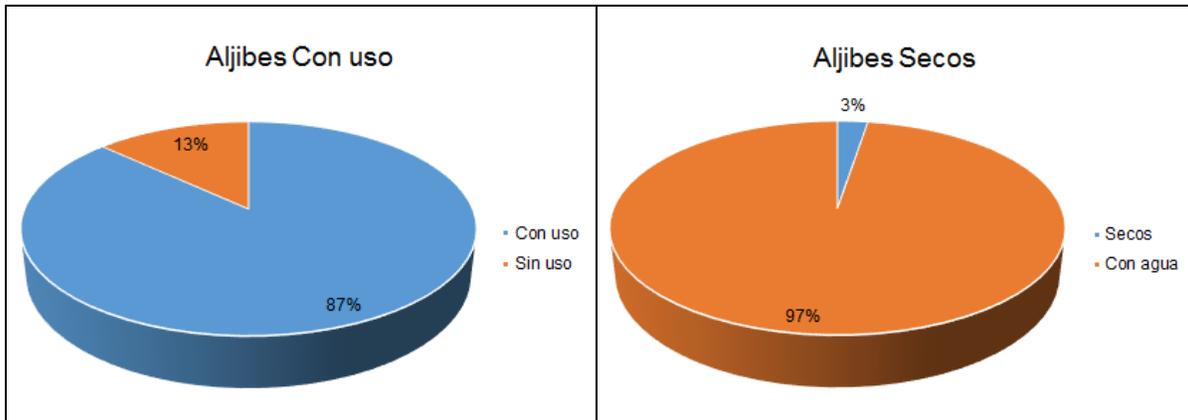


Figura 123. Estado de los puntos de agua inventariados. Fuente: elaboración propia.

En la Figura 124 se presenta la distribución espacial del estado de los aljibes: secos y con agua en la zona de estudio; en esta se observa que aquellos puntos que se encuentran más alejados de las principales corrientes son los que se encuentran secos, excepto dos ubicados en el municipio de Sopetrán cerca al Río Aurrá, esto puede ocurrir porque ambos aljibes son poco profundos para la zona en la que se encuentran.

El principal uso de estos puntos de agua subterránea es el agrícola, con un 53%, representado en el riego a los prados y jardines de las casa fincas, parcelaciones y hoteles de la zona de estudio; el segundo uso importante de esta agua es el doméstico (5%), en la que el agua se utiliza para hacer el aseo y los servicios sanitarios, como es el caso de 4 viviendas en el municipio de Sopetrán, 2 viviendas en el municipio de Olaya, 3 viviendas en el municipio de San Jerónimo y 1 vivienda, 1 hotel y 1 parque acuático en el municipio de Santa Fe de Antioquia.

En la Figura 125 se presenta la participación de los usos de estos puntos de agua inventariados, y en la Figura 126 la distribución espacial de estos usos del agua.

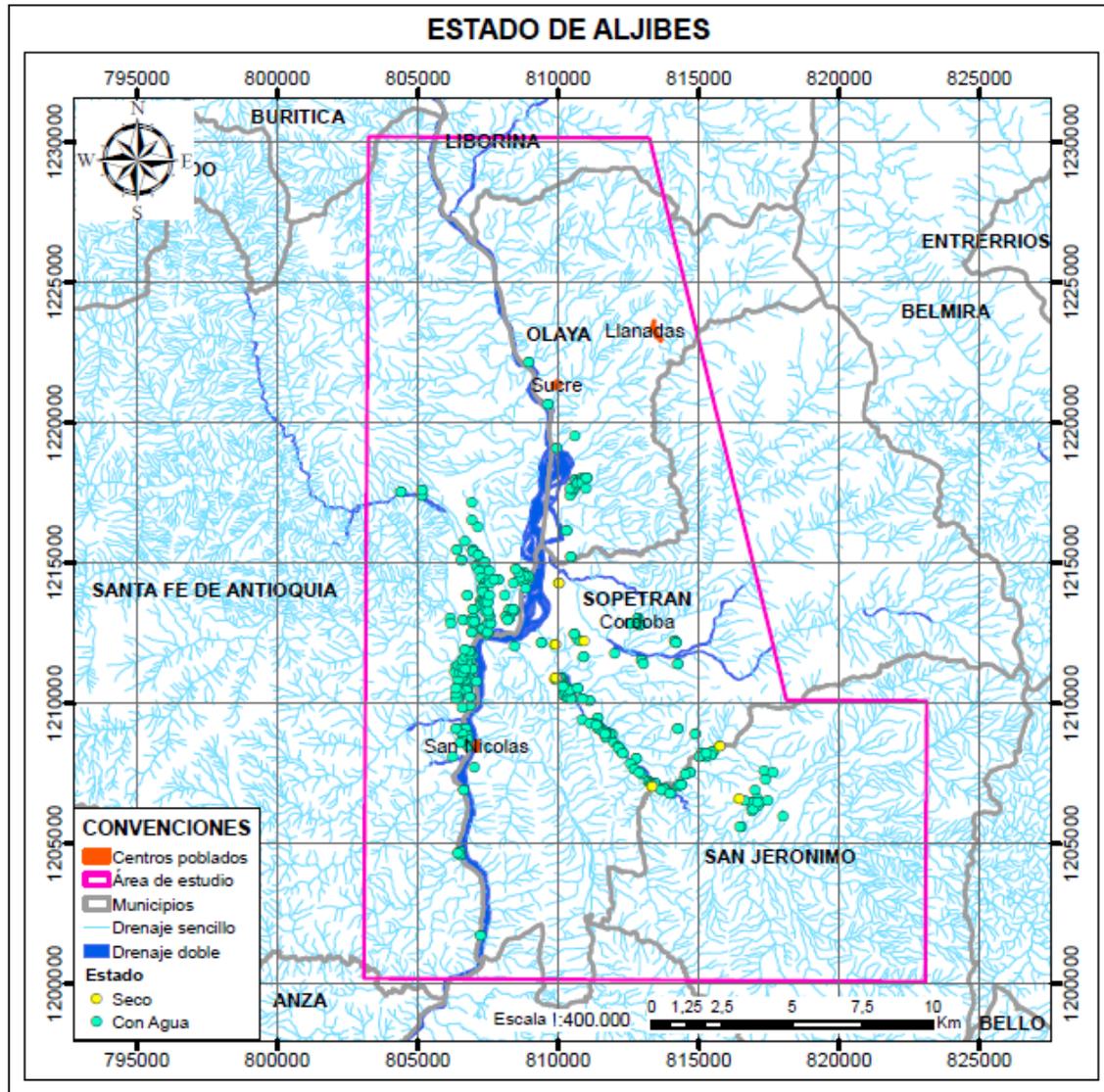


Figura 124. Distribución espacial del estado de los aljibes. Fuente: elaboración propia.

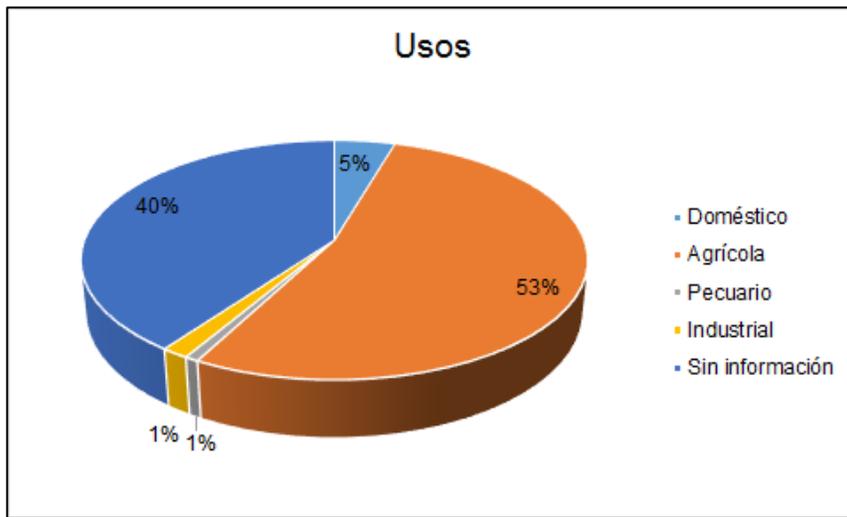


Figura 125. Usos del agua de los puntos de agua inventariados. Fuente: elaboración propia.

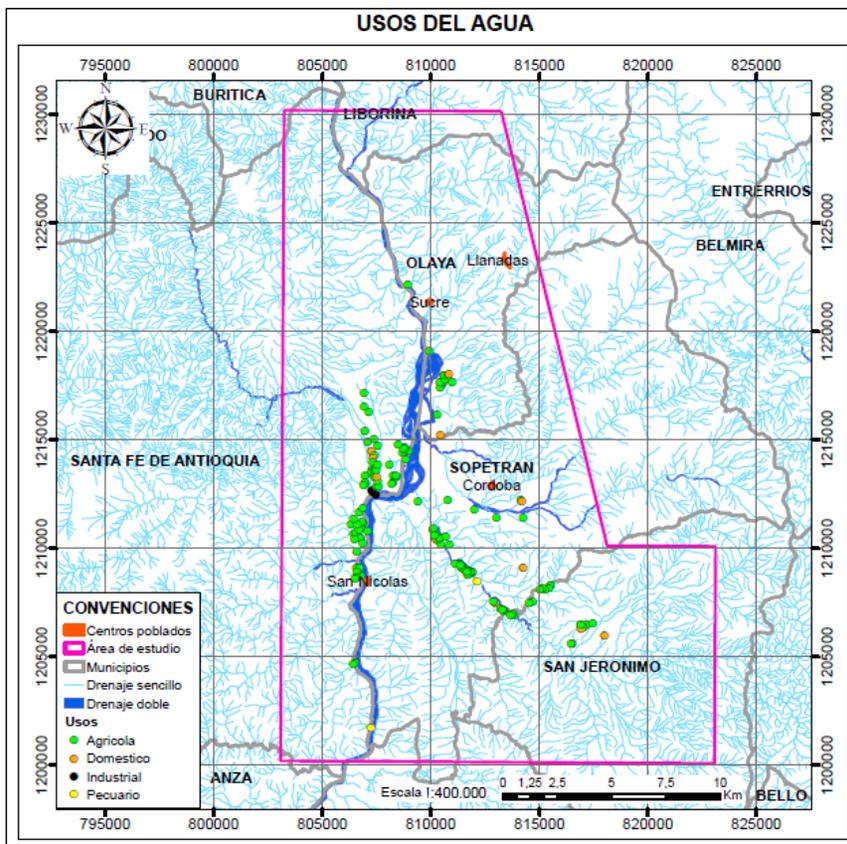


Figura 126. Distribución espacial del uso del agua de los aljibes. Fuente: elaboración propia.

En la Figura 127 se presenta la distribución de los usos del agua subterránea por municipio.

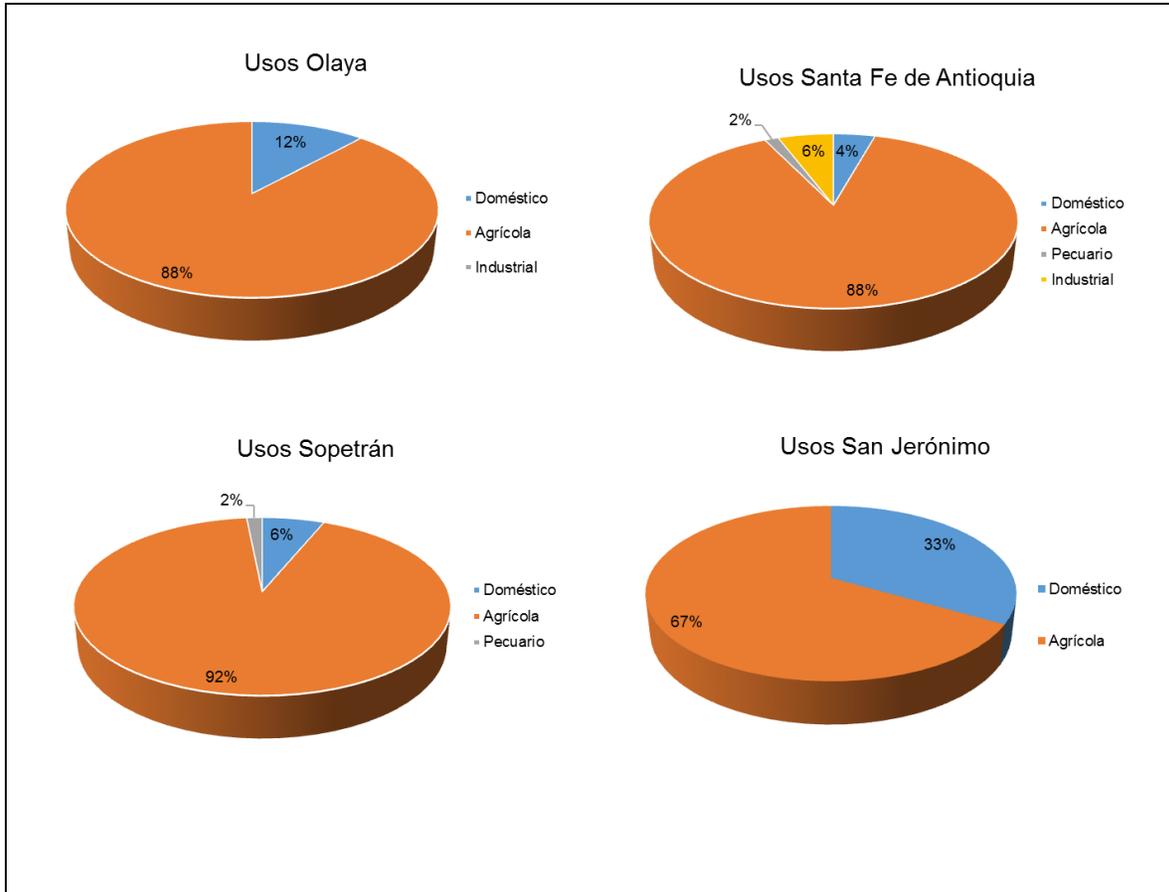


Figura 127. Distribución de los usos del agua por municipio. Fuente: elaboración propia.

9.5.3 Régimen de bombeo

De acuerdo con los datos recopilados en campo, en la Tabla 40 se presenta el régimen de bombeo por municipio, tanto en horas por día como en días por semana. Según lo expresó la comunidad se bombea dos veces al día, dos horas en la mañana y dos horas en la tarde con el propósito de regar jardines y prados.

Tabla 40. Régimen de bombeo.

| Municipio | Bombeo Horas/día | Bombeo días/semana |
|-----------------------|------------------|--------------------|
| Olaya | 4 | 6 |
| Santa Fe de Antioquia | 4 | 6 |
| Sopetrán | 4 | 6 |
| San Jerónimo | 3 | 5 |

9.5.1 Caudales de explotación

De acuerdo a la información obtenida en campo, se estimaron los caudales de explotación, mediante la consulta de las curvas características de las motobombas.

Los caudales de explotación se presentan en la Tabla 41.

Tabla 41. Caudales de explotación para la zona de estudio

| Tipo de bomba | Potencia [HP] | Cantidad puntos | H [m] | Q _T [l/s] | Q [m ³ /año] |
|---------------|---------------|-----------------|-------|----------------------|-------------------------|
| Lapicero | 1 | 4 | 2,52 | 0,52 | 16.399 |
| | 1,5 | 2 | 2,35 | 0,26 | 8.199 |
| | 2 | 2 | 2,29 | 0,26 | 8.199 |
| | 2,5 | 1 | 2,29 | 0,13 | 4.100 |
| | 3 | 2 | 2,30 | 0,34 | 10.722 |
| | 5 | 1 | 3,31 | 0,15 | 4.730 |
| | 7,5 | 1 | 3,32 | 0,15 | 4.730 |
| | 8 | 1 | 4,20 | 0,14 | 4.415 |
| Motobomba | 1 | 2 | 1,00 | 0,32 | 10.092 |
| | 1,5 | 1 | 3,00 | 0,2 | 6.307 |
| | 2 | 10 | 2,90 | 1,8 | 56.765 |
| | 3 | 3 | 3,00 | 0,54 | 17.029 |
| | 5 | 3 | 1,85 | 0,51 | 16.083 |
| Qtotal | | | | 5,32 | 167.772 |

9.6 FUENTES POTENCIALES DE CONTAMINACIÓN.

Los acuíferos son una excelente fuente de agua por lo tanto se debe generar conciencia sobre su existencia y los cuidados que deben tenerse con ellos. La contaminación del agua subterránea puede darse por diversas formas, pero la más común es la asociada al ser humano por el desarrollo urbano, producción agrícola, actividad industrial, entre otros.

En el desarrollo del trabajo de campo de este proyecto se observa que las zonas de potencial acuífero identificadas anteriormente, ahora experimentan una gran presión por el uso del recurso hídrico subterráneo, hecho que debe encender las alarmas no solo por la posible sobre-explotación del acuífero, sino por la disposición final de todos los residuos provenientes de estas parcelaciones, fincas, hoteles, etc, que se encuentran en la zona (ver Figura 128).

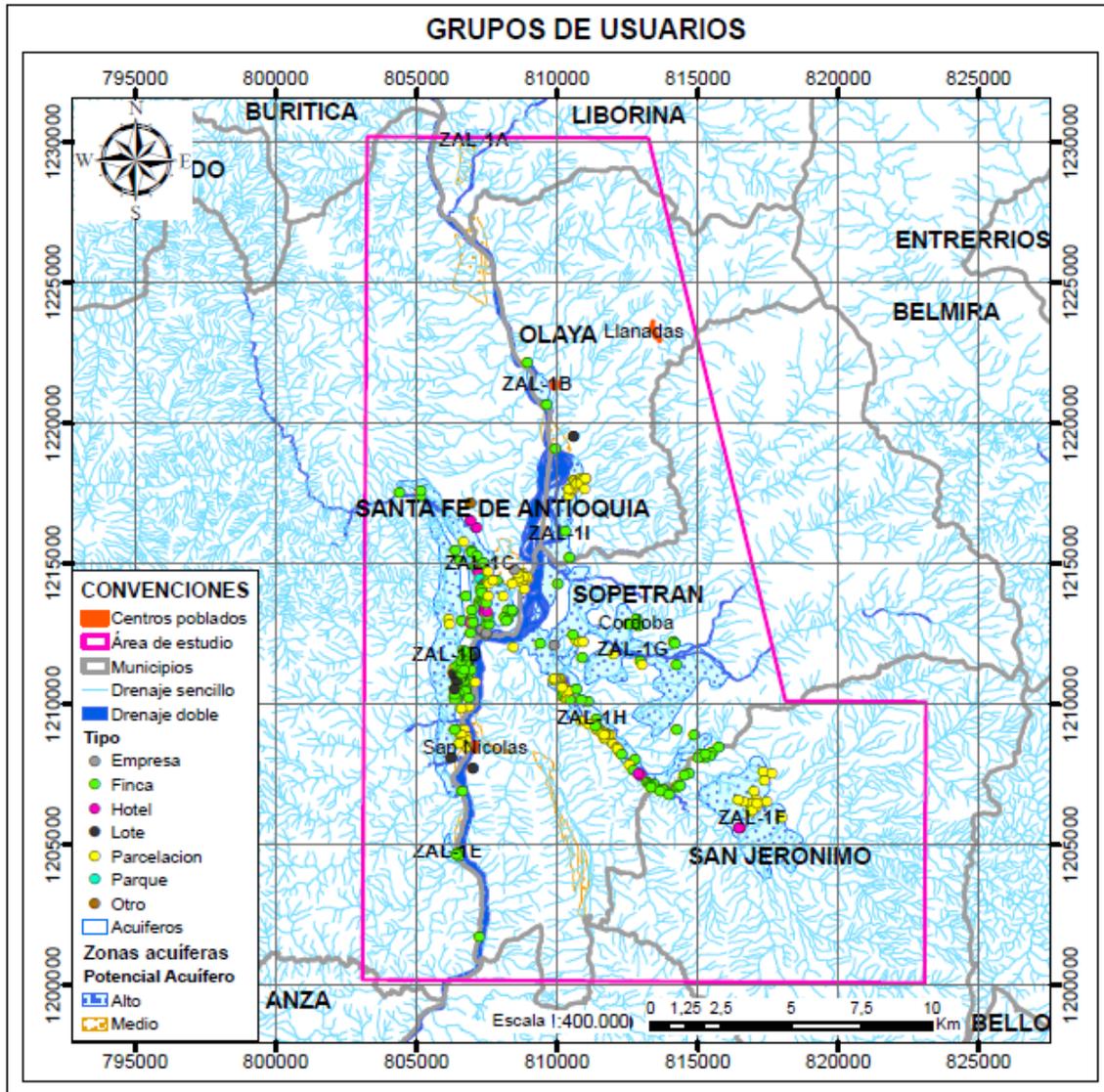


Figura 128. Distribución espacial de los grupos de usuarios comparados con la zona de potencial acuífero.

Fuente: elaboración propia.

La codificación de las zonas potenciales acuíferas se presenta en la Tabla 42.

Tabla 42. Codificación de los tipos de zonas acuíferas

| TIPO DE ZONA ACUIFERA | CÓDIGO |
|------------------------|---------|
| Zona acuífera libre 1A | ZAL- 1A |
| Zona acuífera libre 1B | ZAL-1B |
| Zona acuífera libre 1C | ZAL-1C |

| TIPO DE ZONA ACUIFERA | CÓDIGO |
|------------------------|---------|
| Zona acuífera libre 1D | ZAL-1D |
| Zona acuífera libre 1E | ZAL-1E |
| Zona acuífera libre 1F | ZAL-1F |
| Zona acuífera libre 1G | ZAL- 1G |
| Zona acuífera libre 1H | ZAL-1H |
| Zona acuífera libre 1I | ZAL-1I |

Se encontró además que las personas por el gran desconocimiento que tienen acerca de su entorno, han convertido los aljibes en receptores de las aguas residuales de la vivienda y sitios de disposición de residuos sólidos, residuos líquidos, grasas (ver Foto 4 y Foto 5), lo cual constituye una amenaza importante al recurso hídrico subterráneo.



Foto 4. Izquierda: aljibe con tubería de descarga de aguas residuales. Derecha: aljibe con basura.

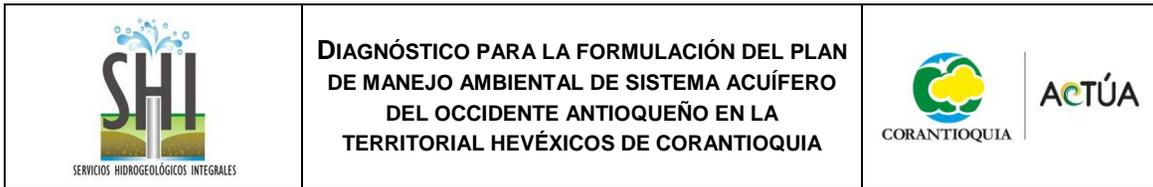


Foto 5. Izquierda: aljibe con animales muertos en su interior. Derecha: aljibe abandonado.

Se encontró que las personas tienen diversas inquietudes con el manejo de los pozos sépticos, sobretodo porque informan que estos se encuentran en zonas más altas que los aljibes, y se presume que los pozos sépticos fueron construidos en calado, lo cual indica que parte de los residuos se infiltran en el suelo, con la posibilidad de llegar luego hasta el aljibe, como se presenta en la Foto 6.



Foto 6. Ubicación del aljibe y el pozo séptico.



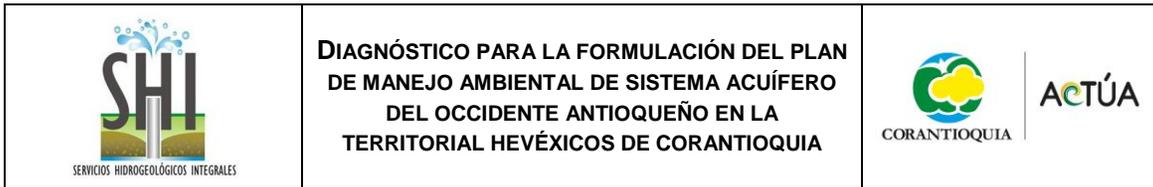
10. FASE DE DIAGNÓSTICO – COMPONENTE SOCIAL, ECONÓMICO Y CULTURAL

10.1 INTRODUCCIÓN

En el marco de elaboración del diagnóstico para la posterior Formulación del Plan de Manejo Ambiental del Sistema Acuífero del Occidente Antioqueño que se ha venido desarrollando en los municipios de Liborina, Olaya, Sopetrán, Santa Fe de Antioquia y San Jerónimo, la Corporación Ambiental del Centro de Antioquia – Corantioquia en cumplimiento del Decreto 1640 del 2012 se propuso desarrollar desde un enfoque participativo la construcción del diagnóstico para el Plan de Manejo del Sistema Acuífero, en el cual uno de los objetivos principales fue la identificación y caracterización de los actores de este sistema.

En este sentido, el enfoque participativo propende por una construcción colectiva sobre un conocimiento determinado, en el cual, tanto quienes promueven la iniciativa como quienes son los invitados a participar de ella, desarrollan sentidos y diversos significados sobre sus realidades o contextos, ya que cada vivencia y espacio de encuentro en conjunto permite la expresión de la diversidad de visiones, sentidos y conocimientos que los distintos participantes tienen sobre un mismo asunto. Todo esto genera como resultado la construcción de espacios que permiten el aprender del otro, entregar al otro, incentivan la tolerancia, la aceptación de la diferencia y promueven la convivencia y la responsabilidad frente a temas que competen a todos los involucrados.

Este enfoque participativo para la caracterización de los actores sociales del sistema acuífero generó además de la identificación de estos actores y sus roles un proceso de sensibilización y reflexión sobre el tema ambiental y la toma de conciencia frente a la responsabilidad de cada actor en el manejo eficiente y sustentable del entorno y sus recursos, especialmente el agua; permitió poner de presente la manera como cada uno de estos actores se ha ido relacionando con el recurso subterráneo de forma individual y colectiva, el conocimiento sobre sus ciclos y la importancia del cuidado y gestión adecuada de este recurso y el discernimiento sobre su territorio y sus aguas. Todo esto, alcanzado a partir del intercambio de saberes, ideas, experiencias y



percepciones entre los diferentes actores sobre los temas tratados en relación al sistema acuífero del occidente antioqueño.

De otro lado, este espacio de participación y construcción colectiva fue el escenario en qué los diversos actores que participaron expresaron sus propias frustraciones en relación a la participación, la ineficacia y dificultad para poner en práctica la normatividad en materia ambiental, los miedos frente actores que se consideran por parte de la población local como hegemónicos y otros vinculados con la minería “ilegal” que llegan a sus territorios en busca de sus recursos y la desconfianza hacia la institucionalidad pública en términos de la gestión.

Sin embargo, este ejercicio fue también el espacio para que los actores se motivaran a posteriori para los procesos de participación durante la Formulación del Plan de Manejo, para que busquen estrategias de restablecimiento de la confianza entre las comunidades principalmente y la institucionalidad pública, para clarificar ideas confusas en términos de la gestión ambiental del recurso hídrico subterráneo, para conocer e informarse sobre normatividad ambiental, el uso y manejo del recurso agua en la zona, para motivar la continuidad de la investigación desde la iniciativa comunitaria, para incentivar y sensibilizar en relación a la importancia de la participación, del conocimiento sobre su territorio, el sentido de pertenencia y la apropiación de estos procesos para el desarrollo social y sostenible de estas localidades, para fomentar el respeto y la valoración del ambiente.

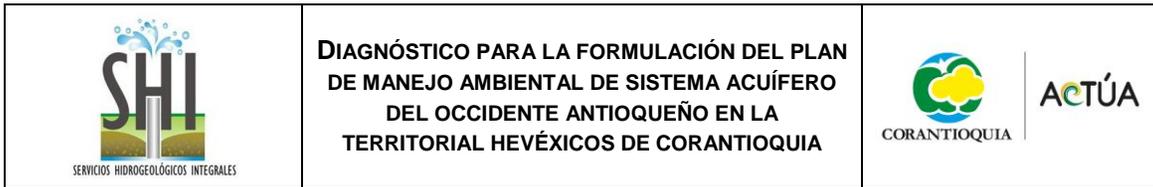
10.2 OBJETIVOS

Objetivo General

Caracterizar socioeconómica y culturalmente a los principales actores del sistema acuífero del Occidente antioqueño, territorial Hevéxicos de Corantioquia.

Objetivos específicos

- Identificar los actores que existen alrededor del sistema acuífero subterráneo del Occidente antioqueño.
- Describir las condiciones socioeconómicas y culturales de la población o los actores identificados alrededor del sistema acuífero subterráneo del Occidente.



- Identificar con participación de los actores las principales problemáticas o amenazas de las aguas subterráneas en la zona de estudio.

10.3 MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO DEL ENFOQUE PARTICIPATIVO Y ANÁLISIS DE ACTORES

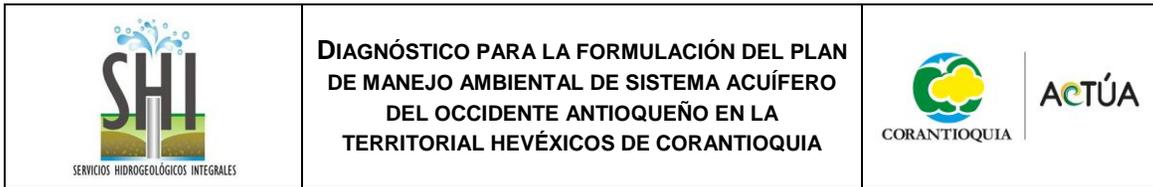
En el siguiente ítem se desarrollan las bases conceptuales y diseño metodológico que orientó la construcción de la caracterización de los actores del sistema acuífero del occidente antioqueño en la territorial Hevéxicos de Corantioquia.

10.3.1 Enfoque participativo

En América Latina, el inicio y consolidación del enfoque participativo se sitúa aproximadamente en los años 70 con la conceptualización y formulación de la denominada Investigación Acción Participativa cuyas bases se sitúan en las propuestas de Paulo Freire con su obra Pedagogía de los oprimidos, de 1968, así como de la experiencia de la educación popular en la concienciación de los movimientos populares en América Latina (Zabala, 2001). Posteriormente este enfoque se fue ampliando, transformado y/o particularizando en temas tales como desarrollo rural, planificación, uso, manejo, aprovechamiento y conservación de los recursos naturales, estudios de género, asistencia humanitaria, resolución de conflictos, responsabilidad empresarial entre muchos otros. Como ejemplos de la consolidación de este enfoque se puede observar el desarrollo de perspectivas como la Valoración Rural Participativa VRP y la Valoración Rural Rápida VRR (WWF, AUSAID y UICN, 2004), Diagnósticos Rurales Participativo DRP (Chambers, 1997), entre otros.

Todas estas aproximaciones se sustentan en el planteamiento según el cual, se reconoce la diversidad cultural y de género, la validez de diferentes modos de conocimiento, el reconocimiento de poblaciones locales que afirman no tener voz en la sociedad y la necesidad de propiciar procesos de empoderamiento en la toma de decisiones. Así, con visiones a favor y en contra, el enfoque participativo se ha convertido en un tema de estudio, análisis y objeto de desarrollo de agencias con influencia nacional e internacional como la FAO, Banco Mundial, Naciones Unidas, las cuales han desarrollado manuales y guías para hacer operativa la participación, logrando así que ésta sea uno de los pilares teóricos de las acciones en todo el mundo, así en la práctica todavía se requiera fortalecer esfuerzos, acciones concretas y consolidación de procesos.

De esta forma y para el logro de los objetivos propuestos para la caracterización de los actores se recurrió a este enfoque participativo como método desarrollado y validado en las ciencias sociales,



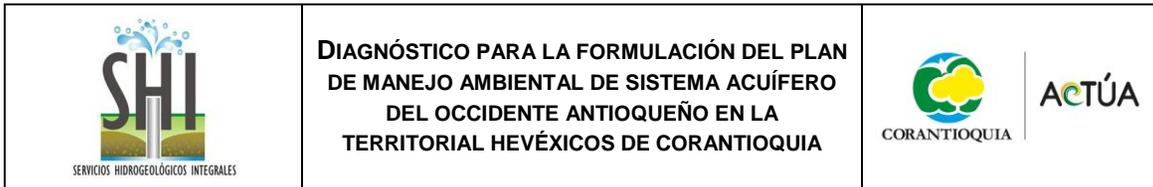
el cual permitió la participación y el reconocimiento de los distintos actores durante el proceso de indagación o investigación propuesto. Así, la etnografía como enfoque metodológico participativo fue la estrategia que permitió el dialogo, el intercambio de saberes y el reconocimiento sobre el saber del “Otro”, buscando trascender la mera descripción y el registro propuesto por la etnografía clásica.

Desde esta perspectiva y según Guber (2004), durante el proceso etnográfico de observación, descripción y registro no se está haciendo solo una lectura de la realidad sino que también se la está interpretando, y en este proceso de interpretación hay siempre que tener presente dos dimensiones necesarias de distinguir, una referida a lo que la gente hace, y la otra referida a lo que la gente dice que hace, es decir, esto pone en evidencia, las prácticas y a la vez los valores y las normas asociadas a estas. De esta forma y desde la propuesta de la etnografía como enfoque se requiere tanto de la indagación de las historias orales o documentales como de la observación de las prácticas cotidianas y los distintos códigos que se entreteje entre los actores en su cotidianidad y que configuran un todo social y cultural particular.

Igualmente la etnografía como enfoque permitió construir de forma conjunta los resultados de la investigación, procurando generar en y entre los distintos actores reflexiones y aprendizajes alrededor de las diferentes preguntas y temas que fueron surgiendo en el ejercicio investigativo, generando al tiempo un reconocimiento hacía el saber del “Otro” como un gran portador de conocimientos, historias, percepciones y experiencias en y sobre su territorio, y por tanto el más indicado para identificar y caracterizar actores, identificar problemáticas, proponer, formular y apropiar estrategias de gestión para la sostenibilidad de su territorio y los recursos dispuestos en él.

Por otra parte, la etnografía como metodología participativa y de acuerdo con Martínez, J. (2004) se entiende como el procedimiento y las técnicas de operación, en otras palabras, ésta consiste en el compendio de herramientas, técnicas e instrumentos que se utilizan para obtener la información y datos requeridos para llevar a cabo la investigación. Entre estas técnicas se tiene la entrevista, la observación directa, el taller, la observación participante, la historia de vida y la revisión documental, entre otras. Precisamente, para el caso que nos ocupa la etnografía fue usada como enfoque y metodología o técnica participativa a la vez. Se usó como metodología para lograr la identificación y caracterización de los actores que tienen alguna relación en el sistema acuífero, definición de sus roles, nivel de importancia e influencia en la resolución de las problemáticas alrededor del agua subterránea. Se desarrollaron técnicas como la revisión documental,

| Caso | Énfasis | Técnicas | Resultados |
|---|---|---|---|
| <p align="center">Programa de descontaminación de la zona carbonífera del Cesar, Colombia(MADS y Universidad de Antioquia, 2014)</p> | <p align="center">Contaminación del aire</p> | <p align="center">– Diagrama de Venn – Mapas de actores</p> | |
| <p align="center">Delimitación de las áreas de páramo en la jurisdicción de Corantioquia y definición de las estrategias de planificación y conservación(Corantioquia y Holos S.A.S. 2014)</p> | <p align="center">Recursos naturales Áreas de páramo</p> | <p align="center">– Diagrama de Venn – Esquema de actores</p> | |
| <p align="center">Caracterización de actores construcción de la propuesta de redes de entidades y personas del SIAT – PC (SIAT-PC e Invemar, 2007)</p> | <p align="center">Sistema de Información Territorial del Pacífico</p> | <p align="center">– Esquema de redes</p> | <p align="center">Figura 9. Red de Entidades y personas SIAT-PC</p> |



10.3.3 Metodología

Como estrategia metodológica para el componente de caracterización sociocultural de los actores del sistema acuífero, se presenta a continuación una descripción de las técnicas que fueron desarrolladas para la recolección y sistematización de la información requerida. Es preciso señalar que en relación a este componente, CORANTIOQUIA, no había desarrollado para el sistema acuífero del occidente algún estudio al respecto, por lo que este tema es nuevo dentro de los análisis o estudios del sistema acuífero en mención.

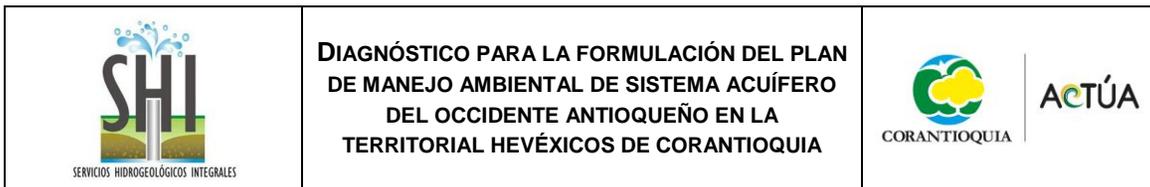
Las técnicas planteadas inicialmente en la propuesta metodológica y pedagógica para este proyecto debieron ser revaluadas, después de las primeras visitas de campo y los primeros encuentros con actores locales, dado que se encontró en campo un alto desconocimiento por parte de la población local sobre el tema de agua subterránea. En este sentido la técnica de la cartografía social para identificar los puntos de agua en el territorio, no logró desarrollarse, en parte por el desconocimiento sobre el agua subterránea que tiene la población local y algunos funcionarios de las instituciones públicas, como por el temor y la desconfianza de administradores, mayordomos, trabajadores de fincas, fontaneros o constructores de los aljibes o pozos de brindar información al respecto, estos actores consideraron que esta información era restringida o confidencial.

Las técnicas implementadas tanto para la recolección de información primaria, de revisión y validación de información secundaria fueron: la revisión documental o información secundaria, la entrevista semiestructurada, el taller y la observación directa.

10.3.3.1 Revisión documental o información secundaria

La revisión documental es una técnica muy utilizada en la investigación cualitativa y la etnografía, consiste en la revisión de documentos e información existente acerca del estudio o tema que se está tratando, de forma general se recurre al uso de fuentes oficiales como los Esquemas de Ordenamiento Territorial, Planes de Desarrollo, documentos históricos, investigaciones e informes realizadas sobre el tema a tratar, bases de datos sobre organizaciones existentes en el territorio, entre otros.

Para la caracterización de los actores del sistema acuífero fue necesario revisar documentos que permitieron identificar de forma preliminar los actores que existen alrededor del sistema acuífero en los municipios que conforman el área de estudio. Posteriormente se buscó información secundaria



que permitió contextualizar y caracterizar a estos actores e ir visualizando las principales problemáticas alrededor del tema de sistemas acuíferos.

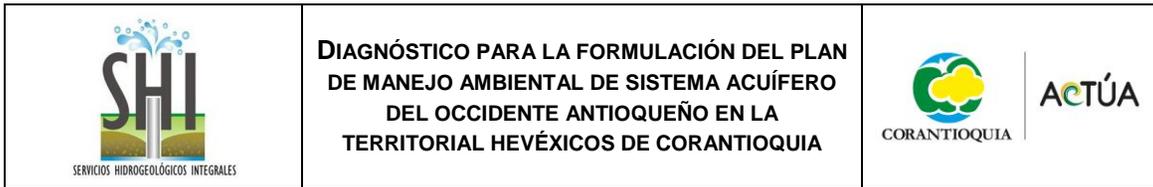
Estos documentos revisados fueron los Esquemas y/o Planes de Ordenamiento Territorial (EOT – POT), Planes de Desarrollo Municipal en la vigencia 2012-2015, perfiles municipales de los cinco municipios del área de influencia del proyecto, además de estudios e investigaciones realizadas en la zona como: las estadísticas del DANE (2005) y de la Cámara de Comercio de Antioquia (2013), y estudio sobre dinámicas y directrices territoriales, impactos del turismo en occidente y región del Cauca (UNAL, 1997; INER, 2011; Ruiz Muñoz, 2013; López Zapata, 2014)

10.3.3.2 El Taller

El taller es una técnica participativa en la que se propicia un espacio para el encuentro de los diferentes actores y la puesta en común de conocimientos, prácticas, diálogo de saberes, percepciones sobre uno o varios temas específicos, es el espacio por excelencia para los procesos comunicativos, de reflexión, aprendizaje, auto reconocimiento y reconocimiento del “Otro” entre los actores participantes.

Dentro del taller se desarrollan una o varias técnicas que posibiliten la construcción y el intercambio de saberes y de conocimiento, para este caso de la caracterización de los actores del sistema acuífero del occidente se acudió a herramientas como: **El Grupo Focal o Grupo de discusión**, esta técnica consistió en realizar una entrevista grupal para la recolección de información, este grupo estuvo conformado por un conjunto de persona o actores de interés que compartían unas características comunes como la pertenencia al territorio del Occidente Cercano de Antioquia, población local y tradicional del área de estudio, similar rango de edad, entre otros elementos; el propósito durante esta técnica conversacional fue que los participantes lograran plasmar sus saberes, experiencias y conocimiento en relación al agua y específicamente al recurso de agua subterránea. De igual forma, que lograran nombrar o poner en palabras las percepciones y representaciones que tienen acerca de su territorio, sus dinámicas, el acceso y uso del recurso subterráneo, las principales problemáticas y los usuarios del mismo.

Dado que no se consiguió desarrollar la técnica de cartografía social, la estrategia del grupo focal permitió a través del diálogo y el intercambio de ideas identificar, actualizar y complementar algunos puntos de agua subterránea existentes en la zona de estudio, sus usos, el estado en el que estos se encuentran y las principales problemáticas asociadas a los mismos.



Así mismo, en el taller se usaron técnicas como el **Diagrama de Venn y la Matriz de Influencia** para identificación y validación sobre los actores del sistema acuífero, sus roles, sus relaciones, intereses, capacidad de participación e influencia en la resolución o en incidencia de los problemas identificados.

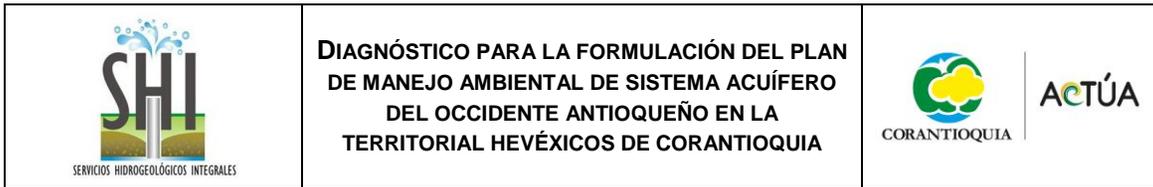
De forma paralela, se desarrolló una serie de talleres con técnicas pedagógicas para la devolución del conocimiento generado técnicamente y el conocimiento de construcción colectiva con los distintos actores. Los talleres permitieron no sólo recoger y validar información, sino generar un espacio de aprendizaje y reconocimiento del territorio y el sistema acuífero de occidente cercano. El balance de los eventos de participación se desarrolla en el ítem 10.6.3 donde se detallan las actividades realizadas.

Al respecto, es importante mencionar que se hicieron diversos intentos de reuniones y talleres, tanto con comunidades como con instituciones, donde la participación de los actores fue escasa o nula y no se pudo realizar, dada la prevención y no participación de las personas durante el proceso. Igualmente se recalca que en el numeral 10.6.3 se hace referencia a las dificultades que se presentaron en términos de la participación.

10.3.3.3 La observación directa

Esta técnica hace parte del bagaje del investigador de acuerdo con su experiencia, para detectar la información relevante que aporte a la construcción e interpretación del contexto. Durante la realización de la caracterización de los actores la observación directa en campo y durante los talleres posibilitó la identificación de prácticas y recopilación de datos útiles para ajustar, complementar o corroborar parte de la información recogida y organizada. Es importante aclarar que en este caso la observación directa no implica necesariamente la observación participante¹.

¹ En donde se llega a ser parte del grupo estudiado, a la vez que se le observa. En esta técnica el investigador se integra al medio tomando parte en actividades y en las dinámicas propias del grupo o de las personas que observa.



10.3.4 Plan de trabajo

Para dar cumplimiento al desarrollo del objetivo de caracterización de los actores del sistema acuífero, se planteó un plan de trabajo con su respectivo cronograma para la ejecución de esta etapa de diagnóstico. Este plan de trabajo se dividió en tres momentos, los cuales se describen a continuación.

10.3.4.1 Momentos 1: Identificación preliminar de los actores

En este momento se dio inicio al proceso de recolección y revisión de información secundaria, construcción base de datos e identificación preliminar y selección de actores claves del sistema acuífero, además se definió el marco teórico con el que se abordará la caracterización de los actores.

Así mismo, se realizaron las convocatorias de reuniones de información del proyecto, verificación y complementación de lista de actores con las administraciones municipales y con la territorial Hevéxicos. Es preciso aclarar aquí que la participación de las administraciones municipales fue muy compleja en el inicio y durante el proceso de estudio del proyecto, se hizo necesario realizar varias visitas para buscar conversar con algunos de los funcionarios y así acceder a la información que se requería y poder brindarle también a cada administración la información pertinente frente al proyecto.

De igual forma, existía un alto desconocimiento por parte de los funcionarios de las administraciones municipales en relación al tema del agua subterránea, su localización, usuarios, usos, cuidado y manejo de los mismos. De hecho, para la Territorial Hevéxicos también esto fue un tema de conocimiento reciente, ya que en sus registros de legalización sólo tenían el reporte de la existencia de algunos aljibes y el proceso de trámite de otros, tal y como se relaciona en la Tabla 44.

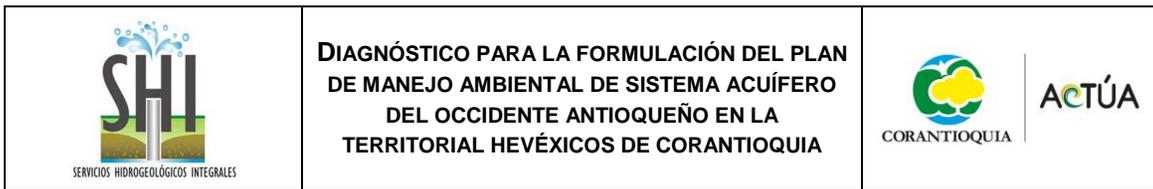
Tabla 44. Concesiones de agua subterránea formalizada y en trámite. Fuente: Corantioquia expedientes Hevéxicos. 2014.

| Nombre predio/solicitante | Municipio | Vereda | Uso | Usuarios | Estado |
|---|-----------------------|------------------------|------------|--------------------------------|--|
| Paraje Pura Vida | Olaya | Quebrada Seca | Doméstico | 6 permanentes, 30 transitorias | Niegan la solicitud de prospección y exploración de aguas subterráneas. No exigen concesión por tratarse de uso doméstico. |
| Parcelación Los Robles Lote 2 | Santa Fe de Antioquia | El Espinal | Doméstico | 1 permanente, 15 transitorias | En trámite |
| Finca San Miguel | Olaya / Sucre | Vereda El Dormido | Doméstico | - | En trámite |
| Arreboles y curazao | Sopetrán | Vía San Nicolás Km 2,8 | | - | En trámite |
| Parcelación Jerez de la Frontera SAS | Sopetrán | La Puerta | - | - | En trámite |
| Promotora de Inversiones Las Palmas - PRINLAP | Santa Fe de Antioquia | Obregón | Agrícola | 5 Ha | Otorgada en 2004, se prorroga en 2011 |
| Agregados El Tonusco | Santa Fe de Antioquia | El Paso | Industrial | - | Otorgada en 2009 |

10.3.4.2 Momento 2. Contextualización y conceptualización del agua en el territorio

Posterior a la identificación de los actores, se realizó un primer taller con actores claves del área de estudio para realizar la contextualización de los puntos de agua subterránea, sus principales usuarios, usos y manejo de la misma. En este ejercicio fue igualmente importante buscar diversas estrategias de convocatoria y de definición de actores, se hizo necesaria la realización de varias reuniones para contar a los participantes de qué se trataba el proyecto y poder acceder a la información que se requería.

Se hicieron algunos recorridos de campo buscando actores sociales del sistema acuífero referenciados por otros como actores claves por su conocimiento sobre el tema del agua



subterránea. Se lograron generar algunos espacios donde con prevención los distintos participantes brindaron información pertinente y se permitieron participar y conocer el proyecto, sus objetivos y alcances.

De esta forma, en este momento se hicieron dos encuentros o talleres (ver la Tabla 60) en los que se desarrollaron algunas técnicas para la recolección de información primaria.

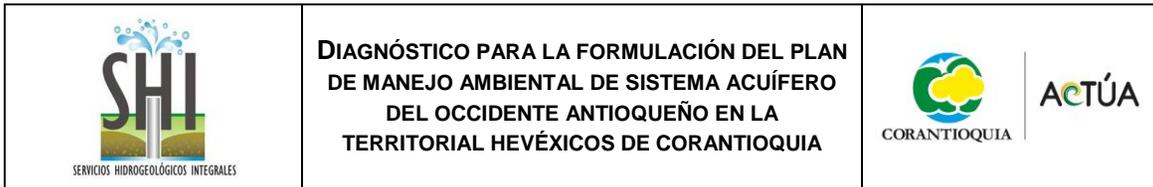
10.3.4.3 Momento 3. La espiral del conocimiento – resultados finales.

Después de identificar y recoger la información sobre los puntos de agua, construir de forma conjunta el proceso de caracterización de los actores identificados, la definición de sus roles, intereses, relaciones, usos y manejo que hacen del agua subterránea, se realizó el momento 3 denominado: “**La espiral del conocimiento**”, el propósito de este taller fue convocar al sector comunitario, algunos del sector privado y las instituciones educativas para la devolución o socialización de los resultados finales del estudio, en este taller se trabajaron de forma pedagógica 5 bases del conocimiento sobre las características biofísicas del territorio, ciclo del agua, el agua en el territorio (puntos de agua identificados en el estudio del 2004 y puntos del estudio del 2015) vulnerabilidad intrínseca del acuífero, problemáticas identificadas, cuidados, usos y manejo adecuado del recurso subterráneo y visita a un aljibe recuperado por la comunidad a través de una propuesta artística y como referente de historia, identidad, conocimiento y arraigo a su territorio.

De igual forma, se realizó la socialización de los resultados finales con las administraciones municipales de los 5 municipios del área de influencia del proyecto, especialmente con funcionarios de las secretarías de Planeación, Agricultura y Medio Ambiente – UMATA, Gobierno y Desarrollo social. En el municipio de Liborina la alcaldesa participó de la reunión y también una funcionaria de la empresa de servicios públicos del municipio. Ver Tabla 60 y el Anexo del capítulo 10, denominado: listados de asistencia.

10.3.5 Estrategias de convocatoria

Dentro de las estrategias de convocatoria se acudió a el envío de cartas firmadas por CORANTIOQUIA para el sector institucional conformado principalmente por las administraciones municipales de los municipios de Liborina, Olaya, Santa Fe de Antioquia, Sopetrán y San Jerónimo; envío de correos electrónicos a algunos actores del sector comunitario y del sector privado, a todos los actores se les realizaron llamadas telefónicas informando y confirmando la realización los diferentes encuentros. De igual forma se hicieron algunos contactos persona a persona para la invitación a ciertas reuniones y también para el permiso de acceso a los predios. Para la invitación



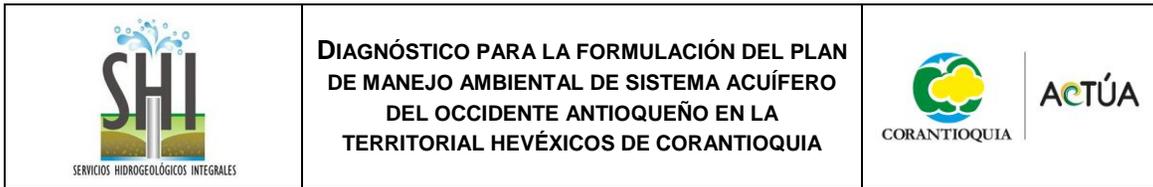
a los talleres se recurrió a la comunicación radial a través de la emisora local Ondas del Tonusco y a tarjetas publicadas en la página web de Corantioquia y sus redes sociales.

10.4 DESCRIPCIÓN DE TERRITORIO OCCIDENTE CERCANO – TERRITORIAL HEVÉXICOS

En cuanto al territorio del occidente antioqueño y sus características en el ámbito social, económico y cultural se tiene históricamente que su patrón de asentamiento y distribución de las poblaciones, ha estado relacionado con las condiciones biofísicas y ambientales que imponían formas particulares para aprovechar los recursos disponibles e implantar sistemas productivos. Por lo cual, en la literatura sobre la subregión Occidente se señala que en las llanuras aluviales del río Cauca el poblamiento probablemente fue escaso y disperso, por las condiciones fisiográficas y la disponibilidad de recursos, los asentamientos se ubicaron en las márgenes de los ríos, dada la viabilidad de explotar intensamente la caza y la pesca. En la región montañosa, se desarrollaron sistemas agrícolas en valles, altiplanicies y vertientes, basados en el cultivo de maíz, yuca y frijol, y en menores proporciones otras variedades como tubérculos y frutas (Universidad Nacional de Colombia, 1997).

Dada las condiciones geográficas del Cauca medio, la producción agrícola no pudo haber generado grandes excedentes que hicieran posible asentamientos humanos de las proporciones y complejidad como los que se presentaron en otras zonas; sin embargo, asociado a las actividades agrícolas se desarrolló en la zona la producción especializada de minería de oro y extracción de sal, recursos que fueron explotados intensamente y sirvieron de base para amplios intercambios comerciales con una cobertura interregional. La producción de oro, abundante en vetas y aluviones en el occidente medio del departamento, fue determinante en el papel que estos grupos cumplieron en la época prehispánica, donde eran frecuentes las luchas por el control de territorios mineros y donde el comercio de este producto, al igual que el de la sal, motivaron la construcción de una extensa red de caminos que surcaban el territorio en diversas direcciones y que intercomunicaban los valles del Cauca con el del Magdalena y los territorios del norte y sur del departamento (Castillo, 1994, citado por Universidad Nacional de Colombia, 1997).

Alrededor del año 1510 se establecieron los primeros asentamientos españoles en la región del golfo de Urabá, desde donde se adelantaron las primeras expediciones con el fin de obtener oro e indígenas para ser vendidos. El conocimiento por parte de los españoles de un centro minero en



las montañas del interior se convirtió en un fuerte aliciente para adelantar el proceso de conquista hacia el área andina. Así se inicia el paso subsiguiente en la conquista española, la cual se encaminó hacia la búsqueda de un tipo de ocupación más estable que las simples expediciones de saqueo y esclavización. Utilizando el golfo de Urabá, se emprende la búsqueda de la región minera de Buriticá. A partir de entonces se inicia un proceso de sustitución de las estructuras sociales indígenas en la región, por un tipo de asentamiento y de actividades económicas ligadas al imperio español.

En el momento histórico de la Colonia en el occidente medio de Antioquia, se tiene a Santa Fe de Antioquia como el centro urbano de mayor dominio con relación a los demás poblados existentes, con una base económica que dependía fundamentalmente de la actividad minera (con auge de la explotación de oro concentrado en el período 1575 a 1630) en torno a la cual giraba la organización social y espacial. Para inicios del siglo XVIII, las explotaciones mineras en el departamento cobran un nuevo impulso, en el cual coexisten la tradicional minería esclavista con un sector de mineros libres que generaron un movimiento expansivo de las actividades mineras y comerciales que trajo como consecuencia el enriquecimiento individual de algunos mineros y la construcción de fortunas por parte de los comerciantes ubicados en los principales centros urbanos.

Del lado de las políticas económicas, el occidente antioqueño encuentra para finales del siglo XIX, en el oro y el café, la posibilidad de articularse definitivamente en los círculos económicos internacionales de manera estable. Este proceso fue acompañado por transformaciones tecnológicas en la producción minera, la cual comenzó a ser atrayente para el capital internacional que incursiona en la producción minera en Antioquia, con grandes inversiones y modernización tecnológica en regiones aisladas del área de influencia de Santa Fe de Antioquia.

La apertura de la carretera al mar, en la transición del siglo XIX y XX, implicó leyes sobre adjudicación de baldíos y la introducción de cultivos comerciales, lo que llamó la atención de pobladores que se trasladaron a los pequeños caseríos que quedarían conectados por la vía. Esa fue la época de gran movimiento de población (Secretariado Nacional de Pastoral Social, 2001).

Con respecto a los niveles de urbanización, se señala la poca transformación que sufrieron otros centros y específicamente Santa Fe de Antioquia, que escasamente consiguió aumentar su población en 4.000 habitantes en el transcurso de un siglo, ya que de los 8.637 habitantes que tenía en 1851 solo paso a 12.185 en 1951. Los datos señalan cómo el crecimiento demográfico de

| | | |
|---|--|---|
|  <p>SERVICIOS HIDROGEOLÓGICOS INTEGRALES</p> | DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO EN LA TERRITORIAL HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA |  |
|---|--|---|

esta ciudad ha sido más intenso en los últimos treinta años que en el transcurso de un siglo, y derivado más a partir de sus relaciones con el área metropolitana que a dinámicas endógenas (Universidad Nacional de Colombia, 1997).

A mediados del siglo XX, el período de agitación política tuvo gran importancia en el Occidente, donde se vivió de manera sangrienta. Esta situación provocó el viaje de miles de campesinos de la subregión de occidente hacia Urabá y Medellín. Se calcula que el 26,5% de la población de la subregión, salió de la zona entre 1951 y 1964 (Secretariado Nacional de Pastoral Social, 2001).

10.4.1 Dinámica poblacional (Población y densidad poblacional)

La población en Occidente se encuentra localizada principalmente en el área rural (72,9%), con Municipios como Liborina y Olaya cuyo porcentaje de habitantes en la zona rural supera el 80,0% (ver Figura 129). En este ítem, dinámica poblacional, se toma la información de acuerdo con la proyección que realiza el DANE, 2005 a 2020 para todos los municipios de Colombia junto con información sistematizada de los planes de desarrollo de cada municipio, que se presenta en la Tabla 45. Los materiales en que se encuentran construidas son principalmente tapia, bahareque y material de construcción.

Tabla 45. Dinámica Poblacional consolidado municipios occidente antioqueño. Fuente: (DANE, 2005b), Fuente: Planes de Desarrollo municipal 2012-2015

| Municipio | Población | | | Tasa de Crecimiento (Razón %) | Densidad Poblacional (Hab/Km ²) | Composición Cultural (%) | | |
|------------------------------|-----------|-------|--------|-------------------------------|---|--------------------------|------|----------|
| | Urbano | Rural | Total | | | Mestizo | Afro | Indígena |
| Liborina | 1.761 | 7.774 | 9.535 | 0,66 | 43,94 | 92,8 | 7,1 | 0,1 |
| Olaya | 266 | 2971 | 3.237 | 0,62 | 37,97 | 98,2 | 1,8 | 0 |
| San Jerónimo | 4.083 | 8.552 | 12.635 | 1,47 | 81,52 | 92,9 | 7,0 | 0,1 |
| Santa Fe de Antioquia | 15.621 | 8.928 | 24.549 | 0,55 | 49,8 | 70,4 | 29,6 | 0 |
| Sopetrán | 6.931 | 7.765 | 14.696 | 1,21 | 65,9 | 87,5 | 12,5 | 0 |

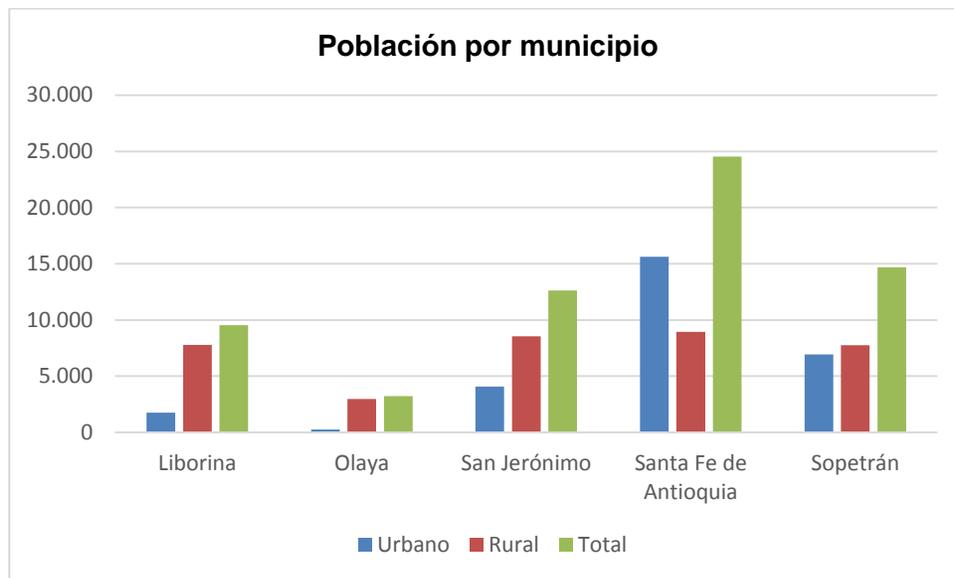


Figura 129. Población consolidada occidente antioqueño. Fuente: Planes de Desarrollo municipal 2012-2015

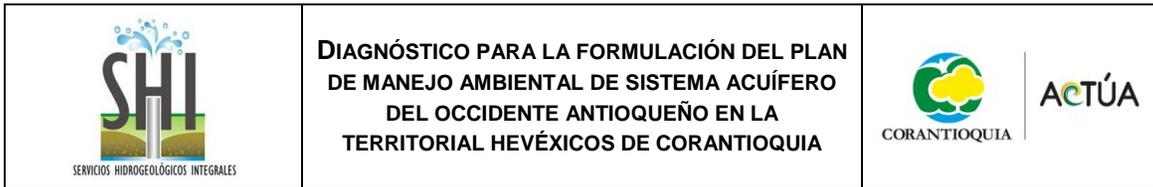
10.4.2 Vivienda

Los porcentajes de vivienda en la subregión se concentran en los estratos 1 y 2 con el 37,6% cada uno. El déficit cualitativo y cuantitativo (relación entre el déficit/población x 1000) es del orden de 97,6 y 55,5, respectivamente, superando a las subregiones del Valle de Aburrá, Norte, Oriente y Suroeste (ver Tabla 46y Figura 130).

En el déficit cuantitativo sobresale Sopetrán, esto se visualiza en el segmento de la población que no tiene donde vivir y que se ha visto en la necesidad de fundar tugurios ver Figura 130. (Ruiz Muñoz, 2003)

En el municipio de Liborina hay un total de 2547 viviendas, 619 ubicadas en zona urbana, 1508 en zona rural y 420 en centros poblados. El municipio a 2012 en su plan de desarrollo cuantifica un déficit de vivienda tanto cualitativo como cuantitativo de 1188 viviendas, de las cuales debe construirse totalmente 67 viviendas y deben realizarse mejoras de diversos tipos en 1127 de estas, la mayoría en zona rural.

La información para el municipio de Olaya señala que la cabecera municipal cuenta con 80 viviendas, el resto del municipio cuenta con 915 viviendas, para un total en todo el municipio de 995 viviendas de estas hay viviendas casa-fincas o cabañas para recreo, condominios y desocupadas. El déficit cualitativo es de 549 viviendas, las cuales solicitan algún tipo de



mejoramiento, mientras que 103 viviendas necesitan una reconstrucción total, principalmente por estar ubicadas en zonas de alto riesgo.

Para Santa Fe de Antioquia se reportan un total de 5.688 viviendas y 5.818 hogares o núcleos familiares, en el casco urbano se tiene 2.297 viviendas y en la zona rural 3.391. El reporte según PDM es de 2,2% en déficit de vivienda cuantitativa y 60% cualitativa (Mejoramiento) enfocado en la zona rural.

En el municipio de San Jerónimo en la zona urbana se cuenta con 1.109 viviendas, y en la zona rural 2.107, de las cuales el 58% se encuentra en déficit cualitativo, necesidad de mejoramiento y un 15% de reconstrucción total, el hacinamiento en algunos barrios es de 25% por lo cual se tiene un déficit de vivienda de 482 viviendas en diferentes localidades, las cuales deben construirse para solventar esta problemática.

Finalmente en el municipio de Sopetrán se reporta la existencia de 1.058 viviendas en la zona urbana, con un 15% que debe hacerse mejoramiento. En el municipio existen 3.025 viviendas en la zona rural, de las cuales el 35% necesitan mejoramiento algún tipo. En general para el municipio se tiene un déficit de vivienda de 30% se necesitan entre 300 y 400 viviendas nuevas.

Tabla 46.Componente vivienda conglomerado occidente antioqueño. Fuente: Planes de Desarrollo municipal 2012-2015.

| Municipio | Urbano | Rural | Mejoramiento | Construcción | Total viviendas |
|-----------------------|--------|-------|--------------|--------------|-----------------|
| Liborina | 619 | 1928 | 1127 | 67 | 2547 |
| Olaya | 80 | 915 | 549 | 103 | 995 |
| San Jerónimo | 1109 | 2107 | 1865 | 482 | 3216 |
| Santa fe de Antioquia | 2297 | 3391 | 3412 | 125 | 5.688 |
| Sopetrán | 1058 | 3025 | 1216 | 300 | 4083 |

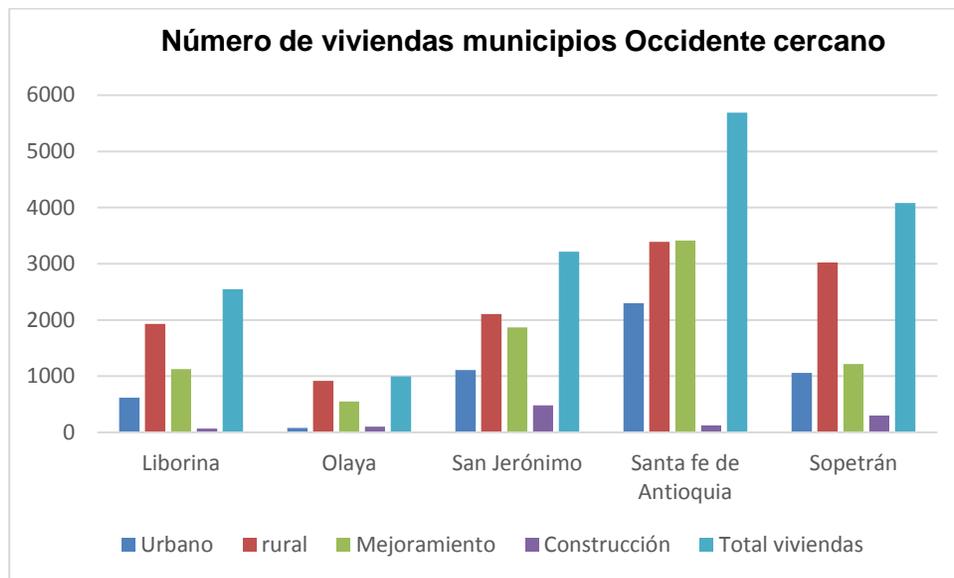


Figura 130.Número de viviendas municipios área de estudio. Fuente: Planes de Desarrollo municipal 2012-2015

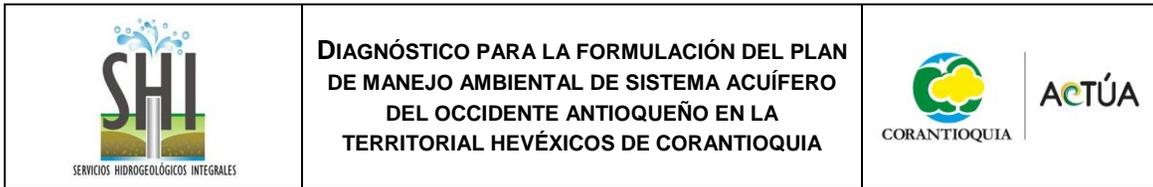
10.4.3 Servicios públicos

El occidente presenta una cobertura del servicio de energía del 96,2% (99,5% urbano y 90,7% rural), siendo superior a las presentadas en el Bajo Cauca, el Norte y Urabá. En general todos los municipios presentan coberturas residenciales urbanas superiores al 99% (Ver Figura 134). En las zonas rurales, los municipios con más alto cubrimiento corresponden a los del occidente cercano, San Jerónimo, Santa Fe de Antioquia, Sopetrán y Liborina. En telefonía se tienen 6.276 abonados en servicio y 129 líneas rurales.

La población con acceso al servicio de acueducto equivale al 61,3%, ocupando el cuarto lugar en menor cobertura después del Nordeste, Norte y Urabá, en su orden. Para las áreas urbanas el cubrimiento es relativamente bueno ya que es del orden del 96,4%, pero para las áreas rurales este porcentaje se reduce al 46,9% aunque es de resaltar que es de los más altos del departamento, Ver Figura 131.

La población servida en la subregión con servicio de alcantarillado equivale al 26,7% ver Figura 132.

La situación es especialmente crítica, como en la mayoría del Departamento, en la zona rural, con sólo un 6,4% de la población servida. Sin embargo, en la zona urbana, este porcentaje asciende al



75,9% superando incluso a otras subregiones como el Bajo Cauca, el Magdalena Medio, el Nordeste y Urabá. (Ruiz Muñoz, 2003).

En cuanto a relleno sanitario se utiliza el que pertenece al municipio de Liborina reportándose en operación normal, ver Figura 133.

10.4.3.1 Acueducto

En Liborina la cobertura de acueducto es del 89% de las viviendas, pero el servicio de agua potable aplica solo para las viviendas localizadas en la zona urbana del municipio. En la zona urbana opera la empresa Aguas de Occidente. Pero en la zona rural esto compete las juntas administradoras de acueducto en cada vereda (Municipio de Liborina, 2012).

Para el municipio de Olaya se cuenta con una cobertura de 92%, en el casco urbano y corregimiento de Sucre (20% de la población), el servicio de acueducto es prestado por Aguas de Occidente, en el resto del municipio aunque existen acueductos son manejados por las juntas administradoras de acueducto y no presentan niveles de potabilidad registrados (Municipio de Olaya, 2012)

En Santa Fe de Antioquia la cobertura en zona urbana es del 90% cubriendo la mayor parte de esta y exceptuando el barrio Miraflores y Las Brisas, en zona rural es del 63,8%. El servicio es prestado por la empresa Aguas de Occidente (Municipio de Santa Fe de Antioquia, 2012).

En cuanto al municipio de San Jerónimo la zona urbana posee una cobertura de acueducto del 98% y en zona rural de 62%, lo que significa que en zona rural un 38% de la población debe resolver su acceso al recurso hídrico de otros modos, tradicionalmente se han implementado las acequias. El servicio de acueducto en el municipio lo presta la empresa Aguas de Occidente y en zona rural las juntas administradoras locales (Municipio de San Jerónimo, 2012).

La información para el municipio de Sopetrán reporta que el 100% de las viviendas está conectado al servicio de acueducto en la zona urbana prestado por Aguas de Occidente y en la zona rural por las juntas administradoras de acueducto con un 78% de cobertura (Municipio de Sopetrán, 2012).

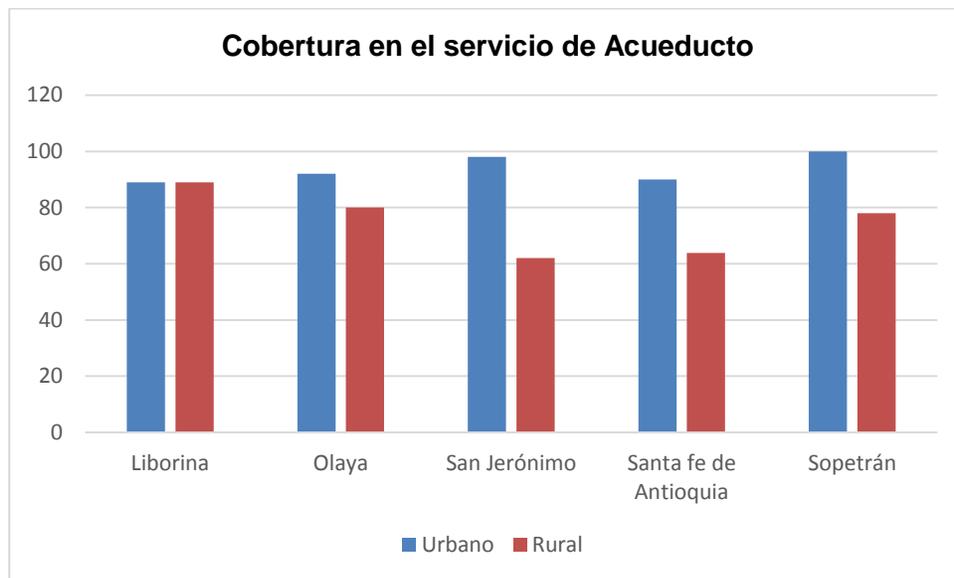


Figura 131. Cobertura en el servicio de acueducto. Fuente: Planes de Desarrollo municipal 2012-2015

En general, en cuanto al acceso al recurso hídrico es la zona rural la que más déficit presenta, por lo cual tradicionalmente las personas han tenido otros modos de acceso al agua como el sistema de acequias para aprovechamiento de aguas superficiales y la construcción de aljibes para aguas subterráneas. Sin embargo mediante la información recopilada durante el trabajo de campo y el acercamiento a los diversos actores, la población local ha reducido su uso de las aguas subterráneas con la llegada del sistema de acueducto, y actualmente son las fincas y parcelaciones de segunda residencia, y pertenecientes a población foránea de la zona que usan el recurso subterráneo para el riego de prados y jardines, principalmente

10.4.3.2 Alcantarillado

En cuanto al servicio de alcantarillado en el municipio de Liborina, en la zona urbana es del 100% mientras que en la zona rural es del 26%. Este servicio se presta en la zona urbana por la empresa de Aguas de Occidente al igual que en la zona rural cercana a la cabecera, la cual maneja la misma empresa. (Municipio de Liborina, 2012). En Olaya se cuenta con una cobertura en el servicio de alcantarillado del 47%, esto para la zona urbana, pues la zona rural no cuenta con servicio de alcantarillado, este servicio lo presta Aguas de Occidente (Municipio de Olaya, 2012).

Para Santa Fe de Antioquia el servicio de alcantarillado es prestado por la empresa Aguas de Occidente, y se reporta una cobertura en zona urbana del 63% y en la zona rural de 4,4%. En la zona urbana este déficit se focaliza en 7 barrios entre ellos el barrio Miraflores y las brisas (Municipio de Santa Fe de Antioquia, 2012). En el municipio de San Jerónimo la cobertura en la zona urbana es del 88%, servicio que presta la empresa Aguas de Occidente, en zona rural no existe conexión a alcantarillado, existe un 7,7% de viviendas rurales con letrina (Municipio de San Jerónimo, 2012). Finalmente para el municipio de Sopetrán hay una cobertura en servicio de alcantarillado del 67%. En zona rural no existe este servicio y en zona urbana algunas viviendas depositan directamente las aguas servidas en los afluentes directamente (Municipio de Sopetrán, 2012).

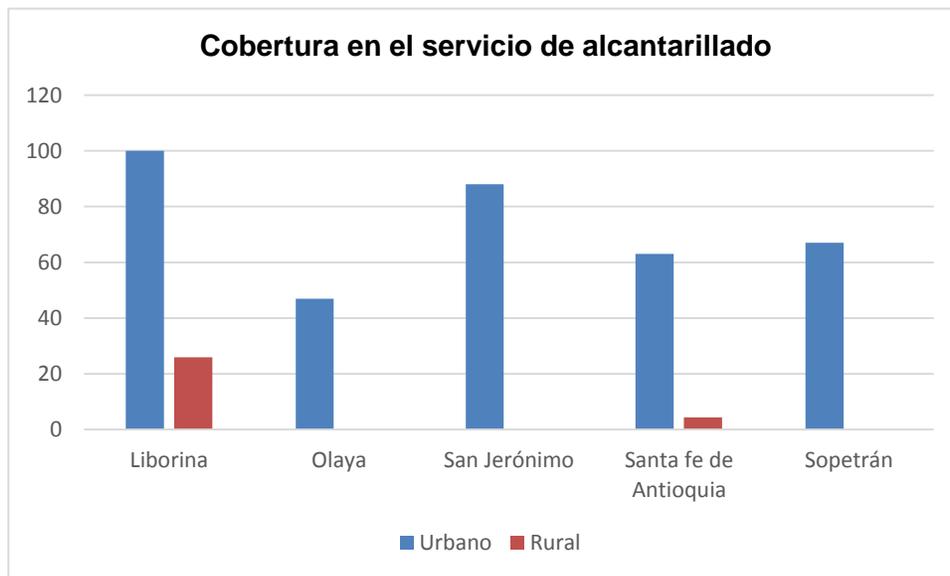


Figura 132. Cobertura en el servicio de alcantarillado. Fuente: Planes de Desarrollo municipal 2012-2015

Como se puede observar en la Figura 132 la zona rural presenta una condición crítica en cuanto a disposición de aguas residuales, lo cual representa un factor de riesgo para el sistema acuífero de la zona, como fue identificado en el trabajo de campo para actualización de los puntos de extracción de agua subterránea y el proceso de participación con los diversos actores comunitarios e institucionales en la zona de estudio.

10.4.3.3 Residuos sólidos

Uno de los factores de riesgo identificados para el sistema acuífero fue la inadecuada disposición de residuos sólidos en los aljibes identificados en la zona de estudio, por lo cual es de importancia para la corporación aunar esfuerzos con las alcaldías en cuanto al mejoramiento del sistema de recolección de residuos así como en procesos de formación educativos. A continuación una síntesis de la información reportada por los municipios en cuanto al servicio de recolección de residuos sólidos (Figura 133):

En el municipio de Liborina se realiza la recolección en la zona urbana 2 veces por semana, en los corregimientos y en los centros poblados 1 vez por semana y en las veredas 1 vez cada 3 semanas en el centro de acopio de cada una de estas. Estos residuos se trasladan al relleno sanitario. Existe una cobertura del 100% en zona urbana y rural. (Municipio de Liborina, 2012). Para el municipio de Olaya se realiza la recolección 2 veces a la semana y se transporta al relleno sanitario en el municipio de Liborina, es del 100% en zona urbana (Municipio de Olaya, 2012). En el municipio de Santa Fe de Antioquia la recolección de basuras tiene una amplia cobertura en el municipio 90%, con la excepción de Llano de Bolívar, La Barranca, La Maquea y Miraflores. En zona rural se cubre solo un 10%. La disposición de estas es el llevarlos hacia el relleno sanitario en el municipio de Liborina (Municipio de Santa Fe de Antioquia, 2012).

En zona urbana del municipio de San Jerónimo la cobertura en este servicio es del 95% y en zona rural del 3%, la disposición es transporte hacia el relleno sanitario en el municipio de Liborina (Municipio de San Jerónimo, 2012). Para el municipio de Sopetrán la recolección de residuos sólidos en el municipio es 100% zona urbana y 15% en zona rural. La disposición que se realiza es el transporte hasta el relleno sanitario en el municipio de Liborina (Municipio de Sopetrán, 2012).

Tabla 47. Servicios públicos consolidado municipios occidente antioqueño. Fuente: Planes de Desarrollo municipal 2012-2015

| Municipio | Acueducto | | Alcantarillado | | Energía | | Residuos solidos | |
|------------------------------|-----------|------|----------------|-----|---------|------|------------------|-----|
| | U | R | U | R | U | R | U | R |
| Liborina | 89 | 89 | 100 | 26 | 99 | 99 | 100 | 100 |
| Olaya | 92 | 80 | 47 | 0 | 93,6 | 93,6 | 100 | 0 |
| San Jerónimo | 98 | 62 | 88 | 0 | 95 | 95 | 95 | 3 |
| Santa fe de Antioquia | 90 | 63,8 | 63 | 4,4 | 95 | 95 | 90 | 10 |
| Sopetrán | 100 | 78 | 67 | 0 | 85 | 85 | 100 | 15 |

Al igual que en los servicios de acueducto y alcantarillado en recolección de residuos sólidos es la zona rural la que presenta el mayor déficit como es sabido, no obstante la problemática es persistente generando acumulación de factores de riesgo para el sistema acuífero. De forma gráfica en la Figura 133 Se observa la situación de baja cobertura en recolección de residuos sólidos para la zona rural.

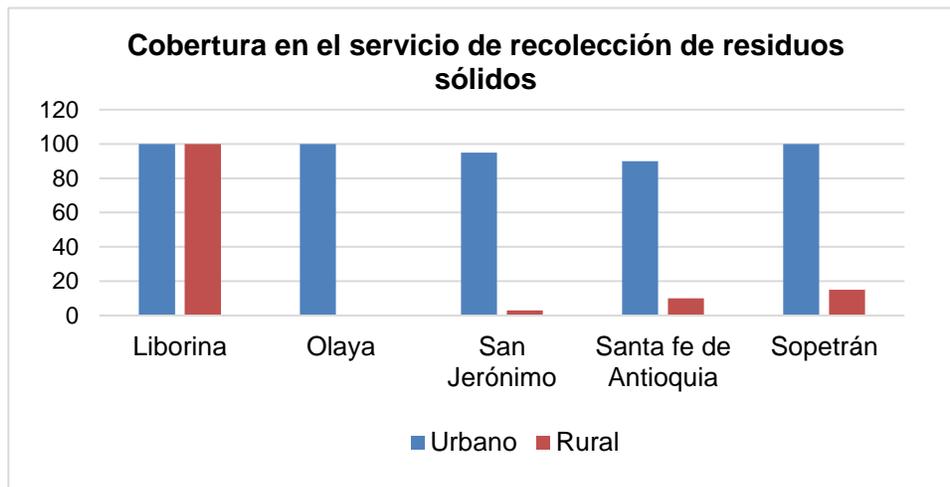


Figura 133. Cobertura recolección de residuos sólidos conglomerado. Fuente: Planes de Desarrollo municipal 2012-2015

10.4.3.4 Energía Eléctrica

El municipio de Liborina presenta una cobertura en servicios de energía eléctrica del 99%, servicio que presta EPM. (Municipio de Liborina, 2012). Por su parte en el municipio de Olaya la cobertura reportada en servicios de energía eléctrica para el total municipal del 93,6%, servicio que presta EPM (Municipio de Olaya, 2012). Para el municipio de Santa Fe de Antioquia la zona urbana se encuentra totalmente cubierta; sin embargo, en el área rural se cuenta con un 95% de cobertura en energía eléctrica (Municipio de Santa Fe de Antioquia, 2012). En general para el municipio de San Jerónimo en servicio de energía eléctrica se tiene una cobertura del 95% (Municipio de San Jerónimo, 2012). En zona rural y urbana de Sopetrán para el servicio de energía eléctrica se reporta un nivel de cobertura del 85% (Municipio de Sopetrán, 2012). (Ver Figura 134)

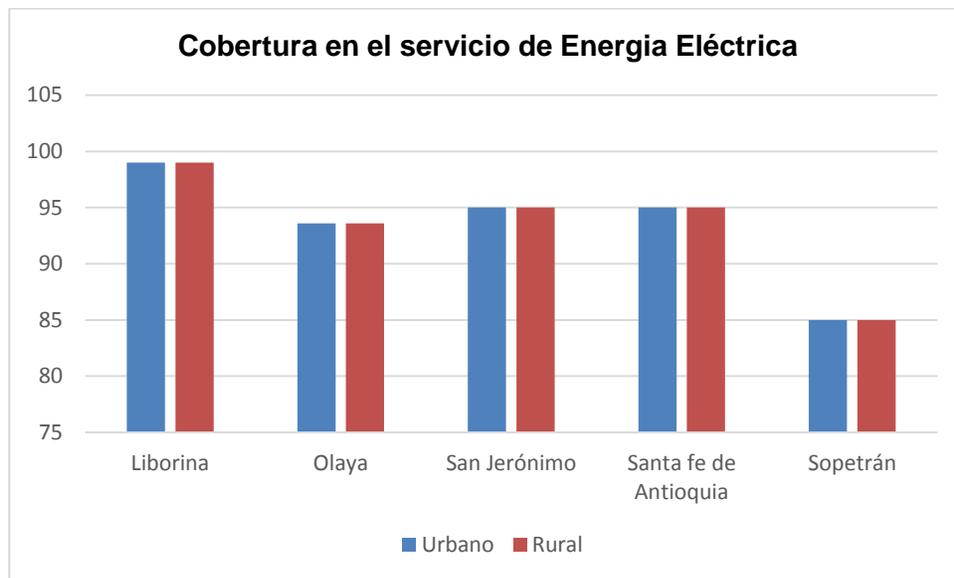


Figura 134. Cobertura servicio de energía eléctrica. Fuente: Planes de Desarrollo municipal 2012-2015

Como parte de la caracterización de la zona de estudio se presenta a continuación los datos disponibles en cuanto a los servicios de energía eléctrica, gas y telefonía, aunque estos no estén directamente vinculados con el sistema acuífero.

10.4.3.5 Gas y Telefonía

En los municipios de la zona de la zona de estudio el servicio de gas es por pipeta o cilindros de gas que se compran a la empresa GASANTIOQUIA, el cual también realiza domicilios a la zona rural. Esta situación aplica para todos los municipios en estudio. Por su parte el servicio de telefonía lo regula la empresa EDATEL con un cubrimiento de 85% en zona urbana, en la zona rural este existe en algunos centros educativos, el resto utilizan teléfonos celulares con cobertura buena y en algunos casos se utiliza radio teléfono.

10.4.4 Salud

Para este ítem se realiza una recopilación por cada municipio, pues sus indicadores son variables y no se cuenta con un perfil regional por lo dinámico de la zona. El municipio de Liborina tiene una cobertura en salud alta, la mayor parte de la población, 82,13%, pertenece al régimen subsidiado y

un 11,07% al régimen contributivo, por otra parte el 6,8% de la población no pertenece a régimen de salud alguno (Municipio de Liborina, 2012). En el municipio de Olaya el 84,71% de la población es beneficiada del régimen subsidiado, el restante 15.29% está en régimen contributivo y vinculado (Municipio de Olaya, 2012). Para el municipio de San Jerónimo el porcentaje de población afiliada a los regímenes contributivo y subsidiado en el municipio, asciende a un 89%, 81% régimen subsidiado y 8% régimen contributivo, por lo que un 11% de población no se encuentra afiliada (Municipio de San Jerónimo, 2012).

En el municipio de Santa fe de Antioquia un 68% de la población pertenece al régimen subsidiado, en tanto que un 28% pertenece al régimen contributivo, por lo que el 3 % de la población del municipio no se encuentra afiliada (Municipio de Santa Fe de Antioquia, 2012). Finalmente en el municipio de Sopetrán un 64% de la población se encuentra afiliada al régimen subsidiado, un 20% al régimen contributivo y el 16% de la restante no se encuentran afiliada al sistema de salud (Municipio de Sopetrán, 2012).

Como se puede observar en la Tabla 48 los municipios con mayor población en el régimen subsidiado son Liborina y San Jerónimo, no obstante Liborina posee una cobertura alta 93,2% solo superado por Santa Fe de Antioquia que reporta 96,32%.

Tabla 48. Salud municipios de occidente antioqueño. Fuente: Planes de Desarrollo municipal 2012-2015.

| Municipio | Subsidiado | Contributivo | Cobertura |
|-----------------------|------------|--------------|-----------|
| Liborina | 82,13 | 11,07 | 93,2 |
| Olaya | 72,11 | 4,93 | 77,04 |
| Santa Fe de Antioquia | 67,93 | 28,39 | 96,32 |
| San Jerónimo | 81 | 8 | 89 |
| Sopetrán | 64 | 20 | 84 |

De forma gráfica podemos observar en la Figura 135 el consolidación de cobertura en salud para los municipios del área de estudio.

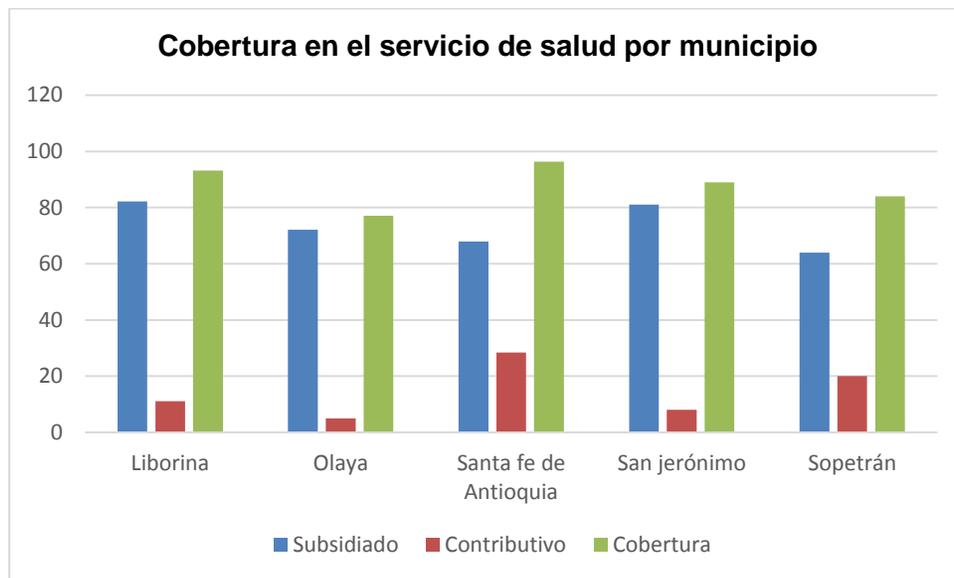


Figura 135.Cobertura servicio de salud consolidado por municipio. Fuente: Planes de Desarrollo municipal 2012-2015

10.4.5 Educación

Finalmente dentro de las variables sociales incluimos el tema educativo el cual siempre es de relevancia para el mejoramiento de las condiciones ambientales en un territorio, por lo cual la Corporación debe tener conocimiento de este aspecto es su jurisdicción para cómo se dio anteriormente consolidar los mecanismos de articulación con las administraciones municipales.

En este sentido, la información disponible señala que la subregión occidente en el tema de educación presenta variables que deben ser analizadas a nivel local, por lo tanto se realiza una compilación de estas; como cobertura de acuerdo al número de estudiantes matriculados en cada una de las categorías (Ver Tabla 49), reporte de alfabetismo presentado por el Censo oficial del DANE (2005) (ver Tabla 50).

Tabla 49.Cobertura educación por categorías consolidado occidente antioqueño. Fuente: Planes de Desarrollo municipal 2012-2015.

| Municipio | Primaria | | Secundaria | | Superior | Total estudiantes |
|-----------|----------|-------|------------|-------|--------------|-------------------|
| | Urbano | Rural | Urbano | Rural | Urbano/Rural | |
| Liborina | 263 | 866 | 186 | 535 | 231 | 2081 |
| Olaya | 68 | 354 | 56 | 208 | Sin dato | 686 |

| | | |
|---|--|--|
|  SERVICIOS HIDROGEOLOGICOS INTEGRALES | DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO EN LA TERRITORIAL HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA |  CORANTIOQUIA  ACTÚA |
|---|--|--|

| Municipio | Primaria | | Secundaria | | Superior | Total estudiantes |
|-----------------------|----------|-------|------------|-------|--------------|-------------------|
| | Urbano | Rural | Urbano | Rural | Urbano/Rural | |
| San Jerónimo | 756 | 1044 | 573 | 652 | 258 | 3.283 |
| Santa Fe de Antioquia | 5438 | 5664 | 4651 | 833 | 324 | 16910 |
| Sopetrán | 786 | 1145 | 654 | 748 | 147 | 3480 |

Tabla 50. Nivel alfabetismo consolidado occidente antioqueño. Fuente: (DANE, 2005a)

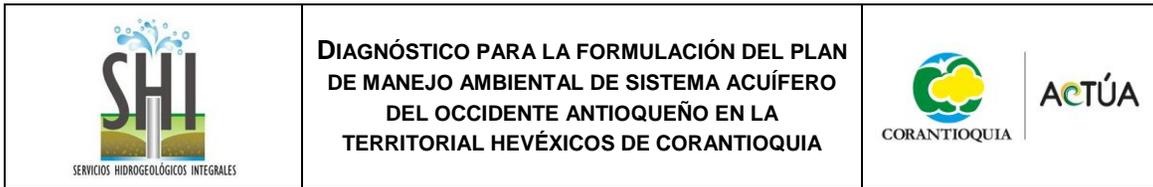
| Municipio | Alfabetismo % | | |
|-----------------------|---------------|-------|-----------|
| | Urbano | Rural | Municipal |
| Liborina | 90,6 | 84,4 | 86,6 |
| Olaya | 81,8 | 79,6 | 79,8 |
| Santa fe de Antioquia | 88,0 | 75,8 | 93,2 |
| San Jerónimo | 93,8 | 82,9 | 86,3 |
| Sopetrán | 92,3 | 85,7 | 88,7 |

Como se puede observar los municipios del área de estudio muestran altos porcentajes de alfabetismo en su zona urbana 89,3% y 82% en su zona rural.

10.4.6 Actividades económicas

En cuanto a los aspectos económicos para la zona de estudio se tiene que las principales actividades productivas que se realizan en la zona son la ganadería doble propósito, el cultivo de frutas, de frijol, lulo, café, maíz, plátano, la explotación de la madera, la minería, industrias avícolas y la industria turística. En general la región del occidente antioqueño tiene unos bajos índices de desarrollo, esto se relaciona con las cifras de necesidades básicas insatisfechas, bajos índices de cobertura en servicios básicos y en educación superior.

Los frutales, sobre todo para Municipios como Santa Fe de Antioquia, Sopetrán, San Jerónimo y Olaya, representan un área importante cultivada en la región, ya que en muchos casos, la producción constituye la única fuente de ingresos, a pesar de que su producción se realiza de manera dispersa y con aplicación muy limitada de tecnología. La producción de frutas para la zona del occidente cercano representa el 35% de la producción departamental, donde los principales



cultivos son de mango, banano, maracuyá, tamarindo y mamoncillo. Para los tres últimos productos, la producción departamental proviene básicamente de esta (Ruiz Muñoz, 2003), así como la chirimoya, que en el Departamento sólo se reporta en Santa Fe de Antioquia.

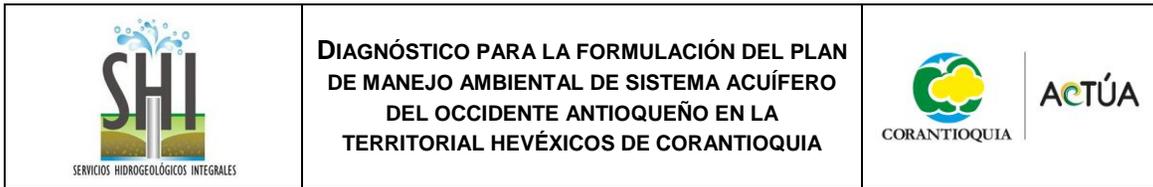
Existen otros productos como el lulo, el melón, la papaya, el cacao, la guanábana y el zapote, que hacen parte de la producción frutera de la zona, pero que presentan bajos volúmenes comercializados.

En la subregión, los rendimientos en su mayoría están por el lado de los valores departamentales, e incluso son superiores en algunos productos, como es el caso del cacao, los frutales, la yuca, la cebolla y la caña. En caña es donde se dan las mayores diferencias frente a los promedios departamentales, con un rendimiento de 5,1 Ton/Ha para la subregión. En cebolla junca, que se reporta sólo en el Valle de Aburrá y Occidente, los rendimientos son de 19,8 ton/ha, frente a los departamentales que son de 14,5 Ton/Ha.

Su vocación turística se ha acentuado gracias a la construcción del túnel de occidente “Fernando Gómez Martínez” ofreciendo una amplia oferta hotelera; Hostales, hosterías, hoteles, fincas de recreo. Sin embargo, la industria del turismo en municipios como Sopetrán, San Jerónimo y Santa Fe de Antioquia ha desplazado a los cultivadores de frutas, debido a la venta de parcelas para fincas recreativas y volcando su vocación agrícola por mayordomía y trabajos en fincas de recreo por días (Jornaleo). Y por consecuencia, se presenta un aumento en el uso de recurso hídrico para actividades de recreación, este proceso debe concentrar una fuerte vigilancia (Ruiz Muñoz, 2003).

10.5 CARACTERIZACION SOCIOECONOMICA Y CULTURAL DE LOS ACTORES DEL SISTEMA ACUIFERO DEL OCCIDENTE CERCANO – ANTIOQUIA.

En este numeral se hará referencia a la caracterización socioeconómica de los actores identificados en esta etapa de diagnóstico para el Plan de Manejo del sistema acuífero. Sin embargo, antes de caracterizar los actores, es importante hacer una breve contextualización sobre una de las formas tradicionales de acceso y gestión del agua en el occidente cercano.



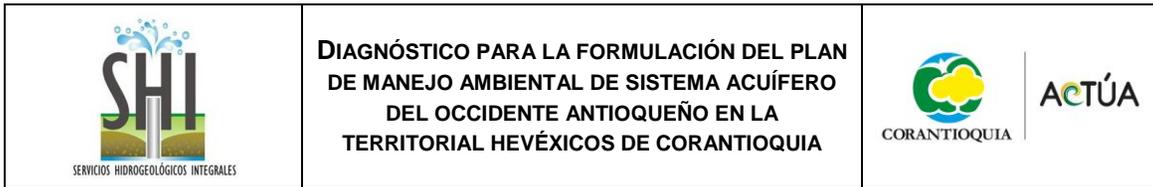
10.5.1 Formas tradicionales de acceso y gestión del agua en el occidente cercano: Las acequias y los sistemas de riego.

El agua además de ser un elemento constitutivo y esencial para la vida y desarrollo de la existencia humana y demás especies, es también un elemento integrador desde el mundo social, de la naturaleza y la cultura. En la mayoría de las sociedades el agua ha sido un elemento estructurante de su territorio y de configuración del sistema cultural y el estímulo para algunas transformaciones y adaptaciones en un territorio determinado. Alrededor de ella las sociedades se han organizado para su desarrollo y crecimiento, han construido, moldeado y producido sus entornos a partir de las prácticas y estrategias establecidas para resolver el acceso a ésta, pues del agua depende gran parte de sus actividades económicas, su alimento y bienestar.

En este sentido, las poblaciones del occidente cercano antioqueño habitantes de un territorio árido, típico del bosque seco tropical, históricamente han generado estrategias de acceso al recurso importantes de resaltar, entre estas se encuentran las acequias, sistemas colectivos de gestión del agua para el uso en distintas actividades, principalmente usada para los sistemas de riego, esta forma de acceso al recurso, logró en el pasado generar procesos de organización comunitaria alrededor del agua, como comprobadamente ha sucedido en diversos lugares de la región andina de Sur América. Al respecto señala Davidson-Harden, (s.f)

“En toda la región andina de América del Sur, pasando por América Central y hasta el sudoeste de Estados Unidos, se viene practicando desde hace siglos un sistema de control y manejo comunitario de los sistemas de riego conocido como “acequias”, originalmente importado de España, donde a su vez se lo adaptó de tradiciones ancestrales del África y Oriente Medio, y cuyos orígenes parecen remontarse a antiguas prácticas ibéricas y romanas. Como sistema de control y responsabilidad colectiva por los sistemas de riego en tierras secas y regiones desérticas, las acequias se adaptaron para uso de las comunidades indígenas y es un ejemplo de una forma de gestión comunitaria de los recursos hídricos para la agricultura y el sustento”².

² Davidson-Harden, Adam. Control y manejo local de nuestras aguas como bien común. Luchas ejemplares y desafíos. En: <http://mx.boell.org/sites/default/files/watercommons-spanishlr.pdf>



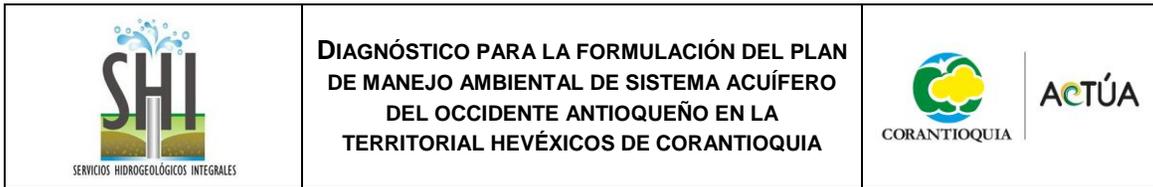
Las poblaciones tradicionales del occidente hicieron uso del sistema de acequias desde fuentes superficiales como estrategia para abastecerse del recurso, según algunos líderes de las comunidades, en el área de estudio se encuentran acequias construidas desde hace más de 150 años, con más de 10 kilómetros de recorrido para llegar a las fincas o casas de los pobladores. Esta experiencia es relevante en la medida que visibiliza como las comunidades o actores locales en el pasado se han organizado alrededor de estas prácticas de acceso al recurso, han construido sus propias formas de acceso, han cuidado de forma conjunta de estas y han pactado maneras de distribución de la misma, fortaleciendo su capacidad de solidaridad, cooperación y cohesión social.

De otro lado, para la población local el uso del agua subterránea no ha sido el más frecuente, al preguntarse en las reuniones sobre este tema, los participantes hicieron referencia a otros lugares donde se usa como la costa o el Bajo Cauca, o a uno que otro aljibe en su territorio, pero no a un uso habitual propio del agua subterránea. Uno de los participantes en uno de los encuentros, afirmó que *“éste era un bien invisible y por ser invisible, hace que no exista para la comunidad en general”*³. Este desconocimiento ha sido un factor para el no uso del recurso subterráneo por parte de la población tradicional. Además un potenciador de los procesos de contaminación de los acuíferos por descargas directas de aguas residuales a los mismos, y por los fuertes procesos de urbanización que se implementan en el territorio ejerciendo presión y fragmentado cada vez más del suelo, acciones que de algún modo ponen en riesgo la calidad y existencia del acuífero.

No obstante, durante los encuentros los pobladores del occidente también manifestaron su interés sobre la necesidad de conocer más sobre el agua subterránea, los resultados de los distintos estudios realizados, la ubicación del acuífero, su capacidad, la calidad del agua allí almacenada, las formas de protección y las maneras de participación en conjunto con el Estado para el manejo y control de los acuíferos y para la recuperación de algunos aljibes comunitarios que en el pasado fueron usados y que son referentes hoy de identidad y pertenencia importantes para la población.

En este sentido, este ejercicio de caracterización de actores buscó responder en los numerales a continuación, las siguientes preguntas: ¿quiénes son aquellos actores que hoy hacen parte de este territorio? ¿A quiénes les interesa o debería interesar conocer el tema del agua subterránea, sus origen, su movimiento, sus usos y cuidados? ¿Quiénes son los tomadores de decisiones y los

³ Hombre adulto, participante de uno de los encuentros.



reguladores en cuanto al cuidado y sostenibilidad de éste? ¿Quiénes son los principales usuarios de este recurso y para qué se usa? Algunas de estas preguntas serán contestadas en los numerales siguientes.

10.5.2 Identificación y descripción de los actores sociales que se relacionan con el recurso subterráneo

Como se ha mencionado, en este ítem se hará una descripción sobre los actores identificados y la clasificación de estos actores en grupos de interés más amplios denominados sectores, esto facilitará el proceso de caracterización y análisis de los mismos. Una vez identificados, caracterizados y analizados se elaborarán unos mapas o esquemas sobre aquellos actores que son representativos para ser convocados de acuerdo a sus interacciones, rol, interés e influencia en relación al agua subterránea, en la etapa de Formulación del Plan de Manejo del Acuífero como actores significativos en el desarrollo y compromiso con el mismo (Ver Anexo del capítulo 10, denominado: Base de Datos de Actores).

Los sectores son los siguientes:

- a. **Sector institucional:** este sector está conformado por aquellos actores que son tomadores de decisiones en el territorio y cumplen un rol administrativo, de regulación, control y organizativo de las prácticas ambientales en el mismo. Conforman este sector instituciones como: Las alcaldías de los cinco municipios con sus respectivas dependencias: Unidades Municipales de Asistencia Técnica y Agropecuaria (UMATA), Secretaría de Planeación, Secretaría de Salud, Secretaría de Gobierno, hospitales de la zona, Corantioquia, Gobernación de Antioquia, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y la Agencia Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), SENA, Instituciones Educativas, Universidad de Antioquia, Empresas Públicas de Medellín (EPM), Secretaria de Salud Departamental, Policía Ambiental, entre otras.
- b. **Sector comunitario y de organizaciones comunitarias:** este sector está reconocido como aquel que comprende uno o varios sujetos sociales que cumplen un rol como representantes sociales de las comunidades del área de estudio, líderes con interés o experiencia en el cuidado, conocimiento y defensa del tema ambiental. Entre estos se encuentran: Juntas de Acción Comunal, Mesas Ambientales, Juntas de Acueductos o riego, grupos ecológicos y ONGs, Jóvenes defensores del agua, Juntas de vivienda, veedurías, entre otros.

| | | |
|---|--|---|
|  | DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO EN LA TERRITORIAL HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA |  |
|---|--|---|

- c. **Sector privado, comercial, productivo y de servicios:** este sector está conformado por grupos de personas, entidades o empresas de iniciativa privada que desarrollan alguna actividad económica en la zona, puede ser pecuaria, agrícola y minera. Además, conforman también este sector aquellos actores cuya actividad está enfocada en la compra, venta de bienes y servicios, sea esta de carácter formal o informal. Conforman este amplio sector: Hoteles, restaurantes, fincas de recreo, condominios, asociaciones de productores, mineros informales, empresas de extracción de material de playa, empresas privadas prestadoras de servicios de acueducto, entre otros. Entre los actores relevantes se encuentran los usuarios directos del agua subterránea, que son aquellos actores denominados como actores privados y son el sector turístico, los propietarios de parcelaciones y condominios en la zona.

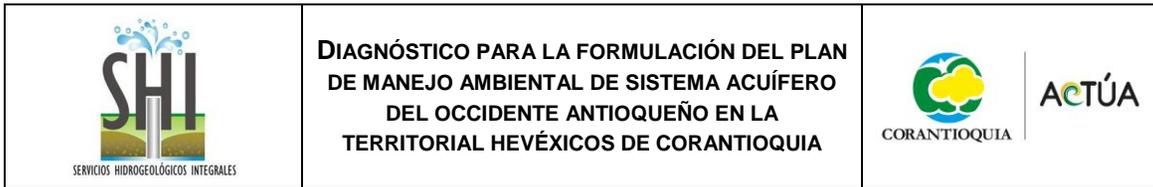
10.5.2.1 Usuarios del agua subterránea – actores comunitarios

Se han incluido dentro del grupo usuarios del agua, aquellas organizaciones públicas o privadas y personas naturales que toman el agua, bien sea para uso doméstico, pecuario, de riego, ornamental o para el servicio de suministro de agua potable a poblaciones. Para su identificación se acudió a la base de datos actualizada en campo en la campaña de identificación de puntos de agua y a la información dada por los participantes en talleres y entrevistas.

La población local usuaria del agua subterránea es muy poca, la mayoría de esta población no se abastece de este recurso, ya que la empresa prestadora del servicio de acueducto – Aguas de Occidente ya les sule del recurso. Además en el pasado la población hacía uso del agua de fuentes superficiales a través de un sistema que es muy antiguo en su región y es el de las acequias. La población de la vereda Tafetanes en San Jerónimo, el Rodeo en Sopetrán, el barrio la Maqueda en Santa Fe de Antioquia, manifestaron que ellos usan a veces el recurso de agua subterránea para algunas labores domésticas como lavado de ropa y aseo del hogar.

10.5.2.2 Juntas de Acción Comunal

Las juntas de acción comunal son la forma de participación comunitaria que se hace más notoria en el municipio tanto por el número de integrantes que poseen como por las acciones que emprenden, cuentan con asesoría y acompañamiento continuo desde la administración y la personería municipales quienes vienen adelantando el procesos de legalización de las mismas.



Estas son entendidas por la comunidad como formas de asociatividad para la solución de problemas comunitarios, en estos se encuentra asociada gran parte de la población quienes ven el pertenecer a las juntas como uno de los requisitos para acceder a programas de orden social, ya que estas juntas son tenidas en cuenta por las administraciones municipales a la hora de escoger los beneficiarios de estos programas.

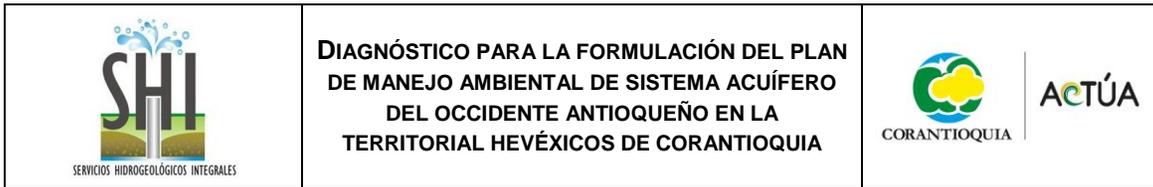
En cuanto a la participación comunitaria se observan varios fenómenos, uno que tiene que ver con la rivalidad y poca tolerancia, y otro con respecto a la automotivación muy limitada de cada familia por velar por los suyos y por el resto de la comunidad, siendo partícipes de la toma de decisiones de sus poblaciones, sin embargo los pocos que trabajan por el bien común producen resultados en beneficio de sus familias y comunidades. En muchos de los casos se tiene conocimiento de los problemas comunitarios desde todos los ámbitos, sin embargo si no es con direccionamiento institucional pocas veces las comunidades se comprometen y generan soluciones a dichos problemas.

Las prácticas de buen gobierno han fomentado los espacios de participación democrática en los municipios, mediante la creación de oportunidades de debate público y participación en la toma de decisiones. No obstante, es notoria la falta de voluntad y compromiso por parte de las comunidades a la hora de apropiarse de estos espacios. En general, la subregión de occidente cuenta con bajo nivel de participación ciudadana, y esto hace que se vea afectado el funcionamiento de organizaciones comunitarias conformadas y dificulta la creación de nuevas organizaciones, es notoria también la falta de promoción del liderazgo y solidaridad bajo un concepto de redes de protección social y de acompañamiento a la administración municipal (Ver Anexo del capítulo 10, denominado: Caracterización Juntas de Acción Comunal Occidente.⁴

10.5.2.3 Mesas Ambientales

En el año 2006 se integra la mesa territorial de la subregional Hevéxicos, esta mesa consta de 33 integrantes de los municipio de la territorial exceptuando Olaya y Caicedo, posteriormente se ha venido impulsando proyectos de fortalecimiento de estas mesas ambientales y se ha venido

⁴ MEMORIAS FORO SUBREGIONAL OCCIDENTE “¿De qué vivirán los pobladores rurales?” San Jerónimo, 31 de mayo y 1 de junio de 2013)



trabajando con otras mesas subregionales como Suroeste, Metropolitana, Aburra Norte y Aburra Sur. El objetivo de esta mesa es la participación en el ordenamiento territorial de las subregiones. (CORANTIOQUIA, 2006).

De modo general, las mesas ambientales, crean a nivel municipal y regional, espacios de interlocución entre las instituciones públicas y privadas con la ciudadanía, trabajo conjunto y continuo entre las administraciones municipales, las entidades y todos los ciudadanos, con el fin de tratar de mitigar y compensar los daños causados a la naturaleza, en el territorio que ocupan. Este espacio de participación ciudadana, genera momentos de reflexión desde el diálogo en todos los entes territoriales, para que asuman sus competencias y responsabilidades y presenten diferentes alternativas de solución a la problemática tratada. Las Mesas son el lugar de encuentro de los esfuerzos y preocupaciones, convirtiéndose en un espacio participativo y de deliberación para tomar decisiones. (RAMÍREZ ESCOBAR, 2009) (Ver Anexo del capítulo 10, denominado: Caracterización y Diagnóstico Mesas Ambientales Occidente Cercano).

10.5.3 Usuarios del agua subterráneas – actores del sector privado

En este ítem se identificaron aquellas personas, organizaciones y empresas con presencia en la zona de estudio, que mediante el trabajo de campo y proceso participativo, se identificaron hacen uso del agua subterránea o son actores potenciales para su uso a futuro, entre estos, encontramos las parcelaciones y proyectos residenciales de segunda residencia.

10.5.3.1 Parcelaciones y proyectos residenciales de segunda residencia

Las parcelaciones así como las fincas de recreo desde el punto de vista del ordenamiento territorial, surgen como fenómenos metropolitanos debido a que las condiciones de infraestructura vial han permitido dicho acercamiento metropolitano (López Zapata, 2014).

Para la zona de estudio es entonces la conexión vial Aburrá -río Cauca y del túnel de occidente iniciada desde 1995 pero entregada en su tramo del túnel en 2006, la que aceleró dicho fenómeno metropolitano, convirtiéndose en el eje principal de comunicación de los Valles de Aburrá y el río Cauca. En la vía se han establecido los usos asociados al turismo como los establecimientos de expendio de alimentos y bebidas, centros recreativos y parcelaciones turísticas. El listado de parcelaciones identificadas con uso de agua subterránea se presenta en la Tabla 51.

| | | |
|---|--|---|
|  | DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO EN LA TERRITORIAL HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA |  |
|---|--|---|

Tabla 51.Listado de parcelaciones identificadas con uso de agua subterránea

| Municipio | Nombre parcelación |
|-----------------------|---------------------------|
| Sopetrán | Parcelación La Vid 2 |
| Sopetrán | Parcelación Ahuyamal |
| Sopetrán | Parcelación Tierra Mítica |
| Sopetrán | Parcelación Sindelhato |
| Olaya | Parcelación La Florida |
| Santa Fe de Antioquia | Parcelación Pangordito |
| Santa Fe de Antioquia | Parcelación Manantiales |
| Santa Fe de Antioquia | Parcelación Las Magnolias |
| Santa fe de Antioquia | Parcelación Halcones |
| San Jerónimo | Parcelación El Hato |

De acuerdo con la Tabla 52 construida a partir de la revista informe inmobiliaria para 2015 hay en proceso de construcción y venta 13 proyectos de segunda residencia que incluyen casas, apartamentos, apartasoles y parcelaciones.

Tabla 52.Proyectos constructivos en proceso para el año 2015 en los municipios del occidente antioqueño cercano. Fuente: Revista Informe inmobiliario primer trimestre de 2015.

| No | Municipio | Nombre proyecto | Tipo | Empresa |
|----|-----------------------|----------------------|----------------------------|--|
| 1 | Santa Fe de Antioquia | Villas de la Toscana | Condominio campestre lotes | Sin dato |
| 2 | Santa Fe de Antioquia | La Provincia | Casa semanas compartidas | Constructora Invico. Vende Shopping inmobiliario. Fiducia Acción fiduciaria. |
| 3 | Santa Fe de Antioquia | Mirador del Cauca | Apartamento unidad cerrada | Comfenalco |
| 4 | Santa Fe de Antioquia | La Quinta | Casa campestre | El Sitio inmobiliario y Arquitectura y Concreto |
| 5 | Santa Fe de Antioquia | Antioquia Premium | Casas | Grupo Ciudadela promotora de proyectos |
| 6 | Santa Fe de Antioquia | Ciudadela Santa Fe | Apartamentos | Grupo Ciudadela promotora de proyectos |
| 7 | San Jerónimo | Arboleda del Sol | Parcelación lotes | Gerencia y construye Arquimodular |
| 8 | San Jerónimo | Poblado del Hato | Casas | Grupo Ciudadela promotora de proyectos |
| 9 | San Jerónimo | Citadela di Agua | Apartamento | Grupo Ciudadela promotora de proyectos |

| | | | |
|---|--|---|--|
|  SERVICIOS HIDROGEOLÓGICOS INTEGRALES | DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO EN LA TERRITORIAL HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA |  CORANTIOQUIA |  ACTÚA |
|---|--|---|--|

| No | Municipio | Nombre proyecto | Tipo | Empresa |
|----|--------------|--------------------|-------------------------|---|
| 10 | San Jerónimo | Ciudadela Premium | Casas en unidad cerrada | Grupo Ciudadela promotora de proyectos |
| 11 | San Jerónimo | Hacienda Villareal | Casas | AIA |
| 12 | San Jerónimo | Arellana | Parcelación y casas | Alianza fiduciaria |
| 13 | Sopetrán | Terrazas del Sol | Apartasoles | Obras& Bienes S.A. y Alianza fiduciaria |

10.5.3.2 Hoteles y hosterías

Como señala López Zapata (2014) existe una gran dificultad a nivel de los municipios para cuantificar la oferta de alojamiento tradicional, según datos de cámara de comercio por establecimientos inscritos con actividades de alojamientos en la subregión Occidente, en el año 2007 se reportaban 44. Para 2013 se reporta para Occidente 476 empresas de Alojamiento y servicios de comida (Ver Tabla 53).

Tabla 53. Número de empresas de construcción, alojamiento e inmobiliarias en occidente. Fuente: Cámara de Comercio, estadísticas 2013.

| Descripción | No. de Empresas | | |
|-----------------------------------|-----------------|---------|---------|
| | Micro | Pequeña | Mediana |
| Construcción | 39 | 2 | 1 |
| Alojamiento y servicios de comida | 476 | 6 | 0 |
| Actividades inmobiliarias | 9 | 4 | 3 |

De acuerdo con la información recopilada en el trabajo de campo se identificaron 12 hoteles y hosterías en la zona de estudio y que se reportó extraen agua subterránea, como se detalla en la Tabla 54.

Tabla 54. Listado de Hoteles y hosterías con uso de agua subterránea

| Municipio | Hoteles |
|--------------|----------------------------|
| Liborina | No hay hoteles registrados |
| Olaya | No hay hoteles registrados |
| San Jerónimo | Hotel Guaracú |
| Sopetrán | Hotel Campestre Bonaire |
| Sopetrán | Hotel Tamarindo |
| Sopetrán | Hotel Royal Plaza |

| | | |
|---|--|---|
|  <p>SERVICIOS HIDROGEOLOGICOS INTEGRALES</p> | DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO EN LA TERRITORIAL HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA |  |
|---|--|---|

| Municipio | Hoteles |
|-----------------------|--------------------------|
| Santa Fe de Antioquia | Hostería Real |
| Santa Fe de Antioquia | Hotel Las Palmeras |
| Santa Fe de Antioquia | Hostería Mis Ancestros |
| Santa Fe de Antioquia | Hotel Spa Santa Fe |
| Santa Fe de Antioquia | Parque acuático Kanalooa |
| Santa Fe de Antioquia | Las Ardillas |
| Santa Fe de Antioquia | Las Iguanas |
| Santa Fe de Antioquia | Posada de Verano |

10.5.3.3 Fincas de descanso o veraneo

Con la información recopilada durante el trabajo de campo se identificaron 194 fincas y casas de recreo en los municipios de Olaya, San Jerónimo, Santa Fe de Antioquia y Sopetrán, como se registra en la Tabla 55.

Tabla 55. Fincas de recreo identificadas en la zona de estudio

| Municipio | Localización | Número de fincas de recreo |
|------------------------------------|------------------|----------------------------|
| Olaya | Quebrada seca | 3 |
| Olaya | Sucre | 1 |
| Total Olaya | | 4 |
| San Jerónimo | Llano de Aguirre | 18 |
| San Jerónimo | Sin información | 1 |
| Total San Jerónimo | | 19 |
| Santa Fe de Antioquia | El Paso | 7 |
| Santa Fe de Antioquia | Km 2 | 3 |
| Santa Fe de Antioquia | Espinal | 7 |
| Santa Fe de Antioquia | La Noque | 2 |
| Santa Fe de Antioquia | Obregón | 13 |
| Santa Fe de Antioquia | Sector La Isla | 7 |
| Santa Fe de Antioquia | Otros | 16 |
| Santa Fe de Antioquia | Sin información | 14 |
| Total Santa Fe de Antioquia | | 69 |
| Sopetrán | El Rodeo | 16 |
| Sopetrán | Guaymaral | 36 |
| Sopetrán | Tafetanes Bajo | 12 |
| Sopetrán | Piedras Verdes | 7 |

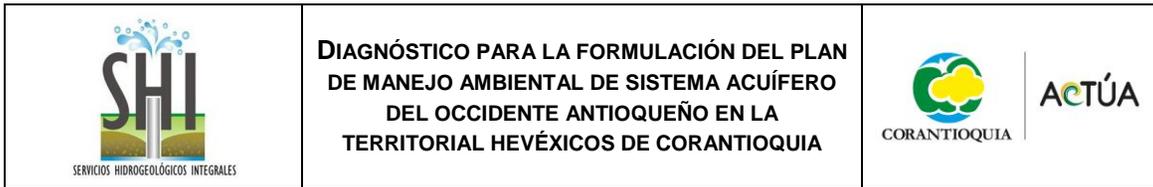
| | | |
|---|--|---|
|  <p>SERVICIOS HIDROGEOLOGICOS INTEGRALES</p> | DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO EN LA TERRITORIAL HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA |  |
|---|--|---|

| Municipio | Localización | Número de fincas de recreo |
|-----------------------|------------------|----------------------------|
| Sopetrán | Tafetanes Medio | 2 |
| Sopetrán | Tafetanes Alto | 10 |
| Sopetrán | La Mirandita | 2 |
| Sopetrán | Ahuyamal | 8 |
| Sopetrán | Agua Mala | 1 |
| Sopetrán | Llano de Montaña | 1 |
| Sopetrán | Córdoba | 3 |
| Sopetrán | Otros | 2 |
| Sopetrán | Sin información | 2 |
| Total Sopetrán | | 102 |
| Total | | 194 |

10.5.3.4 Minería formal de explotación de material de playa e informal de extracción de oro aluvial

La actividad minera es uno de los principales renglones de la economía del departamento de Antioquia y del país, el departamento participa con el 75.74% de la producción nacional y es el mayor exportador de minerales, es además el mayor productor de plata con una participación del 69.78% de la producción nacional. En Santa Fe de Antioquia la explotación de oro ha sido tradicional, con métodos artesanales (barequeo), estos lugares de explotación aurífera, se encuentran localizadas en zonas asociadas con terrazas y depósitos aluviales principalmente en la orillas del Río Cauca y Tonusco, en menor proporción en quebradas como La Juanes, La Pená, parte alta de la Quebrada El Pescado y la quebrada La Noque. De acuerdo con el diagnóstico del Esquema de Ordenamiento Territorial, la empresa Corona Goldfields S.A. (Licencia de explotación N. 2902-0-05), ha presentado en años anteriores programas para explotación mecanizada (Municipio de Santa Fe de Antioquia, 2012-2015).

En cuanto a otros minerales objeto de explotación, el diagnóstico del Esquema de Ordenamiento Territorial del año 2006 da cuenta de la existencia de licencias para la explotación de arcillas, para la producción de diversos artículos de tipo cerámico y para la construcción. Según datos del estudio, existen dos Licencias de Explotación otorgadas a Eurocerámica S.A. con un área de 100 hectáreas (Licencia de explotación N. 13906-0- 11), y la otra a Agrominera La Pirámide Ltda., con un área de 138.67 hectáreas. (Licencia de explotación N. 821-0-05) (Municipio de Santa Fe de Antioquia, 2012-2015).



Asimismo en la información recopilada en el trabajo de campo se identificó la extracción de agua subterránea por parte de la empresa Sociedad Agregados del Tonusco.

Por otro lado en la zona se reporta minería aluvial informal con extracción de oro principalmente en el río Aurrá, específicamente en las veredas Tafetanes de los municipios de Sopetrán y San Jerónimo. Aunque según reportan los miembros de la comunidad que asistieron al proceso de participación desarrollado en este estudio, esta actividad no extrae agua subterránea pero afirman es un factor de contaminación al recurso hídrico superficial y subterráneo.

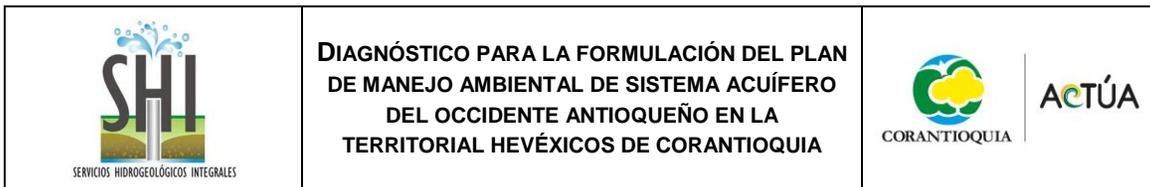
10.5.4 Instituciones con responsabilidad en el sistema de agua subterránea – Actores institucionales

De acuerdo con la normatividad vigente colombiana mediante el Decreto 1640 de 2012 se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, señalando que se deberán formular planes de manejo para acuíferos estratégicos, en concordancia con la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico - PNGIRH de 2010.

CORANTIOQUIA: El decreto 1640 de 2012 señala como Vulnerabilidad intrínseca de un acuífero a la contaminación. Características propias de un acuífero que determinan la facilidad con que un contaminante derivado de actividades antrópicas o fenómenos naturales pueda llegar a afectarlo.

De las instancias de participación, se tiene que la Corporación en la fase de Mesas de Trabajo: En las microcuencas o acuíferos sujetos de Plan de Manejo Ambiental.

En cuanto a las aguas subterráneas: Con respecto a las aguas subterráneas, la Contraloría General de la Nación en su “Informe del Estado de los Recursos Naturales y del Ambiente 2007 – 2008”, menciona que a nivel regional 14 Corporaciones han realizado algún estudio sobre la oferta hídrica subterránea en sus territorios, ninguna cuenta con un inventario actualizado de usuarios del recurso y aún no se han realizado proyecciones sobre la tasa de crecimiento de la demanda según los usos. Asimismo, menos de un 50% de las autoridades ambientales, a la fecha del informe, cuentan con estudios, al menos preliminares, sobre el recurso de aguas subterráneas en su jurisdicción; nueve de los estudios cuentan con un nivel de detalle que ha permitido la formulación del plan de manejo ambiental del acuífero, pero dichos estudios llegan a representar, en el mejor



de los casos, el 11% del territorio de la autoridad ambiental (PNGRH, 2010). En el Informe del Estado de los Recursos Naturales y del Ambiente 2012 - 2013 no se encuentra actualizada esta información por lo cual no se conoce el nivel de actualización sobre los estudios de aguas subterráneas pero se resalta los impactos de las aguas subterráneas por pérdida de los retiros de quebradas y también se han expresado preocupaciones por la contaminación de aguas subterráneas y la remoción de acuíferos. No obstante, estos aspectos no han sido desarrollados de manera adecuada por los ministerios de Minas y Energía y de Ambiente y Desarrollo Sostenible y frente a las autoridades ambientales y mineras, ANLA, CAR, CDS, ANM, Gobernación de Antioquia, que ejercen control no han tomado acciones (Contraloría 2012-2013)

Alcaldías municipales del Occidente Cercano: prestación de servicios básicos como agua potable y saneamiento básico. Articularse a los Planes de ordenación y manejo de cuencas POMCA para la zona de estudio el POMCA del río Aurrá.

Gobernación de Antioquia: En cuanto a la planeación del territorio la Gobernación es la encargada de liderar y consolidar el Sistema Departamental de Planificación -SDP- para el departamento de Antioquia. Surge como respuesta a la necesidad de coordinar los procesos de Planeación que deben realizarse desde los diferentes niveles, tanto nacional, como departamental, subregional, zonal, municipal, corregimental.

IDEAM: La Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico debía ser el resultado del trabajo coordinado entre el antes Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS, el Departamento Nacional de Planeación - DNP y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM y otros actores.

El IDEAM diseñó y divulgó el Protocolo de Monitoreo y Seguimiento del Estado de las Aguas Subterráneas (2004) que recomienda, según el tipo de programa (nacional, regional, local), los objetivos a cumplir, las frecuencias de muestreo, la densidad de puntos de observación, los métodos de muestreo, el diseño de los pozos, los procedimientos analíticos y el almacenamiento de datos (PNGRH, 2010). No obstante lo anterior, en materia de aguas subterráneas, el Sistema Nacional Ambiental aún no cuenta con un trabajo articulado, sinérgico y permanente que le permita al país contar con una cartografía hidrogeológica, la estimación de la oferta y demanda de los recursos hídricos subterráneos, la consolidación de información para realizar seguimiento al estado del recurso y el mantenimiento actualizado de este componente dentro del Sistema de Información

| | | |
|---|--|---|
|  | DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO EN LA TERRITORIAL HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA |  |
|---|--|---|

Ambiental para Colombia, elementos indispensables para la planificación y manejo integral del recurso (PNGRH, 2010).

A partir del análisis de las competencias legales y la información suministrada por los actores en la zona de estudio se caracterizan los actores instituciones, identificando su escala de acción, rol reconocido localmente, competencia legal y nivel de influencia (Ver Tabla 56 y ver Anexo del capítulo 10, denominado: Base de datos de actores):

Tabla 56.Caracterización roles actores institucionales

| Actor | Escala de acción | Rol reconocido localmente | Competencia legal⁵ | Nivel de influencia |
|-----------------------|-------------------------|--|--|----------------------------|
| Alcaldías municipales | Local | <ul style="list-style-type: none"> - Inversión local - Mejoramiento de la calidad de vida de la población. | <ul style="list-style-type: none"> - Suministro de servicios básicos a la comunidad - Articulación con el POMCA y Plan de Manejo Ambiental del Sistema Acuífero | Alto |
| Corantioquia | Local y Regional | <ul style="list-style-type: none"> - Control ambiental - Recepción de quejas sobre problemas ambientales - Cobro del recurso hídrico - Capacitación y formación en educación ambiental | <ul style="list-style-type: none"> - Control de la normativa ambiental en cuanto a concesiones de agua: - Planes de saneamiento y manejo de vertimientos - Permisos de vertimiento - Programas de ahorro y uso eficiente del agua - Planes de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS) - Autorizaciones ambientales para rellenos sanitarios (licencia ambiental, plan de manejo ambiental, permiso de vertimientos, etc.) - Planes de manejo | Alto |

⁵ Fuentes: Decreto 1640 de 2012, Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, 2010. Decreto 1323 de 2007.

| | | |
|---|--|---|
|  <p>SERVICIOS HIDROGEOLOGICOS INTEGRALES</p> | DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DE SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO EN LA TERRITORIAL HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA |  |
|---|--|---|

| Actor | Escala de acción | Rol reconocido localmente | Competencia legal ⁵ | Nivel de influencia |
|--------------------------|------------------|--|--|---------------------|
| | | | para cierre de botaderos a cielo abierto. | |
| Gobernación de Antioquia | Regional | <ul style="list-style-type: none"> - Inversión de recursos - Planeación articulada a escala local y regional | <ul style="list-style-type: none"> - Desarrollo Plan Departamental de Agua. | Medio |
| IDEAM | Nacional | <ul style="list-style-type: none"> - No se visualiza | <ul style="list-style-type: none"> - Trabajo coordinado en cuanto al recurso hídrico a nivel nacional con entes públicos como MADS, DNP. Y otros actores relevantes a escala nacional, regional y local. - Contribuir con las CAR a los estudios de aguas subterráneas | No se visualiza |

En la Figura 136 se pueden observar los actores identificados durante el proceso de participación y su escala de acción en cuanto al recurso hídrico subterráneo. A nivel local se identificaron 8 actores comunitarios e institucionales, por su parte en la escala regional aparece el sector privado representado en el sector hotelero y empresas prestadoras de servicios de acueducto, adicional a la población dedicada a la minería informal que extrae el recurso de modo no legalizado pero cuyos impactos son identificados por la población pero la interacción con estos actores no fue posible debido a restricciones de seguridad.

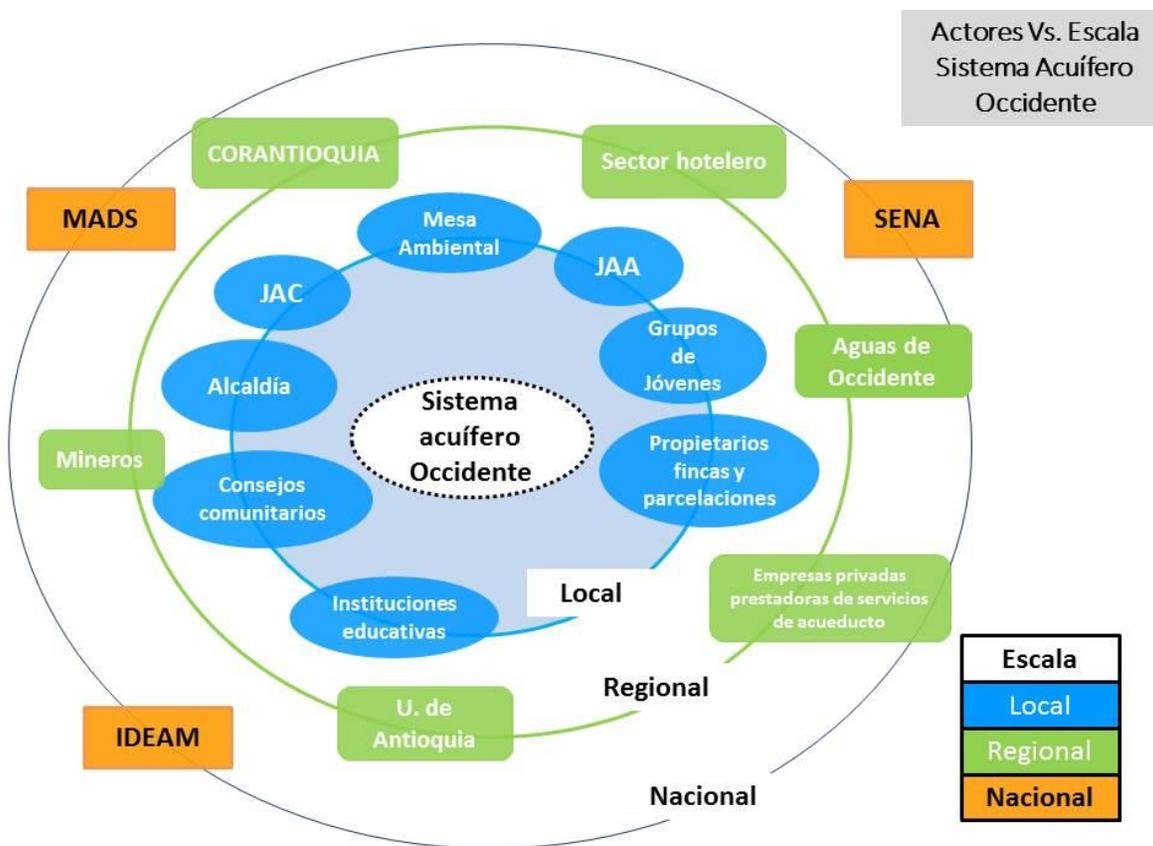


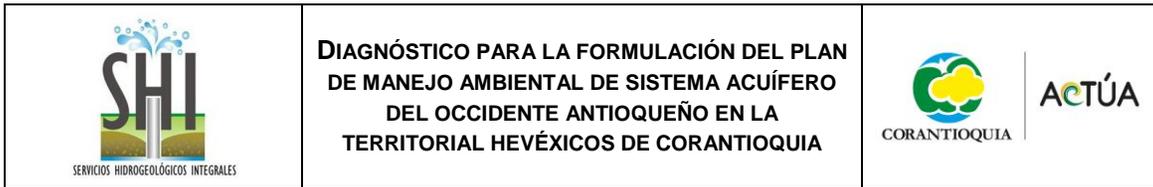
Figura 136. Esquema actores y su escala de acción en cuanto al Sistema Acuífero en el occidente Antioqueño. Fuente: elaboración propia.

A escala nacional fue identificado solo entidades públicas que reglamentan el recurso hídrico subterráneo como son IDEAM y MADS, y brindan capacitación en temas ambientales como el SENA, no obstante se identifica que hay desconocimiento en cuanto a agua subterránea.

10.5.5 Actores potenciales y estratégicos en el uso y gestión del agua subterránea

Con este tipo de actores se hace referencia a aquellos grupos que no necesariamente tienen algún vínculo formal con el agua subterránea pero que por su papel en la región y su conocimiento pueden ser actores estratégicos y potenciales en la gestión del recurso subterráneo.

A partir de la revisión de información secundaria y de los aportes de los asistentes en los talleres se identificaron como actores estratégicos y potenciales los siguientes:



Asociaciones gremiales: Asociación de Productores Agrícolas de Occidente, Cooperativa Multiactiva de productores de Olaya, Corporación turística del Occidente de Antioquia Paraíso del sol, Cooperativa de caficultores, Oficina de Asuntos de las Mujeres de Santa Fe de Antioquia, Asociación de Afrodescendientes de Santa Fe de Antioquia – AFROSAN, Consejo Comunitario San Nicolás

Grupos ecológicos y otros: Grupo ecológico del SENA, Grupo de Apoyo al Patrimonio de Santa Fe de Antioquia, Mesa ciudadana por la vida de Santa Fe de Antioquia.

Centros Educativos y de Investigación: Su rol es ofrecer capacitación y formación en el uso adecuado de los recursos dispuestos en el territorio, además de ofrecer los servicios de educación tecnológica y profesionalización, estos son: SENA, Universidad de Antioquia, Tecnológico Católico de Occidente para la educación formal en programas agropecuarios y el desarrollo de proyectos productivos, Colegio Mayor de Antioquia en turismo, Universidad Nacional, sede Medellín con proyectos silvo-pastoriles y prácticas estudiantiles, las instituciones educativas de los cinco municipios del área de estudio con sus programas transversales de Praes y Procedas.

Empresas prestadoras del servicio de suministro de agua potable: estos son actores potenciales en relación al uso del agua subterránea y también del cuidado y gestión de la misma, estos son: Aguas de Occidente – EPM, CORPORACIÓN ACUEDUCTO DE RIEGO LETICIA del municipio de San Jerónimo, Juntas de Acueductos veredales, entre otras.

10.6 DIAGNÓSTICO SOBRE LOS ACTORES DEL RECURSO SUBTERRÁNEO

A partir del análisis de la información recopilada mediante el proceso de participación se identificaron 16 actores centrales en torno al sistema acuífero en el Occidente Antioqueño cercano. Estos son: Alcaldía, Corantioquia, JAC, Sector hotelero, Empresas de construcción, propietarios de parcelaciones, Administradores de parcelaciones, Consejos Comunitarios Afrodescendiente, Comunidad en general, Instituciones Educativas, SENA, Universidad de Antioquia, Minería extracción de material de playa Minería informal de Oro, Empresas privadas prestadoras de servicio de acueducto y grupos de jóvenes.

En la siguiente tabla se puede observar los principales roles identificados para los actores estratégicos en el Sistema Acuífero de Occidente (ver Tabla 57).

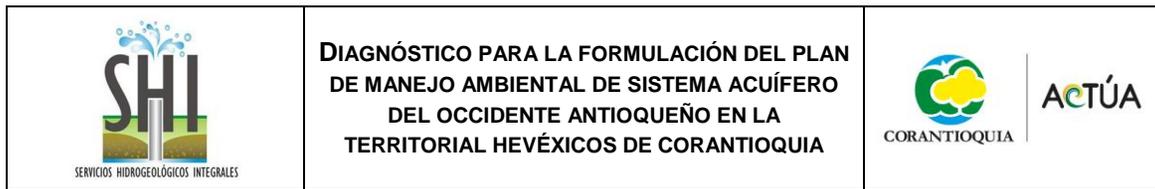


Tabla 57. Síntesis de roles e importancia en los actores claves identificados en el Sistema Acuífero de Occidente.

| Roles | Actor | Nivel de importancia |
|--------------------------------------|---|-----------------------------|
| Control, vigilancia y reglamentación | Alcaldía y Corantioquia | Alta |
| Aprovisionamiento del agua | Alcaldía y Aguas de Occidente | Alta |
| Veeduría | JAC, JAC, Consejos Comunitarios Afrodescendientes y grupos de jóvenes. | Media |
| Usuarios directos | Propietarios de parcelaciones y fincas, administradores, personas, empresa mineras, sector hotelero | Alta |
| Usuarios indirectos | JAC | Baja |
| Formación y capacitación | Universidad de Antioquia, SENA Universidad Nacional sede Medellín, y demás Instituciones Educativas con presencia en el territorio. | Medio |

Nota: El nivel de importancia está referido a la capacidad actual para generar un cambio y/o dar solución a las problemáticas identificadas en torno al agua subterránea. Este valor es cualitativo y surge como análisis de los resultados arrojados en el proceso de participación adelantado en el desarrollo del presente estudio.

Asimismo a partir de la información secundaria se tiene un marco más amplio de análisis de actores que deberán incluirse en la fase de formulación del Plan de Manejo Ambiental del Sistema Acuífero del Occidente antioqueño en la jurisdicción de Corantioquia.

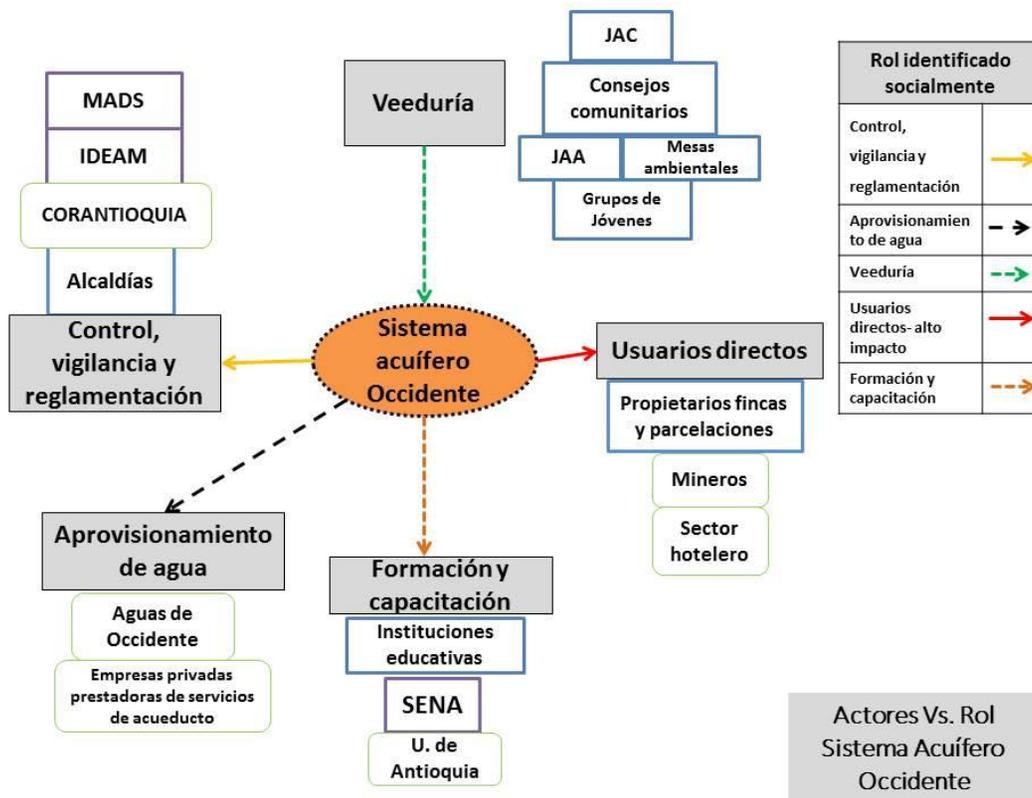
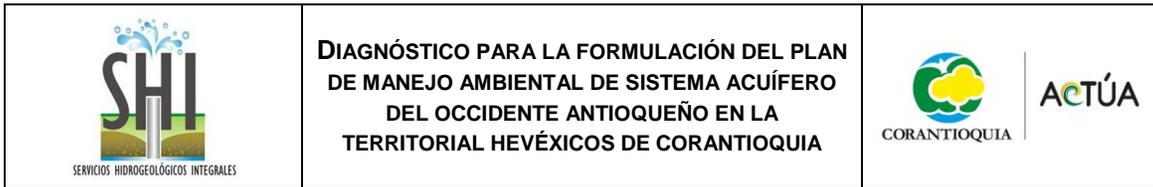


Figura 137. Esquema de actores y su rol frente al Sistema Acuífero en Occidente Antioqueño. Fuente: elaboración propia.

En la Figura 137 se muestra de modo gráfico los principales roles identificados durante el proceso de participación y análisis de la información recopilada, se reconocieron 5 roles principales con respecto al agua subterránea: **i. Control, vigilancia y reglamentación. ii. Aprovisionamiento de agua. iii. Formación y capacitación. iv. Usuarios directos. v. Veeduría.** Los principales impactos negativos, como contaminación, fueron referidos a los usuarios directos conformados propietarios fincas y parcelaciones, mineros y sector hotelero, principalmente por uso no legalizado y por ende no controlado del agua subterránea.

La caracterización de los actores y demás información recopilada y analizada para el diagnóstico de la Formulación del Plan de Manejo Ambiental del sistema acuífero del occidente antioqueño, es un insumo vital para ser tenido en cuenta desde las etapas más tempranas entre los distintos esquemas de ordenamiento territorial de los cinco municipios que conforman el área de estudio y la región del Occidente Cercano y de Antioquia en general. Cabe resaltar que si bien este es un insumo preliminar y de diagnóstico, desde ahora éste deberá articularse con aquellos planes



locales y regionales que estén asociados con temas de usos del suelo y gestión de los recursos naturales, principalmente gestión del recurso hídrico; estos serían: Planes de Ordenamiento Territorial de los cinco Municipios, los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas, los Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico y Planes de Manejo de Áreas Protegidas o Ecosistemas Estratégicos.

Corantioquia y su territorial Hevéxicos deberán coordinar y planificar la gestión conjunta entre las entidades que les compete el tema según sus roles e intereses (Ver Tabla 57 y Tabla 58) deberá buscar las estrategias para coordinar y gestionar en un tiempo cercano a la entrega de este informe la formulación del Plan de Manejo Ambiental e identificar en los diferentes instrumentos de planificación que ha desarrollado en la Territorial Hevéxicos los proyectos o acciones comunes que se puedan articular con este diagnóstico y posterior PMAA, definir rutas de gestión y articulación con otras instituciones y sus programas y acciones.

En este sentido, frente a la planificación local y en lo que respecta a los Planes de Ordenamiento Territorial (POT), la Corporación deberá trabajar de forma conjunta con los municipios la delimitación de las zonas de recarga y su inclusión en estos planes como zonas de protección en la clasificación de los suelos, definir como suelos de protección las áreas con potencial hidrogeológico medio y alto, deberá generar conjuntamente con las administraciones estrategias de acercamiento y participación con las comunidades y demás actores de importancia en la zona de estudio, deberá buscar estrategias para vincular al sector inmobiliario, de servicios de turismo y hotelería y propietarios de condominios y parcelaciones para garantizar su participación en la formulación del PMAA y su posterior ejecución.

Igualmente la corporación deberá buscar establecer sinergias con los actores que tienen responsabilidades o cumplen unos roles específicos con relación al recurso subterráneo, para esto ver Tabla 56, Tabla 57, Tabla 58 y Figura 137

Por su parte a partir de la información secundaria se identificaron muchos más actores que no fue posible contactar a pesar de los diversos intentos de convocatoria, pero estos actores son claves para ser convocados durante la fase de Plan de Manejo, de modo que se generen alianzas estratégicas con ellos, además muchos como se observa en la columna competencia sobre el recurso hídrico muestra los que por normatividad deben apoyar la gestión del recurso hídrico subterráneo, estos podrán visualizarse en la Tabla 58 que se adjunta como línea base para las fases posteriores.

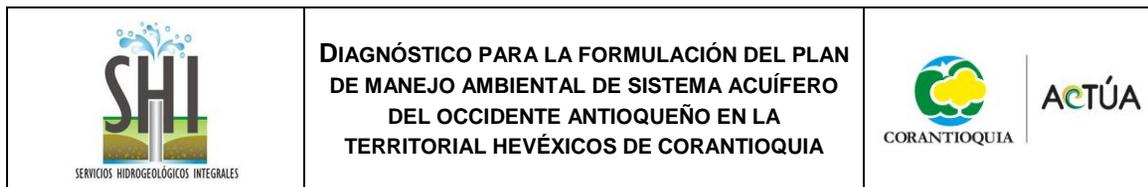


Tabla 58. Consolidado de actores a partir de información primaria y secundaria: Caracterización y análisis.

| TIPO DE ACTOR: CATEGORÍAS | ACTOR | ROL FRENTE AL RECURSO HÍDRICO RECONOCIDO LOCALMENTE | COMPETENCIA SOBRE EL RECURSO HÍDRICO “DEBER SER” | NIVEL DE INFLUENCIA Y DECISIÓN SOBRE EL RECURSO HÍDRICO | CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN Y CONCILIACIÓN (RECEPTIVIDAD A LA PARTICIPACIÓN) | ESCALA |
|------------------------------|-------------------------------------|--|--|--|---|------------|
| INSTITUCIONALES | – Corantioquia | – Control y cuidado del recurso | – Control y seguimiento de las normas | – Alta | – Media | – Regional |
| | – MADS | – Control y cuidado del recurso | – Delegación a las corporaciones de sus funciones normativas. Crea las principales normas ambientales en el país | – Alta | – Media | – Nacional |
| | – UMATA | – Capacitación sobre técnicas de cuidado y aprovechamiento del recurso. | – Capacitación sobre la norma ambiental y usos recomendados. | – Media | – Media | – Local |
| | – Consejo Territorial de planeación | – Determinante en los procesos de evaluación de los proyectos territoriales y su aprobación. | – Evaluador de proyectos que involucren el uso y cuidado de esta. | – Media | – Media | – Local |
| | – SENA | – Capacitador en el uso adecuado de este. | – Educación ambiental. | – Media | – Media | – Regional |



**DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN
DE MANEJO AMBIENTAL DE SISTEMA ACUÍFERO
DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO EN LA
TERRITORIAL HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA**



| TIPO DE ACTOR: CATEGORÍAS | ACTOR | ROL FRENTE AL RECURSO HÍDRICO RECONOCIDO LOCALMENTE | COMPETENCIA SOBRE EL RECURSO HÍDRICO “DEBER SER” | NIVEL DE INFLUENCIA Y DECISIÓN SOBRE EL RECURSO HÍDRICO | CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN Y CONCILIACIÓN (RECEPTIVIDAD A LA PARTICIPACIÓN) | ESCALA |
|---|---|--|---|--|---|---------------|
| | – Administraciones municipales | <ul style="list-style-type: none"> – Abastecimiento del recurso a nivel urbano y rural – Saneamiento básico urbano y rural – Inversión – Falta cobertura en servicios básicos – Sesgado por intereses políticos | <ul style="list-style-type: none"> – Suministro de servicios básicos a la comunidad – Articulación con el POMCA y Plan de Manejo Ambiental del Sistema Acuífero – Inversión para consolidar las Plantas de tratamiento aguas residuales domésticas | – Alta | – Alta | – Local |
| LÍDERES LOCALES ASOCOMUNAL | – Juntas Administradoras de Acueductos o riegos | – Suministrar a cada vivienda el recurso. | – Concesión de aguas para uso, da derechos de aguas. | – Media | – Media | – Local |
| | – JAC | – Gestión del recurso ante el municipio. | – Acatar las normas y velar por el cumplimiento de estas en cada una de las viviendas. | – Alta | – Alta | – Local |
| | – Juntas de Vivienda | – Gestión del recurso ante el municipio. | <ul style="list-style-type: none"> – Acatar y cumplir las normas sobre el uso del recurso. – Vigilar el acceso al recurso de modo legal en las viviendas. | – Baja | – Baja | – Local |
| ORGANIZACIONES | – Corporación de Recuperadores | – Preservan el recurso, | – Vigilantes del uso de este por los diferentes actores y | – Media | – Media | – Local |



**DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN
DE MANEJO AMBIENTAL DE SISTEMA ACUÍFERO
DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO EN LA
TERRITORIAL HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA**



| TIPO DE ACTOR: CATEGORÍAS | ACTOR | ROL FRENTE AL RECURSO HÍDRICO RECONOCIDO LOCALMENTE | COMPETENCIA SOBRE EL RECURSO HÍDRICO “DEBER SER” | NIVEL DE INFLUENCIA Y DECISIÓN SOBRE EL RECURSO HÍDRICO | CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN Y CONCILIACIÓN (RECEPTIVIDAD A LA PARTICIPACIÓN) | ESCALA |
|--|---|--|--|--|---|---------------|
| COMUNITARIAS (GRUPOS ECOLÓGICOS, GRUPOS DEFENSORES DEL AGUA EN OCCIDENTE) | Ambientales de Liborina | fomentando la educación ambiental y el cuidado de este. | estar a la vanguardia de las normatividades y leyes que regulen el recurso. | | | |
| | – Corporación Ecológica y cultural caminantes de mi pueblo (Santa Fe de Antioquia) | – Preservan el recurso, fomentando la educación ambiental y el cuidado de este. | – Vigilantes del uso de este por los diferentes actores y estar a la vanguardia de las normatividades y leyes que regulen el recurso. | – Media | – Media | – Local |
| | – Corporación Acequia Gualí (Santa Fe de Antioquia) | – Preservan el recurso, fomentando la educación ambiental y el cuidado de este. | – Vigilantes del uso de este por los diferentes actores y estar a la vanguardia de las normatividades y leyes que regulen el recurso. | – Media | – Alta | – Local |
| | – Asociación de recuperadores ambientales del occidente de Antioquia "Aro" | – Preservan el recurso, fomentando la educación ambiental y el cuidado de este. | – Vigilantes del uso de este por los diferentes actores y estar a la vanguardia de las normatividades y leyes que regulen el recurso. | – Media | – Media | – Local |
| | – Corporación social y ambiental de mujeres de Liborina | – Preservan el recurso, fomentando la educación ambiental y el cuidado de este. | – Vigilantes del uso de este por los diferentes actores y estar a la vanguardia de las normatividades y leyes que regulen el recurso. | – Media | – Media | – Local |



**DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN
DE MANEJO AMBIENTAL DE SISTEMA ACUÍFERO
DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO EN LA
TERRITORIAL HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA**



| TIPO DE ACTOR: CATEGORÍAS | ACTOR | ROL FRENTE AL RECURSO HÍDRICO RECONOCIDO LOCALMENTE | COMPETENCIA SOBRE EL RECURSO HÍDRICO “DEBER SER” | NIVEL DE INFLUENCIA Y DECISIÓN SOBRE EL RECURSO HÍDRICO | CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN Y CONCILIACIÓN (RECEPTIVIDAD A LA PARTICIPACIÓN) | ESCALA |
|---|--|--|---|--|---|---------------|
| SECTOR PRIVADO, COMERCIAL Y PRODUCTIVO | - Asociación de productores agrícolas de occidente | - Uso para producción. | - Cumplir las normas de uso del recurso y procurar por disminuir la contaminación de las zonas de importancia hídrica, como los acuíferos y nacimientos. | - Alta | - Baja | - Local |
| | - Unidad de servicios públicos domiciliarios de Liborina | - Captación y distribución del recurso para consumo humano. | - Concesiones de aguas para usos domiciliarios, cumplir con la normativa de captación y consumo, velar por el buen uso de esta y el cumplimiento de las normas ambientales acerca de este recurso | - Alta | - Alta | - Local |
| | - Aguas de Occidente | - Captación y distribución del recurso para consumo humano. | - Concesiones de aguas para usos domiciliarios, cumplir con la normativa de captación y consumo, velar por el buen uso de esta y el cumplimiento de las normas ambientales acerca de este recurso | - Alta | - Alta | - Regional |
| | - Corporación acueducto de riego Leticia | - Captación y distribución del recurso para consumo humano. | - Concesiones de aguas para usos domiciliarios, cumplir con la normativa de captación y consumo, velar por el buen uso de | - Alta | - Alta | - Local |



**DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN
DE MANEJO AMBIENTAL DE SISTEMA ACUÍFERO
DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO EN LA
TERRITORIAL HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA**



| TIPO DE ACTOR: CATEGORÍAS | ACTOR | ROL FRENTE AL RECURSO HÍDRICO RECONOCIDO LOCALMENTE | COMPETENCIA SOBRE EL RECURSO HÍDRICO “DEBER SER” | NIVEL DE INFLUENCIA Y DECISIÓN SOBRE EL RECURSO HÍDRICO | CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN Y CONCILIACIÓN (RECEPTIVIDAD A LA PARTICIPACIÓN) | ESCALA |
|------------------------------|--|--|--|--|---|---------|
| | | | esta y el cumplimiento de las normas ambientales acerca de este recurso | | | |
| | – Cooperativa multiactiva de productores de Olaya | – Uso del agua para producción agrícola y pecuaria. | – Acatar las normas sobre uso de este recurso. Participar en las tomas de decisiones evaluación y seguimiento de los proyectos ambientales que involucren el recurso hídrico. | – Alta | – Media | – Local |
| | – Corporación Turística del occidente de Antioquia Paraíso del sol | – Uso del recurso para realizar actividades económicas recreativas y de turismo. | – Acatar y cumplir las normas y regulaciones sobre el uso de este recurso. Participar en las tomas de decisiones, evaluación y seguimiento de proyectos que involucren el uso de este. | – Alta | – Baja | – Local |
| | – Asociación de mineros Liborinos | – Uso para actividad económica de minería, el cual aporta gran cantidad de elementos | – Acatar y cumplir las normas ambientales en especial regular el consumo del recurso y ejercer las acciones que ayuda a mitigar los impactos de su labor | – Media | – Baja | – Local |



**DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN
DE MANEJO AMBIENTAL DE SISTEMA ACUÍFERO
DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO EN LA
TERRITORIAL HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA**



| TIPO DE ACTOR: CATEGORÍAS | ACTOR | ROL FRENTE AL RECURSO HÍDRICO RECONOCIDO LOCALMENTE | COMPETENCIA SOBRE EL RECURSO HÍDRICO “DEBER SER” | NIVEL DE INFLUENCIA Y DECISIÓN SOBRE EL RECURSO HÍDRICO | CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN Y CONCILIACIÓN (RECEPTIVIDAD A LA PARTICIPACIÓN) | ESCALA |
|------------------------------|-------|---|---|--|---|--------|
| | | contaminantes al agua, como lo son el mercurio y el cianuro. | como son los tratamientos a las aguas residuales de la actividad en lagunas de descontaminación | | | |

10.6.1 Áreas estratégicas definidas por la comunidad asociadas a la accesibilidad del recurso subterráneo

La Tabla 59 sintetiza los principales resultados arrojados mediante el acercamiento a los diferentes actores en cuanto a áreas estratégicas de extracción, principales usos y usuarios del agua subterránea.

Tabla 59. Áreas estratégicas definidas por la comunidad asociadas a la accesibilidad del recurso subterráneo Poner nombre a esta tabla

| Municipio | Áreas estratégicas (veredas) | Usuarios | Principales usos |
|-----------------------|--|---|--|
| Sopetrán | Vereda Tafetanes Vereda Guaimaral | Fincas de recreo Parcelaciones | 1.Riego de prados 2.Aseo 3.Lavar 4.Consumo humano 5.Ganado |
| San Jerónimo | Vereda Tafetanes Vereda Llano de Aguirre: parcelación El Hato | Fincas de recreo Parcelaciones En pequeña escala personas sin acueducto | |
| Santa Fe de Antioquia | Vereda Obregón Vereda El Espinal Vereda La Noque Vereda Paso Real | Fincas de recreo Parcelaciones | |
| Olaya | Vereda La Florida | Fincas de recreo Parcelaciones | |
| Liborina | No hay reportes de aljibes confirmados a la fecha | | |

En la Figura 138 se visualizan las áreas estratégicas identificadas localmente por parte de los actores participantes del proceso de participación y caracterización del sistema acuífero.

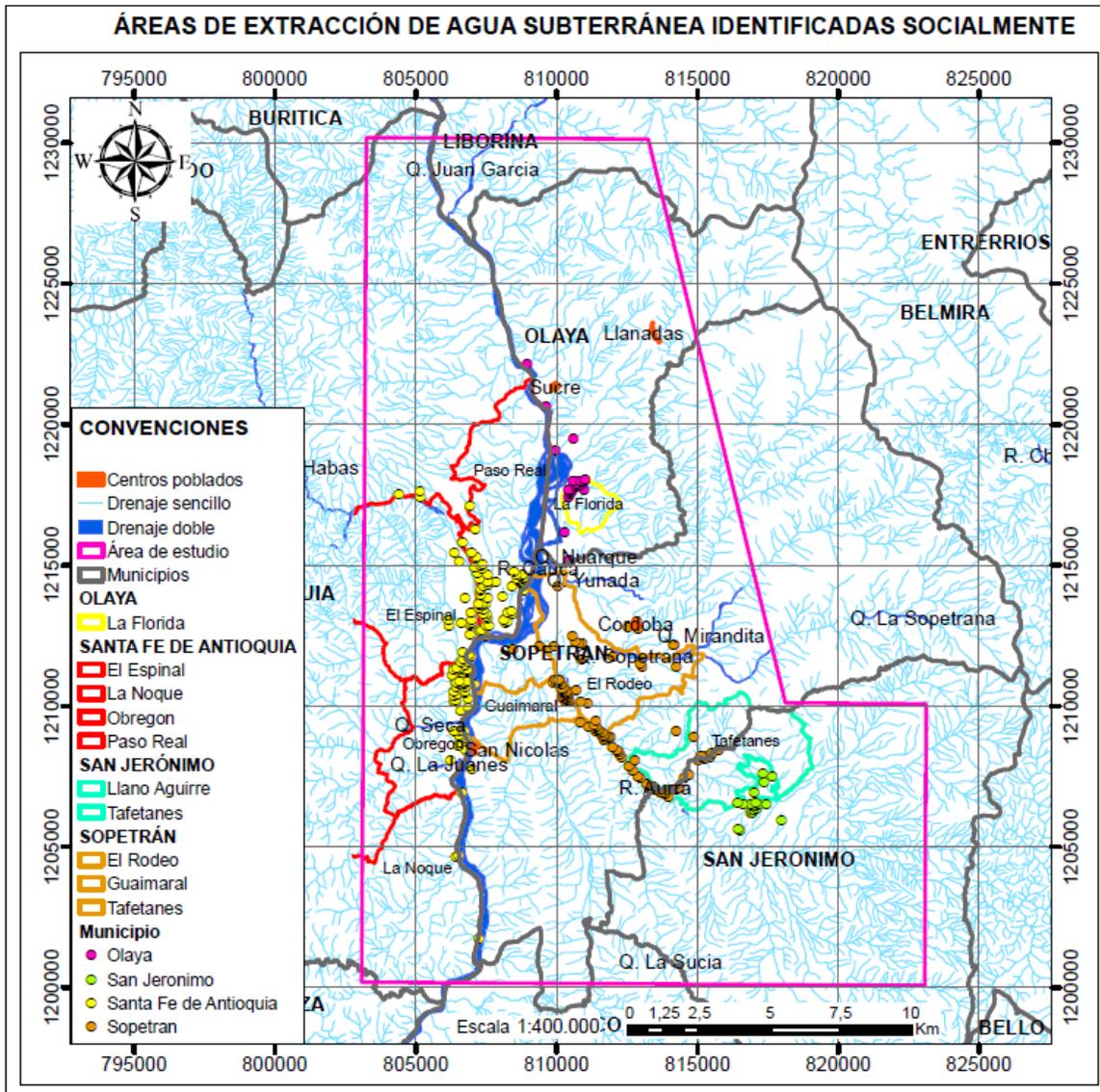
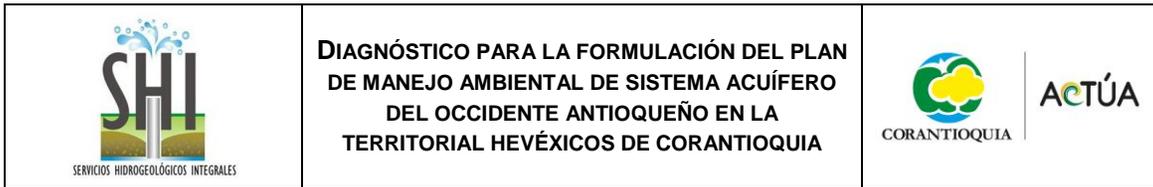


Figura 138. Áreas de extracción de agua subterránea identificadas socialmente

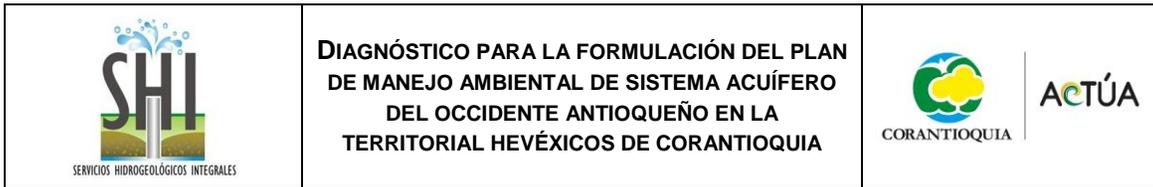
10.6.2 Identificación de problemáticas asociadas al recurso subterráneo

El principal uso identificado hasta el momento de este recurso es para riego de jardines y algunos cultivos, el segundo uso es para la realización de algunas tareas domésticas como el aseo de las propiedades. Entre las principales problemáticas se identificaron en el taller con los líderes y demás miembros de la comunidad los siguientes problemas:



- P1:** Vertimientos aguas residuales domésticas sobre las aguas subterráneas
- P2:** Vertimientos aguas residuales de actividades productivas sobre las aguas subterráneas
- P3:** Uso ineficiente del recurso hídrico por parte de las parcelaciones de recreo
- P4:** Inadecuada disposición de residuos sólidos en los aljibes
- P5:** Mayor demanda del recurso hídrico sin control
- P6:** Contaminación del agua subterránea por actividades mineras por metales pesados y sedimentación
- P7:** Falta de información de los diversos actores sobre la existencia del recurso hídrico subterráneo y su uso reglamentado
- P8:** Fragmentación suelo rural sin legalidad del recurso hídrico subterráneo
- P9:** Problemas de salud en la comunidad
- P10:** Contaminación de los acuíferos por infiltración (Calidad)
- P11:** Falta de prácticas de tratamientos de aguas residuales en el sector agropecuario
- P12:** Perdida del acuífero y su potencial como fuente hídrica (Cantidad)

De acuerdo entonces con la información recopilada y analizada se construye el siguiente análisis de problemas mediante la priorización de estos y el uso de la Matriz de Vester (Figura 139), la cual permite identificar los problemas activos, críticos, pasivos e independientes o autónomos. Dicha matriz se enmarca teóricamente en los análisis de la Teoría del Problema según la cual cuando se presenta problemáticas (P), la estrategia trazada se desvía o se suspende totalmente, impidiéndose el alcance del objetivo, sin embargo es necesario determinar la causalidad, es decir



conocer las causas y efectos, para poder hallar soluciones, ya que dichas soluciones deben estar orientadas a resolver causas y no efectos⁶.

Por tanto se aplica para este ejercicio preliminar la Matriz de Vester, que se convierte “en un instrumento que permite determinar la capacidad de causalidad o actividad de un problema sobre otros problemas y a su vez el nivel de ser causado por otro(s) problemas (pasividad)” (Álvarez y Sánchez Zapata, 2004). Luego de calificar la actividad (nivel de influencia o que tanto un problema causa otros), se grafican los resultados en un plano cartesiano en el cual cada cuadrante indica los problemas activos, críticos, pasivos y autónomos.

- Problemas de cuadrante I – **Activos**: alta actividad y baja pasividad
- Problema del cuadrante II – **Críticos**: alta actividad y alta pasividad
- Problema del cuadrante III – **Pasivos**: alta pasividad y baja actividad
- Problema del cuadrante IV **Indiferentes** o **autónomos**: baja pasividad y baja actividad

⁶ Álvarez y Sánchez Zapata, 2004. Teoría del Problema. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

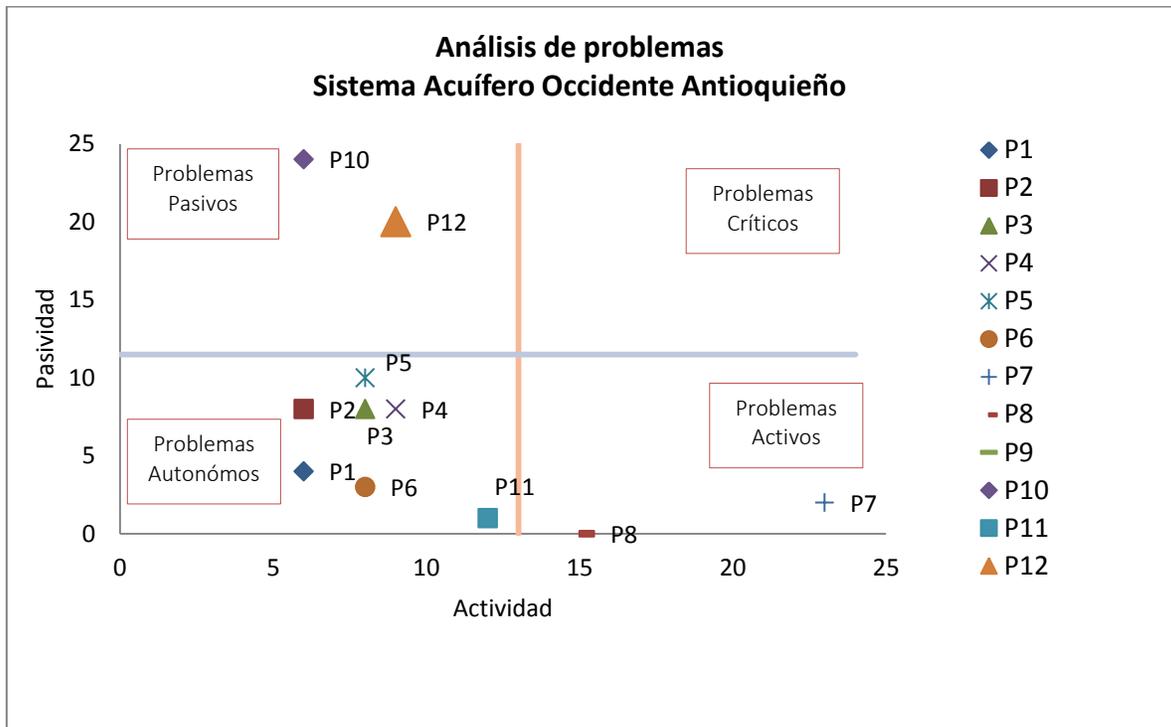


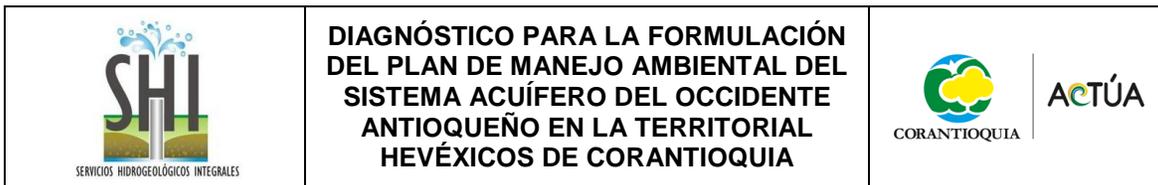
Figura 139.Matriz de problemas aguas subterráneas occidente antioqueño

Los problemas activos se convierten en las causas de los problemas pasivos. Mientras que los problemas autónomos requieren un manejo especial e identificación y aplicación de acciones particulares a ellos.

Como problemas activos o centrales se identifican entonces la **Falta de información de los diversos actores sobre la existencia del recurso hídrico subterráneo y su uso reglamentado** y la **Fragmentación suelo rural sin legalidad del recurso hídrico subterráneo**.

Como problemas pasivos se identificaron la **Contaminación de los acuíferos por infiltración (Calidad) y la pérdida del acuífero y su potencial como fuente hídrica (Cantidad)**.

No obstante, es importante señalar que este análisis de problemas debe llevarse a cabo a profundidad durante la fase de formulación del Plan de Manejo Ambiental y con interacción del componente social con los otros componentes del estudio.



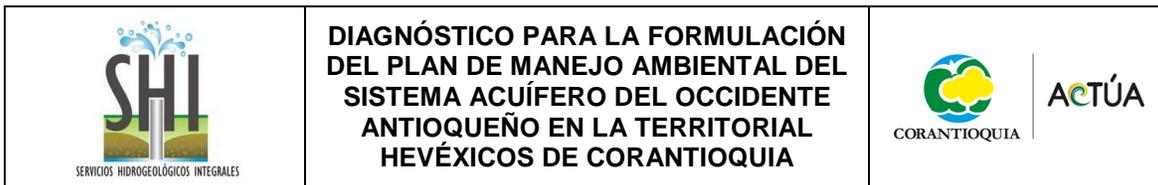
10.6.3 Balance de la participación

En el periodo comprendido para la realización del presente estudio se llevó a cabo el proceso de acercamiento a las administraciones municipales, a los actores privados como administradores de parcelaciones, propietarios, miembros de empresa turísticas y prestadores de servicios de acueducto, y actores comunitarios tales como líderes de Juntas de Acción Comunal, Juntas de Acueducto o de Riego, Mesas Ambientales y grupos ecológicos. Algunos de estos acercamientos se lograron concretar y otros no, dado que los actores no asistían a las reuniones o citas concertadas.

Una de las principales dificultades para la participación en el proyecto fue la disposición y disponibilidad de los actores para asistir a las reuniones o actividades programadas. Dicha disposición y disponibilidad se fundamenta, entre muchas otras razones, por el desinterés de algunos actores quienes no usan el recurso subterráneo y por tanto tienen un alto desconocimiento sobre la importancia del mismo; el temor y la desinformación de quienes si lo usan, por los cobros que se puedan causar una vez se haga visible el consumo de éste, el tema de ilegalidad sobre el uso del recurso fue una constante en las conversaciones con los distintos actores. De igual forma, la desinformación y los imaginarios sobre las dificultades, demoras y costos sobre los procesos de legalización de los pozos o aljibes, hizo que se mantuviera un silencio en relación a la información sobre los mismos.

Así mismo, los actores que usan el recurso subterráneo son en general actores que no son nativos de la zona, al contrario son actores foráneos, temporales, que llegan a la zona y se quedan por días o durante los fines de semanas. También algunos son actores de clase alta, generalmente de Medellín, quienes son los propietarios de fincas de recreo en las parcelaciones y condominios, o empresas de turismo que ofrecen el servicio de hospedaje en fincas recreativas, hosterías y hoteles. Es decir, los principales usuarios del agua subterránea en el área de estudio son actores que no tienen, en general, un sentido de arraigo y pertenencia en el territorio o zona de estudio, ya que muchos de ellos son personas que acuden al lugar sólo para recrearse y descansar durante unos cuantos días, sin tener un mayor relacionamiento con los demás actores de la región.

Los actores comunitarios locales, quienes han sido lo más dispuestos a participar no son usuarios del agua subterránea, ya que históricamente han tenido acceso al recurso hídrico a través de los sistemas de acequias tomados desde aguas superficiales y en la actualidad cuentan con la cobertura de agua potable prestado por la empresa privada Aguas de Occidente. Este aspecto hizo



difícil que estos actores estuvieran interesados en participar en este proyecto; sin embargo a partir de las reuniones, conversaciones y visitas, estos identificaron la importancia de conocer y participar de todo lo relacionado con el tema del agua subterránea.

De otro lado, la dinámica del conflicto sociopolítico y el tema del orden público, al que no escapan los municipios que conforman el área de estudio, fueron un obstáculo para el acceso a la información sobre los puntos de agua, la identificación de los principales actores alrededor de la misma y el conocimiento sobre el uso del recurso subterráneo y sus principales problemáticas. Si bien, no es claro lo que sucede, existe en la zona una especie de tensa calma y un constante silencio frente a información sobre los actores. De hecho, en ocasiones algunos líderes manifestaron que en relación a sus comunidades locales podían dar información pero que sobre otro tipo de población no. También funcionarios públicos y administradores de parcelaciones en algunas ocasiones expresaron las dificultades sobre los temas de seguridad en la zona de estudio.

Sumado a todo lo anterior, la desconfianza y poca credibilidad en la institucionalidad por parte de los distintos actores, también problematizó la participación de estos en el proyecto diagnóstico para el PMA del sistema acuífero. Especialmente, con Corantioquia, la gente hizo manifiesto que ésta es una institución lejana, que la sienten como una institución con una función más policiva y sancionatoria que de acercamiento, acompañamiento y generación de procesos de formación y guía. En algunos espacios los presentes manifestaron sus inconformidades con la Corporación por la demora en trámites, porque se sienten abandonados en la defensa de los recursos de los locales sobre otros actores con mayor poder, por la falta de acompañamiento en iniciativas y programas de la comunidad, entre otras expresiones de inconformidad.

Todos estos aspectos son importantes tener en cuenta para los futuros desarrollos de proyectos o para la implementación del PMA del sistema acuífero, hay confianzas y credibilidades para restablecer, se deben generar procesos comunitarios de acompañamiento a las iniciativas propuestas por las comunidades, se deben generar estrategias de acercamiento con los distintos actores, en especial con los actores foráneos que llegan sólo por temporadas a la zona de estudio, se deben generar estrategias y alianzas con las demás instituciones de la región como las alcaldías, la Universidad de Antioquia, el SENA, estas dos últimas con un reconocimiento importante por parte de la comunidad.

| | | |
|---|---|---|
|  <p>SERVICIOS HIDROGEOLOGICOS INTEGRALES</p> | DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO EN LA TERRITORIAL HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA |  |
|---|---|---|

En la Tabla 60 se presenta el balance de las actividades de acercamiento a los diversos actores ejecutadas a mayo de 2015 (Ver Anexo del capítulo 7 denominado: Listados de asistencia).

Tabla 60. Balance actividades de acercamiento a los diversos actores del área de estudio

| Nro | Actor | Nro. de asistentes | Lugar, fecha y hora |
|-----|--|--------------------|--|
| 1 | Reunión secretario de Desarrollo Rural Santa Fe de Antioquia | 2 | Lugar: Oficina funcionario - municipio Santa Fe de Antioquia Fecha: 31 de octubre de 2014 Hora: 9:00 a.m. a 10:00 a.m. |
| 2 | Reunión funcionarios de Planeación y la UMATA Sopetrán | 2 | Lugar: Oficina funcionario - municipio Sopetrán. Fecha: 30 de octubre de 2014 Hora: 10:00 a.m. a 11:30 a.m. |
| 3 | Reunión Secretario de Educación Liborina | 1 | Lugar: Oficina funcionario - municipio de Liborina Fecha: 30 de octubre de 2014 Hora: : 2:00 p.m. a 4:00 p.m. |
| 4 | Reunión alcalde de Olaya | 1 | Lugar: Parque principal de Olaya Fecha: 30 de octubre de 2014 Hora: 4:30 a.m. a 5:00 p.m. |
| 5 | Reunión Profesional Social San Jerónimo | 1 | Lugar: Oficina funcionario - municipio San Jerónimo Fecha: 31 de octubre de 2014 Hora: 11:00 a.m. a 11:30 a.m. |
| 6 | Reunión de información líderes San Rafael – Kilometro 2 | 15 | Lugar: escuela veredal - municipio Santa Fe de Antioquia Fecha: 13 de noviembre de 2014 Hora: 4:00 p.m. a 5:00 p.m. |
| 7 | Reunión de información JAC vereda Espinal | 10 | Lugar: escuela de la vereda el espinal - municipio Santa Fe de Antioquia Fecha: 13 de noviembre de 2014 Hora: 7:30 p.m. a 9:00 p.m. |
| 8 | Reunión de información líder de la vereda La Noque | 1 | Lugar: parque principal - municipio Santa Fe de Antioquia Fecha: 14 de noviembre de 2014 Hora: 11:00 a.m. a 11:30 a.m. |
| 9 | Reunión JAC y grupo de la tercera edad La Noque | 7 | Lugar: escuela de la vereda la noque - municipio Santa Fe de Antioquia Fecha: 16 de noviembre de 2014 Hora: 4:00 p.m. a 5:00 p.m. |
| 10 | Reunión Fontanero Obregón | 1 | Lugar: casa del fontanero – vereda Obregón municipio Santa Fe de Antioquia Fecha: 16 de noviembre de 2014 Hora: 5:30 p.m. a 5:30 p.m. |
| 11 | Reunión Líder Guaymaral | 1 | Lugar: la tienda del mono – vereda Guaymaral - municipio Santa Fe de Antioquia fecha: 13 de noviembre de 2014 hora: 9:30 p.m. a 10:00 p.m. |
| 12 | Reunión Líder El Paso | 1 | Lugar: vereda El Paso - municipio Santa Fe de Antioquia Fecha: 14 de noviembre de 2014 Hora: 4:00 p.m. a 4:30 a.m. |
| 13 | Reunión Líder Olaya ASOCUMUNAL | 1 | Lugar: Casa presidenta de ASOCOMUNAL - municipio de Olaya Fecha: 14 de noviembre de 2014 Hora: 12:30 p.m. a 1:00 p.m. |



**DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN
DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL
SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE
ANTIOQUEÑO EN LA TERRITORIAL
HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA**



ACTÚA

| Nro | Actor | Nro. de asistentes | Lugar, fecha y hora |
|------------|---|---------------------------|--|
| 14 | Reunión Líder Olaya – Llanadas | 5 | Lugar: Sede de JAC en el parque principal de Llanadas – municipio de Olaya Fecha: 16 de noviembre de 2014 Hora: 1:30 p.m. a 2:00 p.m. |
| 15 | Reunión Líder Sopetrán | 1 | Lugar: Oficina de ASOCOMUNAL - municipio de Sopetrán Fecha: 13 de noviembre de 2014 Hora: 2:00 p.m. a 2:30 p.m. |
| 16 | Reunión ASOCOMUNAL Sopetrán | 6 | Lugar: Oficina de ASOCOMUNAL - municipio de Sopetrán Fecha: 22 de noviembre de 2014 Hora: 10:00 a.m. a 1:00 p.m. |
| 17 | Reunión Información administrador parcelación Obregón | 1 | Lugar: Oficina en el Poblado – municipio de Medellín Fecha: 17 de noviembre de 2014 Hora: 8:00 a.m. a 8:30 a.m. |
| 18 | Reunión 2 administrador parcelación Obregón | 1 | Lugar: Oficina en el Poblado – municipio de Medellín Fecha: 27 de enero de 2015 Hora: 10:30 a.m. a 11:00 a.m. |
| 19 | Socialización del proyecto con la comunidad El Rodeo municipio de Sopetrán | 7 | Lugar: Escuela vereda El Rodeo – municipio de Sopetrán Fecha: 11 de febrero de 2014 Hora: 7:30 p.m. a 9:00 p.m. |
| 20 | JAC, administraciones municipales y parcelaciones | 4 | Lugar: Salón Secretaría de Educación – San Jerónimo Fecha: 19 de febrero de 2015 Hora: 10:00 a.m. – 12:00 m |
| 21 | JAC, administraciones municipales y parcelaciones | 13 | Lugar: Casa de la Cultura – Sopetrán Fecha: 21 de febrero de 2015 Hora: 10:00 a.m. – 12:00 m. |
| 22 | JAC, administraciones municipales y parcelaciones | 2 | Lugar: Sede del Concejo – Santa Fe de Antioquia Fecha: 21 de febrero de 2015 Hora: 3:00 – 5:00 p.m. |
| 23 | Aguas de Occidente y Corantioquia territorial Hevéxicos (Día institucional) | 12 | Lugar: Casa de la Cultura – San Jerónimo Fecha: 20 de febrero de 2015. Hora: 2:00 p.m. |
| 24 | Acompañamiento día institucional Santa Fe de Antioquia | 10 | Lugar: Salón de reuniones oficina Corantioquia territorial Hevéxicos, municipio Santa Fe de Antioquia Fecha: Viernes 13 de marzo de 2015 Hora: 2:00 p.m. a 4:00 p.m. |
| 25 | Acompañamiento día institucional municipio de Olaya | 3 | Lugar: Escuela corregimiento de Llanadas, municipio Olaya Fecha: Sábado 14 de marzo de 2015 Hora: 11:00 a.m. a 3:30 p.m. |
| 26 | Líderes ambientales y comunitarios de los 5 municipios del área de estudio | 23 | Lugar: Salón de reuniones oficina Corantioquia territorial Hevéxicos, municipio Santa Fe de Antioquia Fecha: Lunes 16 de marzo de 2015 Hora: 3:00 p.m. a 5:30 p.m |
| 27 | Administraciones municipales y Corantioquia | 4 | Lugar: Salón de reuniones oficina Corantioquia territorial Hevéxicos, municipio Santa Fe de Antioquia Fecha: martes 17 de marzo de 2015 |

| | | |
|--|--|---|
|  <p>SHI SERVICIOS HIDROGEOLOGICOS INTEGRALES</p> | <p>DIAGNÓSTICO PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL SISTEMA ACUÍFERO DEL OCCIDENTE ANTIOQUEÑO EN LA TERRITORIAL HEVÉXICOS DE CORANTIOQUIA</p> |   <p>CORANTIOQUIA ACTÚA</p> |
|--|--|---|

| Nro | Actor | Nro. de asistentes | Lugar, fecha y hora |
|------------|--|---------------------------|--|
| | | | Hora: 10:00 a.m. a 12:00 m |
| 28 | Jóvenes estudiantes y grupo ecológico del SENA. | 22 | Lugar: I.E Arturo Velásquez - municipio Santa Fe de Antioquia Fecha: Lunes 20 de marzo de 2015 Hora: 3:00 p.m. a 5:30 p.m. |
| 29 | Actores comunitarios, sector privado y Autoridad Ambiental – Territorial Hevéxicos | 20 | Lugar: I.E Arturo Velásquez - municipio Santa Fe de Antioquia Fecha: Martes 5 de mayo de 2015 Hora: 2:00 p.m. a 5:30 p.m. |
| 30 | Funcionarios Administración Sopetran | 5 | Lugar: Alcaldía de Sopetran Fecha: Martes 5 de mayo de 2015 Hora: 2:00 p.m. a 5:30 p.m. |
| 31 | Funcionarios Administración San Jerónimo | 6 | Lugar: Alcaldía de San Jerónimo (mañana) Fecha: Miércoles 6 de mayo de 2015 Hora: 10:00 a.m. |
| 32 | Funcionarios Administración Santa Fe de Antioquia | 7 | Lugar: Alcaldía de Santa Fe de Antioquia Fecha: Miércoles 6 de mayo de 2015 Hora: 3:00 p.m. |
| 33 | Funcionarios Administración Liborina | 11 | Lugar: Alcaldía de Liborina Fecha: Jueves 7 de mayo de 2015 Hora: 10:00 a.m. |
| 34 | Funcionarios Territorial Hevéxicos | 11 | Lugar: Oficina de la territorial Hevéxicos Fecha: Jueves 7 de mayo de 2015 Hora: 3:00 p.m. |
| 35 | Funcionarios Administración Olaya | 5 | Lugar: Alcaldía de Liborina Territorial Hevéxicos Fecha: Jueves 28 de mayo de 2015 Hora: 10:00 a.m. |
| 36 | Aguas de Occidente | 5 | Lugar: Oficina de Aguas de Occidente en San Jerónimo Fecha: Jueves 28 de mayo de 2015 Hora: |

El siguiente es el registro fotográfico de algunas de las reuniones relacionadas en la Tabla 60 Balance actividades de acercamiento a los diversos actores del área de estudio.



Foto 7. Taller con las comunidades y la territorial Hevéxicos sobre resultados finales del diagnóstico para la Formulación del Plan de Manejo del sistema acuífero del Occidente Antioqueño. Mayo de 2015. Fuente: SHI



Foto 8. Socialización resultados finales del Diagnóstico para la formulación del PMA del sistema acuífero del Occidente Antioqueño, con la territorial Hevéxicos y funcionarios de la administración municipal de San Jerónimo. Mayo de 2015. Fuente: SHI



Foto 9. Socialización resultados finales del Diagnóstico para la formulación del PMA del sistema acuífero del Occidente Antioqueño, con funcionarios de la administración de Sopetrán y de la administración municipal de Liborina. Mayo de 2015. Fuente: SHI

10.1.1.1 Limitaciones y retos

En cuanto a los usos se puede decir que en los espacios de participación, los asistentes han expresado que tradicionalmente en los municipios del Occidente cercano, la población local y tradicional no se ha proveído de agua subterránea, sino que históricamente las personas han tenido acceso al recurso hídrico a través de los sistemas de acequias tomadas desde aguas superficiales y en la actualidad cuentan con la cobertura de agua potable prestado por la empresa privada. Con respecto al agua subterránea los principales usos son en orden de prioridad y nivel de extracción: riego de prados, aseo del hogar o fincas, actividades mineras, agrícolas y pecuarias y en muy baja proporción se puede estar usando en época de escasez para consumo humano.

En relación al proceso de participación en los municipios del área de influencia del proyecto el proceso fue complejo, por un lado por la falta de confianza y credibilidad en la institucionalidad, por el cansancio de los espacios de participación sólo para la información y no necesariamente para la toma de decisiones; y por otro lado, porque la población en general tiene la percepción de que quienes tienen que ver con el agua subterránea es la población foránea y no necesariamente los locales.

El acercamiento con las administraciones municipales y acceso a propietarios ha sido limitado, debido a aspectos de seguridad, a la disponibilidad de tiempo de las administraciones municipales, y a la complejidad de acceso a información y concertación de encuentros con el sector inmobiliario donde la información es restringida y confidencial.

11. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

La información cartográfica del proyecto se estructuró teniendo en cuenta las normas y lineamientos establecidos por Corantioquia para la parte de Sistemas de Información Geográfica – SIG, referente a metadatos, Geodatabase – GDB y diccionario de datos.

La carpeta principal fue nombrada teniendo en cuenta dicha propuesta y se denominó Hidrogeologia_Hevexicos_C1409-241, dentro de esta carpeta se encuentran las siguientes subcarpetas:

11.1 CARTOGRAFÍA

Contiene la cartografía generada para el proyecto, se subdivide en las siguientes carpetas:

11.1.1 1GDB

Contiene dos GDB:

GDB_C1409-241.mdb: base de datos generada para el proyecto, con el feature data set Carto_Tematica.

CORANTIOQUIA: base de datos suministrada por Corantioquia.

11.1.2 2GRD

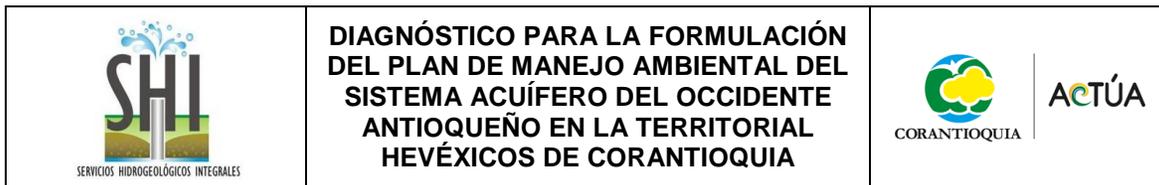
Abarca la información referente a los archivos tipo raster.

11.1.3 3LYR

Capas generadas para los diferentes Feature class de la base de datos.

11.1.4 4LOGOS

Logos de Corantioquia y Servicios Hidrogeológicos Integrales - SHI.



11.1.5 MXD

Plantillas generadas para la cartografía social, figuras contenidas dentro del informe, mapas a escala 1:25.000 para geología, geomorfología y potencial acuífero y trabajo de campo.

11.1.6 IMÁGENES

Contiene las imágenes en formato PDF y JPG generadas para la cartografía social, figuras contenidas dentro del informe, mapas a escala 1:25.000, trabajo de campo y metadatos.

11.2 INFORME FINAL

Tiene la información referente a memoria explicativa (Anexo 1), diccionario de datos (Anexo 2), metadatos para raster y feature class (Anexo 3) e Informe final (Anexo 4).

12. CONCLUSIONES

12.1 HIDROLOGÍA

Para la zona de estudio se observó que su ciclo anual de precipitaciones y caudales es bimodal, además de esto no se identificaron diferencias en el ciclo anual entre las estaciones ubicadas en diferentes vertientes del río Cauca.

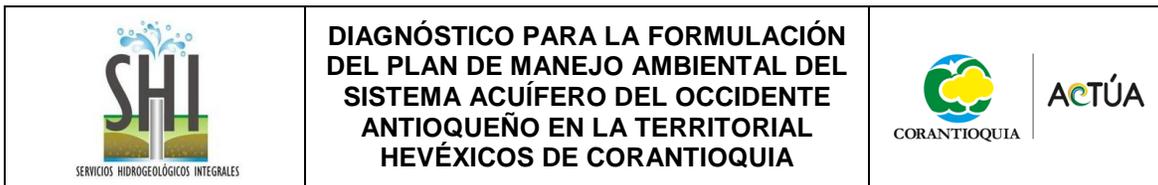
Una estimación confiable de caudales medios depende de la existencia de registros históricos de buena calidad y de suficiente longitud, en este caso específico se contó con información superior a 30 años, por lo que se considera que los resultados en los campos climáticos e hidrológicos son de buena calidad, adicionalmente se obtuvieron errores pequeños entre los caudales medios estimados y medidos, lo que demuestra la confiabilidad de las metodologías utilizadas.

Específicamente para la zona de estudio, la precipitación media anual es de 1276 mm/año, la evapotranspiración media anual estimada por el método de Turc es de 1016 mm/año, la evapotranspiración estimada por el método de Cenicafé-Budyko es de 928 mm/año y la temperatura media anual es de 24 °C aproximadamente. En general, el método de Cenicafé-Budyko para estimar la evapotranspiración, representa mejor las condiciones particulares de la zona de estudio, por lo que se considera que este método ofrece una estimación de caudales más confiable.

12.2 GEOLOGÍA

La zona de estudio presenta rocas ígneas, metamórficas, sedimentarias y depósitos recientes. Para la vertiente occidental de la cordillera Central se tiene un basamento polimetamórfico del Paleozoico, intruído por plutones de edad Cretácica y Jurásica, con depósitos de rocas sedimentarias del Terciario. La vertiente oriental de la cordillera Occidental, presenta un basamento de rocas oceánicas del Mesozoico y Cenozoico afectadas por intrusiones terciarias.

Los depósitos cuaternarios están asociados a terrazas formadas a partir del represamiento del río Cauca por el deslizamiento del Guásimo, ocurrido cerca al municipio de Sabanalarga. Al occidente de Santa Fe de Antioquia se tienen terrazas escalonadas asociadas a un viejo abanico disectado originado por el río Tonusco.



Tectónicamente, el área de estudio se encuentra afectada por tres sistemas de fallas de carácter regional generados por la alta actividad tectónica conferida por la interacción de las placas Suramérica, Nazca y Caribe. Estos sistemas presentan orientación preferencial NNW con presencia de lineamientos, fallas inversas y normales.

12.3 GEOMORFOLOGÍA

Las unidades geomorfológicas locales, a grandes rasgos pueden agruparse, según la geoforma predominante, en cuchillas, filos, vertientes, cerros aislados, colinas y geoformas de origen aluvial.

Las geoformas de origen aluvial se ubican a ambos márgenes del río Cauca, ocupando mayor área hacia el centro y norte de la zona, se caracterizan especialmente por las bajas pendientes y las superficies planas, asociadas al río Cauca y a sus tributarios mayores.

Las unidades geomorfológicas con mayor potencial de recarga son las colinas y los depósitos aluviales, que incluyen las llanuras de inundación, terrazas y abanicos. Las unidades de cerros aislados, vertientes, filos y cuchillas, se caracterizan por pendientes más altas y se relacionan a menor potencial de recarga, por lo que para estas unidades el potencial es bajo y de medio a bajo.

12.4 GEOFISICA

En el estudio realizado por Ortiz y Restrepo en el año 2004 se ejecutaron 96 sondeos eléctricos verticales (SEV) en la zona de estudio, de los cuales 15 corresponden a calibraciones para determinar los rangos de resistividades de la litología presente en el área. Los sondeos se concentran en las zonas de depósitos cuaternarios, por ser estos la unidad con mayor potencial hidrogeológico y por presentar las condiciones de terreno aptas para la ejecución de los sondeos. Después de procesar y analizar los SEV se obtuvieron mapas de los valores de resistividad a diferentes profundidades.

Se definieron 3 rangos principales de resistividades, en los cuales se diferenciaron finos (arenas finas y limos), arenas con mayor contenido de grava y arenas con menor contenido de grava. Las resistividades oscilaron entre 0 y 1000 ohm-m, sin presentarse valores asociados a roca fresca (Ortiz y Restrepo, 2004).

Los valores más altos de resistividad predominan en superficie y que a mayor profundidad disminuye la resistividad, a los 50 m son escasos los valores por encima de 80 ohm-m y a 70 m

casi toda al área es de resistividades entre 0 y 80 ohm-m. Esta disminución de la resistividad indica niveles de agua y zonas saturadas.

12.5 HIDROGEOQUIMICA, ISOTOPIA Y CALIDAD

En general las aguas subterráneas del sector presentan una composición similar, donde predominan los iones de bicarbonato y el magnésico, con los valores de pH cercanos al neutro. Las aguas subterráneas del sector poseen un enriquecimiento en magnesio y hierro, el cual se puede asociar a la presencia de rocas con contenido mineral alto en estos dos elementos como es el caso de las rocas del plutón de Sabanalarga y los diferentes tipos de esquistos del Complejo Polimetamórfico de la Cordillera Central.

Las aguas subterráneas en la zona de estudio son de tipo bicarbonatadas en su mayoría, con concentraciones importantes de sulfatos, suponiendo que el aporte de sulfatos no es de tipo antropogénico, se puede sugerir que las aguas subterráneas tienen un grado de almacenamiento importante en el medio subterráneo, es decir las aguas no son de tránsito rápido.

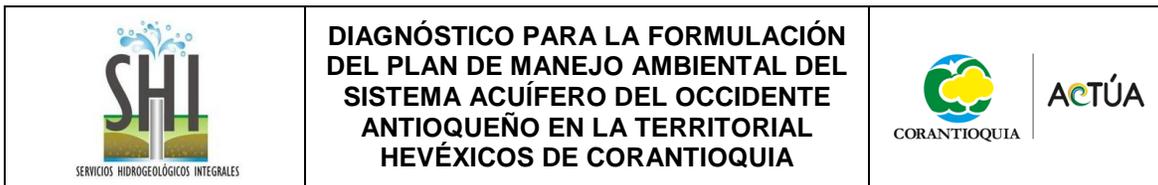
En las partes bajas de la zona de estudio las aguas subterráneas se encuentran más mineralizadas que aquellas que se encuentran a cotas superiores, esto puede indicar que las líneas de flujo de las aguas subterráneas se dirigen hacia el Río Cauca.

La calidad de las aguas en la zona de estudio es aceptable, sin embargo para el consumo humano se debe realizar una desinfección y un tratamiento con el fin de disminuir turbiedad, alcalinidad y dureza total de dichas fuentes subterráneas.

12.6 RECARGA

Las zonas de recarga se encuentran por fuera de la zona de estudio, en la parte alta de la ladera Oriental del río Cauca, así como en la parte media de la misma a la altura de las quebradas La Sopetrana, La Yuna y La Cosme; además se detectó un alto potencial de recarga en la ladera derecha de la cuenca del río Chico, por lo que se considera que existe un flujo regional proveniente del altiplano y de la cuenca del río Chico que recarga en un porcentaje la zona de estudio; dichas zonas con alto potencial de recarga concuerdan con lo descrito por Rhenals, 2007.

Mediante el análisis de los isótopos se detectó que para la zona de estudio pueden identificarse dos zonas de recarga, una por encima de los 1800 msnm correspondientes a las zonas más altas



de la ladera y el borde del altiplano en los municipios de San Jerónimo, Sopetran, Olaya, Liborina y San Pedro de Los Milagros, que recarga la mayoría de las unidades acuíferas y una más baja, localizada a media ladera entre los 1100 y 1400 msnm ubicadas en los municipios de San Jerónimo, Sopetrán, Olaya, Liborina y Ebejico.

También se identificaron zonas de recarga en la parte alta de la vertiente occidental del río Cauca con un potencial de recarga alto, es decir en la cabecera de las cuencas del río Tonusco y la quebrada La Seca.

Respecto a las coberturas, en los sitios con baja profundidad de raíces como pastos y cultivos y que se encuentran ubicados en zonas con pendientes bajas el potencial de recarga es considerablemente mayor que en los sitios con coberturas de bosque, ya que estas tienen una profundidad de raíces muy grande e impiden la infiltración que posteriormente se convertiría en recarga.

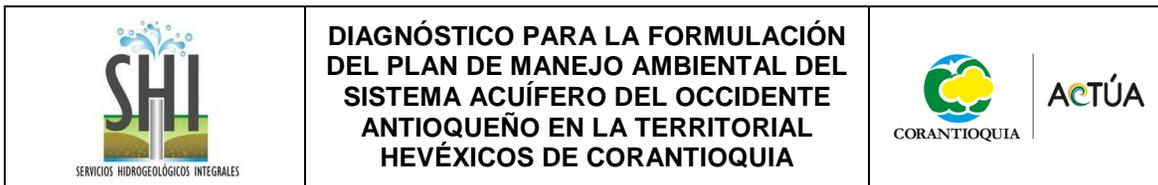
Se evidenció que la distribución espacial de la recarga varía en las tres épocas analizadas (año húmedo, año seco y año normal). En algunas zonas, la recarga es mayor en la época normal que en la húmeda, esto se debe a la distribución temporal de la lluvia, ya que pueden existir eventos muy concentrados precedidos por épocas de estiaje, lo que facilita que se recargue gran parte de la lluvia; lo mismo ocurre entre la época normal y la seca en algunas zonas.

12.7 POTENCIAL ACUIFERO

Dentro de la zona de estudio existen 2 tipos de zonas acuíferas; la primera asociada a los depósitos superficiales aluviales del río Cauca y sus afluentes y la segunda compuesta por depósitos de vertiente. Estos acuíferos excluyen todas las rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias que afloran en el sector.

Los depósitos superficiales de la zona se componen principalmente de diferentes tamaños de arena y gravas que permiten una fácil acumulación y circulación de agua, por lo consiguiente la existencia de materiales confinantes no se presenta en la zona e igual existe la carencia de acuíferos confinados.

El abanico aluvial formado por el río Tonusco y las terrazas altas de La Florida se plantean como las zonas con potenciales acuíferos más altos.



A excepción del coluvión del municipio de San Jerónimo, el total de depósitos con potencial alto de acumulación de agua están formados por el río Cauca y por los afluentes que en muchos casos forman abanicos aluviales al disminuir su pendiente en la desembocadura en la corriente principal.

Producto de la actualización del inventario de puntos de agua subterránea en la zona se encontraron 314 puntos de los que 1 corresponde a un nacimiento de agua, 2 son pozos y 311 son aljibes.

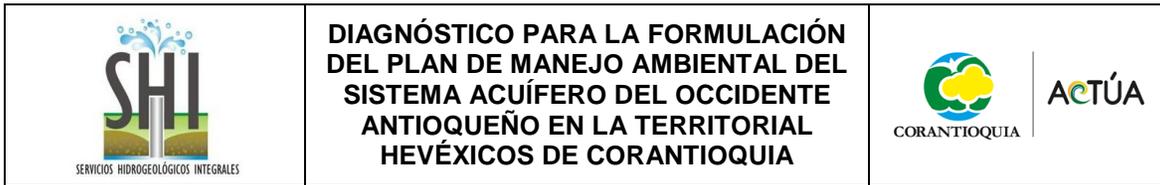
12.8 CARACTERIZACION SOCIOCULTURAL Y ECONÓMICO

Como conclusiones a partir del análisis se tiene que los principales usuarios en el sector de turismo y viviendas de recreo. En cuanto a los usos de agua subterránea se tiene que en los espacios de participación se expresó que tradicionalmente en los municipio de Occidente cercano no se ha captado agua subterránea sino que históricamente las personas han tenido acceso al recurso hídrico a través de los sistemas de acequias tomadas desde aguas superficiales y en la actualidad cuentan con la cobertura de agua potable prestado por la empresa privada. Con respecto al agua subterránea los principales usos son en orden de prioridad y nivel de extracción: riego de prados, aseo del hogar, lavado de ropa, actividades mineras, agrícolas y pecuarias y en muy baja proporción se puede estar usando en época de escasez para consumo humano

Sobre las áreas estratégicas potenciales y de extracción, y según la información recopilada en los espacios de participación se han identificado 9 áreas estratégicas y zonas de importancia del recurso hídrico subterráneo por potencial y extracción, las cuales son: para el municipio de Sopetrán las Veredas Tafetanes y Guaimaral, para San Jerónimo las veredas Tafetanes y Llano de Aguirre: parcelación el Hato, en Santa Fe de Antioquia las veredas Obregón, El Espinal, La Noque y Paso Real, para el municipio de Olaya la vereda La Florida y en el municipio de Liborina no hay reporte de extracción de agua subterránea.

Los principales factores de contaminación del agua subterránea: los vertimientos de aguas residuales directamente a los aljibes, la cercanía de pozo sépticos a los acuíferos, la minería, el aumento de la construcción de viviendas y parcelación, la extracción del agua subterránea sin control o proceso de legalidad y disposición inadecuada de residuos sólidos.

Finalmente se puede concluir en cuanto a la participación que en el proceso de acercamiento con los diferentes actores en la zona de estudio se generaron 28 espacios de discusión y participación tales como: reuniones, entrevistas y talleres, con la inclusión de 158 personas pertenecientes a



organizaciones comunitarias, grupos de jóvenes, administraciones municipales, autoridad ambiental y .sector privado prestador del servicio de agua potable en los municipios de Sopetrán, San Jerónimo, Santa Fe de Antioquia, Olaya y Liborina.

13. RECOMENDACIONES

Se recomienda adelantar estudios isotópicos, geológicos y geomorfológicos en la laderas occidentales de Santa Fe de Antioquia, con el fin de determinar si se detectan las zonas de recarga hacia este sector.

Se recomienda reforzar la presencia de la Corporación en el tema de vertimientos y residuos sólidos ya que se observaron algunos focos de contaminación que comprometen la calidad de las aguas subterráneas.

Generar programas educativos y de sensibilización en el tema del recurso subterráneo dirigidos especialmente hacia los actores jóvenes que identificó el proceso.

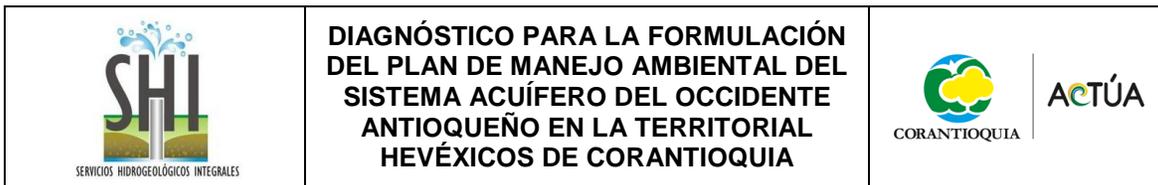
Posterior al diagnóstico se recomienda realizar la fase de formulación del Plan de Manejo Ambiental con el fin de crear herramientas de gestión para Corantioquia y su Oficina Territorial Hevéxicos y los municipios involucrados en el diagnóstico.

La red de monitoreo actualmente existente debe ampliarse de acuerdo a la propuesta que se presenta en el capítulo de hidrogeoquímica y debe propiciarse su continua recolección y análisis de muestras.

Se recomienda generar procesos que permitan recolectar la información faltante de los usuarios del recurso subterráneo identificados durante este contrato, ya que el 40% de los usuarios no brindaron la información relacionada con los puntos de captación de agua subterránea.

Se recomienda realizar perforaciones exploratorias con el fin de corroborar el modelo geométrico de los sectores que tienen potencial acuífero alto. Posterior a esto se propone realizar una red de piezómetros para los diferentes niveles acuíferos, con su correspondiente nivelación. Adicionalmente se propone instrumentar las quebradas principales, con el fin de entender completamente la relación de estas con los acuíferos.

Con la información de niveles piezómetros e instrumentación de las principales corrientes de agua se propone ejecutar un modelo matemático que permita comprender el comportamiento del acuífero y permita estimar; posterior a su calibración; la reservas de los acuíferos.



Se propone ejecutar un programa de legalización de usuarios del recurso subterráneo, con el fin de controlar el crecimiento desmedido de los puntos de captación.

La definición de los parámetros hidráulicos del acuífero, definición de la calidad del agua, la estimación de oferta y demanda, la identificación de problemas y amenazas para posteriormente evaluación de riesgos naturales y antrópicos son temas que deben adelantarse de acuerdo al decreto 1640 de 2012, para completar plenamente la fase de diagnóstico. Los anteriores temas no hicieron parte de los alcances del contrato 1409-241. Para definir los parámetros hidráulicos del acuífero se requiere realizar perforaciones con interés hidrogeológico, para definir la calidad de agua, se debe ampliar la red de monitoreo y continuar con los monitoreos fisicoquímicos y de calidad, para estimar la oferta y demanda se requiere instrumentación del acuíferos (piezómetros) y las quebradas.

Generar estrategias de protección para las zonas de recarga y las zonas del acuífero mismo, en relación a los procesos de contaminación producto de las actividades como la minería, la descarga de residuos sólidos a fuentes de agua y campo abierto, entre otras.

Generar estrategias y líneas de trabajo que permitan la articulación, sinergia, liderazgo institucional para adquirir un mayor conocimiento sobre el recurso subterráneo, establecer acciones de ordenación, manejo y cuidados del mismo.

Potenciar, apoyar y replicar las iniciativas comunitarias que velan por la protección y recuperación de aljibes y pozos en la zona de estudio (Ejemplo: El aljibe de La Maqueda en el municipio de Santa Fe de Antioquia)

Generar mecanismos y sinergias con la institucionalidad municipal que motiven e incentiven la participación de los distintos actores en los procesos de gestión del recurso subterráneo, principalmente establecer estrategias dirigidas a los actores propietarios de las fincas, parcelaciones y condominios del área de estudio.

Desarrollar estrategias enfocadas a la investigación sobre la calidad del agua subterránea y la potencialidad de uso sostenible para reducir la vulnerabilidad de la población asentada en este territorio, ya que se identificaron fuentes potenciales de contaminación que generan un factor de riesgo.

14. BIBLIOGRAFÍA

Alcaldía de Medellín e Instituto de Estudios Regionales INER. (2011). Dinámicas de articulación regional entre el Valle de Aburrá y los municipios cercanos de los Valles de San Nicolás y Cauca. Medellín: Contrato suscrito entre el Departamento Administrativo de Planeación y el Instituto de Estudios Regionales (INER). <http://www.medellin.gov.co/>.

Alcaldía de Medellín. (2011). Movilidad, responsabilidad de todos: Mapa de actores. http://www.medellin.gov.co/transito/archivos/documentos-interes/mapa_actores.pdf.

Álvarez, O. (2007). Cuantificación de la incertidumbre en la estimación de campos hidrológicos: aplicación al balance hídrico de largo plazo, Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, 219 p.

Anderson., J, Hardy., E, Roach., J, & Richard., W. (1976). A Land Use And Land Cover Classification System For Use With, Whashington: United States Government Printing Office.

Áster. <http://free-gis-data.blogspot.com/2009/04/aster-global-digital-elevation-model.html>

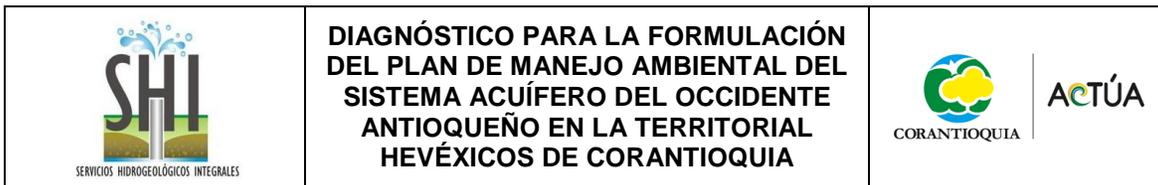
Balek, J. (1998). Groundwater recharge concepts. En: Estimation of Natural Groundwater Recharge. Boston: Ed. Reidel, NATO ASI Series, 1988. p. 3–9.

Barco, J., Cuartas, A. (1998). Estimación de la Evaporación en Colombia. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. 136 p.

Bradbury., K, Dripps., C, Hankley., M, Anderson, & Potter., K. (2000). Refinement of Two Methods for Estimation of Groundwater Recharge Rates, Final project report to the Wisconsin Department of Natural Resources, 84 pp.

Campillo., A. (2012). Orígenes de la recarga del acuífero del Valle de Aburrá (Medellín, Colombia). Enfoque geoquímico e isotópico. Universidad de Antioquia. Tesis de Maestría.

Chatty, D., Baas, S., Fleig, A. (2003). Participatory Processes Towards Co-Management of Natural Resources in Pastoral Areas of the Middle East: A Training of Trainers Source Book Based on the Principles of Participatory Methods and Approaches. Prepared and Tested in Collaboration with the



Project "Range Rehabilitation and Establishment of a Wildlife Reserve in the Syrian Steppe". Rome: FAO. 67 p.

Chávez, B., Jaramillo, A. (1998). Regionalización de la temperatura del aire en Colombia. Cenicafé.

Chambers, R. (1997). Whose Reality Counts. Putting the First Last, Intermediate Technology Publications, Londres.

Community tool box: <http://ctb.ku.edu/en/table-of-contents/analyze/where-to-start/participatory-approaches/main>.

Crites, R., Tchobanoglous, G. (2000). Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Colombia. Mc Graw Hill.

Custodio, E., Llamas, M. (1976). Hidrología Subterránea. Barcelona: Ediciones Omega S.A.

Custodio, E. (1997). Evaluación de la recarga por la lluvia mediante métodos ambientales químicos, isotópicos y térmicos. En: La evaluación de la recarga a los acuíferos en la planificación hidrológica. Textos del seminario celebrado en Las Palmas de Gran Canaria. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid. 1997. p. 83–108.

De Vries, J., Simmers, I. (2002). Groundwater recharge: an overview of processes and challenges. En: HydrogeologyJournal, No. 10: (2002). p. 5-17.

Corpogujaira. (2013). Plan de Manejo Ambiental de Acuífero – PMAA- Cuenca del Río Ranchería.

Corantioquia (2014). Plan de Manejo Ambiental del Sistema Acuífero del Bajo Cauca Antioqueño.

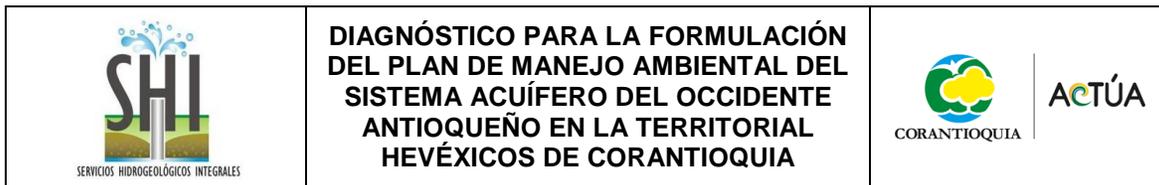
Corantioquia Territorial Hevéxicos. Expedientes de Concesiones de agua subterránea, superficial, vertimientos y licencias ambientales. Fecha de consulta 2014.

DANE. (2005a). Perfiles por Departamento y Municipio. Bogota: Imprent Nacional de Colombia.

DANE. (2005b). Resultados y proyecciones del censo. Bogota: Imprent Nacional de Colombia.

Fitts, C. (2002). Groundwater Science. Academic Press.

Freeze, R., Cherry, J. (1979). Groundwater. Prentice Hall. New Jersey. USA.



Grosse, E. (1926). El Terciario Carbonífero de Antioquia. Ferrocarril de Antioquia.

Groot, A. Stakeholder Matrices – Guidelines. ICRA Learning Materials (www.icra-edu.org).

Guber, R. (2001). La Etnografía. Método, campo y reflexividad. Grupo Editorial Norma. Bogotá.

Habegger., S, Mancila, L. (2006). El poder de la Cartografía Social en las prácticas contra hegemónicas o La Cartografía Social como estrategia para diagnosticar nuestro territorio. Disponible en: http://areaciaga.net/index.php/plain/Cartografias/car_tac/el-poder-de-la-cartografia-social.

Hurtado, M. (2009). Estimación de los campos mensuales históricos de precipitación en el territorio colombiano. Tesis de Maestría, Maestría en Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

ICONTEC. (2001). Guía Para el Monitoreo de Aguas Subterráneas GTC 30.

Ingeominas. (1983). Geología y Geoquímica de las planchas 130 (Santa Fe de Antioquia) y 146 (Medellín Occidental).

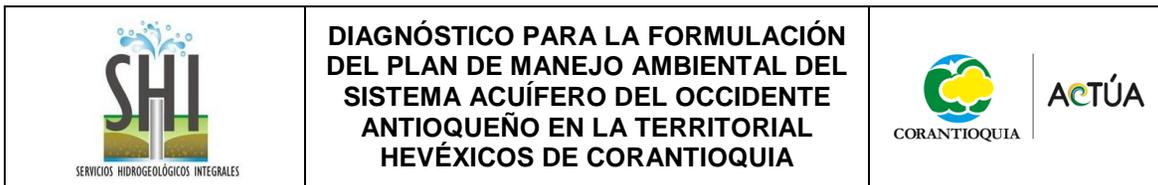
Ingeominas. (2000). Memoria Explicativa del Mapa Geológico del Departamento de Antioquia.

Issar, A., Passhier, R. (1990). Regional Hydrogeological Concepts. En: Groundwater recharge. A guide to understanding the natural recharge.

Lerner, D., Issar, A., Simmers, I. (1990) .Groundwater recharge.A guide to understanding the natural recharge.Hannover: Ed. R. van AckenGmbH. 345p.

López, L. (2014). Impactos territoriales del turismo y lineamientos de ordenación para territorios con vocación turística Estudio de Caso en el Municipio de Santa Fe de Antioquia – Colombia. Medellín: Tesis de Maestría en Estudios Urbano Regionales, Escuela de Planeación Urbano-Regional Facultad de Arquitectura Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. <http://www.bdigital.unal.edu.co/12868/1/43184949.2014.pdf>.

Martínez, J. (2004). Estrategias metodológicas y técnicas para la investigación social. Universidad Mesoamericana. México. Disponible en: www.geiuma-oax.net/sam/estrategiasmetytecnicas.pdf.



Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). Guía Metodológica para la Formulación de Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos. Bogotá.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Universidad de Antioquia. 2014. Programa de reducción de la contaminación del aire para las áreas fuente de la zona carbonífera del Cesar. Medellín: MADS y Grupo GIGA Universidad de Antioquia.

Ministerio de Protección Social. (2007). Decreto 2115 DE 2007.

Municipio de San Jerónimo. (2012). Plan de Desarrollo Municipal 2012-2015 “Construyendo Juntos El San Jerónimo que Soñamos.”

Municipio de Santa Fe de Antioquia. (2012). Plan de Desarrollo Municipal Santa Fe de Antioquia. 2012 - 2015. Santa Fe de Antioquia.

Municipio de Sopetrán. (2012). Plan de Desarrollo Municipio de Sopetrán 2012 - 2015 “Sopetrán, Apasionados por lo nuestro.”

Municipio de Liborina. (2012). Plan Municipal de Desarrollo 2012 – 2015 “Liborina ¡Desarrollo con equidad!”

Municipio de Olaya. (2012). Plan de Desarrollo Municipal Olaya 2012 – 2015. “Por el Cambio con Justicia Social.”

Ortiz, C., Restrepo, C. (2004). Evaluación del potencial acuífero en los municipios de Santa Fe de Antioquia, San Jerónimo, Sopetrán, Olaya y Liborina. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Trabajo Dirigido de Grado.

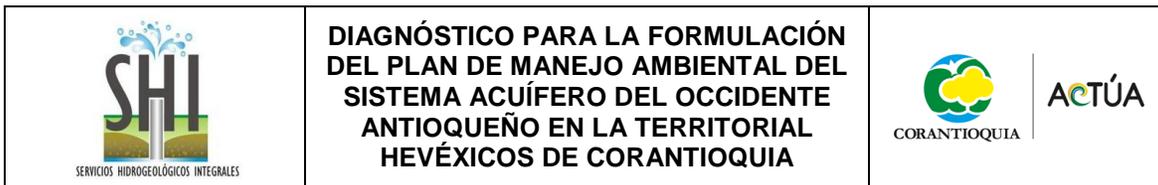
Participatory training manual:

<http://www.cy.undp.org/content/dam/cyprus/docs/ACT%20Publications/Civil%20Society/FT%20TRAINING%20MANUAL%20WEB.pdf>.

Participation Handbook for humanitarian field workers:

http://urd.org/IMG/pdf/MP_GB_CHAPITRE1.pdf.

Poveda, G., Vélez, I., Mesa, O., Cuartas, A., Barco, J., Mantilla, R., Mejía, J., Hoyos, C., Ramírez, J., Ceballos, L., Zuluaga, M., Arias, P., Botero, B., Montoya, M., Giraldo, J., & Quevedo, D. (2007). Linking Long-Term water balances and statistical scaling to estimate river flows along the drainage network of Colombia. Journal of Hydrologic Engineering. ASCE. 4 -13 p.



Rhenals, R. (2007). Validación del modelo hidrogeológico del occidente antioqueño mediante técnicas isotópicas isotópicas e hidroquímicas. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Tesis de Maestría.

Ruiz Muñoz, N. (2003). El Occidente Antioqueño, Perfil Subregional. Medellín, Colombia: Gobernación de Antioquia.

Samper, F. (1997). Evaluación de la recarga a partir de modelos numéricos de flujo en acuíferos. En: La evaluación de la recarga a los acuíferos en la planificación hidrológica. Textos del seminario celebrado en las palmas de gran Canaria. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid. 1997. p. 153-182.

Secretariado Nacional de Pastoral Social. (2001). Desplazamiento forzado en Antioquia 1985 – 1998. Bogotá: Secretariado Nacional de Pastoral Social.

Scanlon, B., Healy, P., Cook, P. (2002). Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. En: Hydrogeology Journal, No. 10: (2002). p. 18-39.

Simmers, I. (1990). Aridity, groundwater recharge and water resources management. En: Groundwater recharge. A guide to understanding the natural recharge. Hannover: Ed. R. van Acken GmbH, 1990. p. 1-20.

Stakeholder Analysis. Resource papers in Action Research:

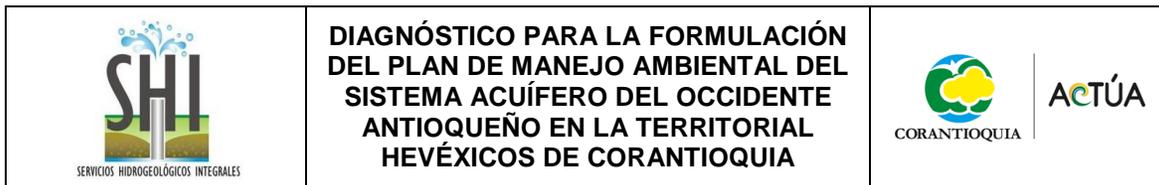
<http://www.scu.edu.au/schools/gcm/ar/arp/stake.html>

Taboada, A. (2000). Geodynamics of the northern Andes. Tectonics, Vol. 19 No. 5 Pages 787-813.

Vélez, M., Salazar, J., Botero, V. (2005). Estimación de la recarga en una región Colombiana mediante un modelo iterativo. Ingeniería Hidráulica en México. V 20, n° 2, 2005.

Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. (2010). Manual de usuario de HidroSIG 4.0. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente. Medellín. <http://poseidon.medellin.unal.edu.co/~hidrosig/>.

Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín y Aguas de Pereira. (2009). Actualización del balance hídrico en los municipios de Pereira, Dosquebradas, La Virginia, Santa Rosa de Cabal y



Cartago. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente. Medellín.

Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. (2003). Manual de usuario de HidroSIG - Versión 3.0 Beta. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente. Medellín. 109p.

Universidad Nacional de Colombia. (1997). Directrices para el manejo estratégico ambiental del Occidente Medio Antioqueño. Medellín, Colombia: Fodun Ediciones.

Universidad de Antioquia. s.a. Análisis de actores y sectores claves de la formulación del PMAA caso de estudio Bajo Cauca. Medellín: Grupo GIGA.

Zabala, N. (2001). Diccionario de acción humanitaria y cooperación para el desarrollo. Universidad del País Vasco. <http://www.dicc.hegoa.ehu.es/listar/mostrar/76>.

15. ANEXOS

CAPÍTULO 2 INFORMACIÓN SECUNDARIA

- 1 - Fichas bibliográficas Hevéxicos

CAPÍTULO 3 HIDROLOGÍA

- 1 - Estaciones hidroclimatológicas

CAPÍTULO 4 HIDROGEOQUÍMICA, ISOTOPIA Y CALIDAD

- 1 - Balance iónico
- 2 - Base de datos FísicoQuímico RHENALS ORTIZ CORANTIOQUIA
- 3 - Inventario de puntos de agua

CAPITULO 9 INVENTARIO PUNTOS AGUA

- 1 - Base de datos graficas
- 2 - Base de datos puntos agua
- 3 - Funtias scaneados
- 4 - Fotos puntos agua

CAPITULO 10 CARACTERIZACIÓN SOCIOCULTURAL

- 1 - Fotos taller presentación resultados. Mayo 2015.
- 2 - Base de Datos actores
- 3 - Listados de asistencia Aguas de Occidente
- 4 - Lista asistencia reunión comunidad El Rodeo Sopetrán
- 5 - Listado asistencia divulgación resultados finales
- 6 - Caracterización Juntas Acción Comunal Occidente
- 7 - Caracterización Diagnóstico Mesas Ambientales Occidente Cercano